

ecos de
Economía

A Latin American Journal of Applied Economics

ISSN 1657-4206
e-ISSN 2462-8107

Vol. 21 - No. 45
Julio – Diciembre de 2017
PP. 1-106
Medellín - Colombia

Ecoss de Economía:

A Latin American Journal of Applied Economics

Frequency: 2 issues/year

ISSN: 1657 - 4206

e-ISSN: 2462-8107

Focus and Scope

Ecoss de Economía is an international journal of applied economics, with a particular interest in the quantitative analysis of economic, financial, and public policy issues and/or themes related to Latin America. Articles that include and analyze national data are particularly welcome, since these data are often unavailable to international researchers outside the region. The journal is not interested in manuscripts that are solely conceptual in nature.

Abstracting & Indexing Services

The Journal is found indexed and reported in: Pub-
lindex "A2" | Latindex | SciELO Citation Index - WoS
| Scielo_Colombia | EconLit | Economía y Negocios-
EBSCOhost | Fuente Académica Premier – EBSCO-
host | Business Source Corporate Plus - EBSCOhost
| ABI/INFORM Complete – Proquest | ABI/INFORM
Global – Proquest | DoTEc | RePEc | Ideas | EconPa-
pers | E-revist@s | Index Copernicus International |
Dialnet | PKP – OJS | Informe Académico – Gale |
Actualidad Iberoamericana | Clase - UNAM | DOAJ |
DRJI | Google Scholar | JournalTOCs | ResearchBib |
ProQuest Social Science Database | Business Insights:
Global | Redalyc | ECONIS | LatAm-Studies

Editor-in-Chief

Theodore R. Breton, Universidad EAFIT, Colombia

Managing Editor

Oscar Caicedo-Alarcon, Universidad EAFIT, Colombia

Board of Editors

Klaus F. Zimmermann, Harvard University,
United States

Subal Kumbhakar, Binghamton University - State Uni-
versity of New York, United States

Ramazan Gençay, Simon Fraser University, Canada

Jorge Martínez-Vazquez, Georgia State University,
United States

Rodrigo Soares, Escola de Economía de São Paulo -
Fundação Getúlio Vargas, Brazil

Enrique López-Bazo, University of Barcelona, Spain

Sergio Firpo, Insper Institute of Education and Re-
search, Brazil

Associate Editors

Sergio S. Urzúa, University of Maryland, United States

Daniel Bergstresser, Brandeis University, United States

Félix Rioja, Georgia State University, United States

Hugo Ñopo, GRADE Group for the Analysis of Devel-
opment, Peru

Claudio Bravo-Ortega, Universidad de Chile, Chile

Luis Díaz-Serrano, Universitat Rovira i Virgili, Spain

Luis H. Gutierrez, Universidad del Rosario, Colombia

Juan C. Duque, Universidad EAFIT, Colombia

Gustavo Canavire Bacarreza, Universidad
EAFIT, Colombia

Carlos Medina, Banco de la República, Colombia

Jorge N. Valero-Gil, Universidad Autónoma Nuevo
León, Mexico

Jorge Guillén Uyen, Universidad ESAN, Peru

Diego A. Agudelo Rueda, Universidad EAFIT, Colombia

Contact Editorial Office:

Ecoss de Economía: A Latin American Journal of Applied Economics

Universidad EAFIT, School of Economics and Finance

Cra. 49 7sur 50 Oficina 26-206, Medellín

Phone: (57) (4) 261 95 00 ext. 9465 • Fax: (57) (4) 261 9294

A.A. 3300 - ecoseco@eafit.edu.co

Contents

Efecto de la red de comunicación de cuadrantes de la policía en las tasas de criminalidad en Bogotá, Colombia <i>The effect of a police sectoral communication network on crime rates in Bogotá, Colombia</i> Luis Eduardo Sandoval y Margarita Marin Jaramillo	5
Un índice único de bancarización con datos georreferenciados con una aplicación para la Argentina <i>A new index of banking coverage created from georeferenced data, with an application for Argentina</i> Fernando García	25
How can the risk from the mismatch between inflation rates in mortgage and labor markets be mitigated? <i>¿Cómo se puede manejar el riesgo asociado con diferencias en tasas de inflación en los mercados de hipotecas y trabajo?</i> Damián Galinsky, Martín Grandes.....	40
Evaluación de las garantías requeridas para cubrir los riesgos en los mercados de futuros de energía eléctrica <i>Analysis of the financial margins required to hedge risks in the electricity futures market</i> Kelly Maradey Angarita, Javier Orlando Pantoja Robayo y Alfredo Trespalcios Carrasquilla.....	68

EFFECTO DE LA RED DE COMUNICACIÓN
DE CUADRANTES DE LA POLICÍA
EN LAS TASAS DE CRIMINALIDAD
EN BOGOTÁ, COLOMBIA

The effect of a police sectoral
communication network on
crime rates in Bogotá, Colombia

Luis Eduardo Sandoval
Margarita Marin Jaramillo

Research Article

EFFECTO DE LA RED DE COMUNICACIÓN DE CUADRANTES DE LA POLICÍA EN LAS TASAS DE CRIMINALIDAD EN BOGOTÁ, COLOMBIA*

The effect of a police sectoral communication network on crime rates in Bogotá, Colombia

Luis Eduardo Sandoval^a y Margarita Marin Jaramillo^b

Palabras Clave: Programas de seguridad, Crimen, Policía, Redes de comunicación, Comunicación policial, Colombia.

Keywords: Security programs, crime, police, communication networks, Colombia.

JEL Classifications: J18, K42, K14, C45

Received: 15-08-2017

Accepted: 24-10-2017

Published: 1-12-2017

*Este artículo corresponde al proyecto INV ECO1479 "Efectividad de la red de comunicación del plan nacional de vigilancia comunitaria por cuadrantes y su efecto en la reducción del crimen en Bogotá", financiado por la Universidad Militar Nueva Granada.

a. Profesor Asociado. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
sandoval@unimilitar.edu.co

b. Profesora. Universidad Sergio Arboleda, Bogotá - Colombia.
margarita.marin@correo.usa.edu.co

Resumen

En una evaluación de la efectividad de la red de comunicación de cuadrantes de la policía en Bogotá, se muestra que la atención a los delitos aumenta con mayor comunicación de nodos en la red, haciendo más efectivo el cubrimiento de policía. Se proponen redes restringidas y no restringidas para reducir delitos y cubrir zonas colindantes. Se encuentra que la comunicación de nodos reduce los delitos más frecuentes y sirve para utilizar de forma eficiente las unidades de policía. Los resultados indican que se reduce el delito para localidades adyacentes entre sí, con menor desempleo, con mayor nivel de educación y con más comunicación en la red de cuadrantes.

Abstract

In an evaluation of the police sectoral communication network in Bogotá, Colombia, we show that the police response to criminal activity is enhanced with better nodal communication in the sectoral network. Restricted and unrestricted networks are considered to reduce crime and improve policing coverage in adjacent areas. We find that nodal communication reduces the most frequent crimes and raises the efficiency of police units. The results indicate that crime is reduced for localities adjacent to each other with lower unemployment, a higher level of education, and with more communication in the sectoral network.

1. Introducción

El Plan Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes (PNVCC) es una política de seguridad ciudadana basada en optimizar el servicio de las diferentes unidades de policía, a partir del establecimiento de unidades territoriales llamadas cuadrantes con el fin de enlazar la ocurrencia de los delitos con los policías (PONAL 2010). Este programa se enmarca en las teorías de organización policíacas, nacidas en Estados Unidos alrededor de 1980 que buscaban mejorar las estrategias de combate del crimen sin incrementar el pie de fuerza (Por ejemplo: [Weisburd y Eck 2004](#), [Bowers y Hirsch 1987](#), [Kelling, Pate, Ferrara, Utne y Brown 1981](#)) mediante los enfoques preventivos ([Ruiz y Romero 2006](#)) en contraposición de los de tolerancia cero ([Ruiz 2004](#)).

El programa fue creado bajo la lógica de un funcionamiento en red, de manera que existiera una comunicación permanente entre cuadrantes para facilitar la coordinación del pie de fuerza policial, en operaciones que requieren amplio uso de personal, como: acciones terroristas, desastres naturales, requisas a establecimientos, plan candado, ausencia temporal de personal, entre otros ([PONAL 2010](#)). Los análisis realizados hasta el momento sobre el PNVCC se han concentrado en la evaluación de impacto para estimar la efectividad del programa en la reducción de la delincuencia ([para la Paz 2012](#)) o en estudios de carácter cualitativo, en los que se analiza la percepción del ciudadano hacia el programa y la policía en general ([Muñoz y Janneth 2013](#), [Guevara-Ali 2015](#), [Roman y Cárdenas 2015](#))

Sin embargo, hasta el momento ningún estudio ha analizado la importancia de la red de comunicación entre los cuadrantes en los resultados obtenidos por el PNVCC. Por lo anterior, en este trabajo se estudia la efectividad en la comunicación de la red de cuadrantes en la reducción del hurto a personas por localidad. Para tal fin, se realizaron encuestas directas a policías de diferentes posiciones jerárquicas al interior de los cuadrantes y localidades de Bogotá, para conocer la percepción que tiene la policía sobre el comportamiento de la delincuencia en cada una de las localidades y descubrir aspectos relacionados con la configuración espacial de las redes de cuadrantes.

A partir de estas encuestas se construye la red de comunicación de la policía por cuadrantes de la ciudad (partiendo de ejemplos de construcción de redes mediante encuestas, se encuentran [Sarnecki 1990](#), [Haynie 2001](#)) y con esto se aplica teoría de redes junto con modelos de regresión para conocer la incidencia de esta estructura en los resultados de criminalidad. De esta manera, el trabajo se divide en 5 secciones incluida esta introducción.

En la siguiente sección [\(2\)](#) se describe el programa de policía por cuadrantes en Bogotá y la literatura relacionada con los programas de seguridad implementados en otros lugares, luego se presenta el modelo teórico [\(3\)](#) que sirve para aproximar la metodología propuesta junto con la estimación realizada que lleva a los resultados [\(4\)](#) y conclusiones [\(5\)](#) que se obtienen al término del documento.

2. Programa de policías por cuadrantes

El programa de policías por cuadrantes, inicialmente se implementó en las ciudades más representativas y con más problemáticas en seguridad ciudadana ([García, Mejía y Ortega 2013](#)), dividiendo las ciudades en pequeñas unidades geográficas definidas como cuadrantes. Los cuales son asociados por personal de la policía nacional compuesto por oficiales y suboficiales asignados a cada cuadrante, el cual realiza cubrimiento por turnos del perímetro para garantizar que las localidades en cada ciudad tengan seguridad permanente. Esto, identifica los delitos más representativos por cuadrantes para elaborar estrategias e intervenciones de la policía en lugares críticos en materia de seguridad ciudadana.

El programa, ha servido para diagnosticar, intervenir y monitorear la seguridad urbana ([Guevara-Ali 2015](#)). También ha permitido acercar a la policía con la ciudadanía por medio de la reacción que tienen en la atención al cuadrante con el patrullaje periódico para garantizar mayor cobertura en las localidades y servir como herramienta analítica para generar indicadores, identificar delitos frecuentes, diseñar protocolos de seguridad y fijar metas de intervención por localidad para reducir la criminalidad.

Los resultados del programa, ha requerido aumentar infraestructura tecnológica, aumentar pie de fuerza en ciudades de mayor problemática delincriminal, crear secretarías de seguridad para acompañar a la policía en la intervención de localidades, mejorar el papel de legalización de capturas por parte de las comisarias, codificación de áreas y subáreas al interior de los cuadrantes, realización de planes de cubrimiento semanal, descentralización de la seguridad al asignar cuadrantes a las localidades y vincularlas con diferentes estaciones de policía ([PONAL 2010](#)). Permitiendo que la seguridad ciudadana sea un objetivo central de los alcaldes menores que terminan siendo problema de toda la alcaldía mayor de las ciudades.

A partir de lo anterior, el Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE) publicó un documento sobre la violencia y las estructuras criminales en Bogotá ([Lorente, Escobedo, Echandía y Rubio 2001](#)), en el cual se caracterizó la concentración de homicidios en la ciudad. Así, con datos de homicidios entre 1997 y 1999, reportados por Medicina Legal, se descubrió que la mayoría de denuncias se concentraban en las localidades de Suba, Kennedy, Santa Fe, Martires, Candelaria, Rafael Uribe, Bosa, Ciudad Bolívar y en una menor medida en las localidades de Teusaquillo, Usaquén, Chapinero. Estos hallazgos se refuerzan con los reportados por [Formisano \(2012\)](#) quien encuentra una alta concentración del crimen en las localidades de Santa Fe, Martires, Candelaria, Bosa, Kennedy y Ciudad Bolívar.

Esto puede ser explicado por los hallazgos del Centro de Estudio y Análisis en Convivencia y Seguridad Ciudadana (CEACSC) y la Universidad Nacional de Colombia, quienes identificaron y caracterizaron 31 puntos críticos en seguridad de la ciudad y concluyeron que la criminalidad en Bogotá se concentraba en las siguientes cuatro tipologías de zonas ([Concejo 2013](#)):

1. Lugares donde existe vulnerabilidad social, con procesos de deterioro urbanístico y abandono. Es común el consumo y comercio de alcohol y sustancias psicoactivas.
2. Concentra sectores que han sufrido cambios en el uso del suelo y deterioro físico. Tienen presencia de actividades de alto impacto social y urbanístico como son las whiskerías, casas de lenocinio, zonas de rumba, expendio y consumo de alcohol y sustancias psicoactivas, entre otros.
3. Corresponde a los sectores con barrios residenciales. Se asocian con la presencia del hurto a residencia o vehículo, sin excluir la presencia de otros delitos.
4. Son sectores comerciales, industriales o que atraen alta población flotante sobre todo en horas pico, pero que son desolados en la franja nocturna, características que facilitan la ocurrencia de delitos.

Esta diversidad en las tipologías de las zonas críticas de la ciudad, hace pensar que la concentración del crimen no tiene una relación muy estrecha con la pobreza y responde más a la tesis de [Sarmiento, Gomez \(1999\)](#) quien afirma que para el caso Colombiano es la desigualdad y no la pobreza

la que provoca incrementos en la criminalidad. Sin embargo, es contrario a la conclusión de [Echandia \(1999\)](#), quien encuentra que existe una relación positiva entre la riqueza y la criminalidad.

El problema de criminalidad en Bogotá, también puede enmarcarse en las teorías desarrolladas por [Becker \(2013\)](#) quien sostiene que un mejor desempeño de la fuerza pública y el sistema judicial son factores que disminuyen la criminalidad, pues incrementan los costos asociados a las actividades delictivas. Esto, se apoya con el estudio de [Rubio \(1999\)](#) que muestra que los 124 municipios más violentos de Colombia, tienen indicadores de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) favorables, pero indicadores de desempeño y calidad de la justicia desfavorables.

Sabiendo que la dinámica del crimen en Bogotá, no puede ser enmarcada en una única tipología sino que, por el contrario debe ser enfrentada desde múltiples frentes de acción y con múltiples políticas sociales, económicas y de seguridad, la Policía Nacional junto con el Gobierno Nacional y Distrital plantearon el PNVCC como una estrategia para mejorar la respuesta de la fuerza pública ante las situaciones de criminalidad, al plantearse como objetivo la optimización del servicio de vigilancia de las estaciones de policía ([PONAL 2010](#)).

Para esto, la principal herramienta utilizada es la repartición de unidades territoriales pequeñas conocidas como cuadrantes, cuya protección es asignada a seis policías que, actuando en duplas, patrullan y controlan las acciones delictivas en su cuadrante ([PONAL 2011](#)) y son dirigidos desde un Comando de Acción Inmediata (CAI). El PNVCC fue ideado para el funcionamiento en red de las diferentes unidades de policía, principalmente cuando se presentan acciones terroristas, desastres naturales, requisas a establecimientos, entre otros ([PONAL 2010](#)), de manera que existiera una comunicación permanente entre cada uno de los cuadrantes y de los cuadrantes con la ciudadanía, con el fin de atender de manera integral los problemas generados por la criminalidad.

Sin embargo, esta forma de organización de la policía urbana no es nueva, se enmarca dentro de las teorías de organización policíaca que nacieron en Estados Unidos alrededor de 1980 y que buscaban mejorar las estrategias de combate del crimen, sin incrementar el pie de fuerza ([Weisburd y Eck 2004](#)). Ellas se plantearon como contraposición de las políticas de tolerancia cero, donde se necesita un gran número de policías ([Ruiz 2004](#)) así como un sistema judicial descongestionado, lo que lo hace poco aplicable al caso Bogotano.

Algunos ejemplos de aplicación de la primera estrategia se pueden observar en Boston ([Bowers y Hirsch 1987](#)) y Newark ([Kelling et al. 1981](#)) en los años ochenta, en 2005 en Rajasthan ([Banerjee, Chattopadhyay, Duflo, Keniston y Singh 2012](#)) y en 2013 en Colombia ([García et al. 2013](#)).

En todos los casos se observa un impacto positivo que permitió la reducción de los indicadores de criminalidad. Los trabajos de [Wyckoff y Skogan \(1993\)](#), [Rosenbaum \(1988\)](#), [Pate, Annan, Foundation y of America \(1989\)](#) y [Skogan y Hartnett \(1997\)](#), en los que se recurrió a la metodología de diseños cuasi experimentales, se encontró que ciertas medidas adoptadas individualmente, tales como reuniones con la comunidad y visitas comunitarias no logran reducir el crimen, pero mejoran la percepción de la comunidad en el servicio policial. Sin embargo, en estudios de carácter cualitativo, en diferentes ciudades del país [Muñoz y Janneth \(2013\)](#), [Guevara-Ali \(2015\)](#) y [Roman y Cárdenas \(2015\)](#) se observa que la política de PNVCC no ha ayudado a mejorar la percepción de seguridad y la confianza en la policía.

Lo anterior muestra que esta política ha tenido resultados mixtos. Por un lado, en algunos países ha ayudado a disminuir los índices de criminalidad, pero en otros no ha sido muy efectiva. Al mismo tiempo, en algunas comunidades mejora la percepción de seguridad y la confianza en la policía, pero en otras partes no se ha visto reflejado un impacto positivo en el imaginario de las personas, quienes siguen teniendo una gran reticencia hacia los miembros de esta institución. Lo anterior lleva a concluir que este tipo de políticas no pueden ser aplicadas como una regla general, sino que dependen del contexto social, económico e institucional en el que se vean sumergidas.

En el caso Colombiano, la política ha sido efectiva para reducir la criminalidad. A pesar de esto, la revisión de literatura permite revelar una falla importante: hasta el momento no se ha estudiado la importancia, alcance y fallas que tienen la misma red de comunicación de los cuadrantes, la cual es uno de los pilares del PNVCC. Por tanto, en lo que sigue, el trabajo se concentra en estos aspectos en el caso específico de la ciudad de Bogotá, aunque este trabajo puede ser replicado en otras ciudades del país.

3. Metodología utilizada

3.1. Información recolectada

Entre Noviembre de 2014 y Febrero de 2015, se realizó un sondeo de opinión a patrulleros, subintendentes y otros miembros de diferentes estaciones y CAIs de policías en 19 localidades de Bogotá, donde se indagaba sobre el sistema de comunicación entre cuadrantes¹.

La distribución de estas respuestas² se encuentran en la [Tabla 1](#)³. A partir de estos resultados, se plantean dos escenarios de comunicación posibles. En un escenario más restrictivo ([Red A](#)) se establece que la red de comunicación funciona bajo las siguientes reglas ([Figura 2](#)):

1. Se consideran tres categorías de nodos: la central de radio (1 nodo), las estaciones de policía (1 por localidad para un total de 19 nodos de esta categoría) y los CAI (los cuales constituyen 166 nodos).
2. La central de radio se comunica a toda la red de policías.
3. Todos los policías pertenecen a la jurisdicción de un CAI y este a su vez a la de una estación.
4. Todas las estaciones se comunican con los CAI en su jurisdicción, las estaciones de otras localidades y con la central de radio.
5. Todos los CAIs pueden comunicarse con la central de radio.
6. Cada CAI puede comunicarse con la estación a cuya jurisdicción pertenece.
7. Cada CAI puede comunicarse con el mismo.

1 El cual fue de tipo no probabilístico, pues por motivos de seguridad fue imposible obtener un marco muestral de esta población que permitiera diseñar un muestreo probabilístico.

2 Las respuestas eran abiertas, por lo que fueron codificadas en las categorías señaladas en el texto. Adicionalmente, es importante aclarar que en el escenario de comunicación con otros CAIs se clasificaron todas las respuestas que hacían referencia al contacto con CAIs y estaciones por fuera de la localidad, incluidas aquellas en las que se indica que el comandante de la estación es el encargado de realizarlo.

3 Se excluye la no respuesta que es de alrededor del 2%

8. Cada CAI sólo puede comunicarse con los CAIs vecinos y que pertenezcan a la misma localidad⁴.
9. Se considera que cada CAI está en capacidad de responder por todos sus cuadrantes⁵

En un escenario mas laxo ([Red B](#)) se establece que la red de comunicacion funciona bajo las mismas reglas con excepcion de la regla siete, que en este caso se modifica y corresponde a: cada CAI sólo puede comunicarse con los CAI vecinos, aunque no pertenezcan a su misma localidad. ([Figura 3](#)).

En ambos casos se descarta la comunicación con CAI que no sean vecinos por dos razones. La primera es que la matriz de adyacencia tendría 1 en todas sus entradas y este es un escenario en el que la comunicación no tiene ninguna relevancia para la determinación del modelo. La segunda es que, según lo consignado en las encuestas, la comunicación con CAI no vecinos es normalmente coordinada por el comandante de la estacion o la central y, por tanto, su modelacion quedaria contemplada en las reglas 2 a 5.

Una vez construidas las matrices de adyacencia se procede a calcular el grado, la intermediacion de cada uno de los individuos en la red. Teniendo en cuenta que el resto de la informacion se encuentra a nivel de localidad (véase [Tabla 2](#)) se calcula el grado y la intermediacion promedio de la localidad ([Tabla 5](#)). Aunque es posible considerar otro tipo de medidas como la mediana o la moda, puesto que no se observan grandes asimetrías ni valores muy atípicos en estas medidas.

3.2. Descripción de los datos

En las [Tablas 3 y 4](#) y en las [Figuras 5 y 6](#) se presentan los datos, la estadística descriptiva y la densidad empírica para ambas variables. Se observa que la mayoría de los hurtos a personas ocurren en las localidades de Fontibon, Engativá y Barrios Unidos, mientras que en Candelaria, Puente Aranda y Ciudad Bolívar es donde menos se registran. En lo que respecta a la tasa de hurtos por cada cien mil habitantes, las localidades con mayores valores son Martires, Antonio Nariño y Barrios Unidos, mientras que las de menores valores son Ciudad Bolívar, Kennedy y Suba.

En este caso, se optó por la variable de tasa de hurtos por cada cien mil habitantes, pues al no controlar por población, puede producirse un sesgo en la estimacion. Al observar la estadística descriptiva es claro que la distribución de esta variable no es normal, por lo que se ajustan dos modelos de regresion: uno normal que sirve como línea base y un modelo lineal generalizado ajustado a través de una distribución Gamma con enlace logarítmico.

3.3. Estudio de Redes

En este trabajo se recurre al análisis de redes, para el estudio de la eficacia de la red de comunicación del programa de policía por cuadrantes para el combate frente a la criminalidad en Bogotá. Así, se basa en la metodología de análisis de redes que parte de los estudios realizados por ([Erdos y Rényi 1960](#))⁶, donde se propone que una red (G) está compuesta por nodos N que son la representación de

4 Se entiende como CAI vecino a aquel que se encuentra directamente al lado del CAI considerado, es decir, que no es posible ubicar otro CAI en la mitad entre los dos considerados previamente.

5 Pues aunque cada par de policías en el CAI tienen un cuadrante asignado, como tienen libertad de contactar a su mismo CAI, cualquier policía del mismo puede responder ante una situación en el cuadrante. Esta es la razón por la que la unidad de análisis es el CAI y no el policía o el cuadrante

6 Véase también ([Milgram 1967](#)), ([Watts y Strogatz 1998](#)), ([Barabasi y Albert 1999](#))

las unidades de análisis y las aristas E que muestran la forma como los nodos se comunican entre ellos ([Diestel 2005](#)).

Se dice que el grafo es dirigido cuando la comunicación tiene un solo sentido y no dirigidas si la relación se presenta en ambos sentidos. Estas relaciones pueden ser representadas en forma matricial mediante la matriz de adyacencia A, que para este caso particular es cuadrada, binaria y por tanto no dirigida⁷, donde 1 indica la existencia de una arista entre nodos adyacentes i,j y 0 en otros casos. Los grafos poseen un sin número de medidas que permiten su caracterización. En este caso particular se concentra en las medidas de centralidad del grado y la intermediación. Así, el grado indica el número de conexiones adyacentes de cada nodo ([Freeman 1979](#)) que, en el caso de una red no dirigida, se calculan como:

$$k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i \frac{2L}{N}$$

Con esta medida, se desea conocer si una comunicación más directa y una mejor posición en la red de cuadrantes repercute en la reducción de la criminalidad. Lo anterior deja de lado la importancia relativa del cuadrante, lo que puede inducir un sesgo en el análisis. Sin embargo, se considera que asignar una importancia mayor o menor a ciertos cuadrantes puede ser más perjudicial pues no se posee a priori esta información.

En contraste, la intermediación mide el número de veces que un nodo actúa como puente o conector entre otro par de nodos ([Diestel 2005](#)) y se calcula:

$$c(i)_b = \sum_{j < k} \frac{g(i)_{jk}}{g_{jk}}$$

Con g_{jk} el número de caminos más cortos que conectan a j con k y $g(i)_{jk}$ el número de veces en los que el nodo i participa en estos caminos. Con esta medida se busca analizar si al existir una mayor intermediación o control de otros nodos en la red se produce un cambio sustancial en la criminalidad.

3.4. Estimación del modelo

Para realizar la estimación, se utiliza un modelo lineal generalizado uniparamétrico que permite ajustar regresiones en las que no es necesario suponer la normalidad de los errores. Así, el modelo puede ser descompuesto en tres componentes ([McCullagh y Nelder 1989](#)) tal que el primero corresponde a un componente aleatorio en el que Y sigue una función de distribución de la familia exponencial.

El segundo responde a un componente sistemático tal que $\eta = \eta(\eta)$ y el tercero a un enlace que relaciona el componente sistemático con los parámetros a estimar de la función, tal que $\eta = \eta(\eta) = \sum_j \beta_j x_{ij}$, siendo $\mu = E[Y]$.

En general, algunas de las funciones clásicas más utilizadas en los ajustes por modelos lineales generalizados corresponden a las distribuciones Normal, Binomial, Gamma, Poisson y la Inversa Gaussiana. En este tipo de modelos, la estimación se realiza por máxima verosimilitud y se recurre a algoritmos computacionales iterativos tales como el Fisher-Scoring ([Cuervo y Achcar 2010](#)), dado que con excepción del modelo normal, es imposible obtener una forma analítica estimable para este tipo de modelos.

⁷ Esto, debido a que se opera bajo el supuesto de que el cuadrante i puede comunicarse con el cuadrante j y viceversa

Para comprobar la bondad de ajuste de los modelos, es posible recurrir a los criterios de información, como el AIC ([Akaike 1998](#)) en el cual se considera que el mejor ajuste se presenta en la estimación con menor AIC. Sin embargo, este criterio se utiliza para comparar modelos en los que la variable a explicar es la misma, es decir que sigue la misma función de distribución y no tiene cambios o transformaciones entre los modelos. Por esto, para la comparación de modelos con diferentes distribuciones en la variable a explicar se utiliza el análisis de residuos, donde se considera que un modelo ajusta bien si el comportamiento de estos es más o menos aleatorio.

En este caso específico, se desea conocer el efecto de la comunicación entre los CAI en la criminalidad por localidades, se utiliza como variable a explicar los datos de hurtos a personas en 2013 por localidad⁸. La elección de esta variable radica en que este es uno de los crímenes más comunes en Bogotá, y es una de las variables estándar para la medición de violencia y criminalidad⁹.

Adicionalmente, como variables explicativas se recurre al grado y la intermediación de la red que reflejan el nivel de comunicación entre los cuadrantes, mientras que como variables de control se utilizan la tasa de profesores por cada cien mil estudiantes, que sirve como proxy de la infraestructura en educación brindada por el gobierno, la tasa de desempleo que se utiliza como medida del mercado laboral y refleja la situación de empleo en las localidades y la pobreza multidimensional de los hogares como medida del grado de desarrollo en cada localidad. Todas estas variables se miden a nivel de cuadrante y su descripción específica se encuentra en los anexos de este trabajo.

4. Resultados

En la [Tabla 6](#) se muestran los resultados de los ajustes para los modelos, en donde para el modelo Gamma se reporta el exponencial de los coeficientes, que permite interpretarlos como un incremento o disminución de la probabilidad de ocurrencia.

En lo que respecta al modelo con la red de comunicación A, la estimación de los coeficientes para el modelo normal indica que solo la intermediación es significativa y además negativa, por lo que aparentemente a mayor intermediación en la comunicación de los CAI de la localidad, menor tasa de hurtos.

Cuando se ajusta el modelo Gamma, la pobreza y la intermediación son significativas y menores a 1, por lo que un incremento en sus valores disminuye la probabilidad de ocurrencia de la variable. Aunque el resultado de la pobreza puede parecer contra intuitivo, se puede interpretarse que las mayores tasas de hurtos en la ciudad ocurren en las localidades donde existe un menor nivel de pobreza y por tanto existe una mayor recompensa al delito.

Cuando se consideran los modelos con la red B, en el caso del modelamiento normal, la tasa de profesores y la intermediación son significativas y negativas y el grado es significativo y positivo. Este mismo comportamiento se observa en el modelo Gamma, donde la tasa de profesores, la pobreza y la intermediación disminuyen la probabilidad de observar tasas de hurtos más altas, mientras que el grado la incrementa.

8 Datos suministrados por la Policía Nacional

9 Véase ([Restrepo y Moreno 2007](#)), ([Chavez, Cortez, Medina et al. 2013](#)), entre otros.

Este comportamiento del grado es contrario a lo esperado, lo que parece indicar que tener un gran número de conexiones puede también llevar a saturar el sistema, lo que se refleja en un incremento en la tasa de hurtos. Los criterios de información permiten concluir que para todos los casos, el modelo con la [Red B](#) tiene un mejor ajuste que el de la [Red A](#). Al observar el ajuste de los errores en el modelo Normal ([Figuras 7 y 9](#)) y Gamma ([Figuras 8 y 10](#)) existe un buen ajuste de los errores frente al predictor lineal, aunque en todos los casos se presentan problemas para ajustar algunos puntos que corresponden a los casos en donde las tasas de hurtos son muy altas. Con esta información se concluye que existe un mejor ajuste del modelo Gamma con la Red B, frente a los otros modelos considerados.

5. Conclusiones

En este trabajo se realizó un análisis de la influencia que tiene la posición de los CAI, medidos por su grado e intermediación en la red de comunicación de los mismos, en las tasas de hurtos de las localidades de Bogotá. Esto se llevó a cabo, a partir de un sondeo de opinión entre diferentes miembros de la policía en sus respectivos cuadrantes, con lo cual fue posible determinar un modelo de comunicación policial. Se utilizó el hurto a personas, como indicador del nivel de delincuencia por ser uno de los delitos más comunes en la ciudad y dos escenarios de redes de comunicación entre cuadrantes.

Al recurrir a estimaciones mediante Modelos Lineales Generalizados junto con una serie de variables sociales y económicas de control, se encuentra que además de los factores clásicos que permiten una disminución de la delincuencia como la mayor educación y menor desempleo, existe una relación beneficiosa entre un mayor nivel de intermediación entre los CAI, que repercute en una menor tasa de hurtos, pero cuando existe un nivel de comunicación demasiado alto se satura el sistema de información, lo cual perjudica las metas de reducción del delito.

Con el escenario más restrictivo ([Red A](#)), un aumento en la cobertura de profesores en colegios oficiales y en la conexión entre pares de nodos con otros, permite una reducción de los hurtos en las localidades. Lo que muestra que las localidades de mayor cantidad de hurto a personas presentan mayor nivel de pobreza pero la intermediación entre unidades de policía reduce la probabilidad de ocurrencia de hurtos, así la mayor comunicación entre CAI de una misma localidad controla los hurtos y aumenta si existen más nodos a los cuales puedan compartir información.

Con el escenario menos restrictivo ([Red B](#)), la cercanía y el grado de conexiones entre cuadrantes junto con la condición de pobreza aumentan el nivel de hurtos en las localidades. De esta manera, una red saturada de información en lugar de mejorar la capacidad de reacción de las unidades de policía, explica la ocurrencia de menor atención en zonas que intersectan varios cuadrantes y conlleva al incremento de hurtos en zonas comunes en una misma localidad.

Dados los resultados anteriores, es necesario profundizar en la existencia de esta relación, de manera que se encuentre hasta qué grado este resultado puede ser replicable en otros contextos o es una particularidad del diseño del programa de Policías por Cuadrantes en Bogotá.

Referencias

- Akaike, H. (1998). *Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Selected Papers of Hirotugu Akaike*. Springer New York. pp. 199–213.
- Banerjee, A.V., Chattopadhyay, R., Duflo, E., Keniston, D. y Singh, N. (2012). Can institutions be reformed from within? evidence from a randomized experiment with the rajasthan police. *CEPR Discussion Paper* (DP8869).
- Barabasi, A.L. y Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439): 509–512.
- Becker, G.S. (2013). *The economic approach to human behavior*. University of Chicago press.
- Bowers, W. J. y Hirsch, J. H. (1987). The impact of foot patrol staffing on crime and disorder in Boston: An unmet promise. *Am. J. Police* 6: 17.
- Chávez, Y., Cortez, P., Medina, P. et al. (2013). Cuantificación de las pérdidas inesperadas ocasionadas por la delincuencia en Ecuador. *Analítika* 5(1): 51-62.
- Concejo de Bogotá. (2013). Proyecto de acuerdo No. 33. Bogotá.
- Cuervo, E.C. y Achcar, J.A. (2010). Heteroscedastic nonlinear regression models. *Communications in Statistics Simulation and Computation* 39(2): 405–419.
- Diestel, R. (2005). *Graph theory. Graduate Texts in Mathematics*. Springer-Verlag, Heidelberg 173.
- Echandia, C. (1999). Geografía del conflicto armado y las manifestaciones de la violencia en Colombia. *Documento de trabajo CEDE* 1(18): 35.
- Erdos, P. y Rényi, A. (1960). On the evolution of random graphs. *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences* 5(1): 17-60.
- Formisano, M. (2012). Econometría espacial: características de la violencia homicida en Bogotá. *Documento CEDE* (2012-10).
- Freeman, L.C. (1979). Centrality in social networks conceptual clarification. *Social networks* 1(3): 215-239.
- García, J.F., Mejía, D. y Ortega, D. (2013). Police reform, training and crime: experimental evidence from Colombia's plan cuadrantes. *Documento CEDE* (2013-04).
- Guevara-Ali, C. D. (2015). *La integración de las especialidades de la policía nacional al modelo nacional de vigilancia comunitaria por cuadrantes*. Policía Nacional. Bogotá.
- Haynie, D.L. (2001). Delinquent peers revisited: Does network structure matter?. *American journal of sociology* 106(4): 1013-1057.
- Kelling, G.L., Pate, A., Ferrara, A., Utne, M. y Brown, C. E. (1981). *The newark foot patrol experiment*. Washington, DC: Police Foundation pp. 94-96.
- Llorente, M. V., Escobedo, R., Echandía, C. y Rubio, M. (2001). Violencia homicida y estructuras criminales en Bogotá. *Análisis Político* 44: 17-38.
- McCullagh, P. y Nelder, J. A. (1989). *Generalized Linear Models*. Vol. 37. CRC Press United States of America.
- Milgram, S. (1967). The small world problem. *Psychology today* 2(1): 60–67.
- Muñoz, R. y Janneth, M. (2013). Seguridad ciudadana al nivel local: notas de trabajo de campo sobre la ejecución y percepción del plan cuadrante en Cali (Colombia). *Estudios Socio Jurídicos* 15(1): 87-113.
- Para la Paz, F.I. (2012). Evaluación del impacto del plan nacional de vigilancia comunitaria por cuadrantes. *Serie Informes* (18).
- Pate, A.M., Annan, S.O., Foundation, P. y of America, U.S. (1989). *Baltimore community policing experiment: Summary report*. Washington: Police Foundation.
- PONAL (2010). *Estrategia institucional para la seguridad ciudadana: plan nacional de vigilancia comunitaria por cuadrantes*. Dirección General de la Policía Nacional de Colombia.

- PONAL (2011). Directiva administrativa transitoria 016 del 11 de marzo de 2011 por la cual se da la implementación del plan nacional de vigilancia comunitaria por cuadrantes en los 10 distritos especiales, 50 municipios priorizados, las ciudades de neiva, ibagué villavicencio y el fortalecimiento a las metropolitanas del país. Policía Nacional, Bogotá.
- Restrepo, E.M. y Moreno, A. J. (2007). Bogotá: ¿más crimen?, ¿más miedo?. Bogotá: Crime or fear of crime?. *Desarrollo y Sociedad* 166(59):165-214.
- Roman, M. y Cardenas, S. (2015). Efectividad del plan nacional de vigilancia comunitaria por cuadrantes en cuatro barrios de Cali, Colombia. *Revista de Ciencias, Arte y Tecnología* (2): 63-83.
- Rosenbaum, D.P. (1988). Community crime prevention: A review and synthesis of the literature. *Justice Quarterly* 5(3): 323-395.
- Rubio, M. (1999). *Crimen e impunidad*. Tercer Mundo Editores. Bogotá.
- Ruiz, J. C. (2004). *Encrucijadas de la seguridad en Europa y las Américas. Capítulo. La encrucijada de la seguridad ciudadana en América Latina: entre la tentación autoritaria y la participación comunitaria*. Bogotá: Universidad del Rosario, pp. 123-146.
- Ruiz, J. C. y Romero, M. (2006). Los mitos acerca de la seguridad local y la policía comunitaria. *Documento de Investigación*. Facultades de Ciencia Política y Gobierno y de Relaciones Internacionales. Universidad del Rosario (18).
- Sarmiento Gomez, A. (1999). *Violencia y equidad, Conflicto armado: criminalidad, violencia y desplazamiento forzado*. DNP. pp. 47-79.
- Sarnecki, J. (1990). Delinquent networks in sweden. *Journal of Quantitative Criminology* 6(1): 31-50.
- Skogan, W. G. y Hartnett, S. M. (1997). *Community policing, Chicago style*. Oxford University Press New York.
- Watts, D. J. y Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of small world networks. *Nature* 393(6684): 440-442.
- Weisburd, D. y Eck, J.E. (2004). What can police do to reduce crime, disorder, and fear? *The Annals of the American Academy of Political and Social Science* 593(1): 42-65.
- Wycoff, M.A. y Skogan, W.G. (1993). *Community policing in Madison: Quality from the inside out: An evaluation of implementation and impact*. Vol.106, DIANE Publishing.

6. Tabla de Resultados

Tabla 1: Respuestas sobre la comunicación con otros CAI

CAI autorizados para comunicación	Porcentaje de respuesta
Central	8.90
Mi CAI	2.48
Ninguna	4.14
otros CAI	45.34
otros CAI vecinos	15.94
otros CAI vecinos jurisdicción	23.19

Fuente: Cálculos de los autores

Tabla 2: Definición de variables

Variable	Definición	Fuente	Periodo
Tasa Profesores	Profesores sector oficial, no oficial por 100 mil estudiantes	Cálculos propios, secretaría educación distrital	2013
Tasa desempleo	Porcentaje personas económicamente activas sin empleo	DANE-Encuesta calidad de vida, Bogotá	2007
Pobreza	Porcentaje de hogares en pobreza multidimensional	DANE Encuesta calidad de vida, Bogotá	2007

Fuente: Cálculos de los autores

Tabla 3: Hurtos a personas en 2013

	Hurtos a personas 2013	Tasa de Hurtos a personas 2013
Usaquen	313	65
Chapinero	336	246
Suba	378	34
Barrios Unidos	1226	519
Teusaquillo	383	257
San Cristobal	215	53
Usme	394	95
Tunjuelito	615	306
Rafael Uribe	1091	290
Ciudad Bolivar	174	26
Bosa	386	63
Kennedy	287	28
Fontibon	1549	428
Engativa	1383	308
Santa Fé	389	354
Mártires	977	992
Antonio Nariño	579	533
Puente Aranda	147	57
Candelaria	121	501

Fuente: Cálculos de los autores

Tabla 4: Estadística Descriptiva para los Hurtos a personas en 2013

	Hurtos a personas 2013	Tasa de Hurtos a personas 2013
Media	575,95	271,20
Mediana	386,00	256,80
Desviación estándar	442,34	249,92
Curtosis	-0,05	4,54
Asimetría	1,11	1,12
Rango	1428,00	966,17
Mínimo	121,00	26,23
Máximo	1549,00	992,40

Fuente: Cálculos de los autores

Tabla 5: Medidas de la red

Localidad	Escenario 1			Escenario 2		
	Grado	Intermediación	Cercanía	Grado	Intermediación	Cercanía
Usaquen	17.58	19.59	19.59	19.42	22.41	22.41
Chapinero	16.40	19.15	19.15	18.00	20.25	20.25
Suba	16.27	22.06	22.06	18.47	24.53	24.53
Barrios Unidos	17.14	17.03	17.03	20.57	20.94	20.94
Teusaquillo	17.71	16.82	16.82	20.86	21.82	21.82
San Cristobal	16.00	19.84	19.84	17.45	21.70	21.70
Usme	16.00	17.81	17.81	16.50	18.11	18.11
Tunjuelito	16.80	15.44	15.44	20.40	19.27	19.27
Rafael Uribe	13.75	13.42	13.42	17.50	16.86	16.86
Ciudad Bolivar	16.57	21.41	21.41	17.43	22.56	22.56
Bosa	16.27	19.17	19.17	18.45	22.03	22.03
Kennedy	16.41	22.79	22.79	18.06	24.43	24.43
Fontibon	16.70	18.41	18.41	19.10	21.25	21.25
Engativa	17.07	20.99	20.99	19.14	23.55	23.55
Santa Fé	15.46	17.44	17.44	17.15	19.60	19.60
Mártires	16.60	14.81	14.81	20.60	17.91	17.91
Antonio Nariño	16.20	13.93	13.93	19.40	16.60	16.60
Puente Aranda	17.00	16.83	16.83	19.44	20.70	20.70
Candelaria	21.00	11.56	11.56	23.67	14.89	14.89

Fuente: Cálculos de los autores

Tabla 6: Resultados de la regresión sobre la tasa de hurtos

	Red original Normal	Red original Gamma	Red modificada Normal	Red modificada Gamma
Intercepto	1353.90 (889.63)	425066.11* (2.96)	505.97 (970.45)	76114.95* (3.23)
Tasa Profesores	-3.63 (4.34)	0.98* (0.01)	-6.92* (3.36)	0.97* (0.01)
Tasa desempleo	6.13 (36.36)	1.05 (0.12)	2.56 (30.98)	1.04 (0.10)
Pobreza	-9.83 (7.98)	0.93* (0.02)	-10.37 (7.52)	0.92* (0.02)
Grado	27.42 (58.33)	1.05 (0.19)	95.31* (43.13)	1.31* (0.14)
Intermediación	-68.68* (24.32)	0.69* (0.08)	-74.17* (22.14)	0.66* (0.07)
AIC	263.68	242.99	257.8	238.96
n	19	19	19	19

Fuente: Cálculos de los autores

Preguntas de sondeo

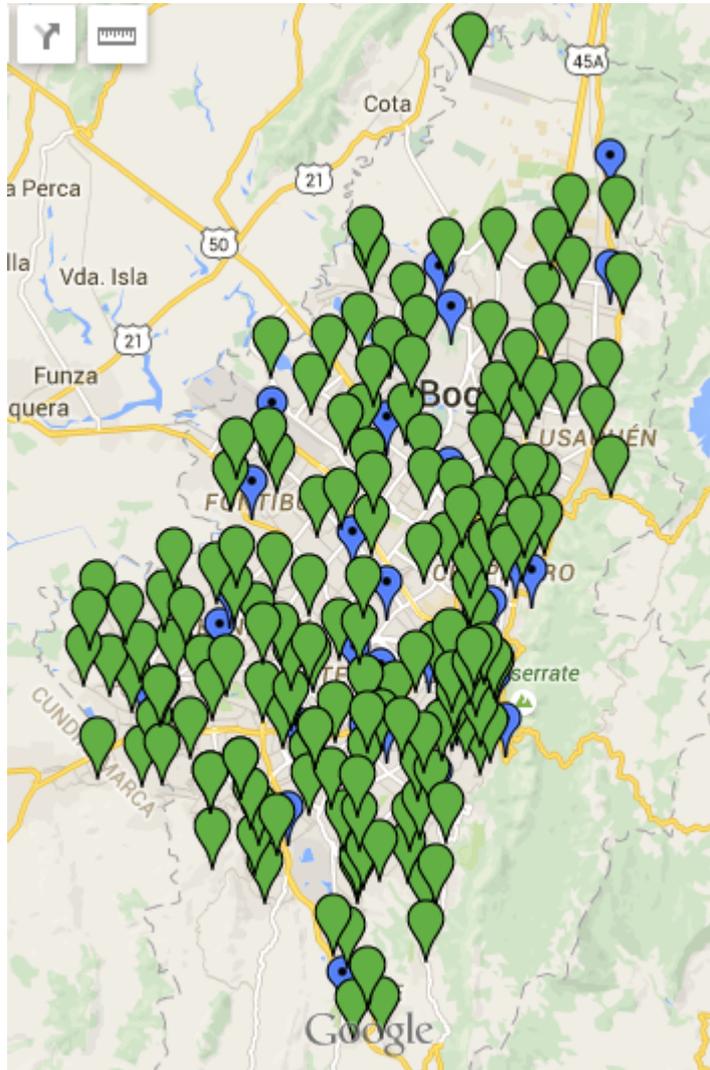
- Indique la localidad a la que pertenece su cuadrante
- ¿Cuál es su grado en la policía?
- ¿Cuál es el tipo de delito más frecuente en su cuadrante?
- Ante una denuncia, ¿el número de policías que responde depende del tipo de delito?
- Si la anterior respuesta es afirmativa, indique con ejemplos de denuncias cuantos policías responde
- ¿Considera que su cuadrante debería contar con más policías?
- Si su anterior respuesta es afirmativa, ¿Aproximadamente cuántos policías más?
- Si ocurren problemas con estas denuncias y el grupo de respuesta necesita refuerzos, ¿cuántos miembros puede enviar?
- Indique a cuáles estaciones está usted autorizado a llamar en caso de necesitar refuerzos, dentro de su cuadrante
- Indique a cuáles estaciones por fuera de su cuadrante, se encuentra autorizado para llamar en caso de necesitar refuerzos
- ¿Cuándo existe algún crimen en la zona de intersección de su cuadrante con otro cuadrante, existen problemas para determinar la jurisdicción del crimen? Es decir, ¿Existen problemas para determinar cuál cuadrante responde?

- ¿El tiempo promedio de respuesta en zonas fronterizas del cuadrante es mayor, comparado con crímenes similares en otras zonas del cuadrante?
- ¿Cambiaría usted este esquema de comunicación?, Si su anterior respuesta es afirmativa, ¿cómo lo cambiaría?

Fuente: Cálculos de los autores

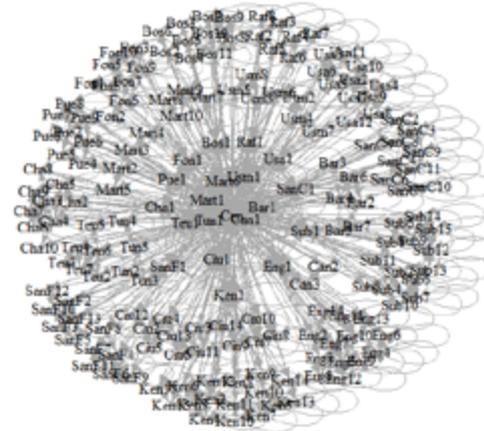
7. Figuras

Figura 1: Unidades de policía en Bogotá



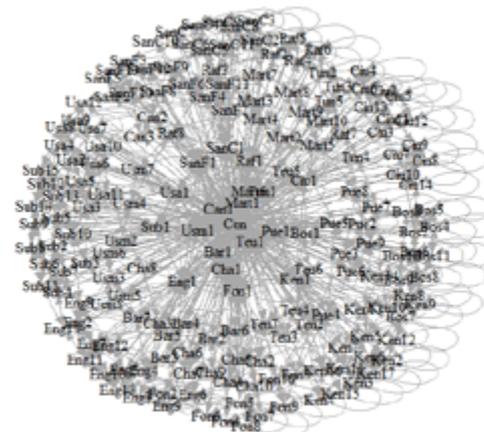
Fuente: Google. (s.f.). [Mapa con la ubicación de los CAI y estaciones de policía de Bogotá, Colombia en Google maps]. <https://goo.gl/maps/WgfxFXHGIAq>

Figura 2: Red A



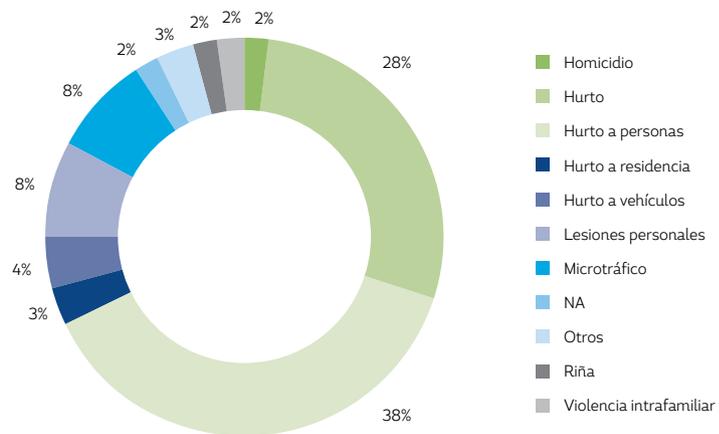
Fuente: Cálculos de los autores

Figura 3: Red B



Fuente: Cálculos de los autores

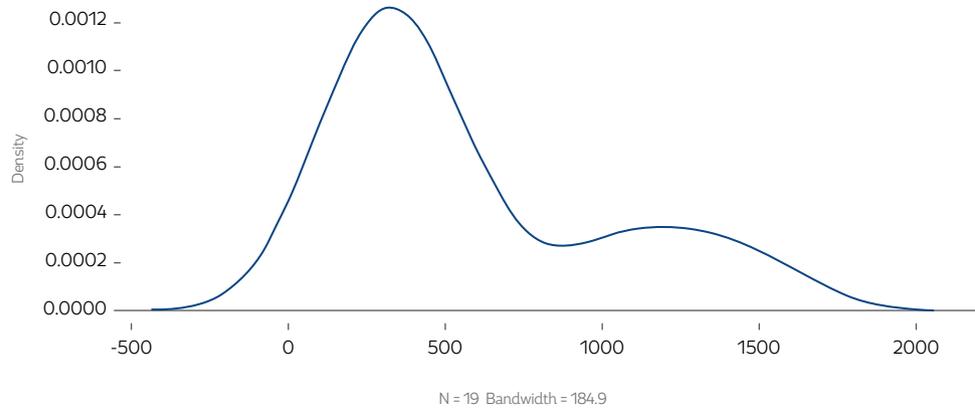
Figura 4: Crimen más común, según el sondeo de opinión



Fuente: Cálculos de los autores

Figura 5: Densidad hurto a personas 2013

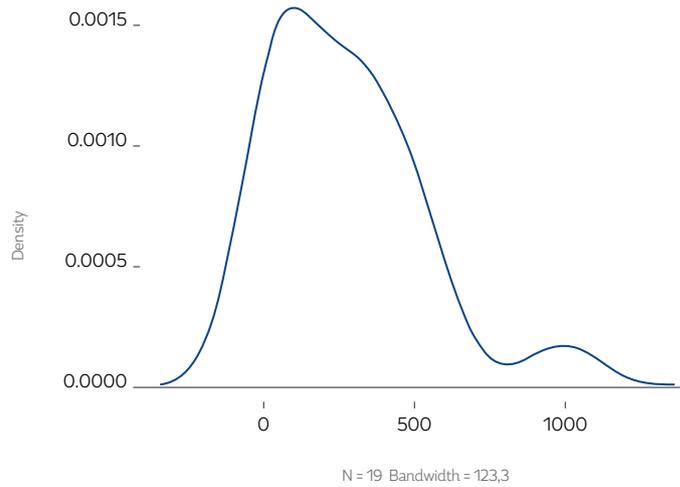
FUNCIÓN DE DENSIDAD DE LOS HURTOS A PERSONAS EN 2013



Fuente: Cálculos de los autores

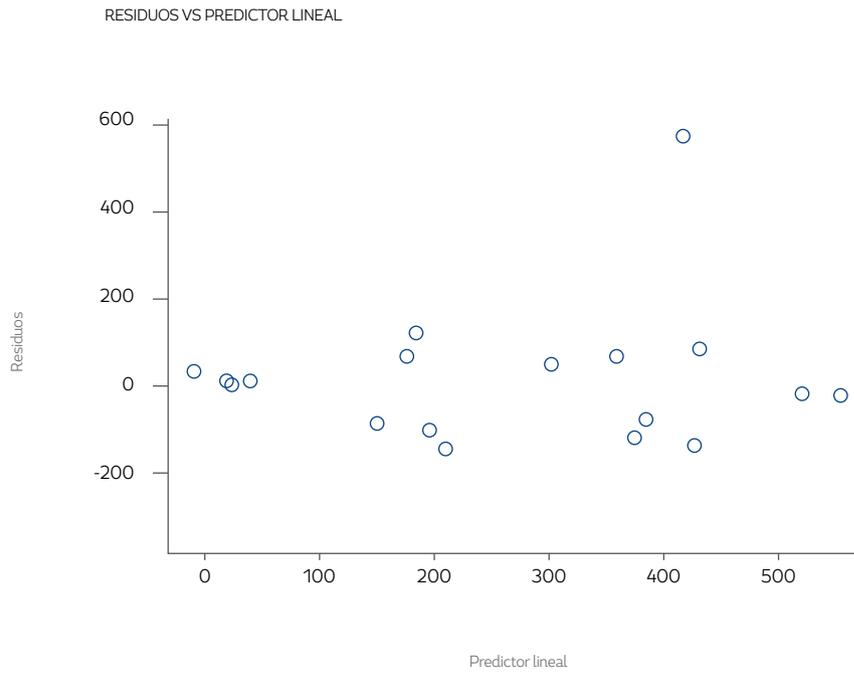
Figura 6: Densidad tasa de hurto a personas 2013

FUNCIÓN DE DENSIDAD DE LA TASA DE HURTOS A PERSONAS EN 2013



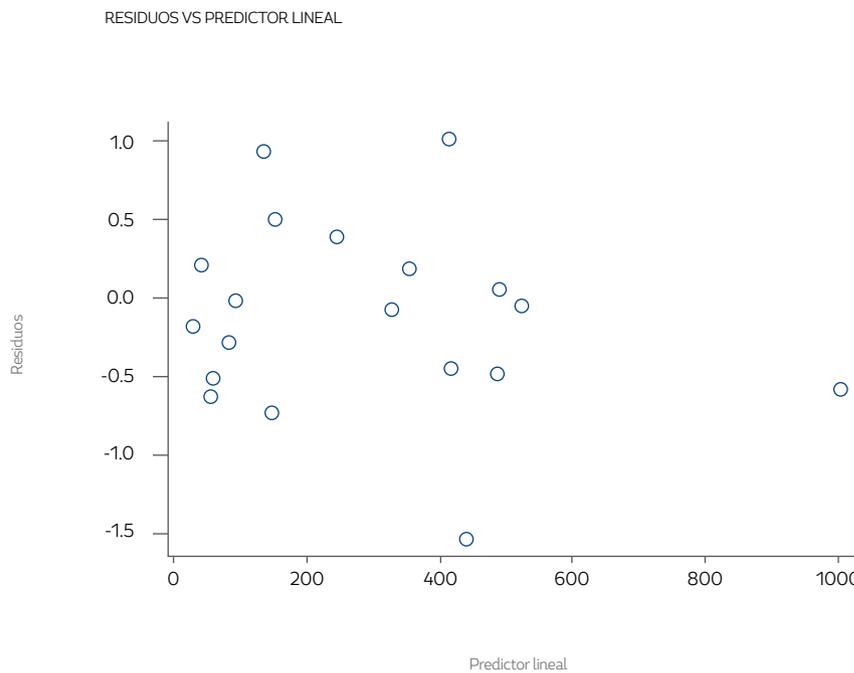
Fuente: Cálculos de los autores

Figura 7: Residuos de la deviance vs predictor lineal en el modelo Normal para tasa de hurtos, bajo la red A



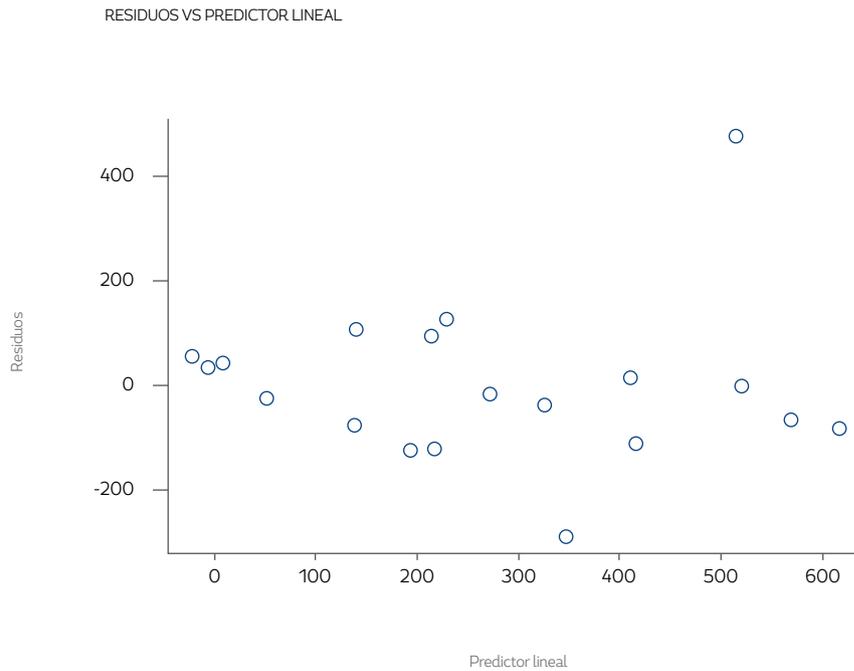
Fuente: Cálculos de los autores

Figura 8: Residuos de la deviance vs predictor lineal en el modelo Gamma para tasa de hurtos, bajo la red A



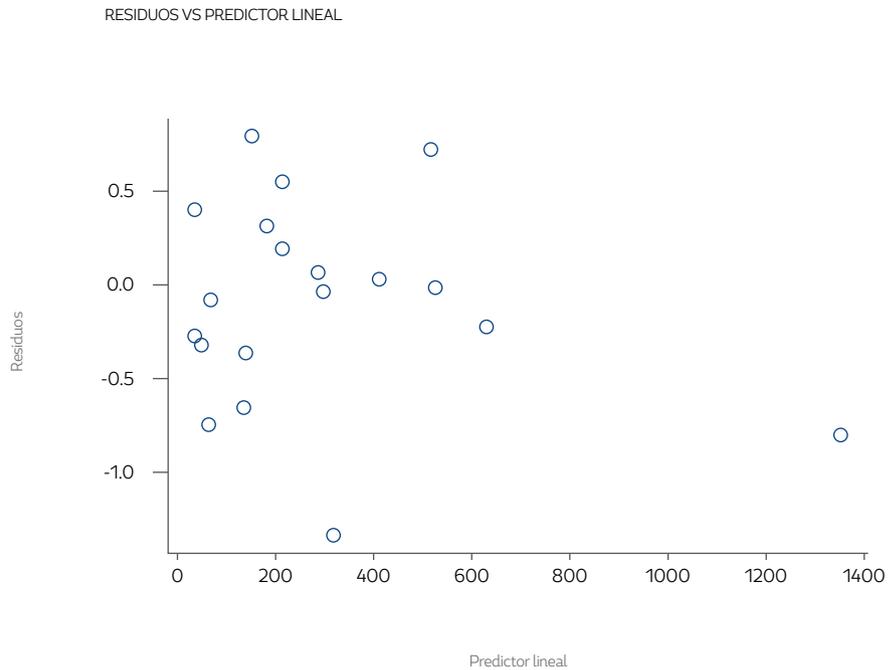
Fuente: Cálculos de los autores

Figura 9: Residuos de la deviance vs predictor lineal en el modelo Normal para tasa de hurtos, bajo la red B



Fuente: Cálculos de los autores

Figura 10: Residuos de la deviance vs predictor lineal en el modelo Gamma para hurtos, bajo la red B



Fuente: Cálculos de los autores

UN ÍNDICE ÚNICO DE BANCARIZACIÓN
CON DATOS GEORREFERENCIADOS CON
UNA APLICACIÓN PARA LA ARGENTINA

A new index of banking
coverage created from
georeferenced data, with an
application for Argentina

Fernando García

Research Article

UN ÍNDICE ÚNICO DE BANCARIZACIÓN CON DATOS GEORREFERENCIADOS CON UNA APLICACIÓN PARA LA ARGENTINA

A new index of banking coverage created from georeferenced data, with an application for Argentina

Fernando García^a

Palabras clave: Índice de bancarización, Datos georreferenciados, MULTISPATI, Argentina.

Key words: Banking services index, Georeferenced data, MULTISPATI, Argentina.

JEL Classification: G20; C21; R12

Received: 05/08/2017

Accepted: 24/10/2017

Published: 1/12/2017

Resumen

Este trabajo construye un Índice de Bancarización (IB) usando información georreferenciada de la zona central de la Argentina a partir de las dos primeras componentes principales obtenidas aplicando la metodología MULTISPATI que permite una mejor visualización de la variabilidad espacial. A pesar de observar un peso relativo similar de los indicadores parciales utilizados para medir las dimensiones de análisis de la bancarización sobre la primera componente, no sucede lo mismo sobre la segunda donde se detectan diferencias. El IB revela un nivel de bancarización heterogéneo dentro del área central de Argentina.

Abstract

This paper constructs a Banking Index (BI) of geographic coverage and applies it to the central area of Argentina. The Index is created using georeferenced data from the first two principal components obtained applying MULTISPATI methodology, which facilitates visualization of the spatial distribution of coverage. Although the relative weights are similar for the partial indicators used to measure the first component of the Banking Index, some differences are detected in the weights for the second component. The BI reveals a heterogeneous level of banking coverage within the central area of Argentina.

Introducción

La bancarización resulta importante en tanto constituye un motor para el desarrollo económico y social de un país o región al favorecer la disponibilidad de servicios financieros para la población y las empresas y el nivel de acceso y utilización de tales servicios por parte de los distintos agentes económicos ([Grupo de Monitoreo Macro-](#)

a. Facultad de Ciencias Económicas -
Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
fgarcia.unc@gmail.com

[económico \(GMM, 2011\)](#). En consecuencia, una adecuada medición del nivel y grado de disponibilidad y utilización de los servicios bancarios resulta indispensable, pues permite conocer la situación real de cada economía y facilita el diseño de medidas de política apropiadas que promuevan una mejor bancarización.

No por casualidad, la bancarización y la inclusión financiera se han convertido, en los últimos años, en objetivos importantes en todos los países y en particular en la Argentina. En este sentido, se puede mencionar, como una de las iniciativas más recientes del Banco Central de la República Argentina (BCRA), la puesta en marcha del Plan Nacional de Bancarización Inclusiva 2015-2019, el cual contempla un conjunto de acciones y medidas tendientes a garantizar una mayor inclusión financiera en el país. En clara consonancia con este cometido, una medición adecuada de la evolución del proceso de bancarización a través de un Índice de Bancarización (IB) resulta clave en tanto facilita la comprensión de la bancarización y contribuye a que exista un reconocimiento respecto a su trascendencia como elemento que puede apoyar al crecimiento y desarrollo económico.

Más allá de las características propias que le caben a la Argentina en lo que a bancarización se refiere, despierta particular interés el caso de las provincias de Córdoba, Entre Ríos y Santa Fe, las que integran la denominada Región Centro¹. Situada en el centro de la Argentina, la Región Centro posee una ubicación estratégica inmejorable para la conexión interna regional, nacional y de integración con los países del Mercado Común del Sur (MERCOSUR). Su economía es diversificada, con una producción de bienes primarios e industriales y de servicios de gran variedad, la cual tiene una importancia clave para el desarrollo socio-económico del país. La región genera algo más del 20% del Producto Bruto Geográfico (PBG) argentino, ubicándose en segundo lugar luego de la región de Buenos Aires que concentra 55,5% del PBG. Desde el punto de vista de los servicios financieros, es de destacar que la región es la segunda en importancia, casi en un correlato directo con la participación en el PBG, en relación a la presencia de infraestructura bancaria. En efecto, información provista por el BCRA para el año 2015 da cuenta que el número de sucursales bancarias para la región comprende 23,9% y 21,5% del total de sucursales y cajeros automáticos existentes en el país respectivamente; aunque esta misma información permite inferir que la distribución y propiedad tanto de sucursales como cajeros dista de ser uniforme.

Bajo los preceptos anteriores, este trabajo plantea la construcción de un IB para la Región Centro de la Argentina para el año 2010, usando información georreferenciada a nivel departamental y aplicando la metodología MULTISPATI.

El resto del trabajo se organiza como sigue. En la sección 2 se revisan las principales contribuciones en torno a la bancarización y a las aproximaciones empíricas que tratan de medirla. En la sección 3 se presenta la metodología estadística propuesta para la construcción del IB. En la sección 4 se presenta el IB construido a nivel departamental. Por último, en la sección 5 se ensayan algunos comentarios finales.

1. Revisión bibliográfica

Existe una amplia literatura empírica que analiza la bancarización. Entre los trabajos pioneros, pueden mencionarse a [Jacobs \(1965\)](#) y [Lanzilotti y Saving \(1969\)](#), cuyas investigaciones se han focalizado en

1 La Región Centro se constituye a partir de la suscripción de tres acuerdos: el Tratado de Integración Regional (1998), el Acta de Integración de Entre Ríos (1999) y el Protocolo de Córdoba (2004), firmados todos en el marco de las facultades otorgadas a las provincias por la Constitución Nacional (Art. 124).

los efectos de la desregulación en los Estados Unidos sobre la accesibilidad a los servicios bancarios. En esta misma línea se inscriben los trabajos de [Savage y Humphrey \(1979\)](#), [Seaver y Fraser \(1979, 1983\)](#) y [Evanoff \(1988\)](#), quienes aunque utilizando las mismas metodologías, sugieren algunos cambios tanto en la definición de la variable utilizada para medir la accesibilidad a los servicios bancarios como en la unidad geográfica de análisis.

En términos generales, sin embargo, la literatura ha abordado el fenómeno de la bancarización a través de estudios que buscan analizar los determinantes de la misma. En el caso de América Latina, en particular cabe mencionar los estudios para Brasil, Colombia y México. Para el primero de los países mencionados, [Kumar \(2005\)](#) utilizando datos a nivel de municipios, analiza los determinantes del acceso a los servicios financieros, empleando como indicadores, la presencia de sucursales, la densidad de sucursales, y el valor de los depósitos y préstamos en relación al PIB. Para la modelación de tales indicadores usan modelos Probit y Tobit, y encuentran una buena performance estadística para las variables socio-económicas ingreso per cápita (asociación positiva) y densidad de población y población rural (asociación negativa); con un efecto diferencial para la banca pública y privada.

Para el caso de Colombia, [Medina y Nuñez \(2006\)](#), usando modelos Logit y Poisson para la presencia y número de sucursales bancarias, respectivamente, muestran que el número de sucursales por sector censal es creciente con la seguridad del sector, la infraestructura en salud y el porcentaje del sector ocupado por comercio, mientras resulta decreciente en el porcentaje del sector ocupado por la industria, la densidad de población y la tasa de desempleo.

Por último, [Castellanos et al. \(2009\)](#) analizan el sector bancario de México, utilizando modelos de regresión Probit y Lineal, respectivamente, para explicar la presencia, y el número de sucursales y cajeros automáticos. Encuentran una mayor cobertura en las regiones más pobladas y con mayores niveles de ingreso, educación y actividad económica formal (particularmente para bancos grandes). Encuentran, también, una relación inversa entre la instalación de sucursales y el costo de transporte al municipio con sucursales más cercano.

En el caso argentino, a pesar de la importancia del fenómeno y de su impacto sobre la economía, la literatura es aun relativamente novel. Al respecto, corresponde mencionar el trabajo de [Anastasi et al. \(2010\)](#), quienes manifiestan que, en ausencia de datos específicos sobre bancarización provenientes de encuestas que permitan cuantificar el nivel de acceso y utilización real de los servicios bancarios, la disponibilidad de agencias bancarias (sucursales y cajeros automáticos) y el nivel de depósitos y préstamos, como indicadores alternativos, constituyen una aproximación razonable. El estudio encontró una correlación significativa con la cantidad de habitantes y la situación socioeconómica de la localidad (índice de calidad de la vivienda, nivel de instrucción, desocupación), la superficie del departamento y el nivel de actividad económica y ambiente de negocios de la provincia. Estos determinantes difieren según si la entidad es pública, privada nacional o extranjera, reflejando el diferente perfil de negocios.

Sin embargo, si bien es vasta la literatura empírica que estudia la bancarización, son prácticamente nulos los trabajos que se han dedicado a la construcción de un indicador de bancarización. El antecedente más importante como sugerencia hacia un avance en este sentido lo constituye el documento del [GMM \(2011\)](#), el cual propone un indicador compuesto de bancarización para los países miembros del MERCOSUR. Este trabajo presenta dos metodologías para la construcción del indicador: el Análisis de Componentes Principales (PCA, son sus siglas en inglés) y Doing Business Adaptada; aunque utiliza esta última debido a que decide otorgar una misma ponderación a cada una de las dimensiones

consideradas para explicar el fenómeno de la bancarización². El indicador construido tiene la ventaja de la sencillez, sin perder un rigor teórico y conceptual. Igualmente, permite el análisis para la región en su conjunto y para cada uno de los países. No obstante, una limitación o particularidad se refiere a que constituye un indicador de medidas globales cuya unidad de medida se refiere al país en su conjunto, cuando puede que en ciertos casos sea deseable una mayor desagregación a nivel de provincias o departamentos. Este tipo de restricción implica que cierta información es perdida en la agregación y diferencias regionales y entre las ciudades no pueden ser capturadas.

Aunque interesante, en tanto ambas propuestas posibilitan una medición del fenómeno de manera global y sintética, podría verse afectada tal medición por los patrones espaciales subyacentes en los datos que resultan ignorados por ambas. Es decir, las dos metodologías pasan por alto la dimensión espacial del fenómeno, no resultando posible encontrar un estudio que incorpore este aspecto. En este sentido, este trabajo constituye un aporte metodológico significativo en tanto introduce en la construcción del IB la restricción dada por los datos georreferenciados.

2. Metodología

Para la construcción del IB, se considera como punto de partida el PCA³. La utilización de esta metodología se ha extendido especialmente en aquellos casos donde no existe un consenso entre los expertos sobre la importancia relativa de las variables, debido a que internamente proporciona un mayor peso a las variables más altamente correlacionadas con el conjunto de variables restantes en el sistema ([Domínguez et al., 2011](#)). La elección del PCA fue motivada, adicionalmente, por la posibilidad de incorporar información espacial en la construcción de dicho indicador constituyendo de esta manera, una propuesta original para la medición del nivel de bancarización.

Cuando los datos están georreferenciados, es decir asociados con una localización geográfica, es importante remarcar que la estructura de co-variación reflejada por un análisis multivariado clásico (PCA en este trabajo) puede verse afectada por los patrones espaciales subyacentes en los datos⁴. La incorporación de la información geográfica puede realizarse a posteriori del PCA mediante la asignación de los valores de las componentes a cada uno de los sitios georreferenciados o ajustando semivariogramas (Schabenberger y Pierce, 2002). La presencia de autocorrelación espacial en las Componentes Principales (CPs), también se puede detectar utilizando el estadístico I de Moran ([Moran, 1950](#)) o el C de Geary ([Geary, 1954](#)).

[Dray et al. \(2011\)](#), proponen un método de análisis multivariado que incorpora la información espacial previo al análisis multivariado, conocido como MULTISPATI. Constituye una extensión del PCA a

2 Los indicadores de *Doing Business* son construidos a partir de la creación de escenarios estandarizados de acuerdo a supuestos específicos. Estos escenarios estandarizados son utilizados como *benchmarks* para medir cada uno de los indicadores considerados y contrastarlos con las condiciones reales de cada una de las economías analizadas en el estudio. Para mayores detalles sobre esta metodología, se puede consultar Djankov et al. (2005).

3 El PCA es una técnica estadística multivariada que permite identificar las variables que explican la mayor parte de la variabilidad total contenida en los datos, explorar las correlaciones entre variables y reducir la dimensión del análisis con la menor pérdida de información posible, al combinar todas las variables en nuevos índices (variables sintéticas). Cada una de estas nuevas variables constituye una componente principal (Peña, 2002). Estas componentes son combinaciones lineales ortogonales (independientes) de las variables originales y se espera que solo unas pocas (las primeras) recojan la mayor parte de la variabilidad de los datos, obteniéndose una reducción de la dimensión en los mismos.

4 La georreferenciación es la técnica de posicionamiento espacial de una entidad en una localización geográfica única y bien definida en un sistema de coordenadas y *datum* específicos. La descarga de geodatos se hizo del sitio web del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Los datos se encuentran referenciados en coordenadas geográficas, utilizando el Sistema de Referencia WGS 84 y el Marco de Referencia POSGAR 07.

datos espaciales, es decir se basa en el PCA pero incorpora la restricción dada por los datos espaciales mediante el cálculo del índice de Moran para medir la autocorrelación espacial entre las observaciones, para lo cual es necesario definir una matriz de pesos espaciales denominada W^5 . MULTISPATI maximiza el producto entre la varianza y la autocorrelación espacial de las CPs, mientras que PCA maximiza sólo la varianza.

En este estudio se ha considerado como unidad de análisis espacial el departamento. Si bien, según surge de la revisión bibliográfica, se recomienda trabajar con la menor unidad territorial ([Evanoff, 1988](#)), la decisión de trabajar a este nivel obedece a la no disponibilidad de datos a nivel de área de gobierno local para determinadas variables, tratándose en ambos casos de datos de área o *lattice* (unidades poligonales)⁶.

Yendo específicamente al cometido de este trabajo, en el proceso de construcción del IB se sigue a [Nardo et al. \(2008\)](#). El punto de partida de este procedimiento es la definición de un marco conceptual adecuado, que permitirá definir las dimensiones del fenómeno a estudiar. Siguiendo la propuesta del [GMM \(2011\)](#), se tienen en cuenta tres dimensiones de análisis: “Magnitudes Agregadas” (se consideran los aspectos macroeconómicos o medidas globales de bancarización, como elementos que dan una idea general del tamaño del sistema financiero), “Disponibilidad y Cobertura Geográfica” (para medir la capilaridad del sistema financiero a través de la existencia o no de sucursales y cajeros automáticos) y “Acceso y Utilización” (que permiten medir el grado de utilización de los servicios financieros)⁷.

Una vez definido el marco conceptual, se procede a la selección de los indicadores parciales que se utilizan para medir cada una de las dimensiones consideradas. Esta etapa constituye un primer proceso de validación de la utilidad de los indicadores seleccionados, ya que supone verificar su pertinencia para estimar el comportamiento de las dimensiones elegidas para su estudio.

En este trabajo, se utilizan los indicadores sintéticos propuestos por el GMM para la construcción del Indicador Único de Bancarización MERCOSUR. El primer grupo de indicadores considerado se refiere a aquellos que capturan la bancarización desde el punto de vista de las “Magnitudes Agregadas”. Aunque los indicadores propuestos son los Depósitos del Sector Privado como proporción del PIB y los Créditos al Sector Privado como proporción del PIB, debido a que no está disponible el PIB desagregado a nivel departamental (a excepción de la Provincia de Córdoba), se adoptó una definición alternativa del indicador (también sugerida por GMM): el Saldo de Depósitos [DEPPOB] y Préstamos [PREPOB] al Sector Privado en referencia a la Población total⁸.

5 Este análisis permite estudiar las relaciones entre las variables medidas (análisis co-variabilidad) y, al mismo tiempo, la estructura espacial (autocorrelación).

6 Existen diferentes tipos de datos georreferenciados. Este trabajo se enfoca en el estudio de variables distribuidas en un espacio discreto (polígonos irregulares) o *lattice data*.

7 Resulta pertinente aclarar que los indicadores usados para esta última dimensión, se refieren a la utilización y no al acceso, es decir constituyen aproximaciones a este último, dada la imposibilidad de disponer de datos de acceso a los servicios financieros propiamente dicho, los cuales podrían obtenerse solamente mediante encuestas. Asimismo, además de las dimensiones mencionadas, existen otros factores que limitan o restringen el nivel o grado de bancarización. Estos condicionamientos en muchos casos se refieren a aspectos legales, barreras culturales, tecnológicas y de costos de transacción que deberían ser considerados.

8 Si bien los indicadores de magnitudes agregadas también pueden ser vistos como indicadores de utilización, existe un consenso generalizado en considerarlos en una categoría separada, debido a su referencia al PIB. Por otra parte, en los indicadores de utilización y acceso se focaliza el análisis en las personas. De allí que debido a la definición alternativa utilizada, bien podría incluirse en la última dimensión de análisis.

Respecto a la “Disponibilidad y Cobertura Geográfica”, los indicadores propuestos capturan información sobre el número de sucursales y cajeros automáticos. Dentro de los indicadores que procuran medir la cobertura geográfica media o global de servicios financieros, se proponen el Número de Sucursales [SUCKM2] y Cajeros Automáticos [CAJKM2] por 1.000 kilómetros cuadrados. La disponibilidad media de tales servicios es capturada en cambio, a través del Número de Sucursales y Cajeros Automáticos cada 100.000 habitantes.

El último grupo de indicadores refiere a la “Utilización y Acceso” al sistema financiero. Los indicadores propuestos son el Número de Cuentas Bancarias, Tarjetas de Débito y Crédito cada 100.000 habitantes. Aunque dicha información está disponible, sólo es de acceso público agregada a nivel de país y no a nivel departamental; motivo por el cual no se utilizaron. En su lugar se utiliza la Proporción de Población con Cobertura de Servicios Bancarios [COB], es decir que vive en localidades que cuentan con infraestructura bancaria (presencia de sucursal y/o cajero) y la Proporción de localidades del departamento que cuenta con infraestructura bancaria [COBLOC]⁹.

Cabe aclarar que en el proceso de selección de los indicadores se han considerado también aspectos adicionales, los cuales refieren a que los mismos deben poder ser calculados regularmente, a partir de información proporcionada por una autoridad confiable, de acuerdo a estándares y que se encuentren disponibles para el público en general.

Dichos indicadores se construyeron a partir de información proporcionada por el BCRA y el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) correspondiente al año 2010. Si bien existen datos más actualizados correspondientes al saldo de Depósitos, y Préstamos al sector privado, Número de Sucursales y Cajeros Automáticos, la información más actualizada correspondiente a la Población a nivel de localidad y departamental corresponde al Censo 2010.

Como los indicadores seleccionados están medidos en distintas escalas, se hace necesario un proceso de normalización para que puedan ser agregados de manera comparable. Nardo *et al.* (2008) sugieren varios métodos. En este trabajo se considera el procedimiento de estandarización de los datos, el cual convierte el indicador a una escala común con media cero y varianza uno¹⁰.

[Domínguez *et al.* \(2011\)](#) hacen una revisión de la literatura existente distinguiendo distintas metodologías que resultan útiles para agregar la información disponible en una medida global única. En este trabajo, como se señaló anteriormente, se utiliza MULTISPATI. Es decir, el indicador sintético se define a partir de la agregación de los valores de las CPs seleccionadas. En este proceso de agregación (en algunos casos realizados a través de una suma ponderada) se utiliza como ponderación la cuantía de los valores propios asociados a cada componente.

$$Ind_i = \sum_{k=1}^m \lambda_k \cdot CP_{ik} \tag{1}$$

$$CP_{ik} = \sum_{j=1}^p a_{jk} \cdot Z_{ij}$$

9 Si bien estos indicadores son sugeridos por GMM (2011), no fueron utilizados en la construcción del indicador de bancarización para el Mercosur debido a que no estaban disponibles para todos los países que compara en el estudio.

10 Este procedimiento está implícito cuando se aplica PCA y se trabaja a partir de la matriz de correlación de los datos.

donde Ind_i es el valor del indicador para la i -ésima unidad de análisis (departamento en esta aplicación), λ_k es el autovalor asociado a la k -ésima CP, CP_{ik} es el valor de la k -ésima CP para la i -ésima unidad, m es el número de CP retenidas, α_{jk} es el factor de peso correspondiente a la j -ésima variable en la k -ésima CP y Z_{ij} es el valor estandarizado de la j -ésima variable para la i -ésima unidad.

Finalmente se decidió transformar el valor del indicador a una escala [0-100] para facilitar su interpretación.

$$IB_i = \frac{Ind_i - \min(Ind_i)}{\max(Ind_i) - \min(Ind_i)} \cdot 100 \quad (2)$$

3. Resultados

El análisis descriptivo previo de los indicadores parciales permitió detectar la presencia de un sesgo muy marcado y de valores atípicos en los indicadores Número de Sucursales y Cajeros Automáticos cada 1.000 kilómetros cuadrados, por lo que su inclusión en el análisis podría introducir distorsiones en la construcción del IB. Por tal motivo se decidió realizar una transformación logarítmica a tales indicadores ([LNSUCKM2] y [LNCAJKM2] respectivamente).

A modo ilustrativo, la [Tabla 1](#) muestra los estadísticos descriptivos de los indicadores parciales utilizados en la construcción del IB, calculados para el año 2010. Las variables PREPOB y DEPOB exhiben una dispersión relativa similar aunque DEPOB presenta un valor medio superior. En relación a las variables LNSUCKM2 y LNCAJKM2, se observa que la transformación permitió reducir notablemente el sesgo de las distribuciones, aunque se destaca la gran dispersión relativa de ambas. Las variables SUCPOB y CAJPOB exhiben una dispersión relativa similar aunque se destaca la mayor disponibilidad media de servicios financieros a través de cajeros respecto a sucursales. En relación a los indicadores COB Y COBLOC, se observa una elevada cobertura global de servicios aunque resulta significativamente menor si se considera el porcentaje de localidades con cobertura de servicios financieros.

Tabla 1. Descriptivas de los Indicadores Parciales de Bancarización

Indicador	Media	Coefficiente Variación (%)	Mínimo	Percentil 25	Percentil 50	Percentil 75	Máximo
[DEPOB]	2,77	57,9	0,52	1,47	2,18	4,13	6,23
[PREPOB]	2,19	57,2	0,49	1,07	2,03	3,12	4,66
[LNSUCKM2]	0,47	287,7	-2,32	-0,52	0,43	1,31	5,26
[LNCAJKM2]	1,01	164,9	-2,32	-0,04	1,12	1,89	6,94
[SUCPOB]	14,41	49,7	4,79	8,24	13,43	19,49	37,59
[CAJPOB]	24,08	41,3	6,46	17,6	22,98	29,72	53,26
[COB]	81,26	18,2	32,12	75,2	85,2	91,72	100,00
[COBLOC]	37,81	56,2	11,11	22,44	29,45	54,91	100,00

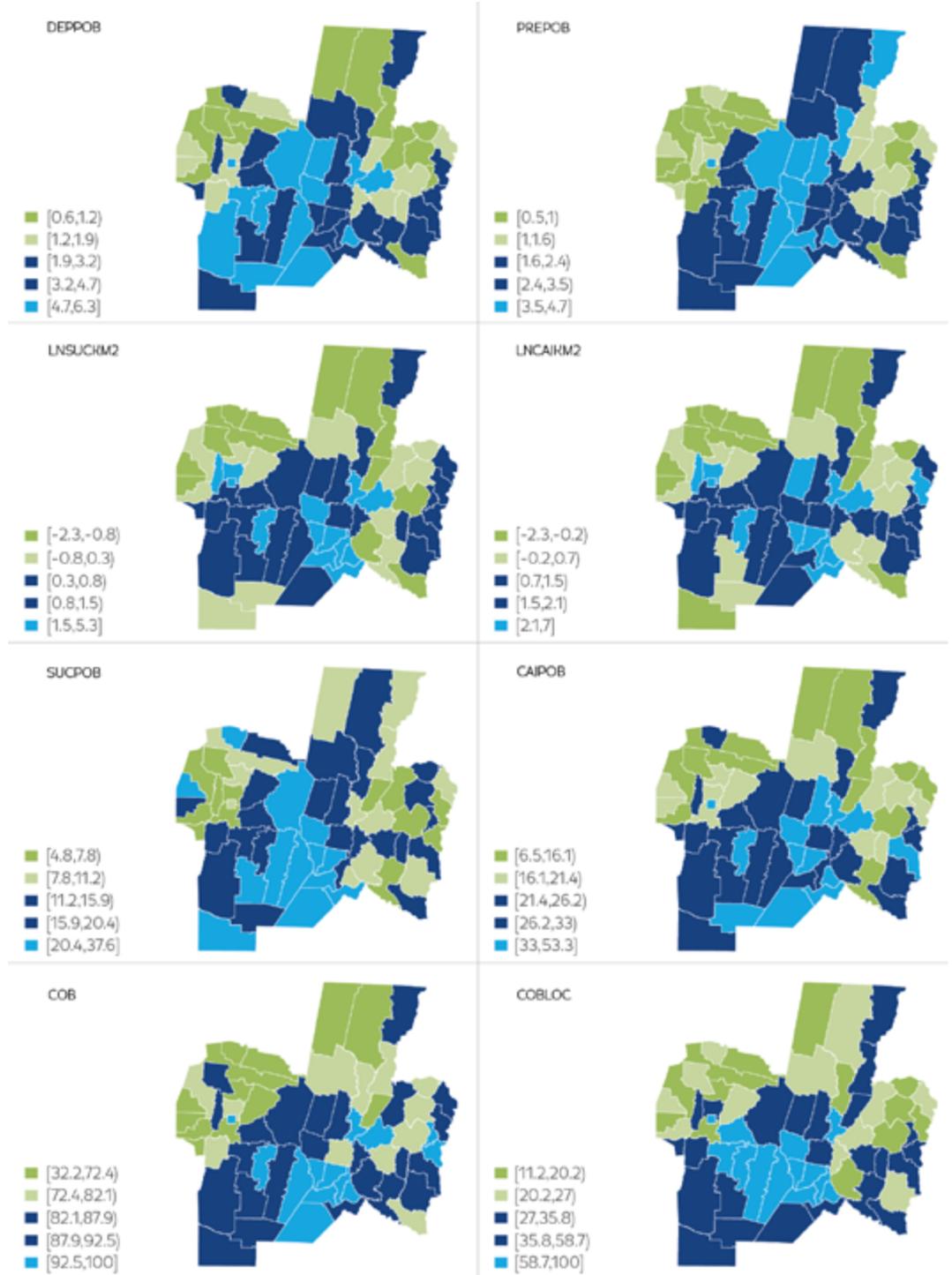
Fuente: Elaboración propia.

En forma complementaria, el [Gráfico 1](#) permite, a través de mapas de coropletas, visualizar el comportamiento de dichos indicadores. Estos mapas exhiben la distribución espacial de los indicadores parciales mediante diferentes tonalidades¹¹. Si bien la observación de los mapas permite captar de forma

11 El mapa constituye un elemento central dentro del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) que permite explorar los datos espaciales, detectar patrones y formular hipótesis que se refieren a la presencia de fenómenos espaciales dentro de los datos e identificar casos atípicos dada su localización en el mapa, entre otros (Acevedo y Velásquez, 2008).

intuitiva la existencia de patrones espaciales, resulta fundamental contar con criterios estadísticos objetivos, el estadístico I de Moran en nuestro caso, capaces de detectar la presencia significativa de autocorrelación espacial¹².

Gráfico 1. Distribución espacial de los Indicadores Parciales de Bancarización



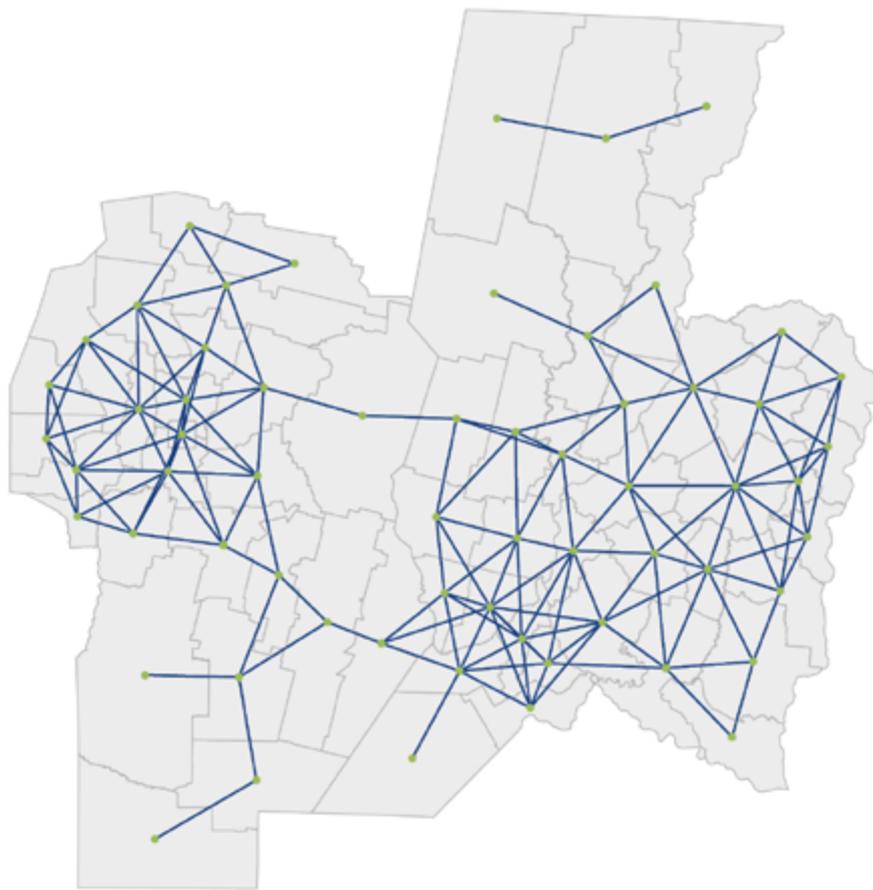
Fuente: Elaboración propia.

12 Estos criterios estadísticos contrastan la hipótesis de que una variable se encuentre distribuida aleatoriamente o, si por el contrario, existe algún tipo de asociación significativa de valores similares o distintos en regiones vecinas.

Posteriormente, se procedió a su agregación en un solo indicador global, aplicando PCA. Debido a que las variables originales están en distintas unidades y presentan distintas escalas de medida se decidió trabajar con la matriz de correlaciones (Peña, 2002). Se seleccionaron dos CPs, siguiendo la regla de conservar aquellas CPs con valor propio mayor a la unidad, debido a que se trabaja con la matriz de correlación¹³.

Para el cálculo del Índice de Moran se utilizó la matriz de pesos espaciales W . Para su construcción se consideró un criterio combinado de distancia y contigüidad y para ello se usó un umbral que permite reducir la conectividad entre todas las regiones y que pondera por la inversa de la distancia a las regiones vecinas siendo el promedio de vecinos similar al obtenido por contigüidad. En particular, se utiliza como punto de referencia al centroide de cada departamento y considera vecinos aquellos departamentos ubicados a menos de 104 km^{14} . En el Gráfico 2 se muestra el mapa de contactos o vecindad de acuerdo al criterio utilizado.

Gráfico 2. Región Centro: Mapa de vecindad



Fuente: Elaboración propia.

13 Esta regla coincide con el criterio de recoger unas pocas componentes que permitan explicar la mayor parte de la variabilidad de los datos (Peña op. cit.).

14 En esta aplicación, este umbral coincide con la mínima distancia que garantiza que todos los departamentos tengan al menos un vecino. Adicionalmente, se decidió trabajar con una transformación de dicha matriz (normalización por fila) ya que permite mejorar las propiedades estadísticas de los estimadores y sus estadísticos (Herrera et al., 2012).

En las [Tablas 2 y 3](#) se presentan las varianzas y los coeficientes de autocorrelación espacial (Índice de Moran) para las dos primeras CPs generadas a partir de PCA y MULTISPATI, respectivamente.

Tabla 2 Análisis de Componentes Principales

Componente	Autovalores (varianza)	Proporción (varianza)	Proporción acumulada	Índice de Moran
1	5,277	0,660	0,660	0,529 ***
2	1,273	0,159	0,819	0,404 ***

Nota: (***) significativo al 1%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Análisis de Componentes Principales Espaciales

Componente	Autovalores	Varianza espacial	Proporción (varianza espacial)	Proporción acumulada	Índice de Moran
1	2,861	5,158	0,645	0,645	0,555 ***
2	0,531	1,236	0,154	0,799	0,430 ***

Nota: (***) significativo al 1%

Fuente: Elaboración propia Fuente: Elaboración propia.

En el PCA se observa que las dos primeras CPs explican 81,9% de la variabilidad. Debido a que existe una alta correlación positiva entre todos los indicadores parciales, la primera componente tiene todos sus elementos (factores de peso) del mismo signo y puede interpretarse como un promedio ponderado de dichos indicadores. Siguiendo a Peña op. cit. se puede interpretar como un factor global del “tamaño”, en nuestra aplicación, de la bancarización. La segunda componente, es considerada un factor de “forma” y tiene coordenadas positivas y negativas, que implica que contraponen unos grupos de variables frente a otros. Esta componente es dominada por el indicador SUCPOB (con efecto positivo) y LNCAJKM2 (con efecto negativo).

La disponibilidad de datos georreferenciados motivó la aplicación de técnicas que incorporen la información espacial, lo cual se logró mediante la implementación de la metodología MULTISPATI. De hecho, la presencia de autocorrelación espacial significativa en los indicadores parciales utilizados confirmó la existencia de una estructura espacial. Para ello se introdujo la matriz de pesos espaciales W en el PCA de la matriz de datos originales, permitiendo estudiar las relaciones entre las variables medidas y, al mismo tiempo, la estructura espacial.

Los resultados muestran que si bien las CPs que obtiene el PCA espacial explican una menor proporción de la varianza acumulada en los dos primeros ejes o CPs, en esta aplicación, respecto de PCA (79,9% vs. 81,9%), la variabilidad que explican es aquella con mayor estructura espacial. Esto puede observarse mediante los valores del índice de Moran calculados para las dos primeras CPs, los cuales sugieren que la estimación de autocorrelación espacial aumentó cuando se usó MULTISPATI respecto de la contenida en las CPs del PCA, en el caso del eje 1 (0,529 vs. 0,555), que es el que explica la mayor parte de la variabilidad total, al igual que para el eje 2 (0,404 vs. 0,430). Este resultado permitiría una visualización mejor de la variabilidad espacial y corroborar que PCA espacial resulta más adecuado, en nuestra aplicación, en relación a PCA.

Los indicadores parciales en la primera componente tienen un peso similar y resultan levemente diferentes a los obtenidos con PCA. Se observa un mayor peso del indicador de disponibilidad media

de servicios a través de sucursales [SUCPOB] y menor incidencia de la cobertura geográfica media tanto de sucursales como cajeros (LNSUCKM2 y LNCAJKM2). Sobre la segunda componente se detecta un peso dominante de los indicadores de disponibilidad y cobertura geográfica, aunque menor respecto a PCA, que se compensa con el mayor peso de los indicadores de magnitudes agregadas (DEPPOB y PREPOB). En forma similar a PCA, se contraponen SUCPOB (con efecto positivo) versus LNSUCKM2 y LNCAJKM2 (con efecto negativo).

De esta manera, sería recomendable avanzar en la construcción del IB a partir de las CPs obtenidas a través de MULTISPATI. De acuerdo a lo establecido en la sección anterior se definió el indicador sintético a partir de la agregación (a través de una suma ponderada) de los valores de las dos primeras CPs espaciales. En este proceso se utilizaron como ponderación los valores propios asociados a cada componente.

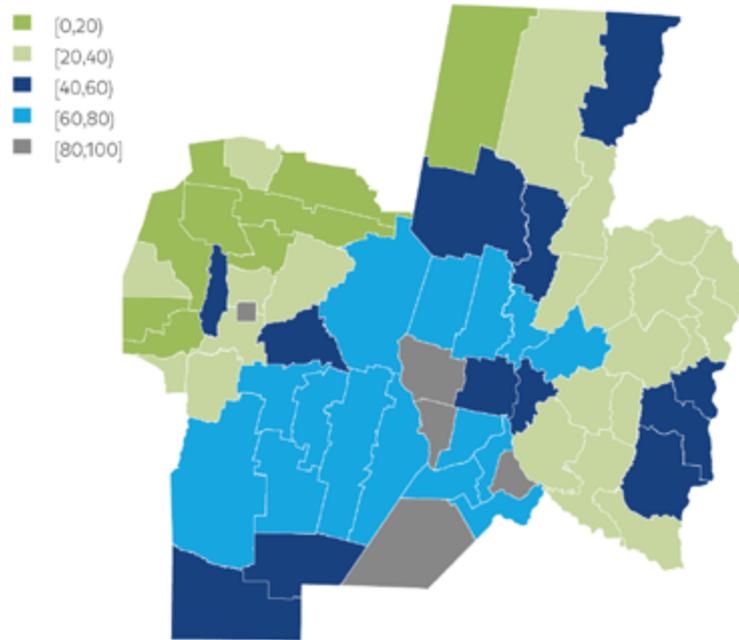
$$Ind_i = \lambda_1 \cdot CP_{i1} + \lambda_2 \cdot CP_{i2} = \lambda_1 \cdot \sum_{j=1}^8 \alpha_{j1} \cdot Z_{ij} + \lambda_2 \cdot \sum_{j=1}^8 \alpha_{j2} \cdot Z_{ij}, \quad (3)$$

donde Ind_i es el valor del indicador para la i -ésimo departamento, λ_1 y λ_2 son los autovalores asociados a la CP_1 y CP_2 respectivamente, α_{j1} y α_{j2} son los factores de peso correspondiente a la j -ésima variable en la CP_1 y CP_2 respectivamente y Z_{ij} es el valor estandarizado de la j -ésima variable para el i -ésimo departamento. Finalmente se transformó el valor del indicador a una escala [0-100].

El Gráfico 3 muestra la distribución espacial del IB departamental para la Región Centro para el año 2010 generado a partir de PCA espacial. A efectos de definir el nivel de bancarización se consideraron los siguientes intervalos: [0,20) Bajo, [20,40) Medio-Bajo, [40,60) Medio, [60,80) Medio-Alto y [80,100] Alto. Según se puede observar sólo para tres departamentos la clasificación según la escala anterior comparando PCA y PCA espacial no coincidió: Juárez Celman (Córdoba), Feliciano (Entre Ríos) y General López (Santa Fe), siendo en los tres casos el nivel de bancarización mayor teniendo en cuenta PCA espacial.

Del gráfico se infiere que la provincia de Santa Fe es la que presenta un mayor nivel de bancarización. Sólo 4 de los 19 departamentos poseen niveles Bajo y Medio-Bajo, perteneciendo el resto mayoritariamente al nivel Medio-Alto. Sigue en importancia la provincia de Córdoba, pero con un comportamiento más heterogéneo (mayor coeficiente de variación) que contrasta con el de la provincia de Entre Ríos, que aunque presenta un nivel de bancarización menor (mayoritariamente los departamentos pertenecen a la categoría Medio-Bajo), exhibe un comportamiento más homogéneo.

Gráfico 3. Región Centro: Índice de Bancarización – PCA espacial. Año 2010



Fuente: Elaboración propia.

Esta información puede complementarse con la [Tabla 4](#) que exhibe algunas medidas descriptivas calculadas para el IB obtenido a partir de PCA espacial para la región y discriminado por provincia, la que permite confirmar el ordenamiento realizado anteriormente.

Tabla 4. Índice de Bancarización PCA espacial

Provincia	Media	Coefficiente de Variación (%)
Córdoba	43,1	60,8
Entre Ríos	36,4	30,5
Santa Fe	59,7	40,8
Total	46,4	51,8

Fuente: Elaboración propia.

4. Comentarios finales

La bancarización y la inclusión financiera en los últimos años se han convertido en objetivos importantes a nivel internacional y en particular para la Argentina. En esta línea se puede mencionar una de las iniciativas más recientes del BCRA, la puesta en marcha el Plan Nacional de Bancarización Inclusiva 2015-2019, el cual contempla un conjunto de acciones y medidas tendientes a garantizar una mayor inclusión financiera en el país. En este sentido, una medición adecuada de la evolución del proceso de bancarización resulta clave en la búsqueda de la inclusión financiera.

Con esta premisa, este estudio elabora un IB para la Región Centro para el año 2010 considerando aspectos referentes a las diferentes dimensiones de análisis: Magnitudes Agregadas, Disponibilidad y Cobertura Geográfica y Acceso y Utilización. El IB facilita la comprensión de la bancarización y contribuye a que exista un reconocimiento respecto a su trascendencia como elemento que puede apoyar al crecimiento y desarrollo económico, al considerar la dimensión espacial de los datos.

Este trabajo constituye un aporte metodológico significativo en tanto introduce en la construcción del IB la restricción dada por los datos georreferenciados. La disponibilidad de estos datos motivó la aplicación de técnicas que incorporen la información espacial, lo cual se logró mediante la implementación de la metodología MULTISPATI. Los resultados obtenidos muestran que las dos primeras CPs explican 79,9% de la variabilidad total (aquella con mayor estructura espacial), por lo que el IB se construyó a partir de estas CPs.

Los indicadores parciales en la primera CP exhiben un peso similar, es decir que no se observa una mayor importancia relativa de las diferentes dimensiones de análisis. Sobre la segunda CP en cambio, se detecta un peso dominante de los indicadores de disponibilidad y cobertura geográfica, relegando a un segundo lugar los indicadores de magnitudes agregadas. Se destacan SUCPOB (con efecto positivo) que se contrapone a LNSUCKM2 y LNCAJKM2 (con efecto negativo).

La construcción del IB utilizando datos georreferenciados, resulta valioso en tanto permite la medición de manera global y sintética al incorporar la dimensión espacial de los datos. Así, facilita una visión general de la bancarización en la región Centro en su conjunto y en cada una de las provincias que la componen. Se destaca la provincia de Santa Fe, exhibiendo un mayor nivel de bancarización. Sigue en importancia la provincia de Córdoba, pero con un comportamiento más heterogéneo que contrasta con el de la provincia de Entre Ríos, que aunque presenta un nivel de bancarización menor exhibe un comportamiento más homogéneo.

Se considera que el IB propuesto es un elemento importante para sintetizar e interpretar la bancarización de manera sencilla y constituye un insumo valioso para facilitar la toma de decisiones tanto de los hacedores de política (en materia de política económica y financiera) como de las instituciones financieras.

Pese a las limitaciones del índice, vinculadas fundamentalmente a la imposibilidad de contar con datos de indicadores parciales que midan en forma más adecuada las dimensiones Magnitudes Agregadas y Acceso y Utilización, este indicador debería ser considerado como una primera aproximación a la medición de la bancarización regional y, acaso, como un trabajo en proceso.

Finalmente, debe remarcarse la utilidad de medir el indicador a nivel de un área geográfica menor (localidad), estando limitada por la dificultad, cuando no la imposibilidad, de obtener información que permita medir a ese nivel los indicadores parciales con los que se construye el IB.

Referencias

- Acevedo Bohórquez, I. y Velásquez Ceballos, E. (2008) "Algunos conceptos de la econometría espacial y el análisis exploratorio de datos espaciales", *Ecos de Economía*, 27: 9-34.
- Anastasi, A., E. Blanco, P. Elosegui y Sangiácomo, M. (2010). La bancarización y los determinantes de la disponibilidad de servicios bancarios en Argentina. *Ensayos Económicos. Banco Central de la República Argentina*, 60, 137-209.
- Banco Central de la República Argentina (2013). "Tabla SISCEN T0011 - Codificación de las unidades de servicios", disponible en: www.bkra.gov.ar/pdfs/estadistica/Tabt0011.xls.
- Banco Central de la República Argentina (2013). "Disponibilidades, Préstamos y Depósitos clasificados según la ubicación geográfica de la casa o sucursal de la entidad financiera", disponible en: www.bkra.gov.ar/pdfs/estadistica/locser.xls.
- Castellanos, S., V. Castellanos y B. Flores (2009). Factores de influencia en la localización regional de infraestructura bancaria. *Economía Mexicana XVIII*: 283-330.
- Djankov, S., D. Manraj, C. McLiesh y R. Ramalho (2005). *Doing Business Indicators: Why Aggregate, and How to Do It*. World Bank, Washington.
- Domínguez Serrano, M., Blancas Peral, F.J., Guerrero Casas, F.M., y González Lozano, M. (2011). Una revisión crítica para la construcción de indicadores sintéticos. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 11, 41-70.
- Dray, S. y Lombart, T. (2011). Revisiting Guerry's data: introducing spatial constraints in multivariate Analysis. *The Annals of Applied Statistics*, 5 (4), 2278-2299.
- Evanoff, D. (1988). Branch Banking and Service Accessibility. *Journal of Money, Credit and Banking*, 20: 191-202.
- Geary, R. C. (1954). The contiguity ratio and statistical mapping. *The Incorporated Statistician*, 5 (3), 115-145.
- Grupo de Monitoreo Macroeconómico (2011). *Indicadores de bancarización*, Buenos Aires.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2013). "Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, procesado con Redatam+SP", disponible en www.indec.gov.ar.
- Kumar, A. (2005). Access to Financial Services in Brazil. *Directions in Development*, The World Bank, Washington.
- Lanzillotti, R. y T. Saving (1969). State branching restrictions and the availability of branching services: Comment. *Journal of Money, Credit and Banking*, 1: 778-788.
- Medina, C. y J. Núñez (2006). La Oferta de Servicios del Sector Financiero Formal en Bogotá. Documento CEDE, Universidad de los Andes, Colombia.
- Moran, P. (1950). Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*, 37 (1), 17-23.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffmann, A., y Giovannini, E. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*, OECD Publishing.
- Peña, D., (2002), *Análisis de datos multivariantes*, Madrid, España, Mc Graw.
- Savage, D. y D. Humphrey (1979). Branching Laws and Banking Offices: Comment. *Journal of Money, Credit and Banking*, 11: 227-230.
- Seaver, W. y D. Fraser (1983). Branch Banking and the Availability of Banking Offices in Nonmetropolitan Areas. *Atlantic Economic Journal*, 11: 72-78.
- Seaver, W. y D. Fraser (1979). Banking and the availability of banking services in metropolitan areas. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 14: 153-160.

HOW CAN THE RISK FROM THE
MISMATCH BETWEEN INFLATION
RATES IN MORTGAGE AND LABOR
MARKETS BE MITIGATED?

¿Cómo se puede manejar
el riesgo asociado con
diferencias en tasas de
inflación en los mercados
de hipotecas y trabajo?

Damián Galinsky
Martín Grandes

Research Article

HOW CAN THE RISK FROM THE MISMATCH BETWEEN INFLATION RATES IN MORTGAGE AND LABOR MARKETS BE MITIGATED?

¿Cómo se puede manejar el riesgo asociado con diferencias en tasas de inflación en los mercados de hipotecas y trabajo?

Damián Galinsky^a, Martín Grandes^{b*}

Palabras clave: crédito, hipotecas, inflación, seguro, Swap

Keywords: credit; mortgages, inflation, insurance, Swap

JEL Classifications: G01, G21, R31

Received: 20-09- 2017

Accepted: 29-11- 2017

Published: 1-12- 2017

Resumen

Este trabajo propone el diseño de un instrumento financiero para mitigar el riesgo de descalce entre la inflación de precios y las variaciones de salarios cuando las deudas hipotecarias asumidas por agentes económicos cuyo ingreso es un salario están indexadas a dicha inflación y el mercado de crédito para vivienda se encuentra en una fase incipiente de su desarrollo. En particular, utilizando la experiencia argentina 2016-2017 y la evidencia empírica de las dos décadas precedentes, se plantean tres alternativas de un seguro/Swap que permitiría a los deudores limitar su exposición a la inflación.

Abstract

This paper proposes a financial instrument to mitigate the risk of a mismatch between inflation and wage variations that would affect the repayment of inflation-indexed mortgages in relatively high inflation economies, where housing finance is at an incipient phase of its development. In particular, using the Argentine experience in 2016-2017, and the empirical evidence of the two preceding decades, three Swap/insurance options are proposed and simulated that would allow the debtors to limit their exposure to inflation.

1 Introducción

El crédito hipotecario es un instrumento de inclusión social y financiera y una política que permite reducir el déficit habitacional, disminuir la desigualdad y consolidar o propulsar el surgimiento de una clase media que de otro modo no podría acceder a la posesión de una vivienda. Asimismo, la existencia de un mercado de hipotecas líquido impulsa el ahorro, la inversión privada en construcción y

a. Universidad Torcuato di Tella, Argentina.
dagalinsky@gmail.com

b*. Conicet-Universidad de Buenos Aires y Universidad Torcuato di Tella,
martingrandes@yahoo.fr. Dirección Postal:
Charcas 3760 1ro C, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

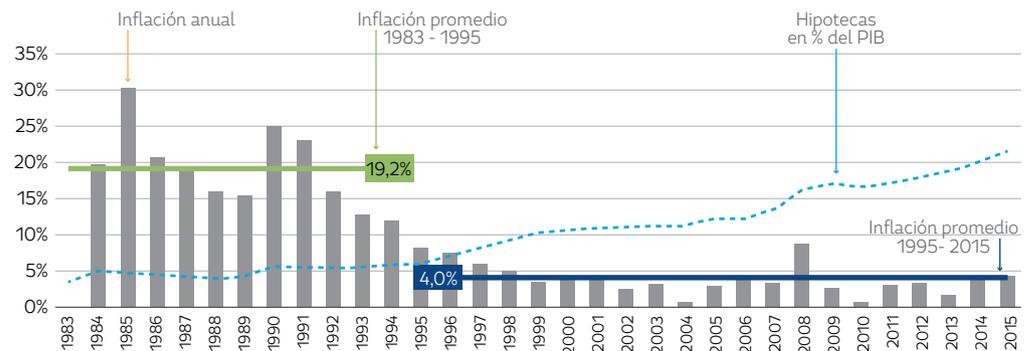
desarrollos inmobiliarios con la consecuente creación de empleo e incremento del crecimiento a largo plazo (Chiquier & Lea, 2009).

En Argentina, el crédito hipotecario se encuentra subdesarrollado en comparación con la mayoría de los países de América Latina. Mientras que a mayo de 2016 representó el 0,8% del PBI en Argentina, en 2015 el crédito hipotecario se situó en 21,6% del PBI en Chile, en 9,7% en Brasil, 5,0% en México y 4,0% en Uruguay¹. El déficit habitacional en Argentina se ha estimado entre un 25% y 30% de los hogares a 2016 de los que un tercio corresponde a la falta de acceso a la propiedad de una vivienda.

Una de las condiciones necesarias para el desarrollo de un mercado de hipotecas es la estabilidad de precios. Países con regímenes de alta inflación, mercados financieros subdesarrollados y volatilidad macroeconómica suelen tener escaso o nulo crédito hipotecario (y productivo de largo plazo, en general). Tal como muestra la experiencia de países como Chile (Gráfico 1), se espera que el mercado hipotecario comience a crecer sostenidamente con la reducción de la tasa de inflación. El gráfico 1 exhibe claramente como el volumen de hipotecas vigente en cada momento del tiempo, en relación al PBI, comenzó a crecer fuertemente cuando la inflación promedio se redujo de 19,2% a 4,0%, principalmente debido a la cautela de muchos deudores que no querían endeudarse en términos reales en un contexto de relativamente alta inflación.

Gráfico 1. Evolución del crédito hipotecario en Chile

Crédito Hipotecario e Inflación en Chile



Fuente: Moody's en base al Banco Central de Chile

Una política para incentivar el crédito hipotecario en países que se hallan en un sendero de desinflación y convergencia macroeconómica, es el otorgamiento de créditos en una moneda indexada a la inflación de precios minoristas o al costo de la construcción o una combinación de estas dos. Bajo este sistema, las cuotas iniciales pueden ser considerablemente menores a las de un préstamo con tasa fija en pesos —dada la alta inflación actual— y cercanas o menores al precio de un alquiler para una vivienda dada, ampliando el universo de posibles beneficiarios.

La implementación de una moneda indexada no es nueva. Tanto Chile con la Unidad de Fomento —UF— en los 80s, México con la Unidad de Inversión —UDI— en los 90s, Colombia con la Unidad de Valor Real —UVR— y más recientemente Uruguay con la Unidad Indexada —UI—, cuentan con monedas similares y experiencias generalmente exitosas. Argentina adoptó una moneda indexada, la UVA (Unidad de Valor Adquisitivo), en 2016 con el fin de fomentar el crédito y el ahorro en pesos a largo plazo.

¹ En base a [Moody's](#), "Inflation-adjusted mortgages will create a new asset class in Argentina", publicado el 28 de abril de 2016

Sin embargo, la moneda indexada puede traer aparejados ciertos riesgos durante la transición de un país a un régimen de inflación baja (i.e. 5% anual o menos). Uno de estos riesgos es el posible descalce entre la tasa de inflación y la tasa de variación de los salarios nominales durante la vida de los préstamos hipotecarios y/o hasta que la inflación descienda y se estabilice. Si bien el sistema argentino ofrece la posibilidad de extender el plazo original del préstamo (por única vez) para reducir las cuotas en el caso que la inflación supere a la variación salarial en un 10%, esto no soluciona el problema de fondo. En este trabajo discutimos y proponemos tres alternativas de seguro o “Swap” que mitigaría este riesgo y que podría ser emulada en otros países que pretendan impulsar el mercado de hipotecas a medida que la economía encuentra un piso de inflación de equilibrio. Cabe destacar que existe experiencia internacional exitosa en la implementación de seguros de inflación para créditos hipotecarios. Por ejemplo, en México se implementó un exitoso Swap entre la moneda indexada y el índice de salarios mínimos como se detalla en la Sección 2. No obstante, aquí se presentan dos soluciones alternativas y se testean las tres variantes utilizando datos históricos para las dos décadas recientes.

El Swap podría implementarse, de mínima, en los momentos iniciales de desarrollo del mercado hipotecario con alta inflación, en lo cual los agentes necesitan poder asegurarse frente al riesgo sistémico que la misma implica. Utilizando el caso argentino, el presente trabajo analiza y propone la implementación de tres variantes de dicho Swap para los tomadores de créditos hipotecarios denominados en moneda indexada en países que transitan procesos de desinflación. Mediante el Swap, se busca mitigar el riesgo de inflación y su impacto en el salario real de los deudores y su capacidad de repago, permitiéndoles a los mismos asegurarse que, ante cambios significativos de las variables, sus cuotas hipotecarias se mantengan estables en términos reales.

El trabajo se estructura de la siguiente forma: en la [Sección 2](#) se describe el mercado de hipotecas argentino y se presentan y discuten las ventajas y desventajas del sistema de moneda indexada en Argentina a la luz de la experiencia latinoamericana de las últimas dos décadas. Luego, en la [Sección 3](#) se presenta el caso de México en detalle y sus lecciones para la Argentina. En la [cuarta sección](#) se presenta y explica la estructura del Swap o seguro propuesto presentando tres alternativas distintas que denominaremos 1) solución asimétrica, 2) solución “gatillo” y 3) solución “a la mexicana”. En la [Sección 5](#) se simulan los tres tipos de contratos, estimando la prima teórica de cada uno de los tres contratos empleando los datos de la economía argentina de 1995-2016. Por último, se presentan las conclusiones del análisis.

2 La creación de una moneda indexada

2.1 Experiencia regional con monedas indexadas

Según [Chiquier, L. & Lea, M. \(2009\)](#), la experiencia regional con créditos hipotecarios indexados a tasa fija no es concluyente en el caso de su viabilidad. Si bien en Chile los autores aseguran que se han utilizado con suceso, lo que puede deberse a su relativamente estable y declinante inflación, explican que no sucedió lo mismo en México como consecuencia de la crisis del Tequila (previo a la creación del Swap) ni en Colombia. En México, la crisis ocasionó una gran devaluación con su consecuente inflación (pasando de 10% a más 50% en un año), ocasionando defaults masivos de los préstamos debido a que los deudores vieron drásticamente reducido su ingreso disponible. A su vez, en Colombia, si bien fueron exitosos durante la mayor parte de la década de los '90s, luego de la crisis la Corte Suprema dictaminó que debía cambiarse el índice de las hipotecas, lo que ocasionó una situación similar a la mexicana.

[Chiquier, L. & Lea, M. \(2009\)](#) concluyen que las hipotecas indexadas, si bien pueden mitigar el impacto de la inflación sobre los pagos hipotecarios, mejorar la capacidad de pago y reducir el riesgo de incumplimiento, sólo pueden hacerlo dentro de un determinado rango de inflación. Subas abruptas como las observadas en Colombia y México durante periodos de crisis harían colapsar al instrumento, lo que podría conducir a defaults. En segundo lugar, debe haber una fuente de financiamiento coincidente para los instrumentos (deben poder financiarse en la moneda indexada). Asimismo, los originadores de préstamos (bancos prestamistas) deben disponer de fuentes de financiamiento indexadas para mitigar el riesgo de descalce de monedas.

Específicamente, en el caso colombiano, puede observarse el crecimiento acelerado del mercado hipotecario, su crisis y una lenta recuperación al analizar el desempeño del sector en los últimos 30 años. La moneda indexada colombiana denominada Unidad de Poder Adquisitivo Constante (UPAC) tuvo sucesivos cambios de índices de indexación y de topes máximos de variación anual. Entre 1994 y 1999, previo a ser reemplazada por la UVR², la UPAC estuvo vinculada a la tasa de interés de mercado (DTC) y no a la inflación³. En consecuencia, y ante la reversión de los flujos internacionales que comenzó con la crisis asiática de 1997-1998 y el aumento de las tasas internas para mantener el valor de la moneda frente al dólar, los deudores hipotecarios sufrieron un fuerte descalce entre sus ingresos y las cuotas de sus créditos. Asimismo, como consecuencia de la crisis, se redujo el valor de las viviendas aumentando significativamente el ratio *loan-to-value*⁴.

A su vez, [Cárdenas y Badel \(2003\)](#) estiman que la crisis hipotecaria: “tuvo causas económicas relacionadas con el sobreendeudamiento previo, la deflación del precio de los activos y el excesivo crecimiento del costo de los créditos en 1998”⁵ lo cual se amplificó como consecuencia de la inseguridad jurídica y normativa. Tal como demuestra el caso colombiano, la estabilidad financiera es una condición necesaria para obtener estabilidad macroeconómica y, para ello, la adopción de medidas financieras macro prudenciales en los créditos hipotecarios puede ser vital [ANIF \(2011\)](#), [Zárate, Cobo y Gómez \(2012\)](#).

Por lo tanto, el caso colombiano resalta la importancia de mitigar los riesgos sistémicos que puede traer el crédito hipotecario indexado. En este sentido, es importante que la moneda a la cual se indexan las deudas hipotecarias posea relación con los ingresos de los deudores. Tal como se detallará en las próximas secciones, el instrumento propuesto en el presente trabajo posee dicho objetivo.

Por otro lado, tal como destacan [Laura y Riva \(2012\)](#), la implementación de la moneda indexada en Chile (UF) permitió, entre otros beneficios:

1. Disponer de un patrón monetario de aceptación universal: Al año 2010, el 63% de las colocaciones del sistema bancario estaban indexadas.

.....

2 La Unidad de Valor Real (UVR), vigente desde enero del 2000, es ajustada diariamente en función de la inflación.

3 Una de las razones para el cambio de índice de indexación fue que las entidades financieras que otorgaban préstamos indexados se fondeaban localmente a la tasa financiera interna, generando un descalce de monedas entre activos y pasivos. Una solución más adecuada podría haber sido fomentar la posibilidad de financiamiento de dichas entidades a la misma moneda indexada.

4 Ratio entre el valor del préstamo otorgado por el banco y el valor de la hipoteca representada por el inmueble. En Argentina, los bancos privados no suelen otorgar préstamos con un LTV mayor al 80% por lo que el deudor es el que debe invertir el monto restante.

5 [Cárdenas, M. y A. Badel \(2003\)](#). “La crisis de financiamiento hipotecario en Colombia: Causas y Consecuencias”. Documento de trabajo 500, Departamento de Investigación, BID, pág 6.

2. Lograr una moneda estable: Entre 1975 y 2011 la devaluación del peso chileno fue similar a la variación de la UF. De esta forma, lograron incentivar el ahorro en moneda nacional.
3. Crear un mercado de capitales local significativo y financiar inversiones de infraestructura.
4. Contribuir a solucionar el problema de la vivienda con créditos hipotecarios al alcance de todos, a 25 años de plazo y 5% de interés anual.

Según los mismos autores, la UI en Uruguay “ha alcanzado resultados positivos en el financiamiento de largo plazo para la vivienda y en la paulatina desdolarización de la deuda pública”⁶.

2.2 Moneda indexada argentina: UVA

En abril de 2016 el Banco Central de la República Argentina (BCRA) creó una moneda, actualmente denominada “Unidad de Valor Adquisitivo” (UVA), indexada al índice de inflación minorista (IPC)⁷. De esta forma, se buscó emular la exitosa experiencia, entre otros países, de Chile con las Unidades de Fomento (UF).

Como medida para mitigar el riesgo de descalce entre ingresos salariales e inflación, el BCRA incluyó en la normativa de la UVA una opción para el deudor de extender el plazo de la deuda bajo ciertas condiciones. En este sentido, el tomador puede extender el crédito por hasta el 25% del plazo original del préstamo cuando la diferencia acumulada desde el otorgamiento del crédito entre la inflación (valor de la UVA) y el salario promedio de la economía⁸ sea de al menos 10%⁹. A esta diferencia se la denominará “Gatillo”.

El objetivo de esta medida fue incentivar el crédito hipotecario, el cual se encuentra subdesarrollado en Argentina tanto en una perspectiva histórica como regional. Al permitir el otorgamiento de créditos en una moneda indexada, las cuotas iniciales pueden ser considerablemente menores a las de un préstamo con tasa fija en pesos –dada la alta inflación actual– ampliando el universo de posibles beneficiarios¹⁰. Ello se debe a que al no tener que compensar la inflación futura en las cuotas iniciales, debido a que la deuda permanece indexada, las cuotas iniciales son considerablemente menores. Por lo tanto, en comparación con los créditos tradicionales a tasa fija en pesos, los solicitantes pueden acceder a un mayor préstamo dado un cierto ingreso.

En los últimos 70 años en Argentina, la sucesión de crisis económicas y políticas llevó a que se acortaran los plazos de horizonte de planeamiento. Así paulatinamente se observa una caída del crédito

6 [Laura, G. & Riva, E. \(2012\)](#). “La moneda virtual: unidad de cuenta ontológicamente estable”. Buenos Aires: Pluma Digital Ediciones, pág. 287.

7 La UVA está indexada al índice CER el cual es una variación diaria del índice de precios al consumidor nacional publicado por el Instituto Nacional De Estadísticas y Censos (INDEC).

8 Medido a través del Coeficiente de Variación Salarial (CVS) publicado por el INDEC.

9 De acuerdo a las Comunicaciones A 5945 y 6069 del BCRA que establecen que: “Las entidades deberán dar al cliente la opción de extender el número de cuotas originalmente previstas cuando el importe de la cuota a pagar supere en 10 % el valor de la cuota que resultaría de haber aplicado a ese préstamo un ajuste de capital por el Coeficiente de Variación de Salarios (“CVS”) desde su desembolso. En esa circunstancia, que deberá ser notificada al cliente - por medios electrónicos cuando sea posible- y ante su solicitud expresa de ejercer tal opción, la entidad financiera deberá extender en hasta 25 % el plazo originalmente previsto para el préstamo”.

10 Para mayor detalle ver: [Ayub & Raffin. \(2017\)](#). “Créditos Hipotecarios UVA ¿Es un instrumento que puede ampliar el acceso a la vivienda?”. Ideas de Peso, Banco Central de la República Argentina.

hipotecario, el cual representa en 2017 menos del 1% del PBI. De esta forma, el mercado argentino de créditos hipotecarios bancarios presenta un bajo nivel de desarrollo, tanto desde una perspectiva histórica como en una comparación internacional. Las condiciones financieras de las líneas hipotecarias tradicionales sólo han permitido el acceso a los hogares de ingresos más altos, dejando fuera a los estratos medios y bajos de la población, especialmente a los jóvenes.

A mayo de 2016 esa participación representaba únicamente el 0,8% del PBI, con las hipotecas residenciales dando cuenta de menos de la mitad de esa cifra. En comparación, en 2015, el crédito hipotecario representó el 21,6% del PBI en Chile, el 9,7% en Brasil, el 5,0% en México y el 4,0% en Uruguay¹¹. Sobre el total del crédito a las familias, los préstamos hipotecarios para adquisición o refacción de vivienda también han perdido participación. A principios de 2016 representaban sólo 6% del total del crédito a las familias, contra 15% a fines de 2010.

2.2.2 Problemas existentes

Si bien se encuentra en una etapa inicial de implementación y desarrollo, los créditos en moneda indexada en general y los UVAs en particular, pueden presentar algunos problemas:

- La Indexación traslada el riesgo inflacionario del acreedor al deudor por lo que elimina el riesgo inflacionario para los bancos, pero puede incrementar el riesgo crediticio. En este sentido, las hipotecas indexadas no son una solución definitiva para el mercado debido a posibles caídas considerables del salario real.
- El “Gatillo” incluido en la reglamentación del BCRA de las UVAs genera incertidumbre sobre el plazo de los préstamos al ser estos extensibles. Esto dificulta una futura *titulización*¹² de los préstamos.
- Posible pérdida del valor real de la propiedad hipotecada, generando una disminución de la garantía del crédito hipotecario.

En este sentido, este trabajo propone un instrumento financiero para mitigar el riesgo de pérdida del salario real, siendo este el mayor factor de riesgo de los préstamos indexados a la inflación.

Asimismo, este riesgo puede disuadir tanto a los posibles prestamistas de otorgar masivamente créditos como también a los potenciales tomadores de créditos de endeudarse. En este sentido, la caída del salario real es un riesgo que ni los prestamistas ni los deudores pueden controlar, por lo que puede ser conveniente crear un instrumento que mitigue dicho riesgo.

En primer término, en la UVA este problema no se encuentra correctamente solucionado por el “Gatillo” incluido en la reglamentación del BCRA. Esto se debe a que esta prórroga puede ser demasiado pequeña para evitar un aumento peligroso de *los ratios* cuota y deuda a ingreso, especialmente para los deudores de más bajos ingresos.

En segundo lugar, el “Gatillo” (la opción de extensión de plazo) incluido en la UVA genera incertidumbre en el plazo de los préstamos al depender los mismos no solo de la trayectoria futura de la

11 En base a [Moody's \(2016\)](#), “Inflation-adjusted mortgages will create a new asset class in Argentina”, publicado el 28 de abril de 2016

12 Refiere a la titularización de las hipotecas para conformar un nuevo activo financiero que se encuentre respaldado por los flujos generados por las hipotecas en garantía. De esta forma, los bancos originadores de los créditos pueden reducir su exposición en el balance, posibilitando la originación de nuevos créditos con los ingresos obtenidos de la venta de los créditos originales.

inflación y los salarios de la economía sino también de cada deudor hipotecario, debido a que pueden optar por ejercer o no la extensión de plazo al reducirse el salario real acumulado, desde el inicio del préstamo, en al menos 10%. A su vez, esta extensión no tiene un plazo fijo, sino que puede ser de hasta el 25% del plazo originalmente pactado al otorgarse el préstamo.

Esta incertidumbre podría ser contraproducente en un futuro cuando el mercado hipotecario argentino se encuentre más desarrollado y se requiera la titulización de los préstamos. Para ello, sería recomendable que los mismos tengan un plazo determinado. En caso contrario, se estima que se penalizará la estructura de la titulización, suponiendo que la totalidad de la cartera de préstamos extiende su plazo al máximo posible. A su vez, para facilitar la posterior titulización de los préstamos, es necesario que los mismos tengan un diseño lo más estandarizado posible.

Por último, al ser otorgados en una moneda indexada, el valor de la propiedad hipotecada debe, al menos, aumentar como la inflación (y la depreciación de la moneda en caso que corresponda) para que el préstamo continúe teniendo la garantía efectiva necesaria. Si el valor de las propiedades no aumenta al mismo ritmo que la inflación y/o depreciación de la moneda, se reducirá el LTV aumentando el riesgo de default del préstamo y reduciendo los recuperos futuros. El instrumento propuesto en el presente trabajo, por su naturaleza, no tiene como objetivo modificar este riesgo.

3 El caso de México

3.1 Estructura del sistema hipotecario mexicano¹³

En México el mercado hipotecario tuvo un fuerte impulso a través de un conjunto de organismos públicos de alcance nacional que participaron activamente en el financiamiento de la vivienda años después de la crisis del Tequila. Dentro de estos, se encontraban el Fondo de Operación y Financiamiento Bancario a la Vivienda (FOVI), el Instituto del Fondo Nacional de Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT) y la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF).

En el sector privado, participaban como intermediarios de primer piso, los bancos múltiples y las denominadas Sociedades Financieras de Objeto Limitado (SOFOLLES). Las SOFOLLES eran entidades financieras privadas similares a los bancos hipotecarios de Estados Unidos, que podían otorgar créditos, emitir obligaciones en el mercado de capitales, recibir créditos de otros organismos, pero no estaban autorizadas a captar depósitos del público en el mercado financiero. En consecuencia, las mismas operaban con recursos del FOVI. Las SOFOLLES fueron creadas para otorgar créditos hipotecarios, luego del colapso de los bancos privados en México post-crisis en los 90s, a sectores de bajos y medianos ingresos.

El FOVI, creado en 1963, es un fideicomiso del Banco Central de México que, entre otras funciones relacionadas con el mercado hipotecario, otorgaba una cobertura entre UDIs (Unidad De Inversión, moneda indexada similar a la UVA de Argentina) y salarios mínimos. La misma era otorgada y operada por el FOVI a través de intermediarios. De acuerdo a [Gonzales Arrieta \(2002\)](#), el “costo de la cobertura se distribuye entre el deudor y el Gobierno Federal: el primero paga una comisión de 11%

13 Sección basada en [Gonzales Arrieta, G. \(2002\)](#). “El crédito hipotecario y el acceso a la vivienda para los hogares de menores ingresos en América Latina”. CEPAL - Serie financiamiento del desarrollo N° 122”; Carballo-Huerta, J. & González-Ibarra, J. (2009). “Financial innovations and developments in housing finance in Mexico”. Bank for International Settlements (BIS), IFC Bulletin No 31”; Chiquier, L. & Lea, M. ed. (2009). “Housing Finance Policy in Emerging Markets”. World Bank, DC, USA; y Babatz, G. (2004). “The Role of the Sociedad Hipotecaria Federal in the Development of the Mexican Mortgage Market”. Housing Finance International.

sobre el pago mensual; y el Gobierno Federal avala una línea de crédito bancario al FOVI por 6 000 millones de UDI (\$US 1 928 millones)¹⁴, destinada a cubrir faltantes temporales de flujos y respaldar situaciones de crisis profundas¹⁵.

El principal objetivo del Swap entre UDIs y Salarios Mínimos fue el de mitigar el riesgo sistémico de inflación en las hipotecas indexadas. A partir del año 2013, la SHF dejó de otorgar esta cobertura, aunque sigue cubriendo las otorgadas previamente. Las inversiones de las primas cobradas hasta ese momento representaban el 21% de los activos del FOVI¹⁶.

Luego, a partir del año 2002, el FOVI quedó a cargo de la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF)¹⁷, la cual fue creada para otorgar créditos y garantías a organizaciones financieras intermediarias y estuvo respaldada por el Gobierno Federal. A partir del 2009, la SHF únicamente otorgó garantías las cuales, a partir de 2013, dejaron de estar respaldadas por el Gobierno Federal (pasaron a estar respaldadas por el balance de SHF).

3.2 - Principales características del Swap

La hipoteca promovida por el Gobierno de México, tanto a través del Fideicomiso FOVI como la SHF, fue diseñada con el fin de que el individuo se obligara al pago de una cuota fija y cuyo comportamiento fuera controlado durante la vida del crédito.

La hipoteca en UDIs con Swap “Salarios Mínimos – UDIs” consistió en el otorgamiento al deudor de un crédito en UDIs y simultáneamente el otorgamiento de un Swap o seguro mediante el cual recibía las UDIs necesarias para amortizar el crédito a cambio de otorgar un pago equivalente denominado en salarios mínimos para mitigar el riesgo de crédito. De esta forma, las principales características del Swap eran las siguientes:

- El crédito se otorgaba en UDIS (moneda indexada)
- El pago del deudor permanecía fijo en Salarios Mínimos utilizando el valor del salario mínimo vigente en el momento de la contratación del crédito, indexando su deuda al salario mínimo y no a la inflación
- Si el salario mínimo no se incrementaba en la misma proporción que la inflación anual, el pago del deudor en términos reales disminuía a través de la vida del crédito (pérdida de salario real). De esta manera, se buscaba compensar el posible deterioro del pago durante el periodo del crédito mediante el cobro de una prima

14 De acuerdo al valor promedio de la UDI en el año 2002.

15 [Gonzales Arrieta, G. \(2002\)](#). “El crédito hipotecario y el acceso a la vivienda para los hogares de menores ingresos en América Latina”. CEPAL - Serie financiamiento del desarrollo N° 122”, p. 52.

16 En base al Balance General al 31 de diciembre de 2013 del FOVI incluido en el Programa Institucional 2013-2018. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5343509&fecha=07/05/2014

17 El principal mandato de la SHF es desarrollar el mercado hipotecario otorgando garantías y estandarizando las prácticas de originación y administración de préstamos hipotecarios. De esta forma, una tarea de la SHF es que los SOFOLES se financien directamente mediante emisiones financieras respaldadas con hipotecas, las cuales poseen una garantía de SHF sobre un determinado porcentaje de primera pérdida. Estas emisiones suelen ser compradas por las administradoras de fondos de pensión mexicanas.

- El Swap Salarios-UDIS transformaba el pago del deudor de salarios mínimos a UDIS (cubriendo las diferencias acumuladas), a cambio del pago de una prima fija porcentual que se cobraba sobre el pago mensual de la cuota.

En base a la historia disponible de la evolución de inflación y salarios mínimos en México, en Elizondo, et al. (2006) los autores estiman como escenario base que en el plazo de 30 años (plazo de una hipoteca) los salarios podrían tener un rezago de ~25% (0,7% de rezago acumulado anual). Con el objetivo que el Valor Actual Neto de ambos flujos del Swap fuese o (*“at the money”*), estimaron que la prima que debía cobrarse en cada cuota mensual era del 11%.

Con el paso del tiempo, y gracias al descenso de la inflación hacia comienzos de la última década, el Swap no tuvo egresos considerables por lo que fue acumulando primas, las cuales fueron reinvertidas para asegurarse frente a contingencias futuras. A partir del 2009, y con el surgimiento de hipotecas en pesos no indexadas, el Swap fue perdiendo demanda hasta discontinuarse su oferta unos años después. El mercado mexicano no dispone de Swaps entre salarios e inflación al momento de escribir este artículo.

Cabe remarcar que, debido a la estimación conservadora sobre la prima a cobrar, el fondo de cobertura creado mediante el Swap Salario-UDIs fue superavitario. La prima original se había calculado como el pago necesario para cubrir una pérdida del salario real del 25% en 30 años. De esta forma, el Estado Nacional, mediante el Swap, sabía que para cualquier pérdida superior las primas cobradas no iban a ser suficientes, como también que, para el caso de un rezago inferior del salario, el Swap iba a presentar ganancias.

En esta línea, [Elizondo et al. \(2006\)](#) desarrollaron una estimación sobre las contingencias derivadas del Swap ante diversos escenarios. En este sentido, evaluaron que el valor presente de las contingencias, expresado en número de flujos mensuales intercambiados en un horizonte de 30 años, sería:

- Prácticamente nulo con una caída del salario real acumulada anual de -0,68%
- Igual a 13,5 veces menor (pérdida) en el caso de una caída del salario real acumulada anual de -1,96%
- Igual a 7 veces mayor (ganancia) con un salario real estable

De esta forma, [Elizondo, et al. \(2006\)](#) concluyeron que el Swap podría haber resultado de gran relevancia para el desarrollo de un mercado hipotecario autosustentable, al menos al comienzo, debido a que permitió:

1. La maximización de la accesibilidad al crédito hipotecario
2. Minimización del riesgo de incumplimiento del deudor al asociar su obligación de pago con la evolución salarial
3. La denominación del crédito hipotecario en una moneda (UDIs) que tiene acceso a mercados de capitales, facilitando la obtención de financiamiento

Por último, los autores remarcan que este producto induce riesgos contingentes significativos, los cuales no pueden ser cubiertos por el mercado, al menos al comienzo, debiendo el sector público tomar el rol de desarrollador de mercado. Esto se debe a que, en escenarios de alta inflación con rezago del salario real, las pérdidas del Swap pueden ser de dimensión trascendente y parecen no tener cobertura en los mercados.

En el caso de México, se buscó a su vez generar una cobertura para el Swap permitiéndole encontrar inversionistas institucionales o empresas con alto costo fijo laboral con pasivos en Salario Mínimo, o la utilización de instrumentos existentes en el mercado financiero (Pesos y UDIs) para transferir al menos parcialmente el riesgo sistémico.

Si bien en Argentina, *a priori*, no existirían inversores necesitados de cubrirse del riesgo de aumento del salario real en forma sistémica (al no existir pasivos denominados en salario real), este mercado podría desarrollarse.

4 Swap moneda indexada (MI)/salarios

4.1 Características del instrumento propuesto

El principal objetivo de este trabajo es proponer un instrumento financiero (Seguro/Swap)¹⁸ que incentive el desarrollo del mercado hipotecario indexado a la inflación en países con alta inflación y procesos de estabilización en curso, como la Argentina o México a fines de los 90s. En este sentido, con el objetivo de reducir el riesgo no totalmente cubierto de una caída del salario real y favorecer el desarrollo futuro de la titulización de hipotecas, se propone crear un Swap/Seguro vinculado a la evolución del salario de la economía y de la inflación que, ante escenarios desfavorables de pérdida del salario real, permita:

- Mitigar el riesgo de crédito del prestatario
- Reducir la incertidumbre del inversor sobre la *duration* de los créditos potencialmente titulizados al gatillarse la cláusula de extensión de plazo de la UVA.

Tal como se detalló anteriormente, al permitirse la indexación de hipotecas a la inflación mediante monedas indexadas, los préstamos pueden ser a mayor plazo y con tasa real de interés fija, reduciendo los requerimientos iniciales de ingresos, y permitiendo que los bancos otorguen mayores montos. Sin embargo, el riesgo de default de este tipo de instrumento podría aumentar en un contexto de inflación alta, persistente y/o volátil, como en Argentina en 2006-2017, debido a que el ajuste por inflación traslada el riesgo del crédito desde el banco originador al deudor (quien puede enfrentar pérdidas del salario real significativas ante escenarios adversos macroeconómicos).

En consecuencia, el principal objetivo del instrumento propuesto es el de mitigar este riesgo permitiéndole al deudor asegurarse contra subas significativas de la inflación que reduzcan el salario real, permitiéndoles a los mismos asegurar que, ante cambios significativos de las variables, sus cuotas hipotecarias se mantengan estables en términos reales. Asimismo, el Swap proveería una mejora significativa en un futuro cuando se fuere posible titularizar estos créditos.

18 En el trabajo se mencionará de forma indistinta al instrumento financiero propuesto como "Seguro" o "Swap".

El instrumento propuesto funciona de forma similar a un seguro; el deudor hipotecario pagará mensualmente en conjunto con la cuota del préstamo una prima fija en proporción a la cuota mensual. De esta forma, la prima del Swap se asemeja a un aumento de la tasa fija del préstamo. Esta solución puede implementarse, al menos, en los momentos iniciales de desarrollo del mercado hipotecario en países con alta inflación, cuando los agentes necesitan poder asegurarse frente al riesgo sistémico que la misma implica.

En esta línea, para que el Swap sea sostenible y posea la credibilidad que cualquier herramienta aseguradora debe tener, es necesario que cobre primas a sus usuarios (los tomadores del Swap) y que tenga un desembolso inicial de capital por parte de un fondo como el FOVI en México ([Gonzales Arrieta, G., 2002](#)). Asimismo, es muy importante que se establezca en su normativa el uso específico que tendrá sus ingresos, no pudiéndose utilizar para otros fines.

Cabe destacar que el mercado financiero argentino es relativamente pequeño dado el nivel de desarrollo del país. Por ejemplo, el total de préstamos bancarios a PBI ha fluctuado entre el 10 y 13% del PBI en las últimas dos décadas y los mercados bursátiles han sido aún menos profundos, en guarismos cercanos al 9 a 10% al considerar el volumen de negocios a PBI. A su vez, la gran mayoría de las operaciones financieras institucionalizadas se realizan en el mercado de negociación de títulos soberanos de renta fija de la Bolsa de Comercio de Buenos Aires¹⁹.

El país cuenta con distintos mercados en donde se negocian derivados financieros, siendo los principales el MAE (Mercado Abierto Electrónico), Rofex y el Matba (Mercado a Término de Buenos Aires). En dichos mercados existen dos tipos de derivados negociados, derivados agrícolas²⁰ y derivados financieros²¹. Sin embargo, Argentina no posee un mercado desarrollado de swaps financieros²², por lo que las apuestas a tasas de interés se realizan principalmente por medio de bonos de tasa fija emitidos tanto por el tesoro nacional como por el banco central.

Debido a la poca profundidad del mercado financiero local y a la poca relevancia de los derivados financieros negociados en el mismo, se estima que el Swap debería ser implementado con un fuerte apoyo del gobierno. En este sentido, el Swap podría ser instrumentado y operado por una institución nacional del sector público, al menos en sus etapas iniciales.

19 De acuerdo a la información de la Bolsa de Comercio de Buenos Aires, de los USD 90.014 millones negociados en el año 2016, el 78% correspondió a Valores Públicos (bonos de renta fija soberanos), el 12% a cauciones a plazo. Únicamente un 0,3% correspondió a la negociación de opciones sobre acciones.

20 En el año 2016, se negociaron 276.391 contratos de derivados financieros agrícolas en el Matba por el equivalente a 27,7 millones de toneladas (los futuros de soja representaron el 78% del total) y 596 contratos equivalentes a 4,9 millones de toneladas en el Rofex.

21 En el año 2016, se negociaron 3500 contratos de derivados financieros en el Matba y 112,7 millones contratos equivalentes a 4,9 millones de toneladas en el Rofex. Principalmente, estos contratos están conformados por contratos de futuros de dólar estadounidense de corto plazo.

22 De acuerdo a información del Banco Central de la República Argentina, a diciembre de 2016 las entidades financieras reguladas contaban únicamente con 460 millones de dólares en contratos de swaps financieros

4.2 Variantes del Swap propuesto

4.2.1 Ubicación del Swap en la cadena de pagos

El contrato que se propone y luego simula depende en primer término de la ubicación del Swap en la cadena de pagos entre el deudor hipotecario y el banco originador del crédito, determinando en qué “eslabón” de la cadena de pagos se encontrará. En términos simplificados, el mismo puede encontrarse²³:

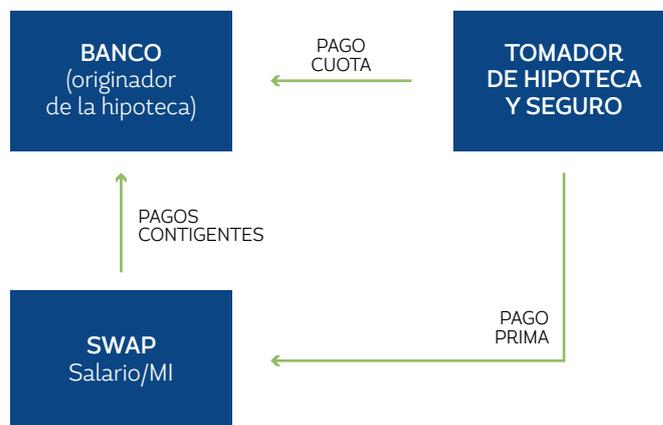
- **En el flujo de pagos entre el banco originador de la hipoteca y el tomador de la misma:** En esta modalidad, el tomador del crédito le pagaría todos los meses al Swap la cuota²⁴ más la prima y el Swap le pagaría al banco las cuotas en la moneda indexada correspondiente (MI). En esta variante, el riesgo del banco puede aumentar debido a que posee un intermediario en su flujo de ingresos. Asimismo, esta alternativa puede dificultar la implementación del Swap debido a que el tomador del crédito podría tener que pagar en un lugar distinto al banco en el cual obtuvo el crédito.

Gráfico 2. Estructura de la ubicación I (entre el flujo del banco y el tomador)



- **Intercambiando flujos tanto con el tomador de la hipoteca como con los bancos pero por separado:** En esta modalidad, el Swap no se ubicaría en el medio de ningún flujo, sino que se situaría recibiendo las primas del tomador del crédito y pagando al banco solo en los momentos indicados por un evento de crédito. La complejidad radicaría en que el tomador del crédito debería pagar por separado la cuota de la prima.

Gráfico 3. Estructura de la Ubicación II (dos pagos separados)

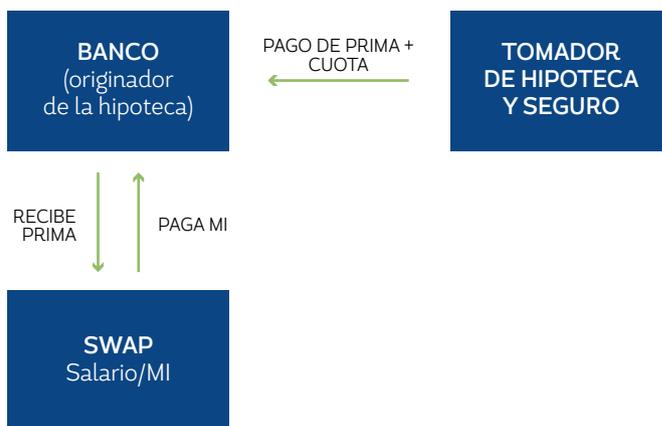


23 En todas, el banco otorga previamente directamente al tomador el crédito en la moneda indexada. Adicionalmente, el pago de prima debe incluir el pago de un monto fijo para gastos administrativos, seguro de vida y otros.

24 Cabe destacar que la “cuota” está indexada a la inflación debido a que está nominada en MI. En todos los casos, a excepción de la tercera alternativa de Swap detallada más adelante, las cuotas están expresadas en MI. En la tercera alternativa, la misma está en Salario.

- **Únicamente intercambiando flujos con los bancos:** En esta modalidad, el tomador de la hipoteca seguiría realizando mensualmente sus pagos de la forma tradicional en su banco y sería el banco el cual debería interactuar con el Swap enviándole al mismo las primas cobradas y recibiendo del Swap los pagos contingentes.

Gráfico 4. Estructura de la Ubicación III (intercambio del Swap únicamente con el banco)



Por simplicidad en los flujos, y para reducir el riesgo operativo, se estima que la última alternativa sería la óptima (Ubicación III). En ella, el tomador de la hipoteca debe realizar un único pago mensual (incluyendo la cuota indexada y la prima del Swap) en la misma institución que le otorgó el crédito. Serían luego el banco y el Swap quienes deberían intercambiar los flujos, el banco recibiendo todos los meses el pago correspondiente al crédito inicial en MI y el Swap recibiendo la prima.

4.2.2 Tres alternativas de Swap

Una vez determinada la ubicación preferida del Swap en la cadena de pagos²⁵, y para completar el diseño del instrumento propuesto, se debe proponer un método de cálculo de la prima del Swap/Seguro y los escenarios en los cuales aseguran o no a los deudores hipotecarios y en qué medida. Se plantean tres soluciones no exhaustivas, aclarando que las mismas podrían modificarse según el país de aplicación.

I. Solución “Asimétrica”

II. Solución “Gatillo”

III. Solución “a la mexicana”

A continuación, se explican las características de las tres alternativas de Swap propuestas.

25 Esto sin embargo no es excluyente de otras opciones.

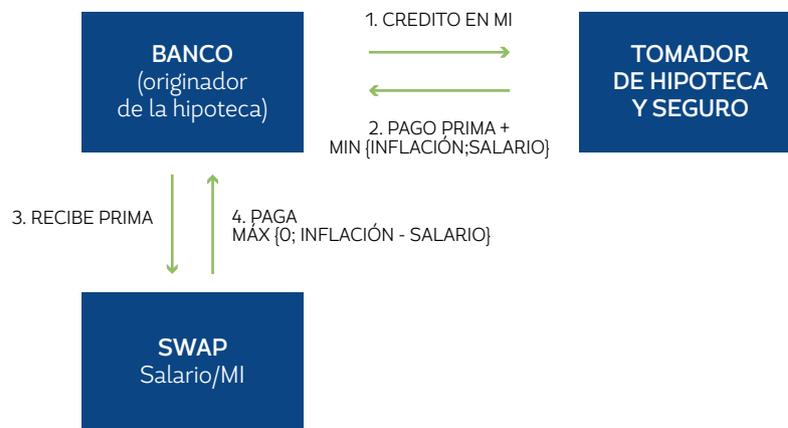
4.2.2.A Alternativa I: Solución Asimétrica

El Swap propuesto puede basarse en distintos supuestos y “eventos de gatillo” (ocasiones en las cuales el Swap/Seguro debe pagar)²⁶. En esta primera solución denominada “asimétrica”, el tomador del crédito hipotecario pagará, durante toda la vida del préstamo, el mínimo entre la inflación y el índice de salarios²⁷.

Esta es la alternativa en la cual el tomador está más protegido de cara al futuro debido a que tanto con aumentos como con caídas del salario real, el Swap lo protege:

- **Perdida de salario real:** Si la inflación supera a su salario, el deudor pagará únicamente la deuda indexada al salario, por lo que la misma siempre representará una porción idéntica de su salario²⁸.
- **Aumento del salario real:** Si, en cambio, el salario supera a la inflación, el deudor pagará el crédito indexado a la inflación. De esta forma, un aumento del salario real le reducirá la proporción que representan las cuotas hipotecarias sobre el ingreso.

Gráfico 5. Estructura de la solución asimétrica (Alternativa I)



La principal desventaja de esta alternativa es el costo, en prima del Swap, que debería pagar el tomador del mismo. Ello se debe a que la prima debe reflejar las pérdidas potenciales del Swap en el transcurso de la vida del préstamo, tal como se detallará en el próximo apartado.

Asimismo, la implementación de este Swap tampoco resultaría sencilla debido a que, en todos los meses, se debería calcular la diferencia acumulada desde el inicio en cada préstamo entre la indexación a salarios y a inflación. Luego de ello, se le debería indicar al deudor ambos valores para que pague el menor. El Swap, a su vez, debería pagarle al banco originador de la hipoteca la posible diferencia en el caso de que la inflación supere al salario. Resumiendo, bajo este tipo de contrato de Swap:

26 En este sentido, se denominaran “eventos gatillo” a las situaciones en las cuales el Swap debe afrontar egresos.

27 Punto 2. del esquema siguiente, representado en “MIN {INFLACIÓN; SALARIO}”. De esta forma, durante toda la vida del préstamo, la cuota estará indexada tanto a la inflación como al índice de salarios, pagando el valor relativo a la indexación de menor valor en cada mes.

28 Entendiendo a su salario como el salario promedio de la economía (si se utiliza como índice salarial un índice que represente al promedio de la economía en dicho país).

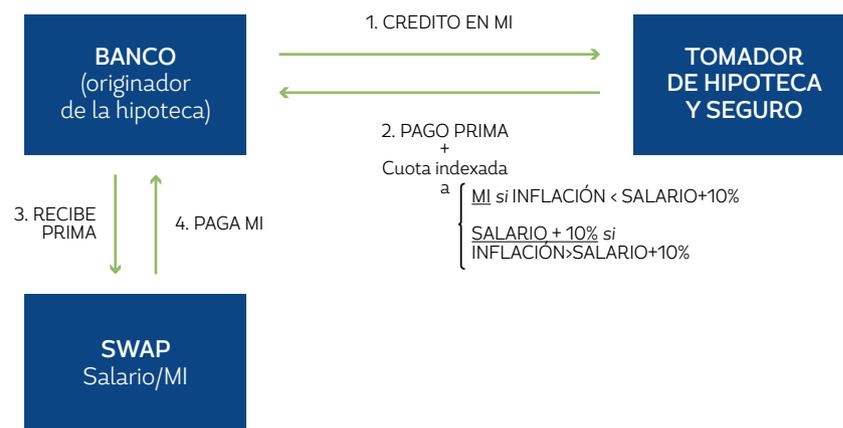
- El tomador del Swap paga una prima mensual por sobre la cuota, más el mínimo entre el acumulado de salario e inflación
- El Swap recibe mensualmente la prima y paga el máximo entre la diferencia acumulada de inflación menos salarios o cero.
- El Banco recibe mensualmente el pago correspondiente en MI

4.2.2.B Alternativa II: Solución Gatillo

Esta segunda solución denominada “Gatillo” presenta una modificación con respecto a la alternativa anterior incorporando un gatillo similar al actualmente existente en la reglamentación de la UVA argentina (mediante el cual se da la posibilidad de extender los plazos del préstamo). En este caso, el Gatillo se utilizaría no para extender los plazos sino para que el tomador del crédito, mediante el Swap, pueda abonar su crédito indexándolo a salarios y no a inflación. En consecuencia, esta alternativa se asemeja a un *techo de tasa*²⁹, estableciendo que la misma no puede ser superior a la variación acumulada del salario más un 10%³⁰.

De esta forma, esta alternativa de Swap se asemeja a un seguro de auto de estilo franquicia en la cual el asegurado paga por los daños del rodado hasta un cierto valor. Luego de dicho monto, es la aseguradora quien se hace cargo de cualquier otro gasto necesario. El Swap funcionaría de igual manera, siendo el deudor hipotecario quien deberá pagar los costos de un aumento de la inflación por sobre el salario hasta un cierto umbral (10%). Por encima de ese umbral, el Swap será quien se haga cargo de cualquier caída adicional del salario real.

Gráfico 6. Estructura de la solución gatillo (alternativa II)



29 Al establecer un techo sobre la tasa a pagar, el tomador del Swap se asegura que únicamente pagará hasta cierto umbral (por ejemplo el 10% de diferencia acumulada presente en el gatillo de la UVA en Argentina). Todos los incrementos por sobre cierto umbral serán pagados por el Swap. De esta forma, el tomador del Swap sabe que nunca pagará una cuota mayor a la variación de la inflación + Umbral (10%) + Prima por asegurarse.

30 Se estableció que el Swap deberá comenzar a pagar a partir de una diferencia de al menos 10 puntos porcentuales entre el acumulado de ambos índices tal como lo establece la reglamentación de la UVA. Sin embargo, este umbral podría ser mayor o menor dependiendo del nivel de riesgo que se desee que asuman tanto el Swap como los tomadores de créditos hipotecarios.

De esta forma, en la solución gatillo:

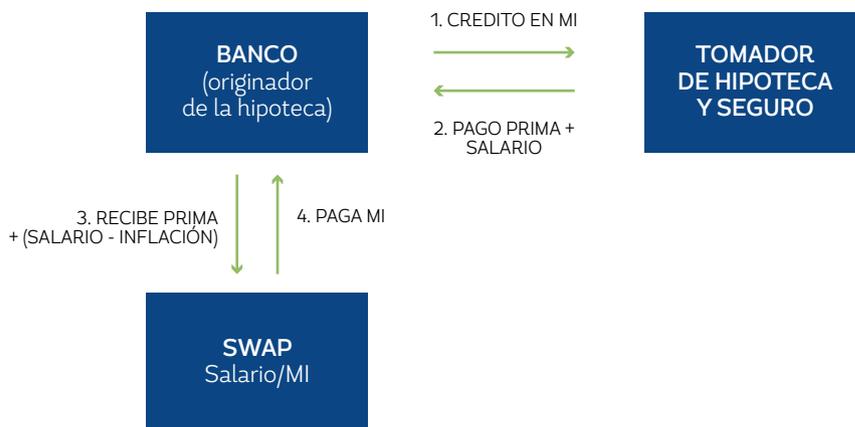
- El Tomador del Swap paga una prima mensual por sobre la cuota, más la cuota indexada a la inflación (MI) siempre que la inflación acumulada no sea más que un 10% superior a la suba salarial acumulada. Si esa diferencia fuese mayor, pagará la prima más la cuota indexada a salario.
- El Swap recibe mensualmente la prima y las cuotas pagadas por el tomador.
- El Banco recibe mensualmente el pago correspondiente en MI.

Si bien puede suponerse que la prima en esta alternativa será menor que en la primera, las dificultades de implementación siguen siendo considerables y podrían incluso generar un costo mayor al de otras alternativas. El Swap debe tener, al igual que en la solución asimétrica, información individualizada de cada préstamo para comparar la inflación y el aumento de salario acumulados desde el inicio del préstamo a cada mes de pago. Asimismo, en esta segunda alternativa, también debe tenerse en cuenta el periodo en el cual el aumento acumulado de la inflación es, al menos, un 10% superior al aumento acumulado del salario para saber en qué momento el Swap deberá pagar y en cuál no.

4.2.2.C Alternativa III: Solución a la mexicana

En esta tercera solución denominada “a la mexicana”, por su similitud al Swap “Salarios Mínimos – UDIs” mexicano, se utiliza un Swap simétrico mediante el cual el tomador del crédito siempre pagará en cuotas indexadas a salario y el banco continuará recibiendo sus pagos en MI tradicionales indexadas a inflación. Será el Swap el responsable de estabilizar los flujos mediante el cobro de una prima que pueda cubrir los potenciales desfases. La principal diferencia de esta alternativa con el caso mexicano detallado previamente en la Sección 2 es que en vez de indexar a salarios mínimos como en México, se propone indexar a un índice de salarios medios.

Gráfico 7. Estructura de la Alternativa III (solución a la mexicana)



En resumen, con este tipo de contrato, la estructura del Swap implica que:

- El tomador del Swap paga mensualmente la cuota hipotecaria, pero indexada al índice de salarios, más una prima mensual por sobre la cuota.
- El Swap recibe mensualmente la prima y la diferencia positiva si el índice de salarios acumulado es mayor a la inflación acumulada. Compensa al banco por el máximo entre la diferencia acumulada de inflación y el índice de salarios o cero.
- El Banco recibe mensualmente el pago correspondiente en MI

A priori, esta tercera alternativa presenta dos ventajas: simplificación de la estructura del Swap y una posible menor prima necesaria. Debido a que el tomador deberá pagar todos los meses la hipoteca únicamente indexada al índice de salarios sin compararlo con la inflación del periodo, la información necesaria, en dicho punto, se simplifica considerablemente. A su vez, el Swap implica un intercambio entre dos variables desde el momento inicial y por toda la vida del préstamo, y sus ingresos (los pagos de los tomadores del crédito y del Swap) no son contingentes al crecimiento relativo entre inflación y salarios.

Cabe destacar que esta alternativa desliga completamente los pagos de la trayectoria futura de la inflación al cambiar la variable a la cual indexa el crédito por salarios. En esta alternativa de Swap se destaca que ante escenarios de:

- **Pérdida de salario real:** el Swap mantiene el pago del deudor en salarios por lo que no aumentan los pagos ante desfasajes negativos del salario respecto a la inflación. El Swap permite que las cuotas se mantengan estables en relación al salario.
- **Aumento del salario real:** a diferencia de las alternativas anteriores, una suba en el salario real hará que aumente el valor del préstamo a pagar (generando ganancias en el Swap).

5 Simulación de la prima pura teórica

5.1 Metodología de estimación utilizada

En la presente sección se realiza un ejercicio de simulación de la prima pura teórica necesaria³¹ para cada una de las tres soluciones de Swap propuestas (“asimétrica”, “Gatillo” y “a la mexicana”) empleando los datos de la economía argentina de 1995-2016 a modo de simulación. De esta forma, para la estimación de la prima pura teórica necesaria para que el Swap presente ganancia cero, se utilizará la evidencia empírica disponible de los últimos 20 años en Argentina a modo de ejemplo. En este sentido, **la prima será estimada en base a la probabilidad de ocurrencia de un evento de pago del Swap bajo cada una de las tres alternativas propuestas y de la estimación del monto**

31 Prima que iguala los flujos estimados de ingresos y egresos del Swap. A ella deben adicionarse los gastos administrativos, seguro de vida y otros.

de dichos pagos. A partir del índice de salarios promedio de la economía³² y del índice de inflación minorista³³, se utilizó el siguiente procedimiento:

1. Con dichos índices se construyó una base 100 igual al promedio del año 1995 para el índice de salarios (W) y para el índice de inflación (π).
2. Se calcularon las variaciones interanuales en cada mes de ambos índices.
3. Se estableció como un "Evento de Gatillo" al hecho de que, en cierto mes, se cumpliera la siguiente fórmula:

- Alternativas I y III: *Evento de Gatillo*: Si $\Delta_{acum} \pi > \Delta_{acum} W$
- Alternativa II: *Evento de Gatillo*: Si $\Delta_{acum} \pi > \Delta_{acum} W + 10\%$

4. A su vez, se estableció el monto de pago del Swap en caso de presentarse un Evento de Gatillo como la diferencia porcentual acumulada entre los índices de inflación y salarios desde el inicio, multiplicado por la cuota mensual del préstamo en MI³⁴. De esta forma:

- Alternativas I y III: *Pagos del Swap*: $\frac{\sum_{t=t_0}^n (\Delta \pi_t - \Delta W_t)}{100} \times Cuota MI$
- Alternativa II: *Pagos del Swap*: $\frac{\sum_{t=t_0}^n (\Delta \pi_t - \Delta W_t + 10\%)}{100} \times Cuota MI$

5. Se supuso que el plazo promedio de un crédito hipotecario es de 15 años. En base a ello, se calcularon los Eventos de Gatillo y los Pagos del Swap para cada mes del año base utilizado. En consecuencia, en base a la información disponible, se construyeron ocho años base (1998 a 2002) dado que el préstamo supuesto es de 15 años.
6. Se estableció a la probabilidad de que suceda un Evento de Gatillo en el año base utilizado como al promedio simple de los Eventos de Gatillo observados desde el inicio hasta el final del año 15 (180 meses). De esta forma:

$$Prob(\text{Evento de Gatillo}) = \frac{\text{Eventos de Gatillo}}{\text{Cantidad de meses}}$$

32 Se utilizó el índice denominado Remuneración Imponible Promedio de los Trabajadores Estables (RIPTTE). Es un índice construido por el Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social nacional argentino en base al cociente entre las remuneraciones imponibles con destino SIPA (Sistema Integrado Previsional Argentino) y el total de trabajadores dependientes que figuran en las declaraciones juradas recibidas mensualmente de los trabajadores con más de un año de continuidad laboral interrumpida (se utilizó el monto en pesos del índice).

33 Para construir el índice de inflación argentino se han utilizado las variaciones mensuales de los siguientes índices:

- Período Ene-1994 a Dic-2006: Índice de Precios al Consumidor Base 1999 del INDEC con sus respectivos empalmes
- Ene-2007 a Oct-2012: Índice de Precios de las provincias de Santa Fe, Neuquén y San Luis. Para su cálculo se consideró el promedio simple de las variaciones mensuales de cada uno de los capítulos y se construyó un índice general respetando las ponderaciones del Índice de Precios al Consumidor Base 1999 del INDEC
- Nov-2012 a Abr-2016: Índice de Precios de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y la provincia de San Luis. Para su cálculo se consideró el promedio simple de las variaciones mensuales de cada índice general
- Desde May-2016 en adelante: Índice de Precios al Consumidor del INDEC

34 Moneda Indexada a la inflación, correspondiente a la UVA para el caso argentino.

- Asimismo, se estableció al monto promedio de los Pagos del Swap observados desde el inicio hasta el final del año 15 (180 meses) como la prima teórica del Swap del año base utilizado. De esta forma:

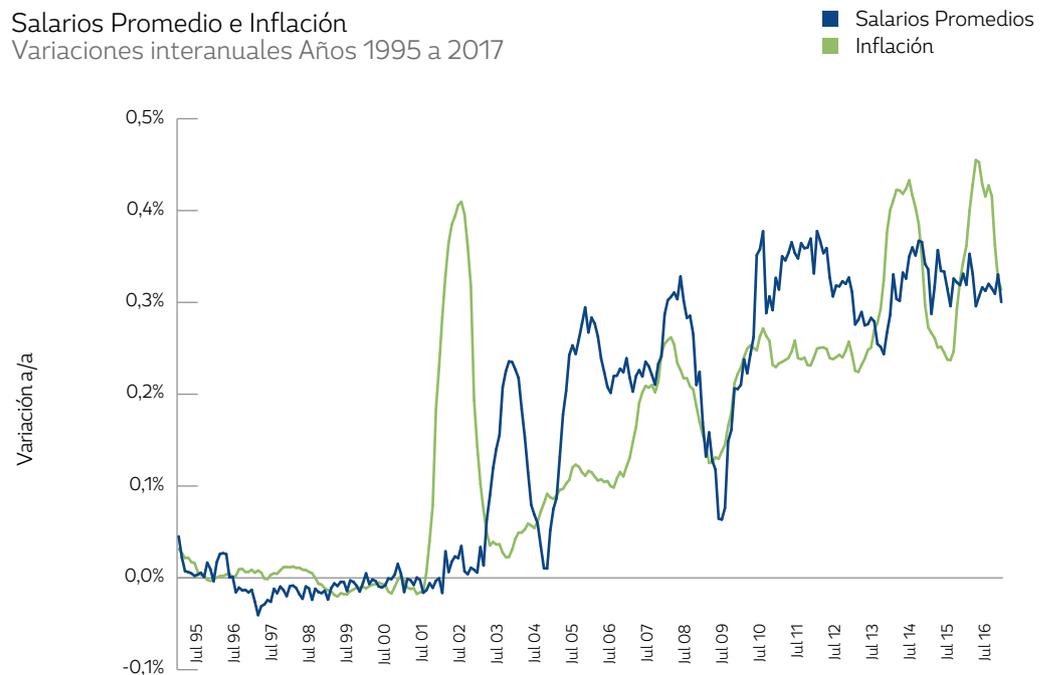
$$\text{Prima del Swap} = \text{Promedio (Pagos del Swap)}$$

- Luego, se realizó el mismo proceso de los puntos 5,6 y 7 modificando el año de la base para los periodos 1995 a 2002, según la información disponible para cada índice de salarios, arribando a una Probabilidad de Evento de Gatillo y a una Prima del Swap para cada año base.
- Por último, mediante los promedios de las Probabilidades de Eventos de Gatillo y de los Pagos del Swap para cada año base se obtuvo la Probabilidad de Pago y Prima del Swap estimada final.

En base a esta metodología³⁵, se obtendrá una prima fija a aplicar sobre la cuota mensual del préstamo, para cada alternativa en base a lo que se le debería haber cobrado por cada tipo de contrato de Swap a los tomadores si lo hubiesen solicitado en enero de cada uno de los años base utilizados. En este sentido, cabe destacar que, si bien la prima es fija, al aplicarse sobre una cuota indexada, el pago será variable.

A modo de ejemplo, en el gráfico 8 se observa la variación interanual de ambos índices entre julio de 1995 y marzo del 2017:

Gráfico 8. Variaciones interanuales del salario nominal (RIPTE) y del IPC



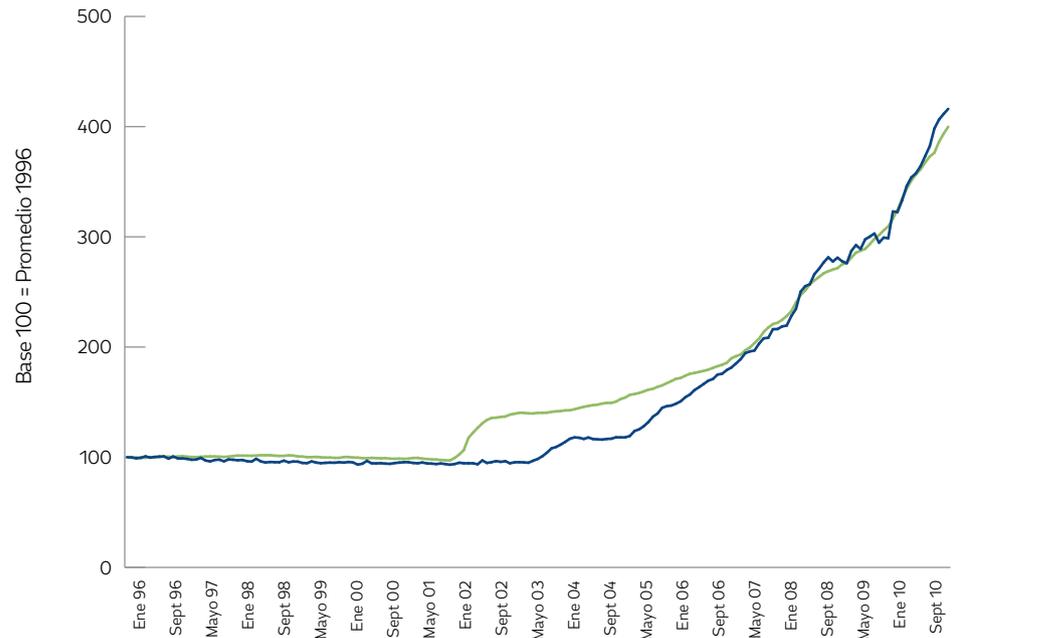
Elaboración propia en base a MTEySS e INDEC

35 Esta prima se asemeja al cálculo actuarial de una prima de seguros automotor, la cual está estimada en base a la probabilidad histórica de ocurrencia de los siniestros y el monto de pago en cada uno de ellos, entre otras variables.

En el Gráfico 9, se muestran las variaciones acumuladas de ambos índices a lo largo de 15 años utilizando como años base a 1996 y 2002 respectivamente en los paneles a y b:

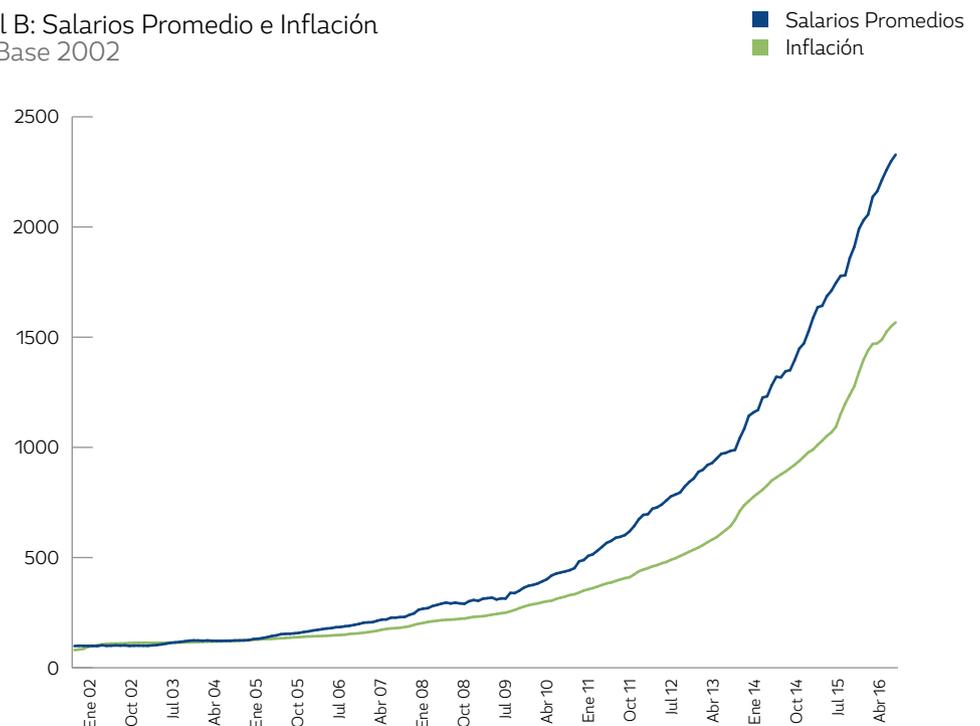
Gráfico 9. Evolución del salario nominal y del IPC en los años base 1996 y 2002

Panel A: Salarios Promedio e Inflación
Año Base 1996



Elaboración propia en base a MTEySS e INDEC

Panel B: Salarios Promedio e Inflación
Año Base 2002



Elaboración propia en base a MTEySS e INDEC

5.2 Resultados

Antes de exhibir los resultados de la prima teórica, cabe aclarar en primer término que **los años estudiados podrían no ser representativos del futuro**. Por ejemplo, para el caso argentino, la serie de salarios no incluye el periodo de hiperinflación de 1989-1990 por haber ocurrido antes del comienzo de la serie disponible. Asimismo, al estar conformado por los ingresos laborales previos al pago de impuestos, el índice salarial disponible no refleja exactamente el ingreso disponible³⁶.

En segundo término, se arribó a los resultados teniendo en cuenta únicamente los egresos teóricos del Swap por pago de contingencias³⁷. A las primas debería adicionársele todos los gastos extras en los que deberá incurrir el Swap, incluyendo gastos administrativos, de estructuración, legales y otros. Para cobrar dichos gastos, a la prima teórica que se aplica sobre la cuota variable debería adicionársele un pago fijo menor que cubra, entre otros, al seguro de vida y diversos costos fijos del Swap.

Tercero, no se consideró la tasa de reinversión de las primas, cuyo rendimiento podría reducir, de generar ingresos adicionales, el cobro necesario para estructurar el Swap, y además promover el desarrollo del mercado de capitales doméstico en caso que esos ingresos se inviertan en activos locales que por la naturaleza de los contratos aquí presentados deberían estar indexados a la inflación.

Por último, para generar un piso mínimo de ingresos que permita el pago de las contingencias futuras en caso de shocks no considerados, podrá ser necesario aumentar en algunos puntos básicos las primas estimadas. De esta forma, el Swap tendrá un “colchón” de ingresos para suplir eventuales desviaciones de la trayectoria media.

En todos los casos, la prima será de un valor fijo aplicable sobre la cuota mensual indexada. En este sentido, si el deudor hipotecario obtiene un préstamo con una cuota en moneda indexada +5% de interés real deberá a su vez pagar una prima fija sobre dicho valor. Por lo tanto, el pago que deberá realizar mensualmente es de:

$$\text{Pago Mensual} = (MI + \text{Tasa de Interés}) * \text{Prima Estimada}$$

Siendo (MI + Tasa de Interés) la cuota del préstamo hipotecario sin el Swap

Por lo tanto, si bien la prima teórica de cada alternativa de Swap va a estar fijada previamente (siendo la prima una proporción fija de la cuota indexada del préstamo incluyendo intereses), al aplicarse este valor fijo sobre la cuota indexada el monto final que el deudor deberá pagarle al Swap es variable.

A continuación, se detallan los resultados correspondientes a las primas puras teóricas estimadas utilizando los Años Base del 1995 al 2002 inclusive para el caso argentino, cada uno con un periodo móvil de 15 años, en base a la metodología explicada precedentemente.

36 Al verse afectados los salarios en Argentina por el Impuesto a las Ganancias (similar a un impuesto a los ingresos) que posee alícuotas diferenciales.

37 Se supuso que los egresos del Swap, al no disponer de otra información, están uniformemente distribuidos a lo largo del tiempo. Al variar dicha distribución, las primas necesarias podrán variar.

5.2.1 Alternativa I: solución asimétrica

A continuación, se detallan los resultados en la estimación de esta alternativa de Swap. A modo de ejemplo, en el año base 2001 (periodo de 15 años entre 2001 y 2015), el Swap hubiese pagado en el 37,22% de los meses debido a la existencia de menor cantidad de periodos donde la inflación acumulada minorista es superior a la variación acumulada del salario nominal. En cambio, para el año base 1996 (periodo de 15 años entre 1996 y 2000), en aproximadamente 4 de cada 5 meses el Swap debería haber pagado. A su vez, debido a la mayor cantidad de pagos y de montos pagados, la prima necesaria para el año base 1996 (11,46%) es superior a la del año 2001 (7,97%):

Tabla 1. Prima pura estimada – Swap pago mínimo entre salarios e inflación

Año Base	Probabilidad (Gatillo)	Prima estimada	Desvío Estándar	Valor Máximo*
1995	80,56%	10,62%	13,5%	44,2%
1996	80,56%	11,46%	13,7%	45,1%
1997	66,67%	8,89%	13,1%	42,2%
1998	42,78%	7,33%	12,3%	39,6%
1999	37,22%	7,32%	12,4%	39,9%
2000	36,31%	7,52%	12,7%	40,7%
2001	37,22%	7,97%	13,2%	42,0%
2002	10,56%	0,85%	2,9%	13,3%
Promedio	48,98%	7,75%	11,72%	38,38%

* Valor Máximo de pago mensual del Swap

De esta forma, la probabilidad de gatillo y la prima estimada para esta alternativa son las siguientes:

$$Prob (Inflación_{acum} > Salario_{acum}) = 48,98\%$$

$$Prima Swap = 7,75\%$$

En consecuencia, el pago mensual del deudor hipotecario sería igual a:

$$Pago Mensual = (MI + Tasa de Interés) * 7,75\%$$

Siendo (MI + Tasa de Interés) la cuota del préstamo hipotecario sin el Swap

Igualmente, y en base a la información disponible, es de suponer que esta primera alternativa puede presentar desvíos significativos en la prima necesaria para igualar los flujos de egresos e ingresos.

5.2.2 Alternativa II: solución gatillo

A continuación, se detallan los resultados obtenidos en esta alternativa de acuerdo a la metodología aplicada:

Tabla 2: Prima pura estimada – Swap con solución gatillo

Año Base	Prob (gatillo)	Prima	Desvío Estándar	Valor Máximo*
1995	27,78%	5,00%	9,8%	35,9%
1996	27,78%	5,33%	10,2%	37,3%
1997	26,11%	4,38%	8,9%	33,3%
1998	23,33%	3,66%	7,8%	30,1%
1999	23,33%	3,63%	7,7%	29,9%
2000	23,46%	3,73%	7,9%	30,4%
2001	24,44%	3,99%	8,3%	31,7%
2002	3,35%	0,09%	0,5%	3,3%
Promedio	22,45%	3,73%	7,63%	29,00%

* Valor Máximo de pago mensual del Swap

De esta forma, la probabilidad de gatillo y la prima estimada para esta alternativa son las siguientes:

$$Prob (Inflación_{acum} - Salario_{acum} \geq 10\%) = 22,45\%$$

$$Prima Swap = 3,73\%$$

En consecuencia, el pago mensual del deudor hipotecario sería igual a:

$$Pago Mensual = (MI + Tasa de Interés) * 3,73\%$$

Siendo (MI + Tasa de Interés) la cuota del préstamo hipotecario sin el Swap

5.2.3 Alternativa III: solución a la mexicana

En esta alternativa, si bien el Swap debería haber pagado en el 48,98% de los meses (al igual que en la alternativa I³⁸), la variación acumulada del salario fue mayor a la variación acumulada de la inflación -en promedio-, por lo que el Swap iría acumulando el diferencial positivo de salario por encima de la inflación. De esta manera, **se podría concluir que no sería necesario un cobro de prima en esta alternativa de Swap³⁹, de acuerdo a la evidencia empírica disponible argentina.**

A excepción de los años base 1995 a 1997, en el resto de los periodos el aumento de salarios fue considerablemente superior al de la inflación por lo que, **aún sin cobrar prima, el Swap hubiese tenido ganancias considerables⁴⁰**. Por lo tanto, los flujos de ingresos que hubiese obtenido el Swap hubiesen sido mayores a los de egresos, al haber crecido más el salario nominal que el índice de in-

38 Si bien poseen distintas estructuras y pagos contingentes, tanto la alternativa I como la III poseen el mismo "Evento de Gatillo".

39 Aplicando la misma metodología que en las dos alternativas anteriores, si bien el Swap hubiese pagado en el 48,98% de las veces, la prima pura estimada en esta tercera alternativa es igual a -34,49%, lo que implicaría que existen flujos excedentes para el Swap (el Swap hubiese tenido una ganancia igual al 34,49% de las cuotas pagadas por los créditos hipotecarios). Este número está muy influenciado por los años posteriores a la crisis argentina del 2001.

40 La prima estimada promedio de los periodos que incluyen a los años base 1995-2002 es de -23,42% (Año 1995: 9,03%, Año 1996: 10,24%, Año 1997: 4,17%, Año 1998: 0,60%, Año 1999: -15,68%, Año 2000: -24,32%, Año 2001: -38,97% y Año 2002: -132,46%).

flación en el periodo bajo estudio. De esta manera, la prima en esta alternativa de Swap es variable, al estar la misma implícita en el pago del asegurado en salarios.

En consecuencia, el pago mensual del deudor hipotecario sería igual a:

$$\text{Pago Mensual} = \text{Cuota indexada a salario}$$

Siendo "cuota indexada" igual a la cuota del préstamo hipotecario inicial, pero indexada a salarios

Cabe destacar que el cobro de una prima podría ser necesario para generar un fondo de reserva y poder enfrentar posibles fluctuaciones temporales en las cuales el salario real se reduzca. De esta forma, **puede sugerirse el cobro de una prima fija adicional por sobre la prima variable implícita de esta alternativa⁴¹.**

5.3 Conclusiones de las primas estimadas

Debido a que en esta metodología la prima fue estimada en base a los datos empíricos sucedidos en el pasado reciente argentino, se cree necesario plantear la posibilidad de que las mismas puedan ser recalculadas periódicamente cada cierta cantidad de años. En este sentido, se podría establecer un mecanismo que recalculase la prima cada cierta cantidad de años en base a nueva información disponible. Por lo tanto, podrían comenzar a incorporarse al cálculo nuevos años base, en remplazo de los más antiguos o adicionalmente a los ya disponibles, modificando la prima final.

Si se decidiese aplicar este recalcule, las primas a utilizar podrían ser más justas, entendidas como más representativas del pasado reciente, reduciendo la penalización/bonificación de periodos más antiguos. Sin embargo, cabe destacar que este recalcule de prima también le agregaría al sistema una mayor incertidumbre al no saber ni el Swap ni los deudores cuál será la misma en el futuro.

En consecuencia, las primas necesarias para cada Swap pueden estimarse con distintos métodos, los cuales no son excluyentes entre sí. Por un lado, la estimación en base a la evidencia empírica disponible en el caso argentino es un ejercicio que busca simular un cálculo actuarial de probabilidad de sucesos y de montos de pago relacionados. La desventaja de esta estimación es que no se posee una serie temporal lo suficiente extendida como para determinar la representatividad del periodo analizado. A su vez, el futuro podría diferir significativamente de lo sucedido en el pasado, ocasionando o bien que la prima estimada sea muy onerosa generando ganancias para el Swap, o bien que la misma resulte insuficiente generando pérdidas considerables en la estructura.

41 En los análisis de sensibilidad siguientes se supuso una prima fija adicional del 2%, la misma podría ser superior o inferior a dicho valor. Su monto está relacionado a la magnitud de la robustez que se le quiera asignar al Swap y a la viabilidad política y económica de dicha prima.

Tabla 3. Conclusiones de las diversas alternativas de Swap

Año Base	SWAP ALTERNATIVA		
	Asimétrica (I)	Gatillo (II)	A la mexicana (III)
Prima estimada	7,75%	3,73%	0%3
Prima estimada (en base a los flujos descontados)	8,12%	3,97%	0%3
Dificultad de implementación	Alta	Media	Baja
Información Necesaria ¹	Alta	Media	Baja
Volatilidad de inflación	Cubierto	Cubierto desde el 10%	Cubierto
Suba Salario Real ²	Mejora	Mejora	Costo de oportunidad
Baja Salario Real ²	Cubierto	Cubierto desde el 10%	Cubierto
Salario Real Estable ²	Neutro (paga prima)	Neutro (paga prima)	Neutro
Dificultad de Estimación de ingresos del Swap	Estimar Salario Real	Estimar Salario Real	Estimar Salario

1: Información necesaria individualizada de cada préstamo para el funcionamiento del Swap

2: Efectos para el deudor hipotecario, en las alternativas I y II cabe destacar que los efectos dependen del monto de la prima y de la variación del salario real

3: Tal como se detalló previamente, el cobro de una prima podría ser necesario para poder enfrentar posibles fluctuaciones temporales en las cuales el salario real se reduzca

Precedentemente, se presenta una tabla resumen con la comparación de las distintas alternativas de Swap y sus diferencias en cuanto a las primas estimadas, riesgos cubiertos e información necesaria, en base a las estimaciones realizadas en los apartados anteriores. Tal como se observa en la Tabla III, la tercera alternativa de Swap es la que presenta mejores indicadores en términos relativos debido a que es la de más fácil implementación de las tres (es un intercambio directo de flujos) y requiere menor información pormenorizada de cada préstamo. En cambio, en las primeras dos alternativas es preciso hacer un seguimiento de cada préstamo para distinguir el pago mínimo (solución asimétrica) o calcular a partir de que monto el Swap deberá hacerse cargo del pago (solución gatillo). A su vez, la solución a la mexicana es la que menor prima presenta en base a las estimaciones de la economía argentina reciente.

Por último, la solución a la mexicana se presenta preferible para el tomador en cuanto a los escenarios de baja del salario real y ante la estabilidad del mismo. En el caso de un aumento del salario real, si bien las otras alternativas podrían ser preferibles para el deudor, esta solución no le ocasiona un percance debido a que, en términos reales, el crédito se mantiene igual en la proporción de sus gastos (le genera un costo de oportunidad). Esta versión del Swap posee también una estimación más sencilla de los ingresos del mismo debido a que ellos son iguales al salario.

6 Conclusiones

A lo largo de este trabajo se expuso la necesidad de contar con un instrumento como el Swap que asegure a los deudores hipotecarios del riesgo de inflación, en economías con inflación alta y persistente en un proceso de estabilización. Asimismo, este Swap puede ayudar a desarrollar el mercado hipotecario principalmente en etapas iniciales como la Argentina en 2017 (o México en 1995-2000), en la cual se necesitan de herramientas que suavicen la transición hacia una economía con inflación baja y estable.

La indexación de los créditos hipotecarios puede incentivar el desarrollo del mercado aunque es necesario considerar los riesgos de desfasaje de ingresos, el riesgo sistémico de pérdida significativa del salario real no está completamente mitigado. Asimismo, cuando en un futuro se necesite renovar las carteras de préstamos hipotecarios en los activos de los bancos para generar una segunda y tercera rueda de financiamiento, los mismos necesitaran ser vendidos mediante una titulización. De esta forma, el Swap puede ser un buen instrumento para mejorar el riesgo crediticio de las carteras de préstamos titulizados.

Tal como se remarcó en la sección anterior, las primas estimadas obedecen al estudio de la información histórica disponible, la cual puede resultar insuficiente. Asimismo, la prima teórica solo representa los ingresos necesarios para afrontar las contingencias futuras y no otros gastos administrativos que debería afrontar el Swap. Para el resto de los gastos, debería cobrarse un monto fijo que logre cubrirlos.

Finalmente, cabe remarcar que este estudio realizado para la estimación de la prima pura necesaria para afrontar las contingencias futuras estimadas es una primera aproximación al problema. Para el caso de que se opte por desarrollar finalmente esta política, será necesario complejizar aún más el análisis, utilizando, de ser posible, series temporales más extensas. A la vez, será necesario realizar simulaciones de los flujos del Swap a futuro realizando diversos escenarios bajo simulaciones de Monte Carlo. Asimismo, se pueden robustecer las estimaciones de las primas teóricas necesarias para cada alternativa en base al estudio de los flujos descontados de ingresos y egresos según la tasa real en cada país.

En el caso argentino, en virtud de las diferentes comparaciones en base a la prima estimada, la dificultad de implementación, la información necesaria y la cobertura frente a diferentes escenarios, se considera que la tercera alternativa de Swap (solución a la mexicana) es la más conveniente tanto para los tomadores de los créditos como para el Swap y el mercado hipotecario.

Referencias

- ANIF (2011). El crédito hipotecario en Colombia: evaluación del impacto regulatorio pos-crisis. Investigación Realizada por ANIF para el BID. Bogotá: Colombia.
- Babatz, G. (2004). Babatz, G. (2004). The Role of the Sociedad Hipotecaria Federal in the Development of the Mexican Mortgage Market¹. *Housing Finance International*, 18(3), 42.
- Carballo-Huerta, J., & González-Ibarra, J. P. (2009). Financial innovations and developments in housing finance in Mexico. *IFC Bulletin*, 31, 7-34.
- Cárdenas, M. y A. Badel (2003). La crisis de financiamiento hipotecario en Colombia: Causas y Consecuencias. Documento de trabajo 500, Departamento de Investigación, BID.
- Chiquier, L., & Lea, M. J. (Eds.). (2009). *Housing finance policy in emerging markets*. World Bank Publications.
- Elizondo, J.; Hernández, A. y Montenegro, R. (2006). Contingencias de naturaleza sistémica en el desarrollo del modelo de financiamiento de la vivienda en México: es posible administrar y transferir este riesgo? *Sociedad Hipotecaria Federal*, México.
- Ferreres, O. (2005). *Dos siglos de economía argentina, 1810-2004: historia argentina en cifras*. Buenos Aires: Fundación Norte y Sur.
- Gómez Colmenares, O. (2010). La titularización hipotecaria en Latino América: Aspectos económicos y regulatorios. Titulizadora Colombiana, Seminario Colade – Felaban, octubre de 2010, República Dominicana
- Gonzales Arrieta, G. (2002). El crédito hipotecario y el acceso a la vivienda para los hogares de menores ingresos en América Latina. *CEPAL - Serie financiamiento del desarrollo N° 122*.
- Grandes, M & González Rouco, F. (2016). Por qué los nuevos créditos ajustables por inflación no son como los de los 80. *Diario La Nación*, publicado el 22 de mayo de 2016, disponible en: <http://www.lanacion.com.ar/1901002-por-que-los-nuevos-creditos-ajustables-por-inflacion-no-son-como-los-de-los-80>
- Grandes, M. & Lema, D. (2016). ¿Pueden los derivados financieros promover la actividad económica? *Diario El Cronista*, publicado el 25 de noviembre de 2016, disponible en: <https://www.cronista.com/columnistas/Pueden-los-derivados-financieros-promover-la-actividad-economica-20161125-0057.html>
- Kerkhof, J. (2005). *Inflation Derivatives Explained Markets, Products, and Pricing*. Lehman Brothers: Fixed Income Quantitative Research.
- Laura, G. & Riva, E. (2012). *La moneda virtual: unidad de cuenta ontológicamente estable*. Buenos Aires: Pluma Digital Ediciones.
- Moody's (2016). *Inflation-adjusted mortgages will create a new asset class in Argentina*. Moody's Investors Service. Publicado el 28 de abril de 2016
- Moody's (2017). *A pesar de la reciente baja, el impuesto a los ingresos brutos seguirá siendo un riesgo crediticio para securitizaciones de hipotecas en UVA*. Moody's Investors Service. Publicado el 03 de mayo de 2017.
- Pardo, C. (2000). *Housing Finance in Chile: The Experience in Primary and Secondary Mortgage Financing*. Inter-American Development Bank, Washington, D. C
- Sociedad Hipotecaria Federal. (2005). *Garantía Financiera*. XVII Seminario Internacional de Seguros y Fianzas, 24 de noviembre de 2005.
- Sociedad Hipotecaria Federal. (2006). *Garantía por incumplimiento (GPI) y reglas de capitalización*. México.
- Zanforlin, L. & Espinosa, M. (2008). Housing Finance and Mortgage-Backed Securities in Mexico. *IMF Working Paper*. Monetary and Capital Markets Department
- Zárate Perdomo, J.; Cobo Serna, A. & Gómez González, J. (2012). Lecciones de las crisis financieras recientes para el diseño e implementación de las políticas monetarias y financieras en Colombia. *Ensayos Sobre Política Económica*, 30 (69), 257-293.

EVALUACIÓN DE LAS GARANTÍAS
REQUERIDAS PARA CUBRIR LOS
RIESGOS EN LOS MERCADOS DE
FUTUROS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Analysis of the financial margins
required to hedge risks in
electric power futures markets

Kelly Maradey Angarita, Javier Orlando Pantoja
Robayo y Alfredo Trespalacios Carrasquilla

Research Article

EVALUACIÓN DE LAS GARANTÍAS REQUERIDAS PARA CUBRIR LOS RIESGOS EN LOS MERCADOS DE FUTUROS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Analysis of the financial margins required to hedge risks in electric power futures markets

Kelly Maradey Angarita^a, Javier Orlando Pantoja Robayo^{b*}
y Alfredo Trespalacios Carrasquilla^c

Palabras clave: mercado de derivados de energía eléctrica, mercado spot de energía eléctrica, Valor en Riesgo, Valor en Riesgo Condicional, Colombia.

Key words: Electric power futures market, Electric power spot market, Value at Risk, Conditional Value at Risk, Colombia.

JEL Classifications: G12; G14; G18

Received: 10/06/2017

Accepted: 25/11/2017

Published: 15/12/2017

Resumen

Los mercados de contratos futuros tienen como fortaleza la eliminación del riesgo de contraparte, para esto es importante el nivel de garantías que las cámaras de riesgo exigen a los participantes del mercado. Estas garantías deben cubrir las variaciones extremas del precio del producto, pero no deben ser excesivas porque reducen la cantidad de eventuales participantes en el mercado. En este trabajo se propone una metodología alternativa para la estimación de las garantías del mercado de futuros en energía eléctrica, como caso de estudio se presenta el mercado colombiano. Se realiza simulación de Montecarlo para evaluar las variaciones diarias que puede tener el precio de los futuros y se estiman medidas de riesgo con diferentes escenarios de Niño, días de tenencia y vencimientos. Se encuentra que la nueva metodología propuesta modifica sustancialmente los niveles de garantía, frente a la metodología actual de cálculo, adicionalmente, se enuncian los factores que alteran su definición.

Abstract

One of the strengths of futures markets is the elimination of counterparty risk, but to accomplish this, it is important to consider the financial guarantees the clearing house requires from market participants. These margins must hedge the risk related to extreme variations in the product price, but they should not be excessive to avoid limiting the number of participants in the market. In this paper we propose a new methodology to provide appropriate margins in the electricity futures market, and we present an application for the Colombian market. We conduct a Monte Carlo simulation to assess the daily changes of the

a. Empresas Públicas de Medellín; Universidad de Medellín; Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín, Colombia.

b. Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

c. Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia.

* Autor para correspondencia: Correo electrónico: jpantoja@eafit.edu.co

futures price and estimate measures of risk for different scenarios for “El Niño” weather conditions, holding periods, and expiration times. We find that the new methodology substantially modifies required financial guarantee levels compared to the methodology currently used to calculate margins.

Introducción

Los mercados eléctricos presentan características diferentes a los mercados financieros, tal como lo explica [Pilipovic \(2007\)](#). [Trespalacios, Rendón, & Pantoja \(2012\)](#) plantean que quienes transan en el mercado de energía eléctrica están expuestos a riesgos que requieren un tratamiento diferente. [Pantoja \(2012\)](#) expone que la energía es un bien primario no almacenable, lo que no permite mantener un inventario como cobertura natural ante las fluctuaciones del precio spot y, por tanto, los agentes que transan en este mercado se exponen a riesgo de precio y de cantidad.

Luego de la liberación de los mercados a nivel mundial en la década de los 90, se utilizaron los contratos de largo plazo para el aseguramiento de los precios de compra y venta. La cobertura de estos riesgos se ha realizado, tradicionalmente, a través de la operación de contratos bilaterales, que como mencionan [García, Gaviria, & Salazar \(2011\)](#) generalmente son de tipo pague lo contratado y pague lo demandado. Estos contratos bilaterales, también identificados como contratos forward, son difíciles de deshacer y presentan riesgo crediticio, que puede incluso llevar a la discriminación de agentes del mercado.

Los contratos de futuros son una alternativa a los contratos bilaterales para acceder a cobertura financiera que, por su naturaleza estandarizada, forma de liquidación y presencia de una cámara de riesgo central de contraparte (CRCC), elimina el riesgo de crédito y brinda la posibilidad de aumentar la masa de posibles negociadores. El adecuado manejo de este riesgo y del nivel de liquidez del mercado dependerá de la selección del nivel de garantías realizado por la CRCC. La CRCC tiene la misión de compensar y actuar como contraparte central de las operaciones con el propósito de reducir o eliminar el riesgo de incumplimiento de las obligaciones derivadas de las mismas. Los modelos de estimación de garantías o márgenes utilizados por las cámaras tienen como objetivo cubrir posibles pérdidas derivadas de movimientos extremos en los precios de los activos subyacentes en un periodo específico de tiempo, tomando en cuenta la disminución del riesgo ocasionada por la diversificación, es decir, considerando las correlaciones entre los distintos grupos productos del portafolio.

Las CRCC manejan varios tipos de garantías, las garantías ordinarias cubren en primera instancia el incumplimiento de un miembro y se subdividen en garantías iniciales y garantías diarias; y las garantías extraordinarias son requeridas a los miembros y terceros debido a circunstancias particulares como volatilidad, riesgo de las posiciones abiertas, normatividad y límites. El objetivo del procedimiento del cálculo de garantía diaria es estimar la pérdida máxima generada a nivel de cuenta por la toma de posiciones en los contratos que compensa y liquida la Cámara. Para el caso del mercado colombiano de futuros sobre energía eléctrica, la pérdida máxima está determinada por el tamaño de la fluctuación máxima o volatilidad del precio del subyacente en un horizonte de tiempo de dos días, el número de escenarios en los cuales se subdivide el análisis de dicha fluctuación y las compensaciones entre posiciones contrarias para el conjunto de vencimientos de aquellos contratos que comparten las mismas condiciones del activo subyacente.

Así, es necesario anticipar los posibles cambios que puedan presentarse en el mercado de futuros para los diferentes productos que están abiertos, generalmente, las cámaras utilizan el precio del spot para analizar las posibles fluctuaciones asumiendo que la distribución de probabilidad de los cambios

del spot es un estimador adecuado de la distribución de probabilidad de los cambios del precio de los futuros. Existen diversos estudios sobre la relación entre el mercado de futuros y el mercado de contado, realizados con el fin de determinar básicamente: la incidencia de un mercado en otro y el poder predictivo de los movimientos en los precios de un mercado en el otro.

[Stoll y Whaley \(1990\)](#) plantean algunas implicaciones en la relación entre el mercado de futuros de un índice y el mercado de contado bajo los supuestos de mercados eficientes: i) la varianza del mercado de contado es igual a la varianza del mercado de futuros, ii) los rendimientos contemporáneos de los precios del mercado de contado y de futuros están correlacionados perfecta y positivamente. De esta manera, se considera que las distribuciones de probabilidad del precio spot y del precio del futuro son iguales y por tanto la serie de precios del spot entrega información adecuada para la estimación de garantías del mercado de futuros. En el desarrollo de este trabajo se mostrará como este supuesto no se cumple en el mercado de energía eléctrica.

Con respecto a los modelos que son utilizados por las cámaras de riesgo para definir los niveles de garantías, [Knott y Mills \(2002\)](#) plantean algunos cuestionamientos como la insuficiente profundización en la forma que sigue la distribución de los cambios en los precios haciendo supuestos gruesos, como el supuesto de normalidad. Por un lado, la presencia de asimetría significativa en la serie de rendimientos implicaría la necesidad de exigir depósitos de garantía distintos tanto a comprador como a vendedor del contrato de futuro, por otro, la presencia de series leptocúrticas alertaría a la Cámara de un incremento en la probabilidad de que se den movimientos extremos en los precios que lleven a un agotamiento de los depósitos exigidos.

En este trabajo se propone una metodología alternativa, diferente de la utilizada tradicionalmente por la Cámara, para la estimación de las garantías del mercado de futuros en energía eléctrica, buscando a través de la implementación de un modelo CVaR cuantificar la magnitud esperada de las pérdidas en que se podría incurrir en caso de superarse el VaR y, atendiendo los cuestionamientos en cuanto a la distribución de los cambios en los precios que, incrementaría la probabilidad de movimientos extremos, y por ende impactaría el requerimiento de garantías exigidas. Como caso de estudio se presenta el mercado colombiano. Para desarrollar este objetivo se realiza simulación de Montecarlo para evaluar las variaciones diarias que puede tener el precio de los futuros teniendo en cuenta características particulares del mercado de energía eléctrica, como lo son el impacto de fenómenos climáticos, la prima de riesgo y la reversión a la media. También, se estiman las posibles pérdidas derivadas de movimientos extremos en los precios del contrato futuro en un periodo específico de tiempo y se presenta propuesta de niveles de garantía para una cobertura de 5 días, teniendo en cuenta que dicho depósito deberá mantener un equilibrio entre unos costos de oportunidad bajos para el usuario de los contratos de futuro y una elevada protección de la cámara ante movimientos adversos de los precios, como es el caso de un Fenómeno de Niño.

En la segunda sección de este trabajo se presenta una descripción de los mercados de energía eléctrica, así como las diferencias entre estos mercados y los mercados financieros. En la tercera sección se hace una descripción de la metodología con la que se abordó la investigación. En la sección cuatro se describe el movimiento del precio forward en mercados financieros y su relación con el precio spot, se presenta el modelo matemático del precio de contratos forward para mercados eléctricos y su ecuación de recurrencia. En la sección cinco se presentan los indicadores de riesgo utilizados y la sensibilidad a los parámetros de modelación. En la sección seis aparecen los resultados obtenidos para

el mercado colombiano, para luego plantear el esquema de garantías propuesto para dicho mercado. Finalmente, en el capítulo siete se presentan las conclusiones de la investigación.

2. Mercado de energía

[Pilipovic \(2007\)](#) plantea razones por las que el mercado de energía se diferencia de los mercados financieros, en primer lugar, el mercado de energía responde a la interacción dinámica entre la generación, almacenamiento, transmisión, uso, compra y venta de un producto con entrega real, que genera un comportamiento más complejo en el precio evidenciado por la presencia de saltos, fuerte reversión a la media, volatilidades mayores, estacionalidad y existencia de un rendimiento de conveniencia o costo de oportunidad por mantener la producción parada o en espera energía disponible. El mercado de energía eléctrica responde diferente a los ciclos económicos y fundamentales de la oferta y la demanda, presenta una reversión a la media más fuerte que corresponde a que tan rápido la oferta de energía puede reaccionar a “eventos” del mercado como guerras o sequías.

Adicionalmente, este mercado presenta restricciones en la capacidad de producción y almacenamiento, que generan volatilidades superiores en el spot, sin embargo, en el precio del futuro la volatilidad disminuye a mayores vencimientos debido a la expectativa de que la oferta y la demanda se balanceen en largo plazo. Esto genera lo que se conoce como *Split Personality* y hace referencia a que el tramo corto de la curva forward refleja la energía actualmente almacenada, mientras que la parte larga refleja las expectativas de estabilidad del sistema. Fenómenos climáticos como El Niño, elevan además los costos de producción de la energía ya que se demanda más producción térmica. En últimas el mercado de energía está influenciado por condiciones de corto plazo como el almacenamiento, y de largo plazo como la oferta potencial futura de energía.

[Pantoja \(2012\)](#), en su estudio *Modelling Risk for Electric Power Markets*, encontró evidencia de que los agentes del mercado de energía pagan una prima que depende de la capacidad futura de producción de energía eléctrica, aun en condiciones debidas a fenómenos climáticos como El Niño. Esta prima está definida por las expectativas de los agentes sobre la generación futura y es un reflejo del grado de aversión al riesgo y representa el propósito de asegurar un precio sobre una cantidad incierta de electricidad a futuro.

Cabe mencionar que el *principio de no arbitraje* es cuestionable en el mercado de futuros sobre energía eléctrica. En condiciones normales, sería indiferente: entrar en un contrato a futuro con vencimiento en T o comprar hoy el activo y mantenerlo hasta T, dado que ambas situaciones tienen el mismo *payoff* en T y podría estimarse el precio del futuro a partir del precio spot llevándolo a valor futuro con una tasa que corresponde al costo de tenencia – *costo of carry*. Sin embargo, en el mercado de energía la oferta está limitada por el volumen y existen restricciones de almacenamiento y transporte, por lo que ambas situaciones no tendrían el mismo *payoff* en T, caso en el que el precio del futuro sería equivalente al precio spot ajustado por una prima de riesgo.

En este trabajo se evalúa si los depósitos de garantía exigidos en el mercado de futuros de energía eléctrica en Colombia son o no excesivos, para lo que se estiman las posibles pérdidas derivadas de movimientos extremos en los precios del contrato futuro en un periodo específico de tiempo, teniendo en cuenta características particulares del mercado de energía eléctrica, como lo son el impacto de fenómenos climáticos, la prima de riesgo y la reversión a la media. Dicho depósito deberá mantener

un equilibrio entre unos costos de oportunidad bajos para el usuario de los contratos de futuro y una elevada protección de la cámara ante movimientos adversos de los precios.

3. Metodología

La metodología seguida para evaluar si los depósitos de garantía exigidos en el mercado de futuros de energía eléctrica en Colombia son o no excesivos, consta de las siguientes etapas:

Primera, simulación del movimiento del precio a plazo de la energía eléctrica mediante el siguiente modelo, que incorpora características como la reversión a la media, la prima de riesgo y el fenómeno del Niño:

$$dF_{t,T} = -ak.e^{-k(T-t)} dt + \sigma.e^{-k(T-t)} dw_t$$

En donde,

a es la prima de riesgo de contratos de largo plazo, *Long-Term Forward Risk Premium*.

k es la velocidad de reversión a la media, $k > 0$.

σ es la volatilidad del precio spot de la energía eléctrica.

dw es el diferencial de un movimiento browniano.

Segunda, estimación de la pérdida máxima potencial derivada de movimientos extremos en el precio forward de la energía eléctrica en un periodo específico de tiempo. Se estiman diferentes modelos para medir el riesgo, estos son: Valor en Riesgo (VaR), Valor en Riesgo Condicional (CVaR). El objetivo es medir la volatilidad a la que estaría expuesta la Cámara de Riesgo con un nivel de confianza del 99%, y sobre la cual debería basarse para estimar las garantías exigidas a los agentes que participan en el mercado.

Tercera, validación de que la garantía exigida en el mercado de futuros sobre energía eléctrica “garantice” las posibles pérdidas dado el riesgo de mercado al que se expone el agente.

4. Precio spot y futuro

Es ampliamente aceptado en la literatura que el precio de activos financieros como acciones, se mueve de acuerdo con un Movimiento Browniano Geométrico (MBG). [Bachelier \(1900\)](#) en su tesis doctoral, Teoría de la Especulación, introduce el movimiento browniano para modelar precios de activos bursátiles y valorar algunas opciones cotizadas en aquella época en la bolsa de valores. [Black, Scholes y Merton \(1973\)](#) resolvieron el problema de valoración de una opción europea bajo el supuesto de que los precios de las acciones evolucionan de acuerdo a un Movimiento Browniano. Si se asume que el precio spot S_t de un activo financiero se mueve siguiendo un MBG la ecuación diferencial estocástica que gobierna su movimiento es la que se presenta a continuación, donde dW_t corresponde al diferencial de un proceso de Wiener, μ y σ son constantes y representan los parámetros de tendencia y volatilidad respectivamente.

$$\frac{dS_t}{S_t} = u \cdot dt + \sigma \cdot dw_t \quad (1)$$

(Hull, 2008) muestra cómo el precio de los contratos de futuros transados en el momento t con vencimiento en T , de productos sobre los que no existe posibilidad de arbitraje y son almacenables, asumiendo tasa de interés constante, están dados por la relación:

$$F_{t,T} = S_t \cdot e^{r \cdot (T-t)} \quad (2)$$

Se puede demostrar aplicando lema de Itô, como lo hace Venegas (2008), que la ecuación diferencial estocástica que gobierna el precio de los contratos de futuro para activos financieros que cumplen con el supuesto del MBG es:

$$\frac{dF_{t,T}}{F_{t,T}} = (u-r) \cdot dt + \sigma \cdot dw_t \quad (3)$$

Que corresponde, así como en el caso del spot, con un movimiento browniano geométrico con la misma volatilidad del activo subyacente, aunque que con un parámetro de tendencia menos marcado siempre que la tasa de interés libre de riesgo sea positiva. Así, si se desea hacer estimaciones acerca de la volatilidad de los precios de contratos futuros sobre activos como las acciones, puede ser indiferente analizar la volatilidad de estos o la del precio subyacente, contrario a lo que ocurre en la energía eléctrica. El precio spot de mercados eléctricos, presenta entre otras características, patrones de reversión a la media y estacionalidad. Estas características no pueden ser captadas por la dinámica de un movimiento browniano geométrico.

Geman & Roncoroni (2003) proponen una serie de procesos para modelar el precio spot incluyendo parámetros de saltos y calibran dicho modelo en los tres mercados energéticos más importantes de Estados Unidos. Para este trabajo se considera el modelo de precio spot propuesto por Lucia & Schwartz, (2002), el cual ha sido calibrado para el mercado colombiano por Trespalacios, Rendón, & Pantoja (2012) y Maya & Gil (2008) que igualmente logra describir la dinámica de otros mercados a nivel internacional. Así, el precio spot estará dado por la siguiente ecuación, donde kappa corresponde a la velocidad de reversión a la media, sigma la volatilidad instantánea del precio y $f(t)$ corresponde a una función determinística del precio donde se incluyen, entre otros, la estacionalidad del precio.

$$dP_t = k(b(t) - P_t) \cdot dt + \sigma \cdot dw_t \quad (4)$$

$$b(t) = \frac{1}{k} \frac{d}{dt} f(t) + f(t) \quad (5)$$

Si se considera la información disponible hasta t , el valor esperado del precio spot en T , está dado por la siguiente expresión:

$$E_t [P_T] = f(T) + (P_t - f(t)) \cdot e^{-k(T-t)} \quad (6)$$

Considerando que el precio de los contratos con entrega a futuro corresponde al valor esperado del precio spot ajustado por riesgo (seleccionando una medida neutral al riesgo), (Lucia & Schwartz, 2002) muestran cómo el precio de entrega del contrato forward de energía eléctrica con vencimiento en T , negociado en t corresponde con la expresión:

$$F_{t,T} = f(T) + (P_t - f(t)) \cdot e^{-k(T-t)} + \alpha \cdot (1 - e^{-k(T-t)}) \quad (7)$$

Donde a corresponde a la prima de riesgo de largo plazo del mercado. Para identificar la prima de riesgo que el mercado está cobrando (FRP por las siglas en inglés de *Forward Risk Premium*), basta con tomar la diferencia entre las dos ecuaciones anteriores. Encontrándose que la FRP tiene un valor máximo de a cuando el período al vencimiento tiende al infinito, esto es cuando se presenta que $(T-t) \rightarrow \infty$ y que es cero cuando $T=t$.

$$FRP_t = F_{t,T} - E_t [P_t] \tag{8}$$

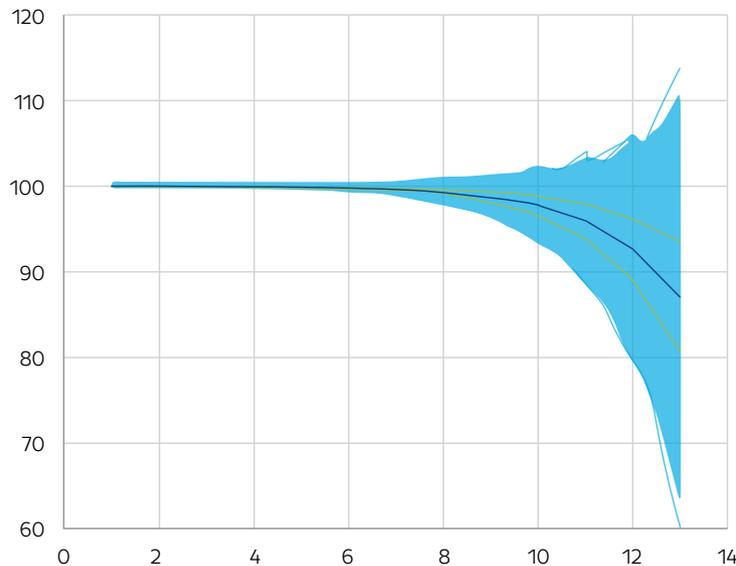
$$FRP_t = a \cdot (1 - e^{-k(T-t)}) \tag{9}$$

A partir de la relación (7) y aplicando Lemma de Itô, (Trespalcios, Rendón, & Pantoja, 2012) encuentran que el movimiento del precio forward de energía eléctrica, es gobernado por la siguiente ecuación diferencial estocástica:

$$dF_{t,T} = -ak \cdot e^{-k(T-t)} dt + \sigma \cdot e^{-k(T-t)} dw_t \tag{10}$$

Cuya expresión no tiene la misma forma que la ecuación diferencial propuesta para el precio spot. En la componente estocástica, se aprecia cómo la volatilidad instantánea del precio spot es constante σ , mientras que para el precio del contrato forward cambia con el tiempo $\sigma \cdot e^{-k(T-t)}$. En la [gráfica 1](#) se presenta una simulación de diez mil trazas construidas con la ecuación (10), para un vencimiento de 12 meses, un valor de σ de 15 y los parámetros correspondientes para el mercado colombiano que aparecen en el anexo de este trabajo.

Gráfica 1. Simulación ecuación diferencial del futuro de energía.

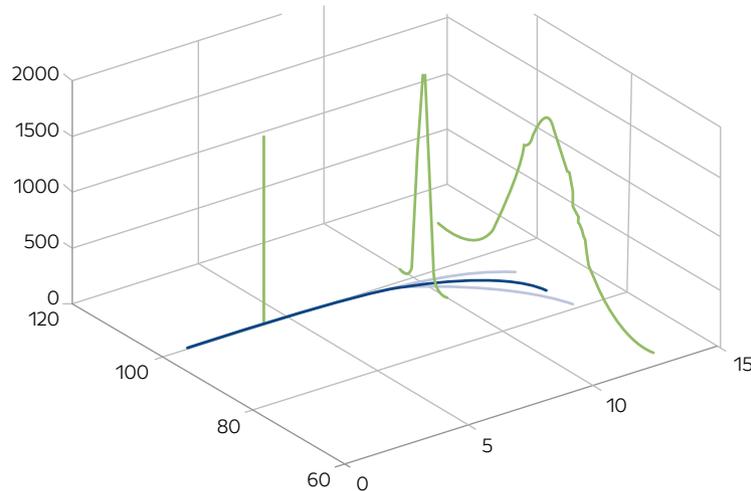


En la [gráfica 2](#) se muestra la misma simulación, solo que esta vez se presenta en el eje z, la frecuencia de los histogramas del precio. Como lo explican Trespalcios, Rendón, & Pantoja (2012), la volatilidad del precio forward será menor que la volatilidad del spot.

De esta manera, las conclusiones que se puedan obtener analizando la variabilidad de los precios spot históricos no necesariamente corresponderán a las conclusiones que se obtendrían si se analiza la variabilidad de los precios forward. Se sugiere revisar la metodología actual que la cámara de riesgo

colombiana realiza, toda vez que sus análisis de riesgo están basados en el comportamiento del precio spot de la energía eléctrica.

Gráfica 2. Simulación ecuación diferencial del futuro de energía y frecuencia histogramas.



Los métodos de Montecarlo están basados en la analogía de probabilidad y número de ocurrencia de valores obtenidos de experimentos aleatorios. Consiste en la realización de ensayos y medición de los resultados, según [Glasserman \(2003\)](#) la ley de los grandes números asegura que la estimación de los estadísticos encontrados converge a la solución real a medida que el número de ensayos aumenta. En este trabajo, se realiza el cálculo a partir de simulación de montecarlo, para esto deben representarse las relaciones de las variables en tiempo discreto.

Partiendo de la ecuación diferencial estocástica [\(10\)](#), se obtiene la ecuación de recurrencia de tiempo discreto que se presenta a continuación:

$$F_{t+\Delta t, T} = F_{t, T} + \Delta F_{t, T}$$

$$\Delta F_{t, T} = -\alpha k e^{-k(T-t)} \Delta t + \sigma e^{-k(T-t)} \Delta W_t \tag{11}$$

Donde,

$$\Delta W_t = \sqrt{\Delta t} \mathcal{E}_t$$

$$\mathcal{E}_t \sim N(0, 1)$$

Para la generación de un paso nuevo, es necesaria la generación de un número aleatorio que provenga de una distribución normal estándar, este número está representado con \mathcal{E}_t , los demás parámetros requeridos para la simulación deben ser seleccionados de tal manera que se presente coherencia entre sus valores y las medidas de tiempo seleccionadas.

5. Medición del riesgo

El proceso de estimación de la garantía, parte de la medición de los cambios en el precio de contratos de futuros sobre energía eléctrica para diferentes vencimientos y en un horizonte de d días.

Si se considera un agente que acaba de realizar una transacción de compra de un contrato de futuros con vencimiento T meses adelante, el rendimiento de su estado de pérdidas y ganancias para los próximos d días, estará dado por ψ_d^T .

$$\psi_d^T = \ln(F_d) - \ln(F_0) \tag{12}$$

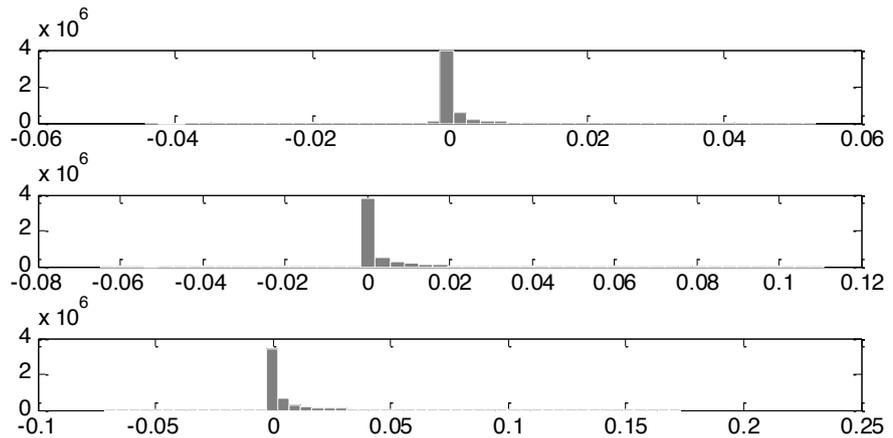
Donde:

F_0 : es el precio de los contratos de futuro con vencimiento en el mes T, valorado el día inicial. Corresponde a una variable determinística y la entrega el mercado.

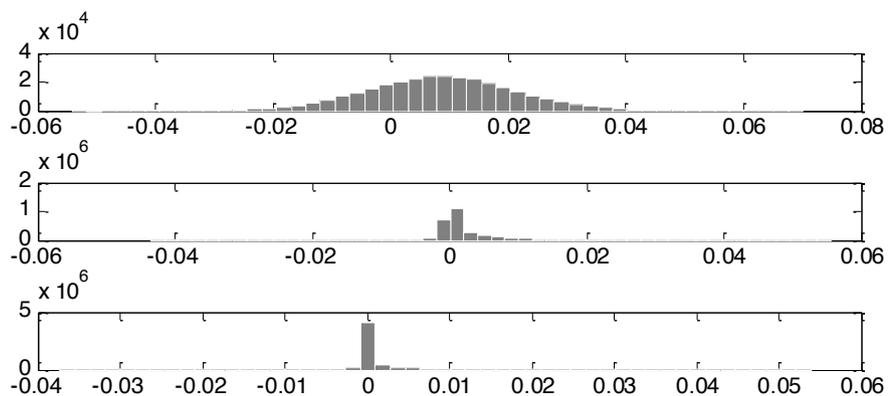
F_d : es el precio de los contratos de futuro con vencimiento en el mes T, valorado el día d. Corresponde a una variable aleatoria.

Ln: corresponde al operador de logaritmo natural.

Gráfica 3. Histogramas de ψ_d^T para T = 18 meses y d = 1, 15, 30 días.



Gráfica 4. Histogramas de ψ_d^T para T = 1, 9, 18 meses y d = 1 día.



En las [gráficas 3 y 4](#) se observa que conforme se espera que el agente mantenga por más tiempo la posición, esto es un aumento en d , la volatilidad esperada del flujo de caja del inversionista será más alta. Sin embargo, debido a las características del precio forward, conforme aumenta T no se incrementa la volatilidad de ψ_d^T . Estas características explican que para contratos con vencimiento más lejano se requerirán menores márgenes de garantía, como actualmente está definido por la cámara. Así mismo, conforme la cámara quiera cubrir un periodo de días mayores con la posición abierta, se requerirá un mayor nivel de garantías.

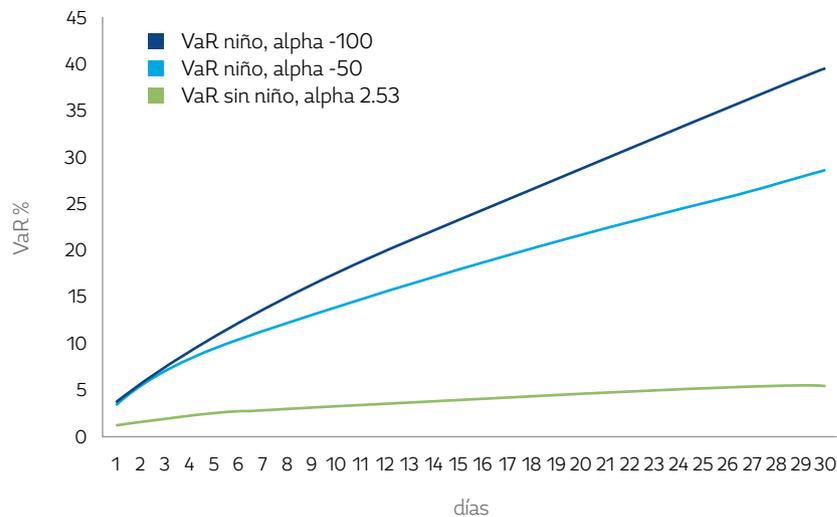
Con el objetivo de medir la volatilidad a la que estaría expuesta la Cámara de Riesgo con un nivel de confianza del 99% y para un horizonte de d días, se estiman los siguientes modelos:

5.1 Valor en Riesgo, VaR

De acuerdo con ([Meucci, 2007](#)), la medida de VaR es bastante popular entre los profesionales de la gestión de riesgo, especialmente luego de los acuerdos de Basilea. El VaR para un nivel de confianza dado puede calcularse como el cuantil correspondiente de los rendimientos del flujo de caja de un inversionista. Considerando que la cámara de riesgo debe considerarse como un agente altamente averso al riesgo, para este trabajo se considera un nivel de confianza del 99%, para lo cual el VaR corresponderá al percentil 1 de la distribución de probabilidad de ψ_d^T .

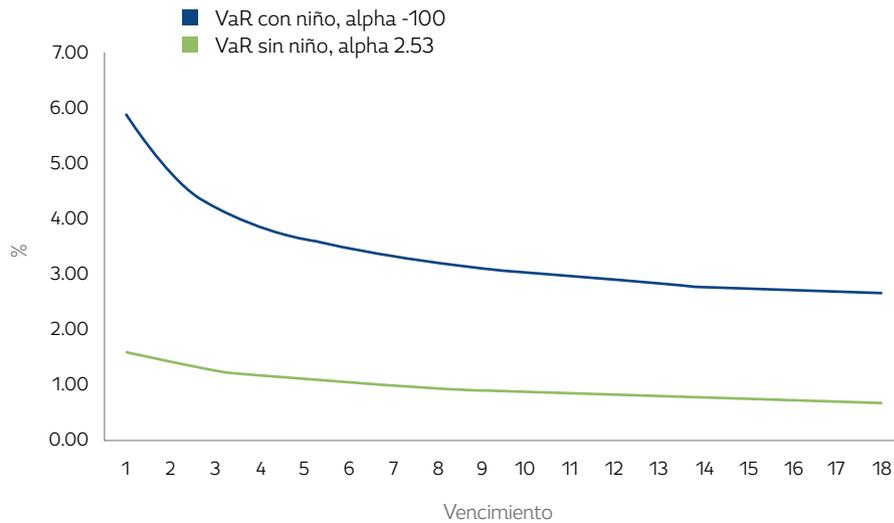
En la [gráfica 5](#) se presenta cómo se modifica el VaR (en eje y) para una posición que se mantiene un número de días d (en eje x) en una posición en contratos con periodo de vencimiento de un mes y cuando la prima de riesgo de largo plazo es modificada. Se aprecia como a medida que una posición se mantiene en el tiempo, el VaR de la inversión es más alto.

Gráfica 5. VaR sensibilizado por prima de riesgo y número de días.



Se encuentra, adicionalmente, que el aporte marginal al VaR por el aumento del número de días depende de la prima de riesgo de largo plazo considerada, es así como deben considerarse casos extremos para primas de riesgo y no conformarse con un análisis de prima de riesgo promedio histórico. Para los valores con los que se construyen estas sensibilidades se consultó con especialistas del sector eléctrico acerca de posibles valores de alfa para casos extremos (durante un evento El Niño).

Gráfica 6. VaR para 2 días sensibilizado por prima de riesgo y vencimiento.

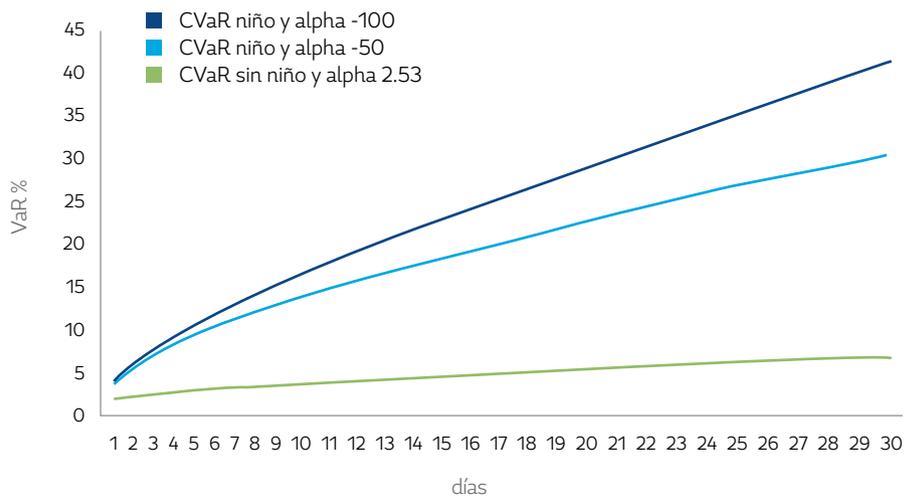


En cuanto a la dependencia de este indicador de riesgo y el periodo de vencimiento se aprecia que existe una relación inversa. Un contrato que tiene un periodo de vencimiento mayor, tiene un VaR menor y así, coherente con la definición actual de los límites por parte de la CCRC, a los contratos con periodos de vencimiento mayores deben exigírsele un menor nivel de garantías que a los contratos con periodos de vencimientos menores, ya que un incremento en el vencimiento del contrato no incrementa la volatilidad del rendimiento del estado de pérdidas y ganancias del agente debido a las características del precio futuro.

5.2 Valor en Riesgo Condicional, CVaR

Se estima el CVaR como una medida alternativa al VaR que cuantifica la magnitud esperada de las pérdidas en que se podría incurrir en caso de superarse el VaR. El CVaR se mide como la esperanza matemática de las pérdidas superiores al VaR, para un nivel de confianza del 99%.

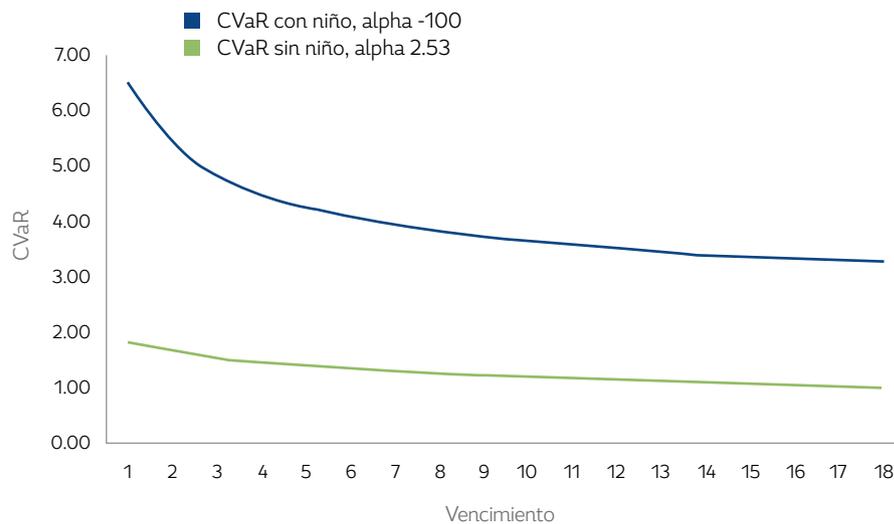
Gráfica 7. CVaR sensibilizado por prima de riesgo y número de días.



En la [gráfica 7](#), se presenta el CVaR (eje y) para una posición que se mantiene d días (eje x) en un contrato de futuro con vencimiento en un mes para varios valores de la prima de riesgo. Se observa, al igual que en el caso del VaR, que a medida que se mantiene la posición en el tiempo, el CVaR se incrementa, pero esta vez por encima del VaR.

Por otro lado, es consistente la relación inversa del CVaR y el vencimiento del contrato de futuros, contratos con vencimientos menores reportan un CVaR superior. Así, a un contrato de futuros con vencimiento en 1 mes le correspondería un CVaR de dos días de aproximadamente 6,5%, mientras que para un contrato de futuro con vencimiento en 18 meses esta misma medida de riesgo estaría alrededor del 3,3%.

Gráfica 8.C VaR para 2 días sensibilizado por prima de riesgo y vencimiento.



6. Resultados

La metodología actual de la Cámara de Riesgo para el cálculo de la garantía de los futuros sobre energía eléctrica está basada en el comportamiento del precio spot de la energía eléctrica. Como se demuestra previamente en el [numeral 4](#), en un mercado accionario puede ser indiferente analizar la volatilidad del futuro o la del precio subyacente, por el contrario, en el mercado de energía eléctrica los resultados que se obtienen analizando el comportamiento del spot difieren de los resultados obtenidos analizando el comportamiento de los contratos de futuro dado que la volatilidad del precio a plazo es menor que la volatilidad del spot.

Se propone entonces que la estimación de las garantías de los futuros de energía eléctrica se realice con base en el precio del futuro de energía eléctrica, no con base en el spot. En ausencia de series históricas y mientras se obtiene más liquidez e información de las transacciones realizadas en el Mercado de Derivados Energéticos, DERIVEX, se recurre al uso del modelo estocástico presentado previamente que representa el comportamiento del precio del futuro e incorpora movimientos extremos, que en el caso del mercado de energía eléctrica vienen representados por la aparición del Fenómeno del Niño.

Bajo el entendimiento de los riesgos que asume la Cámara de Riesgo en un mercado sin liquidez y con el fin de estimar las garantías exigidas a quienes participan en este mercado, se plantea el uso de modelos de riesgo de mercado con un nivel de confianza del 99%, para un horizonte de d días y sobre el precio del futuro en el evento de presentarse Fenómeno del Niño. Así, se estima el VaR y el CVaR para los contratos de futuros con vencimiento mensual de 1 a 18 meses y para posiciones que van desde 1 hasta 30 días, con un nivel de confianza del 99%. Como se mencionó anteriormente, los eventos extremos en mercados de energía eléctrica corresponden a periodos donde se presenta el Fenómeno del Niño, por esta razón, en las estimaciones del riesgo se tienen en cuenta diferentes valores de prima de riesgo correspondientes a periodos de Niño y periodos de no Niño, se propone que la cámara obtenga protección ante el 99% de los eventos Niño, lo cual es coherente con el riesgo que asume ante un mercado ilíquido como lo es Derivex.

Los resultados de aplicar la metodología propuesta en este documento, partiendo de un escenario de aversión al riesgo, sugieren unos valores diferentes a los que actualmente exige la Cámara de Riesgo en términos de garantías. Con los parámetros utilizados para el mercado colombiano la propuesta de garantías se resume en dos tablas: una, que presenta las garantías estimadas para diferentes vencimientos y otra, que presenta las garantías estimadas dependiendo del número de días de cobertura, d . Conforme se conozca más información sobre la evolución de los precios y las transacciones que se den en Derivex, será necesario estimar de nuevo las garantías partiendo de la serie histórica de precios de futuros.

De acuerdo con los resultados presentados en las [tablas 1 y 2](#), para un contrato con vencimiento en 1 mes, el nivel de riesgo medido con el CVaR para una posición de 2 días se encuentra alrededor de 6.53%, mientras que para un contrato de futuros con vencimiento en 18 meses éste se ubicaría aproximadamente en 3.3%. De otro lado, si la cámara cubriera 12 días de posición en un contrato con vencimiento en 1 mes, su garantía sería aproximadamente 21%, mientras que para un contrato de 18 meses ese porcentaje estaría cubriendo 27 días de posición.

Tabla 1. Medidas de riesgo para un contrato de futuros con vencimiento en 1 mes y diferentes primas de riesgo.

T = 1						
Días	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	3.82	4.29	3.66	4.20	1.14	1.34
2	5.90	6.53	5.39	6.14	1.59	1.87
3	7.65	8.43	6.83	7.71	1.92	2.26
4	9.27	10.16	8.10	9.09	2.20	2.57
5	10.78	11.78	9.21	10.33	2.43	2.85
6	12.21	13.29	10.28	11.51	2.64	3.09
7	13.57	14.70	11.30	12.59	2.82	3.31
8	14.88	16.06	12.21	13.58	3.00	3.51
9	16.14	17.40	13.12	14.51	3.16	3.69
10	17.39	18.71	13.98	15.42	3.30	3.86
11	18.58	19.95	14.80	16.30	3.45	4.02
12	19.79	21.19	15.62	17.14	3.58	4.18
13	20.99	22.45	16.40	17.94	3.71	4.32
14	22.16	23.66	17.21	18.73	3.83	4.47

T = 1						
Días	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
15	23.31	24.85	17.96	19.50	3.94	4.60
16	24.44	26.00	18.70	20.25	4.06	4.73
17	25.55	27.13	19.46	20.99	4.17	4.85
18	26.63	28.23	20.14	21.73	4.28	4.97
19	27.70	29.33	20.75	22.43	4.38	5.08
20	28.76	30.40	21.52	23.19	4.48	5.19
21	29.85	31.49	22.24	23.95	4.58	5.30
22	30.91	32.56	22.94	24.70	4.67	5.40
23	32.00	33.59	23.66	25.45	4.76	5.50
24	33.06	34.63	24.32	26.14	4.86	5.59
25	34.03	35.65	25.05	26.85	4.94	5.69
26	35.01	36.71	25.72	27.57	5.03	5.78
27	36.08	37.80	26.49	28.31	5.12	5.88
28	37.16	38.95	27.15	29.08	5.21	5.99
29	38.35	40.04	27.92	29.85	5.29	6.10
30	39.40	41.07	28.55	30.46	5.40	6.20

Tabla 2. Medidas de riesgo para un contrato de futuros con vencimiento en 18 meses y diferentes primas de riesgo.

T = 18						
Días	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	1.62	2.09	1.57	2.13	0.49	0.72
2	2.61	3.30	2.39	3.19	0.67	1.00
3	3.50	4.35	3.08	4.07	0.80	1.19
4	4.33	5.32	3.72	4.85	0.91	1.35
5	5.12	6.23	4.29	5.57	0.99	1.49
6	5.87	7.11	4.85	6.23	1.07	1.60
7	6.62	7.94	5.37	6.86	1.13	1.70
8	7.32	8.75	5.86	7.46	1.19	1.79
9	8.01	9.53	6.34	8.04	1.24	1.87
10	8.69	10.29	6.81	8.58	1.29	1.95
11	9.36	11.03	7.25	9.11	1.33	2.01
12	10.01	11.75	7.68	9.62	1.37	2.08
13	10.64	12.45	8.10	10.11	1.41	2.13
14	11.26	13.14	8.51	10.59	1.44	2.19
15	11.87	13.81	8.91	11.05	1.47	2.23
16	12.47	14.47	9.30	11.49	1.50	2.28
17	13.07	15.12	9.69	11.93	1.52	2.32
18	13.65	15.75	10.06	12.35	1.55	2.36
19	14.23	16.38	10.42	12.77	1.57	2.40
20	14.80	16.99	10.78	13.17	1.59	2.43
21	15.35	17.59	11.13	13.56	1.61	2.46
22	15.89	18.18	11.48	13.94	1.63	2.49

T = 18						
Días	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
23	16.43	18.76	11.81	14.32	1.64	2.52
24	16.97	19.33	12.14	14.68	1.66	2.54
25	17.49	19.90	12.46	15.04	1.67	2.57
26	18.00	20.45	12.77	15.39	1.69	2.59
27	18.52	21.00	13.08	15.73	1.70	2.61
28	19.02	21.53	13.38	16.07	1.71	2.63
29	19.52	22.06	13.67	16.39	1.72	2.65
30	20.00	22.58	13.96	16.71	1.73	2.67

Actualmente, se cuenta con 24 contratos listados en el mercado de futuros sobre energía eléctrica de Colombia, es decir, 24 vencimientos mensuales para realizar coberturas en un mes particular o en bloques de meses hasta por dos años. Las garantías oscilan entre 15% y 23% dependiendo del plazo. La cámara estima estos porcentajes con el fin de cubrir una potencial pérdida máxima generada a nivel de cada cuenta por las posiciones que compensa y liquida y depende la volatilidad máxima del spot en un periodo de 2 días.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, para lograr una cobertura de 2 días, los porcentajes de las garantías que debería exigir la cámara por vencimiento deberían corresponder con la [tabla 4](#). En este sentido, es válido afirmar que la cámara se encuentra sobrecubierta si desea protegerse ante el riesgo para un periodo de 2 días y que podría flexibilizar los niveles de las garantías en pro de una mayor liquidez del mercado de futuros sobre energía eléctrica y guardando equilibrio con niveles de protección ante eventos extremos como el Fenómeno del Niño.

El 21% exigido actualmente por la Cámara representa en nuestra estimación 12 días de cobertura para un contrato con vencimiento en un mes y en el evento de presentarse Fenómeno del Niño. En este sentido, si la Cámara desea cubrirse 2 días, la garantía exigida debería situarse alrededor del 7% en el escenario de mayor aversión al riesgo. El nivel de garantías debería estimarse guardando un equilibrio entre unos costos de oportunidad razonables para los agentes que participan en Derivex y un nivel de protección elevado para la Cámara ante un mercado de poca liquidez.

Tabla 3. Medidas de riesgo para diferentes vencimientos y una posición de 2 días.

Medidas de riesgo para 2 días						
Vencimiento	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	5.90	6.53	5.39	6.14	1.59	1.87
2	4.74	5.38	4.53	5.23	1.39	1.67
3	4.17	4.78	4.02	4.74	1.26	1.56
4	3.83	4.43	3.74	4.46	1.17	1.48
5	3.61	4.21	3.50	4.24	1.10	1.41
6	3.45	4.05	3.34	4.07	1.04	1.35
7	3.32	3.94	3.21	3.95	0.99	1.30
8	3.21	3.83	3.10	3.86	0.94	1.26
9	3.12	3.75	2.98	3.75	0.90	1.22
10	3.05	3.69	2.90	3.67	0.87	1.18

Medidas de riesgo para 2 días						
Vencimiento	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
11	2.98	3.62	2.81	3.59	0.84	1.16
12	2.91	3.56	2.74	3.52	0.81	1.13
13	2.85	3.51	2.68	3.46	0.78	1.11
14	2.80	3.46	2.62	3.40	0.75	1.08
15	2.75	3.42	2.55	3.35	0.73	1.05
16	2.70	3.38	2.49	3.29	0.71	1.03
17	2.65	3.33	2.44	3.24	0.69	1.01
18	2.61	3.30	2.39	3.19	0.67	1.00

7. Esquema de garantías propuesto

En la [tabla 6](#), se presenta una propuesta de los niveles de garantías a exigir en el mercado colombiano de futuros sobre energía eléctrica, logrando una cobertura de 5 o más días en eventos extremos de Fenómeno del Niño.

Ahora, si la Cámara desea cubrir un periodo de días mayor, se requerirá un mayor nivel de garantías, tal como se muestra en las tablas anexas para diferentes escenarios (Fenómeno del Niño) y vencimiento. Se recomienda además mantener una revisión periódica de los niveles de garantías propuestos, de manera que se pueda incluir la información adicional que se genere en el mercado.

Tabla 4. Niveles de garantías propuestos para d = 5 días o más.

Vencimiento	Garantía actual	Garantía propuesta
1	21%	11%
2	21%	10%
3	21%	9%
4	21%	8%
5	16%	8%
6	16%	8%
7	16%	8%
8	16%	8%
9	12%	7%
10	12%	7%
11	12%	7%
12	12%	7%
13	12%	7%
14		7%
15		7%
16		7%
17		7%
18		7%

8. Conclusiones

En el mercado de energía eléctrica los resultados que se obtienen analizando el comportamiento del spot difieren de los resultados obtenidos analizando el comportamiento de los contratos de futuro dado la distribución de probabilidad de los cambios del spot no es un estimador adecuado de la distribución de probabilidad de los cambios del precio de los futuros. Por tanto, los resultados de aplicar la metodología propuesta en este trabajo, partiendo de un escenario de aversión al riesgo, sugieren unos niveles de garantía diferentes a los que actualmente exige la Cámara de Riesgo.

Los niveles de garantía exigidos actualmente por la cámara de riesgo en Colombia responden a la necesidad de cubrir el riesgo de variaciones extremas en los precios de los contratos de futuros de energía eléctrica, sin embargo, son excesivos. Por otro lado, este esquema no da respuesta a los criterios de cobertura que la cámara supone, como lo son el periodo de 2 días de cobertura y el nivel de confianza del 99%. Por tanto, la metodología actual que se usa para la estimación de las garantías en el mercado colombiano no es adecuada para la definición de los niveles requeridos cuando se transan derivados asociados a la energía eléctrica.

Actualmente, las garantías exigidas en el mercado colombiano para contratos de futuros sobre energía eléctrica a diferentes vencimientos varían entre 21% y 12%. Los resultados de esta estimación sugieren niveles de garantías entre 11% y 7% para una cobertura de 5 días. Por lo que en pro de una mayor liquidez del mercado y guardando equilibrio con niveles de protección ante eventos extremos como el Fenómeno del Niño, la CRCC podría disminuir los niveles de garantía exigidos. El 21% exigido actualmente por la Cámara representa en la estimación 12 días de cobertura para un contrato con vencimiento en un mes y en el evento de presentarse Fenómeno del Niño. En este sentido, si la Cámara desea cubrirse 2 días, la garantía exigida debería situarse alrededor del 7% en el escenario de mayor aversión al riesgo.

Se aprecia una relación directa entre los días de tenencia de un contrato y las estimaciones de riesgo, el aporte marginal al VaR por el aumento del número de días depende de la prima de riesgo de largo plazo considerada, es así como deben considerarse casos extremos para primas de riesgo y no incluir solo primas de riesgo promedio histórico.

En cuanto a la dependencia de este indicador de riesgo y el periodo de vencimiento se aprecia que existe una relación inversa. Un contrato que tiene un periodo de vencimiento mayor, tiene un VaR menor y así, coherente con la definición actual de los límites por parte de la CCRC, a los contratos con periodos de vencimiento mayores deben exigírsele un menor nivel de garantías que a los contratos con periodos de vencimientos menores, ya que un incremento en el vencimiento del contrato no incrementa la volatilidad del rendimiento del estado de pérdidas y ganancias del agente debido a las características del precio futuro.

Referencias

- Bachelier, L. (1900). *Théorie de la spéculation*, Gauthier-Vilars, Universidad de la Sorbona, Paris.
- Black, F. y Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 637 - 654.
- García, J., Gaviria, A., & Salazar, I. (2011). Determinantes del precio de la energía eléctrica en el mercado no regulado en Colombia. *Revistas Ciencias Estratégicas*, 225-246.
- Geman, H., & Roncoroni, A. (2003). A class of marked point processes for modelling. ESSEC.
- Glasserman, P. (2003). *Montecarlo methods in financial engineering*. New York: Springer.
- Hull, J. (2010). *Options, futures and other derivatives*. New York: Pearson Prentice Hall.
- Knott, R., & Mills, A. (2002). Modelling risk in central counterparty clearing houses: a review. *Financial Stability Review*, 162-174.
- Lucia, J., & Schwartz, E. (2002). Electricity prices and power derivatives. *Review of Derivatives Research*, 5-50.
- Maya, C., & Gil, M. (2008). Modelación de la volatilidad de los precios de la energía eléctrica en Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 87-114.
- Meucci, A. (2007). *Risk and asset allocation*. New York: Springer.
- Mills, R. K. (2002). Modelling risk in central counterparty clearing houses: a review. *Financial Stability Review*.
- Pantoja, J. (2012). Modelling risk for electric power. *INNOVAR, Journal of Administrative and Social Sciences*, 22,44.
- Pantoja, J., & Salazar, G. (2011). Los precios forward sobre electricidad. ¿Determinados racionalmente por los agentes del mercado colombiano? *AD-MINISTER*, 77,99.
- Pardo, J. M., & Tornero, Á. P. (2005). ¿Son adecuados los depósitos de garantía exigidos por MEFF? *Fundación de Estudios de Economía Aplicada*.
- Pilipovic, D. (2007). *Energy risk, valuing and managing energy derivatives*. Estados Unidos: McGraw Hill.
- Stoll, H., & Whaley, R. (1990). The dynamics of stock index and stock index futures returns. 25(4).
- Trespalcios, A., Rendón, J. F., & Pantoja, J. (2012). Estrategia de cobertura a través de contratos a plazo en mercados eléctricos. *Revista Latinoamericana de Administración*, 148-157.
- Venegas Martínez, F. (2008). *Riesgos financieros y económicos. Productos derivados y decisiones económicas bajo incertidumbre* (Segunda Edición ed.). México D.F: Cengage Learning Editores.

Anexos

Parámetros de precio de contratos forward

El diferencial del precio de ejercicio de un contrato con entrega a futuro de energía eléctrica está dado por:

$$dF = -ake^{-k(T-t)} \cdot dt + \sigma e^{-k(T-t)} \cdot dw$$

Donde,

a es la prima de riesgo de contratos de largo plazo (Long-term Forward Risk Premium).

k es la velocidad de reversión a la media, $k > 0$.

σ es la volatilidad del precio spot de la energía eléctrica.

dw es el diferencial de un movimiento browniano.

Los parámetros estimados para Colombia corresponden a:

k 0,57

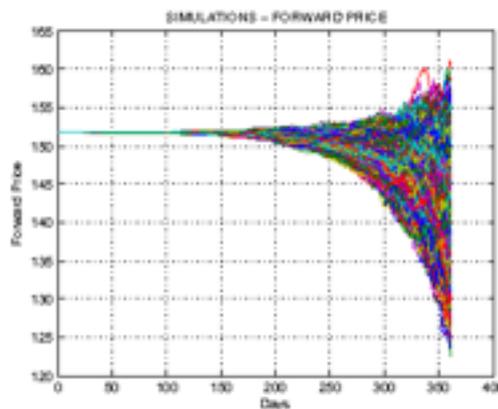
σ sin niño 5.19

σ con niño 15.53

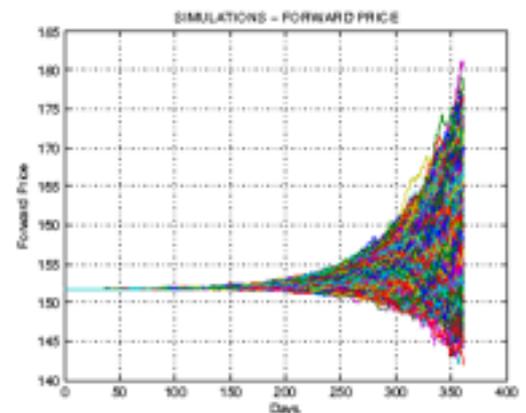
a se realizan sensibilidades para la prima de riesgo de acuerdo con los resultados obtenidos por Pantoja en el artículo: *Modelling Risk for Electric Power Prices*, en donde según resultados empíricos la prima de riesgo varía en el rango -9.97% y 26.77% y con promedio de 2.5

Las siguientes gráficas representan el comportamiento del precio del contrato de futuro sobre energía eléctrica para diferentes escenarios: con y sin Fenómeno del Niño y usando diferentes primas de riesgo. Se realizan simulaciones del precio de contratos futuros con vencimientos mensuales desde 1 mes hasta 18 meses.

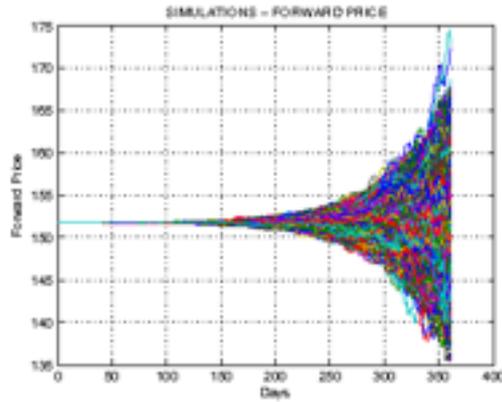
Gráfica 11. Precio forward, sin Niño y con prima 10.



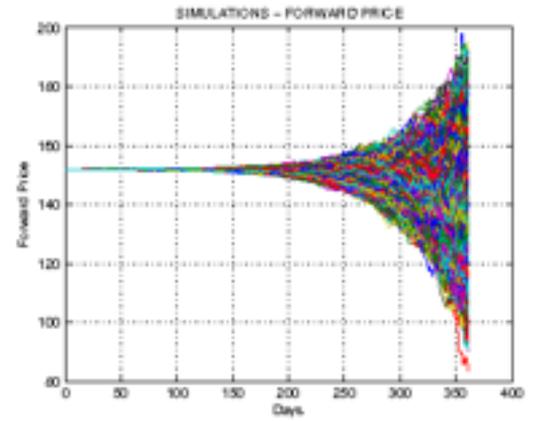
Gráfica 12. Precio forward, sin Niño y con prima -10.



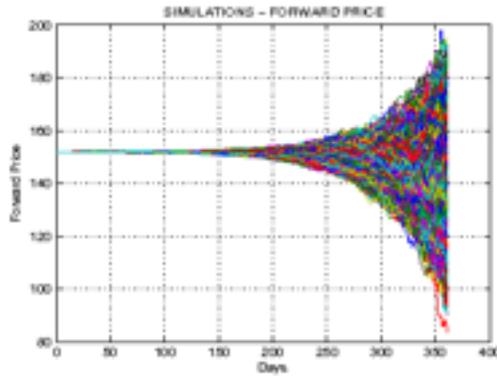
Gráfica 13. Precio forward, sin Niño y con prima 0.



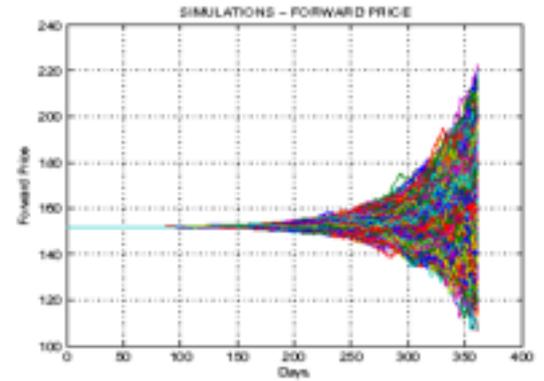
Gráfica 14. Precio forward, con Niño y con prima 0.



Gráfica 15. Precio forward, con Niño y con prima 10.



Gráfica 16. Precio forward, con Niño y con prima -10.



Evaluación de riesgo en función de días de tenencia y periodos de vencimiento

A continuación, medición del riesgo en función del vencimiento T de un contrato y los días de tenencia d , para diferentes escenarios según eventos de Niño y primas de riesgo.

Tabla 5. VaR y CVaR para diferentes escenarios y $T=1$.

T = 1						
Días	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	3.82	4.29	3.66	4.20	1.14	1.34
2	5.90	6.53	5.39	6.14	1.59	1.87
3	7.65	8.43	6.83	7.71	1.92	2.26
4	9.27	10.16	8.10	9.09	2.20	2.57
5	10.78	11.78	9.21	10.33	2.43	2.85
6	12.21	13.29	10.28	11.51	2.64	3.09
7	13.57	14.70	11.30	12.59	2.82	3.31
8	14.88	16.06	12.21	13.58	3.00	3.51
9	16.14	17.40	13.12	14.51	3.16	3.69
10	17.39	18.71	13.98	15.42	3.30	3.86
11	18.58	19.95	14.80	16.30	3.45	4.02
12	19.79	21.19	15.62	17.14	3.58	4.18
13	20.99	22.45	16.40	17.94	3.71	4.32
14	22.16	23.66	17.21	18.73	3.83	4.47
15	23.31	24.85	17.96	19.50	3.94	4.60
16	24.44	26.00	18.70	20.25	4.06	4.73
17	25.55	27.13	19.46	20.99	4.17	4.85
18	26.63	28.23	20.14	21.73	4.28	4.97
19	27.70	29.33	20.75	22.43	4.38	5.08
20	28.76	30.40	21.52	23.19	4.48	5.19
21	29.85	31.49	22.24	23.95	4.58	5.30
22	30.91	32.56	22.94	24.70	4.67	5.40
23	32.00	33.59	23.66	25.45	4.76	5.50
24	33.06	34.63	24.32	26.14	4.86	5.59
25	34.03	35.65	25.05	26.85	4.94	5.69
26	35.01	36.71	25.72	27.57	5.03	5.78
27	36.08	37.80	26.49	28.31	5.12	5.88
28	37.16	38.95	27.15	29.08	5.21	5.99
29	38.35	40.04	27.92	29.85	5.29	6.10
30	39.40	41.07	28.55	30.46	5.40	6.20

Tabla 6. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=2.

T = 2						
Días	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	3.07	3.51	3.05	3.56	1.00	1.21
2	4.74	5.38	4.53	5.23	1.39	1.67
3	6.22	6.99	5.73	6.59	1.67	2.02
4	7.54	8.44	6.80	7.79	1.90	2.30
5	8.79	9.77	7.76	8.86	2.10	2.54
6	9.97	11.02	8.65	9.86	2.28	2.75
7	11.09	12.22	9.51	10.79	2.43	2.93
8	12.18	13.37	10.33	11.68	2.57	3.10
9	13.21	14.49	11.10	12.51	2.70	3.25
10	14.22	15.57	11.83	13.30	2.82	3.39
11	15.21	16.62	12.55	14.07	2.93	3.52
12	16.20	17.65	13.25	14.81	3.03	3.64
13	17.16	18.65	13.92	15.53	3.13	3.76
14	18.07	19.63	14.59	16.24	3.22	3.86
15	18.99	20.57	15.20	16.92	3.30	3.96
16	19.87	21.50	15.79	17.57	3.39	4.06
17	20.75	22.40	16.36	18.20	3.46	4.15
18	21.60	23.28	16.93	18.81	3.54	4.23
19	22.45	24.15	17.53	19.40	3.61	4.31
20	23.31	25.01	18.08	19.97	3.68	4.39
21	24.13	25.85	18.61	20.52	3.74	4.47
22	24.89	26.66	19.13	21.05	3.81	4.54
23	25.65	27.45	19.63	21.59	3.87	4.61
24	26.43	28.22	20.16	22.11	3.93	4.68
25	27.19	28.98	20.65	22.62	3.99	4.74
26	27.90	29.74	21.17	23.12	4.05	4.81
27	28.68	30.50	21.67	23.61	4.11	4.87
28	29.42	31.23	22.14	24.10	4.16	4.93
29	30.14	31.95	22.58	24.57	4.22	4.99
30	30.88	32.66	23.03	25.05	4.27	5.05

Tabla 7. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=3.

T = 3						
Días	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	2.68	3.12	2.71	3.23	0.91	1.12
2	4.17	4.78	4.02	4.74	1.26	1.56
3	5.46	6.20	5.11	5.98	1.52	1.88
4	6.64	7.50	6.06	7.05	1.73	2.13
5	7.75	8.71	6.94	8.03	1.90	2.35
6	8.79	9.84	7.77	8.95	2.06	2.54
7	9.80	10.91	8.52	9.79	2.19	2.70
8	10.76	11.95	9.25	10.58	2.31	2.86
9	11.71	12.96	9.95	11.34	2.43	3.00
10	12.62	13.94	10.61	12.07	2.53	3.12
11	13.51	14.90	11.23	12.77	2.63	3.24
12	14.38	15.83	11.87	13.43	2.72	3.35
13	15.23	16.73	12.44	14.07	2.79	3.45
14	16.05	17.60	13.01	14.70	2.87	3.54
15	16.85	18.46	13.60	15.32	2.94	3.63
16	17.63	19.30	14.16	15.91	3.01	3.71
17	18.43	20.11	14.70	16.49	3.07	3.79
18	19.22	20.90	15.24	17.06	3.13	3.86
19	19.97	21.67	15.76	17.62	3.20	3.93
20	20.69	22.42	16.26	18.16	3.25	4.00
21	21.42	23.17	16.74	18.68	3.31	4.06
22	22.15	23.90	17.25	19.20	3.36	4.12
23	22.84	24.62	17.71	19.70	3.40	4.18
24	23.52	25.32	18.16	20.20	3.45	4.23
25	24.21	26.01	18.61	20.67	3.49	4.28
26	24.87	26.69	19.05	21.14	3.53	4.33
27	25.53	27.37	19.49	21.58	3.57	4.38
28	26.19	28.04	19.91	22.04	3.61	4.43
29	26.83	28.69	20.30	22.47	3.65	4.47
30	27.47	29.32	20.71	22.90	3.69	4.51

Tabla 8. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=4.

T = 4						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	2.45	2.87	2.50	3.02	0.85	1.07
2	3.83	4.43	3.74	4.46	1.17	1.48
3	5.03	5.76	4.76	5.65	1.41	1.78
4	6.12	6.96	5.65	6.69	1.60	2.02
5	7.15	8.09	6.49	7.62	1.76	2.22
6	8.13	9.17	7.25	8.49	1.90	2.40
7	9.07	10.19	7.97	9.28	2.03	2.56
8	9.98	11.17	8.66	10.05	2.14	2.70
9	10.86	12.11	9.32	10.78	2.24	2.82
10	11.75	13.04	9.94	11.49	2.34	2.94
11	12.56	13.93	10.56	12.17	2.42	3.05
12	13.38	14.79	11.15	12.81	2.50	3.15
13	14.17	15.64	11.72	13.42	2.57	3.24
14	14.96	16.48	12.26	14.01	2.64	3.33
15	15.73	17.30	12.79	14.58	2.71	3.41
16	16.48	18.10	13.32	15.13	2.77	3.49
17	17.23	18.88	13.81	15.67	2.82	3.56
18	17.96	19.66	14.30	16.18	2.88	3.62
19	18.66	20.41	14.76	16.68	2.93	3.69
20	19.32	21.14	15.23	17.17	2.98	3.75
21	20.03	21.86	15.68	17.65	3.02	3.81
22	20.68	22.57	16.12	18.12	3.07	3.86
23	21.32	23.26	16.54	18.59	3.11	3.91
24	21.97	23.94	16.99	19.04	3.15	3.96
25	22.62	24.61	17.42	19.48	3.19	4.01
26	23.25	25.25	17.82	19.91	3.23	4.05
27	23.88	25.89	18.24	20.35	3.26	4.09
28	24.49	26.52	18.64	20.77	3.29	4.13
29	25.08	27.13	19.02	21.18	3.32	4.17
30	25.67	27.74	19.41	21.59	3.35	4.20

Tabla 9. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=5.

T = 5						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	2.31	2.73	2.34	2.86	0.79	1.02
2	3.61	4.21	3.50	4.24	1.10	1.41
3	4.75	5.49	4.47	5.36	1.32	1.70
4	5.79	6.65	5.33	6.34	1.51	1.93
5	6.77	7.73	6.10	7.24	1.66	2.12
6	7.72	8.75	6.83	8.07	1.78	2.29
7	8.62	9.73	7.52	8.85	1.90	2.44
8	9.49	10.67	8.18	9.59	2.00	2.57
9	10.34	11.59	8.81	10.28	2.10	2.69
10	11.17	12.48	9.40	10.95	2.18	2.80
11	11.97	13.34	9.98	11.59	2.26	2.90
12	12.75	14.18	10.53	12.21	2.34	3.00
13	13.51	15.00	11.06	12.80	2.40	3.08
14	14.24	15.79	11.58	13.37	2.47	3.17
15	14.98	16.57	12.11	13.92	2.53	3.24
16	15.69	17.32	12.59	14.45	2.58	3.31
17	16.40	18.05	13.05	14.96	2.64	3.38
18	17.09	18.77	13.51	15.46	2.69	3.44
19	17.76	19.47	13.99	15.95	2.73	3.50
20	18.43	20.16	14.44	16.43	2.78	3.56
21	19.07	20.85	14.89	16.90	2.82	3.61
22	19.72	21.52	15.31	17.36	2.86	3.66
23	20.35	22.20	15.73	17.81	2.90	3.71
24	20.98	22.85	16.14	18.25	2.94	3.76
25	21.58	23.49	16.55	18.69	2.97	3.80
26	22.18	24.13	16.94	19.11	3.00	3.85
27	22.77	24.76	17.32	19.52	3.03	3.89
28	23.36	25.37	17.69	19.91	3.06	3.93
29	23.94	25.97	18.04	20.30	3.09	3.96
30	24.49	26.56	18.41	20.68	3.12	4.00

Tabla 10. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=6.

T = 6						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	2.19	2.62	2.23	2.75	0.75	0.98
2	3.45	4.05	3.34	4.07	1.04	1.35
3	4.54	5.29	4.25	5.14	1.25	1.62
4	5.55	6.41	5.07	6.09	1.42	1.84
5	6.50	7.47	5.81	6.95	1.56	2.03
6	7.42	8.47	6.52	7.74	1.68	2.18
7	8.29	9.43	7.17	8.49	1.79	2.33
8	9.13	10.35	7.81	9.19	1.89	2.45
9	9.95	11.24	8.40	9.87	1.98	2.57
10	10.75	12.10	8.99	10.52	2.05	2.67
11	11.54	12.94	9.54	11.14	2.13	2.77
12	12.30	13.76	10.09	11.74	2.19	2.86
13	13.05	14.56	10.60	12.32	2.26	2.94
14	13.79	15.34	11.11	12.88	2.32	3.02
15	14.50	16.11	11.59	13.41	2.37	3.09
16	15.22	16.86	12.07	13.94	2.42	3.16
17	15.90	17.59	12.53	14.44	2.47	3.22
18	16.58	18.30	12.99	14.94	2.52	3.28
19	17.24	19.00	13.42	15.42	2.56	3.33
20	17.88	19.68	13.85	15.88	2.59	3.39
21	18.53	20.35	14.27	16.34	2.63	3.43
22	19.14	21.01	14.67	16.78	2.66	3.48
23	19.77	21.65	15.07	17.22	2.70	3.52
24	20.36	22.28	15.47	17.64	2.73	3.56
25	20.96	22.90	15.84	18.06	2.75	3.60
26	21.54	23.51	16.23	18.46	2.78	3.64
27	22.12	24.11	16.59	18.86	2.81	3.67
28	22.68	24.71	16.97	19.24	2.83	3.71
29	23.24	25.29	17.32	19.62	2.86	3.74
30	23.78	25.86	17.65	19.99	2.88	3.77

Tabla 11. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=7.

T = 7						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	2.10	2.54	2.14	2.66	0.72	0.94
2	3.32	3.94	3.21	3.95	0.99	1.30
3	4.39	5.15	4.10	5.01	1.19	1.56
4	5.37	6.26	4.90	5.95	1.35	1.78
5	6.29	7.29	5.64	6.79	1.48	1.96
6	7.18	8.27	6.31	7.57	1.60	2.11
7	8.04	9.22	6.95	8.31	1.70	2.25
8	8.86	10.12	7.57	9.00	1.79	2.38
9	9.68	10.99	8.16	9.66	1.88	2.49
10	10.45	11.83	8.72	10.29	1.95	2.59
11	11.20	12.65	9.26	10.90	2.02	2.68
12	11.95	13.45	9.76	11.49	2.08	2.76
13	12.68	14.23	10.29	12.05	2.14	2.84
14	13.40	14.99	10.76	12.60	2.19	2.91
15	14.09	15.74	11.25	13.13	2.24	2.98
16	14.77	16.46	11.70	13.65	2.29	3.04
17	15.44	17.17	12.16	14.15	2.33	3.09
18	16.09	17.86	12.61	14.64	2.36	3.15
19	16.73	18.54	13.04	15.11	2.40	3.19
20	17.37	19.20	13.45	15.57	2.44	3.24
21	17.98	19.85	13.86	16.02	2.47	3.28
22	18.60	20.49	14.26	16.45	2.50	3.32
23	19.20	21.11	14.66	16.88	2.54	3.36
24	19.79	21.73	15.04	17.30	2.56	3.40
25	20.37	22.33	15.41	17.71	2.59	3.43
26	20.93	22.93	15.79	18.10	2.61	3.46
27	21.49	23.52	16.15	18.49	2.64	3.50
28	22.05	24.10	16.51	18.87	2.66	3.53
29	22.60	24.66	16.85	19.24	2.68	3.56
30	23.12	25.22	17.19	19.61	2.70	3.58

Tabla 12. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=8.

T = 8						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	2.03	2.47	2.06	2.60	0.68	0.91
2	3.21	3.83	3.10	3.86	0.94	1.26
3	4.25	5.01	3.97	4.89	1.13	1.51
4	5.21	6.10	4.74	5.80	1.28	1.72
5	6.12	7.11	5.45	6.63	1.41	1.89
6	6.99	8.07	6.12	7.39	1.52	2.04
7	7.82	8.99	6.74	8.12	1.62	2.17
8	8.63	9.88	7.33	8.79	1.71	2.29
9	9.41	10.74	7.91	9.44	1.78	2.39
10	10.18	11.57	8.44	10.06	1.85	2.49
11	10.91	12.37	8.97	10.67	1.91	2.58
12	11.64	13.15	9.51	11.24	1.98	2.66
13	12.36	13.92	9.99	11.80	2.03	2.73
14	13.05	14.67	10.45	12.33	2.08	2.80
15	13.74	15.41	10.93	12.85	2.13	2.87
16	14.41	16.13	11.38	13.35	2.18	2.93
17	15.07	16.83	11.82	13.84	2.22	2.98
18	15.71	17.52	12.25	14.31	2.26	3.04
19	16.34	18.19	12.69	14.76	2.29	3.09
20	16.96	18.84	13.10	15.22	2.32	3.13
21	17.57	19.49	13.50	15.66	2.35	3.18
22	18.16	20.12	13.90	16.09	2.38	3.22
23	18.76	20.74	14.27	16.51	2.41	3.25
24	19.34	21.35	14.64	16.91	2.44	3.29
25	19.93	21.96	15.01	17.31	2.46	3.33
26	20.50	22.55	15.35	17.69	2.48	3.36
27	21.05	23.13	15.70	18.07	2.51	3.39
28	21.60	23.71	16.05	18.44	2.53	3.42
29	22.14	24.27	16.38	18.80	2.55	3.44
30	22.66	24.83	16.70	19.15	2.57	3.47

Tabla 13. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=9.

T = 9						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	1.97	2.41	1.98	2.52	0.65	0.88
2	3.12	3.75	2.98	3.75	0.90	1.22
3	4.13	4.91	3.84	4.76	1.08	1.47
4	5.08	5.97	4.58	5.64	1.23	1.66
5	5.97	6.97	5.27	6.45	1.35	1.83
6	6.81	7.92	5.92	7.20	1.45	1.97
7	7.65	8.83	6.53	7.91	1.55	2.10
8	8.43	9.71	7.11	8.58	1.63	2.21
9	9.21	10.55	7.66	9.22	1.70	2.31
10	9.95	11.38	8.21	9.84	1.77	2.40
11	10.69	12.17	8.73	10.42	1.83	2.49
12	11.39	12.95	9.23	10.99	1.89	2.57
13	12.09	13.70	9.72	11.54	1.94	2.64
14	12.78	14.44	10.20	12.07	1.99	2.71
15	13.46	15.17	10.66	12.59	2.04	2.77
16	14.11	15.88	11.11	13.09	2.08	2.83
17	14.76	16.57	11.55	13.58	2.12	2.88
18	15.40	17.25	11.97	14.05	2.16	2.93
19	16.03	17.92	12.39	14.51	2.19	2.98
20	16.65	18.57	12.80	14.96	2.22	3.03
21	17.24	19.22	13.19	15.39	2.26	3.07
22	17.83	19.85	13.58	15.81	2.28	3.11
23	18.42	20.46	13.95	16.22	2.31	3.15
24	19.00	21.07	14.31	16.62	2.34	3.18
25	19.56	21.67	14.66	17.02	2.36	3.22
26	20.11	22.26	15.01	17.40	2.38	3.25
27	20.68	22.85	15.34	17.77	2.40	3.28
28	21.22	23.42	15.67	18.14	2.42	3.31
29	21.75	23.98	16.00	18.49	2.44	3.33
30	22.28	24.53	16.32	18.83	2.46	3.36

Tabla 14. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=10.

T = 10						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	1.92	2.36	1.92	2.46	0.63	0.86
2	3.05	3.69	2.90	3.67	0.87	1.18
3	4.05	4.84	3.73	4.66	1.04	1.42
4	4.98	5.89	4.46	5.53	1.18	1.61
5	5.85	6.87	5.14	6.34	1.29	1.77
6	6.69	7.81	5.78	7.08	1.39	1.91
7	7.49	8.70	6.38	7.79	1.48	2.03
8	8.28	9.57	6.96	8.45	1.56	2.14
9	9.05	10.40	7.51	9.09	1.63	2.24
10	9.80	11.22	8.04	9.70	1.70	2.33
11	10.53	12.01	8.56	10.29	1.75	2.41
12	11.23	12.78	9.03	10.86	1.81	2.49
13	11.93	13.54	9.51	11.40	1.86	2.56
14	12.61	14.27	9.98	11.93	1.90	2.63
15	13.28	15.00	10.43	12.44	1.95	2.69
16	13.94	15.71	10.86	12.93	1.99	2.74
17	14.59	16.40	11.30	13.41	2.02	2.80
18	15.22	17.08	11.71	13.87	2.06	2.84
19	15.85	17.74	12.11	14.32	2.09	2.89
20	16.45	18.39	12.52	14.76	2.12	2.93
21	17.05	19.02	12.90	15.19	2.15	2.97
22	17.64	19.65	13.27	15.60	2.18	3.01
23	18.21	20.26	13.64	16.01	2.20	3.04
24	18.79	20.87	14.00	16.41	2.22	3.08
25	19.36	21.46	14.36	16.79	2.25	3.11
26	19.91	22.05	14.72	17.17	2.27	3.14
27	20.47	22.62	15.06	17.54	2.29	3.17
28	21.00	23.19	15.40	17.90	2.30	3.19
29	21.53	23.74	15.73	18.25	2.32	3.22
30	22.05	24.28	16.05	18.60	2.34	3.24

Tabla 15. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=11.

T = 11						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	1.87	2.32	1.86	2.41	0.61	0.84
2	2.98	3.62	2.81	3.59	0.84	1.16
3	3.95	4.75	3.61	4.56	1.00	1.39
4	4.86	5.78	4.33	5.42	1.13	1.58
5	5.72	6.75	4.99	6.20	1.25	1.73
6	6.54	7.67	5.60	6.92	1.34	1.87
7	7.33	8.56	6.19	7.60	1.43	1.99
8	8.09	9.40	6.75	8.25	1.50	2.10
9	8.83	10.23	7.28	8.86	1.56	2.19
10	9.55	11.03	7.80	9.45	1.62	2.28
11	10.26	11.80	8.30	10.02	1.68	2.36
12	10.96	12.56	8.79	10.56	1.73	2.43
13	11.65	13.30	9.26	11.09	1.78	2.50
14	12.31	14.02	9.72	11.60	1.82	2.56
15	12.96	14.72	10.16	12.10	1.86	2.61
16	13.61	15.41	10.60	12.59	1.89	2.66
17	14.25	16.09	11.02	13.07	1.93	2.71
18	14.86	16.76	11.44	13.54	1.96	2.76
19	15.47	17.41	11.85	13.99	1.99	2.80
20	16.07	18.05	12.24	14.44	2.02	2.84
21	16.66	18.68	12.62	14.87	2.04	2.88
22	17.25	19.30	13.00	15.28	2.06	2.91
23	17.81	19.91	13.36	15.68	2.09	2.95
24	18.37	20.50	13.72	16.08	2.11	2.98
25	18.93	21.09	14.07	16.47	2.13	3.01
26	19.48	21.67	14.42	16.84	2.15	3.03
27	20.03	22.24	14.76	17.22	2.17	3.06
28	20.55	22.80	15.09	17.58	2.19	3.08
29	21.09	23.36	15.41	17.93	2.20	3.10
30	21.60	23.90	15.71	18.27	2.22	3.12

Tabla 16. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=12

T = 12						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	1.83	2.27	1.81	2.36	0.59	0.82
2	2.91	3.56	2.74	3.52	0.81	1.13
3	3.87	4.68	3.52	4.47	0.97	1.36
4	4.76	5.70	4.23	5.31	1.10	1.54
5	5.61	6.65	4.87	6.08	1.21	1.70
6	6.42	7.57	5.47	6.79	1.30	1.83
7	7.21	8.44	6.05	7.46	1.38	1.95
8	7.97	9.28	6.60	8.10	1.46	2.05
9	8.72	10.10	7.13	8.70	1.52	2.15
10	9.44	10.89	7.63	9.28	1.58	2.23
11	10.14	11.67	8.11	9.84	1.63	2.31
12	10.84	12.42	8.58	10.38	1.68	2.38
13	11.51	13.16	9.04	10.90	1.73	2.45
14	12.17	13.89	9.49	11.42	1.77	2.51
15	12.82	14.59	9.93	11.91	1.81	2.57
16	13.46	15.28	10.36	12.39	1.85	2.62
17	14.09	15.96	10.77	12.86	1.88	2.67
18	14.72	16.63	11.16	13.32	1.91	2.71
19	15.32	17.29	11.56	13.76	1.94	2.75
20	15.91	17.93	11.95	14.20	1.97	2.79
21	16.51	18.56	12.33	14.62	1.99	2.83
22	17.09	19.18	12.69	15.03	2.02	2.86
23	17.65	19.78	13.05	15.43	2.04	2.89
24	18.20	20.37	13.39	15.82	2.06	2.92
25	18.76	20.96	13.74	16.20	2.08	2.95
26	19.31	21.53	14.08	16.57	2.10	2.98
27	19.83	22.09	14.41	16.94	2.12	3.01
28	20.37	22.65	14.74	17.30	2.13	3.03
29	20.88	23.20	15.05	17.65	2.15	3.06
30	21.39	23.73	15.37	18.00	2.16	3.08

Tabla 17. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=13.

T = 13						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	1.79	2.24	1.76	2.31	0.57	0.80
2	2.85	3.51	2.68	3.46	0.78	1.11
3	3.81	4.62	3.44	4.41	0.94	1.33
4	4.69	5.63	4.13	5.24	1.06	1.50
5	5.53	6.59	4.76	6.00	1.16	1.65
6	6.34	7.50	5.36	6.70	1.25	1.78
7	7.10	8.36	5.92	7.37	1.33	1.89
8	7.86	9.20	6.46	8.00	1.40	2.00
9	8.58	10.01	6.98	8.61	1.46	2.09
10	9.30	10.81	7.47	9.18	1.52	2.17
11	10.01	11.58	7.96	9.75	1.57	2.25
12	10.69	12.33	8.43	10.29	1.62	2.32
13	11.37	13.06	8.89	10.81	1.67	2.38
14	12.03	13.78	9.32	11.32	1.70	2.44
15	12.68	14.49	9.75	11.81	1.74	2.49
16	13.31	15.18	10.16	12.29	1.77	2.54
17	13.94	15.85	10.57	12.75	1.81	2.59
18	14.54	16.52	10.96	13.19	1.84	2.63
19	15.14	17.17	11.36	13.62	1.87	2.67
20	15.72	17.80	11.74	14.04	1.89	2.71
21	16.31	18.42	12.10	14.45	1.91	2.75
22	16.88	19.04	12.46	14.85	1.94	2.78
23	17.43	19.64	12.82	15.24	1.96	2.81
24	17.99	20.23	13.16	15.62	1.98	2.84
25	18.54	20.81	13.50	15.99	1.99	2.87
26	19.07	21.38	13.82	16.35	2.01	2.90
27	19.60	21.94	14.15	16.70	2.03	2.92
28	20.12	22.49	14.46	17.05	2.04	2.95
29	20.63	23.03	14.76	17.39	2.06	2.97
30	21.13	23.56	15.06	17.72	2.07	2.99

Tabla 18. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=14

T = 14						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	1.75	2.20	1.72	2.27	0.55	0.78
2	2.80	3.46	2.62	3.40	0.75	1.08
3	3.74	4.55	3.37	4.33	0.90	1.29
4	4.60	5.56	4.04	5.15	1.02	1.46
5	5.43	6.50	4.67	5.91	1.12	1.61
6	6.22	7.40	5.25	6.60	1.21	1.73
7	6.98	8.26	5.81	7.26	1.28	1.84
8	7.73	9.09	6.34	7.89	1.34	1.94
9	8.45	9.89	6.85	8.48	1.40	2.03
10	9.16	10.67	7.34	9.05	1.46	2.10
11	9.84	11.44	7.82	9.60	1.50	2.18
12	10.52	12.18	8.28	10.13	1.55	2.24
13	11.18	12.91	8.72	10.64	1.59	2.31
14	11.83	13.61	9.16	11.14	1.63	2.36
15	12.47	14.30	9.59	11.62	1.66	2.41
16	13.09	14.98	10.00	12.08	1.70	2.46
17	13.71	15.65	10.39	12.54	1.72	2.51
18	14.31	16.30	10.79	12.97	1.75	2.55
19	14.90	16.94	11.16	13.41	1.78	2.59
20	15.49	17.57	11.54	13.83	1.80	2.63
21	16.07	18.18	11.90	14.24	1.83	2.66
22	16.63	18.78	12.26	14.63	1.84	2.69
23	17.18	19.38	12.60	15.01	1.87	2.72
24	17.73	19.96	12.95	15.38	1.88	2.75
25	18.27	20.54	13.29	15.75	1.90	2.78
26	18.80	21.10	13.61	16.11	1.92	2.80
27	19.32	21.66	13.92	16.46	1.93	2.83
28	19.84	22.21	14.24	16.80	1.94	2.85
29	20.35	22.74	14.55	17.13	1.96	2.87
30	20.85	23.27	14.85	17.46	1.97	2.89

Tabla19. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=15.

T = 15						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	1.71	2.18	1.68	2.24	0.53	0.76
2	2.75	3.42	2.55	3.35	0.73	1.05
3	3.67	4.50	3.30	4.26	0.87	1.27
4	4.52	5.50	3.96	5.08	0.99	1.44
5	5.35	6.43	4.57	5.82	1.09	1.58
6	6.13	7.32	5.14	6.52	1.17	1.70
7	6.89	8.17	5.69	7.16	1.24	1.81
8	7.62	8.99	6.21	7.77	1.30	1.90
9	8.35	9.79	6.71	8.36	1.36	1.99
10	9.05	10.57	7.19	8.92	1.41	2.07
11	9.73	11.33	7.66	9.46	1.46	2.14
12	10.41	12.07	8.10	9.98	1.50	2.21
13	11.07	12.79	8.54	10.48	1.54	2.26
14	11.71	13.49	8.96	10.97	1.57	2.32
15	12.34	14.18	9.38	11.44	1.61	2.37
16	12.96	14.86	9.77	11.90	1.64	2.41
17	13.57	15.53	10.17	12.34	1.66	2.46
18	14.17	16.18	10.56	12.78	1.69	2.50
19	14.76	16.82	10.93	13.20	1.71	2.53
20	15.33	17.44	11.30	13.61	1.73	2.57
21	15.90	18.05	11.66	14.01	1.76	2.60
22	16.46	18.65	12.01	14.41	1.78	2.64
23	17.01	19.24	12.36	14.79	1.80	2.67
24	17.54	19.82	12.69	15.17	1.82	2.70
25	18.08	20.38	13.02	15.53	1.83	2.72
26	18.60	20.94	13.34	15.89	1.85	2.75
27	19.12	21.49	13.66	16.25	1.86	2.77
28	19.63	22.03	13.98	16.59	1.87	2.79
29	20.13	22.57	14.28	16.93	1.88	2.81
30	20.63	23.09	14.57	17.26	1.90	2.83

Tabla 20. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=16

T = 16						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	1.68	2.15	1.64	2.20	0.51	0.75
2	2.70	3.38	2.49	3.29	0.71	1.03
3	3.61	4.45	3.22	4.20	0.85	1.24
4	4.46	5.44	3.87	5.00	0.96	1.41
5	5.26	6.36	4.48	5.74	1.05	1.54
6	6.04	7.24	5.06	6.43	1.13	1.67
7	6.78	8.09	5.59	7.08	1.20	1.77
8	7.52	8.90	6.11	7.70	1.26	1.87
9	8.22	9.69	6.60	8.29	1.32	1.95
10	8.91	10.47	7.09	8.85	1.37	2.03
11	9.59	11.21	7.53	9.38	1.41	2.10
12	10.25	11.95	7.99	9.90	1.46	2.16
13	10.90	12.66	8.42	10.40	1.49	2.22
14	11.53	13.36	8.84	10.89	1.53	2.27
15	12.15	14.05	9.26	11.36	1.56	2.32
16	12.76	14.72	9.66	11.81	1.59	2.37
17	13.36	15.37	10.05	12.26	1.62	2.41
18	13.96	16.02	10.43	12.69	1.64	2.45
19	14.54	16.65	10.80	13.11	1.67	2.48
20	15.12	17.27	11.16	13.52	1.69	2.52
21	15.67	17.88	11.53	13.92	1.71	2.55
22	16.23	18.48	11.88	14.30	1.73	2.58
23	16.78	19.07	12.22	14.68	1.74	2.60
24	17.32	19.65	12.55	15.05	1.76	2.63
25	17.85	20.22	12.88	15.41	1.77	2.65
26	18.36	20.78	13.19	15.77	1.79	2.67
27	18.88	21.33	13.51	16.11	1.80	2.69
28	19.39	21.86	13.82	16.45	1.81	2.71
29	19.89	22.39	14.12	16.79	1.82	2.73
30	20.38	22.91	14.42	17.12	1.84	2.75

Tabla 21. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=17.

T = 17						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	1.65	2.12	1.60	2.16	0.50	0.73
2	2.65	3.33	2.44	3.24	0.69	1.01
3	3.54	4.38	3.15	4.14	0.82	1.22
4	4.38	5.35	3.78	4.93	0.93	1.38
5	5.18	6.27	4.38	5.65	1.02	1.51
6	5.95	7.14	4.94	6.33	1.10	1.63
7	6.68	7.98	5.45	6.96	1.16	1.73
8	7.40	8.79	5.97	7.57	1.22	1.82
9	8.11	9.58	6.45	8.14	1.28	1.90
10	8.79	10.35	6.92	8.69	1.33	1.98
11	9.46	11.09	7.37	9.22	1.37	2.05
12	10.12	11.82	7.80	9.73	1.41	2.11
13	10.77	12.53	8.22	10.22	1.45	2.17
14	11.40	13.23	8.63	10.70	1.48	2.22
15	12.02	13.91	9.04	11.16	1.51	2.27
16	12.63	14.59	9.43	11.61	1.54	2.31
17	13.23	15.24	9.81	12.05	1.57	2.36
18	13.81	15.89	10.19	12.47	1.59	2.40
19	14.40	16.52	10.56	12.89	1.62	2.43
20	14.97	17.14	10.92	13.29	1.64	2.47
21	15.53	17.75	11.27	13.69	1.66	2.50
22	16.08	18.35	11.61	14.07	1.67	2.53
23	16.63	18.94	11.94	14.45	1.69	2.55
24	17.17	19.52	12.27	14.81	1.71	2.58
25	17.70	20.09	12.59	15.17	1.72	2.60
26	18.23	20.65	12.91	15.52	1.73	2.62
27	18.74	21.20	13.22	15.87	1.74	2.64
28	19.24	21.74	13.52	16.20	1.75	2.66
29	19.74	22.27	13.80	16.53	1.76	2.68
30	20.23	22.79	14.10	16.85	1.78	2.70

Tabla 22. VaR y CVaR para diferentes escenarios y T=18

T = 18						
	Con Niño y alfa -100		Con Niño y alfa -50		Sin Niño y alfa 2.53	
Días	VaR	CVaR	VaR	CVaR	VaR	CVaR
1	1.62	2.09	1.57	2.13	0.49	0.72
2	2.61	3.30	2.39	3.19	0.67	1.00
3	3.50	4.35	3.08	4.07	0.80	1.19
4	4.33	5.32	3.72	4.85	0.91	1.35
5	5.12	6.23	4.29	5.57	0.99	1.49
6	5.87	7.11	4.85	6.23	1.07	1.60
7	6.62	7.94	5.37	6.86	1.13	1.70
8	7.32	8.75	5.86	7.46	1.19	1.79
9	8.01	9.53	6.34	8.04	1.24	1.87
10	8.69	10.29	6.81	8.58	1.29	1.95
11	9.36	11.03	7.25	9.11	1.33	2.01
12	10.01	11.75	7.68	9.62	1.37	2.08
13	10.64	12.45	8.10	10.11	1.41	2.13
14	11.26	13.14	8.51	10.59	1.44	2.19
15	11.87	13.81	8.91	11.05	1.47	2.23
16	12.47	14.47	9.30	11.49	1.50	2.28
17	13.07	15.12	9.69	11.93	1.52	2.32
18	13.65	15.75	10.06	12.35	1.55	2.36
19	14.23	16.38	10.42	12.77	1.57	2.40
20	14.80	16.99	10.78	13.17	1.59	2.43
21	15.35	17.59	11.13	13.56	1.61	2.46
22	15.89	18.18	11.48	13.94	1.63	2.49
23	16.43	18.76	11.81	14.32	1.64	2.52
24	16.97	19.33	12.14	14.68	1.66	2.54
25	17.49	19.90	12.46	15.04	1.67	2.57
26	18.00	20.45	12.77	15.39	1.69	2.59
27	18.52	21.00	13.08	15.73	1.70	2.61
28	19.02	21.53	13.38	16.07	1.71	2.63
29	19.52	22.06	13.67	16.39	1.72	2.65
30	20.00	22.58	13.96	16.71	1.73	2.67

UNIVERSIDAD
EAFIT[®]

