

CUADERNO DE INVESTIGACIÓN

QUÉ FACTORES DETERMINAN EL PRECIO DE LA DEUDA PÚBLICA: UN ANÁLISIS DE VOLATILIDAD IMPLÍCITA DEL CRÉDITO SOBERANO EN MÉXICO

SERIE: CUADERNOS DE INVESTIGACIÓN EN FINANZAS PÚBLICAS

MAYO 2018



Qué factores determinan el precio de la deuda pública: Un análisis de volatilidad implícita del crédito soberano en México

Juan Manuel Andrade Hernández, Max Lugo Delgadillo e Irving Arturo De Lira Salvatierra

Resumen

El presente documento construye una superficie de volatilidad implícita en el crédito (VIC) del sector público en México, durante el periodo comprendido entre enero de 2003 y marzo de 2017; lo anterior, para demostrar que la VIC tiene un mayor poder explicativo sobre el comportamiento del precio de *swaps* de incumplimiento crediticio (CDS por sus siglas en inglés) de deuda soberana, esto, en comparación con otros factores como el grado de apalancamiento del gobierno o el tiempo restante de maduración de los instrumentos.

Más aún, la investigación plantea un modelo estructural que se basa en procesos estocásticos, para determinar cuáles son los componentes más importantes del *spread* de las opciones *put* de bonos soberanos. Gracias este enfoque, se logra identificar la importancia que tiene la tendencia, la alta frecuencia y los saltos en la distribución sobre dicho proceso estocástico.

El marco de referencia para el análisis, es el trabajo que desarrollan Kelly, Manzo y Palhares (2015), quienes a partir de evidencia empírica, señalan que la evolución del *spread* de los CDS se explica en mayor medida por el comportamiento de la VIC; a diferencia del grado de apalancamiento o el tiempo de maduración de los bonos que emiten las compañías en los mercados de deuda.

En el mismo sentido la presente investigación encuentra que, en comparación con el tiempo de maduración y los niveles de apalancamiento del gobierno, la superficie de la volatilidad implícita es el principal componente que determina los precios de los CDS soberanos de México. Esto es un indicador de que la volatilidad del crédito público está relacionada con las expectativas de los inversionistas, la fragilidad financiera y otros factores externos.

Más aún, el modelo estructural propuesto tiene un buen ajuste para explicar la VIC lo que da evidencia de la importancia de incluir procesos estocásticos discontinuos para modelar los precios de las opciones de futuros en los bonos soberanos. Este modelo permite dar indicios de posibles aumentos en los precios de los CDS soberanos lo que indicaría una desconfianza de los inversionistas en el cumplimiento de pagos del gobierno lo cual tiene efectos en la estabilidad macroeconómica.

Finalmente, los resultados apuntan a que la determinación de precios está gobernada principalmente por factores externos al modelo; como es el caso de la creencia de los inversionistas, la calificación de la deuda y el estrés financiero, entre otros.

Índice

1. Introducción	1
2. Revisión de la literatura	3
3. Componentes de la VIC	6
4. Consolidación de la información.....	7
5. Cálculo de la VIC	11
6. Modelo estructural.....	14
7. Resultados del modelo estructural.....	22
8. Conclusiones y consideraciones finales.....	29
Bibliografía.....	31
Anexo	33

1. Introducción

En el marco de las discusiones sobre los efectos macroeconómicos y fiscales que conllevan las políticas expansivas de endeudamiento público, y para contar con más y mejores elementos que enriquezcan el debate informado; el presente documento analiza la volatilidad implícita en el crédito (VIC) de los bonos soberanos en México, esto con el objetivo de precisar su comportamiento y encontrar relaciones estructurales.

De forma particular, para el periodo comprendido entre 2003 y 2017, la investigación se enfoca en demostrar que la VICS es el principal factor de un proceso estocástico que explica los movimientos del precio de *swaps* de incumplimiento crediticio (CDS por sus siglas en inglés) de deuda soberana. Para lograr lo anterior, el marco de referencia es la metodología propuesta por Kelly, Manzo y Palhares (2015), quienes emplean el modelo de Merton (1974) para identificar y calcular la superficie VIC; a partir del grado de volatilidad de la función inversa del precio de una opción *put* de CDS.

Un CDS es análogo a un seguro contratado por los acreedores o tenedores de bonos soberanos. Es decir, una institución financiera (i.e. un banco de inversión) emite un CDS, en el cual se compromete a pagar un monto al tenedor del bono soberano en caso de un incumplimiento en el pago de la deuda por parte del país (emisor de bonos). A su vez, el comprador del CDS paga una prima (análogo a una prima por un seguro) al emisor.

Dado que la estructura de un CDS es compleja, resulta complicado estimar y valorar la dinámica de su precio, llamado *spread*. Una manera de hacer frente a este problema, es modelar los CDS como un derivado, en específico, como un *put* corto cuyo precio de ejercicio (*strike price*) es el nivel de apalancamiento. Intuitivamente, en un *put* corto, el vendedor recibe un pago por el valor de la opción, siempre y cuando el nivel de apalancamiento no supere un umbral establecido. En caso de que el valor de la deuda relativo a los activos del gobierno supere el umbral, lo que significa que éste no pueda cubrir el pago de sus obligaciones; el comprador del *put* ejercerá el derivado y recibirá un pago por parte del emisor. Esta dinámica es una simplificación de la manera en la que operan los CDS.

Adicionalmente, al modelar los CDS a través de un derivado, se pueden obtener diversos factores (no observables), que en general explican la totalidad de la dinámica de los spreads de los CDS, principalmente la volatilidad implícita. Sobre esta última es que se enfoca este artículo, ya que la volatilidad implícita de los contratos *put*, explica la mayor variación en los precios de los CDS (spreads).

Para precisar el grado de volatilidad implícita de la deuda soberana en México, en primer lugar, el estudio necesitó consolidar una base de datos con información de corte diario y mensual. A partir de estos datos se calculan los determinantes de la volatilidad y un modelo estructural que permite pronosticar precios de los CDS. El modelo permite señalar que los cambios en los precios de las opciones para los bonos soberanos están principalmente vinculados a la volatilidad implícita; donde el tiempo restante para la maduración de los diferentes instrumentos y el grado de apalancamiento del gobierno tienen un menor poder explicativo. En este sentido, para una razón de apalancamiento promedio del sector público de 0.71 se identifica una volatilidad implícita promedio de 0.17; resultados que están en línea con los hallazgos de Kelly, Manzo y Palhares (2015) para empresas de alto apalancamiento.

Con el fin de precisar cuáles son los componentes más importantes en el precio de las opciones de venta, el modelo planteado es estructural y se basa en procesos estocásticos. A través de este enfoque, se logra identificar la importancia de los procesos estocásticos en la determinación del precio. Por un lado, si los saltos en la distribución tienen un mayor explicativo, implica que la percepción de riesgo de los inversionistas genera un efecto importante sobre el precio de las opciones. Por el otro lado, si los procesos estocásticos de alta frecuencia poseen mayor poder explicativo, significa que factores como las expectativas de los inversores asumen un mayor efecto sobre el precio de las opciones.

Por lo tanto, analizar el proceso de determinación de precio ayuda a entender las decisiones y expectativas de los inversionistas y esclarece el proceso por el cual puede haber crisis de pagos e inestabilidad económica derivada de la misma.

Para conducir la investigación, la sección 2 del presente documento realiza una revisión de la literatura, la sección 3 aborda los componentes de la VIC, mientras que la sección 4 especifica las fuentes y metodologías de consolidación de la información que se necesitan

para construir la VIC. Por su parte, la sección 5 presenta el cálculo la VIC de los bonos soberanos de México, la sección 6 desarrolla el modelo estructural de los componentes del *spread* de las opciones *put* de bonos soberanos, la sección 7 expone los resultados del modelo estructural, y por último, la sección 8 muestra las principales conclusiones y consideraciones finales.

2. Revisión de la literatura

Esta sección, además de abordar la revisión de la literatura, expone las principales ventajas y contribuciones del modelo estructural que desarrollan Kelly, Manzo y Palhares (2015), para demostrar el poder explicativo que tiene la VIC sobre el precio de las opciones *put* de CDS. Estos autores, señalan que su estudio está relacionado con distintas líneas de investigación de la literatura empírica acerca del riesgo del crédito; y en un sentido amplio, continúan el trabajo de Merton (1974) al utilizar la fijación de precios de la opción para entender el comportamiento de los reclamos crediticios.

Mientras que trabajos anteriores, como el de Vassalou y Xing (2004), estiman la volatilidad de los activos de los bonos para cuantificar el riesgo de incumplimiento. La propuesta de Kelly, Manzo y Palhares (2015) ofrece una nueva perspectiva basada en que la superficie completa de la volatilidad implícita del crédito, puede extraerse de los CDS de diversas firmas a través de distintos vencimientos. Esto, permite a un analista de crédito visualizar e interpretar claramente, los factores de riesgo de incumplimiento que se derivan del vínculo entre los movimientos del precio del crédito.

Más aún, estos autores indican que al descomponer estadísticamente la superficie VIC, se puede captar completamente la dinámica superficial con un número pequeño de factores comunes. Dónde lo relevante es, que estos factores poseen un significado económico, al estar asociados con las condiciones crediticias globales y las diferencias en la VIC; esto, a través del vencimiento y el grado de monetización.

Cont, Da Fonseca et al. (2002) y Andersen, Fusari y Todorov (2015) realizan descomposiciones similares de la superficie de volatilidad implícita de la opción S&P 500. En el caso de Andersen, Fusari y Todorov (2015) emplean factores estadísticos de la

volatilidad implícita de la opción (VIO) para modelar la dinámica de precios y utilizar esto, para desarrollar una especificación estructural significativamente mejorada.

En el mismo sentido, el análisis estadístico de los patrones de la VIC que desarrollan Kelly, Manzo y Palhares (2015), proporciona una nueva perspectiva acerca de los principales factores estructurales del riesgo del crédito corporativo. Los autores señalan que para implementar un modelo que describa el comportamiento conjunto de los CDS de todas las firmas y todos los vencimientos, se requieren al menos dos características principales. Primero, debido a que la VIC de las firmas individuales presenta variaciones idiosincrásicas mínimas,¹ los activos de las empresas deben guiarse principalmente por variables estado agregadas.² Segundo, el proceso de crecimiento de activos debe incorporar choques pesados para generar sonrisas de monetización,³ para lo cual, el modelo planteado emplea la volatilidad estocástica y saltos en el crecimiento agregado de los activos.

Diversos trabajos han investigado la utilidad de modelos estándar para estimar los precios de opciones y con ello modelar el riesgo crediticio. Entre los ejemplos de modelos estructurales con saltos están los estudios de Mason y Bhattacharya (1981), Zhou (2001), Delianedis y Geske (2001), Hilberink y Rogers (2002), Cremers, Driessen y Maenhout (2008), Chen y Kou (2009), Huang y Huang (2012). Particularmente, los modelos no gaussianos han demostrado ser útiles para entender los *spreads* del crédito, ya que el puro riesgo gaussiano es incapaz de generar *spreads* suficientemente grandes para vencimientos cortos y firmas con calificación alta; lo que se conoce como el “rompecabezas del *spread* del crédito” de Jones, Mason y Rosenfeld (1984).

Kelly, Manzo y Palhares (2015) establecen que el rompecabezas tradicional puede reexpresarse con una opción de equivalencia de posición de madurez corta y deuda con calificación alta, que se traduce en una VIC atípicamente alta. En este contexto, la

¹ Las variaciones idiosincrásicas son endémicas de un instrumento financiero en particular, como en el caso de un bono o una acción, y no de todo un portafolio de inversiones.

² Las investigaciones de Coval, Jurek y Stafford (2009) y Cremers, Driessen y Maenhout (2008) conjuntamente modelan los incrementos agregados e idiosincrásicos en el valor de los activos. Ericsson et al. (2009) proponen un modelo relacionado de forma reducida, con distintos procesos agregados y de intensidad idiosincrásica predeterminada. Christoffersen, Fournier y Jacobs (2013) y Kelly, Lustig y Van Nieuwerburgh (por publicarse) a partir de modelos relacionados estudiaron el precio de la sección transversal de las opciones.

³ Son patrones de volatilidad implícitos que tienen la forma de una sonrisa y surgen al fijar el precio de las opciones financieras.

superficie de VIC ofrece una perspectiva más completa del rompecabezas del *spread* del crédito, al proporcionar un mapa global de precios relativos de la deuda contraída. Asimismo, las diferencias pronunciadas en los precios relativos del crédito, no aparecen solamente en vencimientos extremadamente cortos o para créditos con clasificación AA; sino son frecuentes a lo largo del plano vencimiento-monetización.

Estos autores indican que su modelo también refina los hechos tradicionales, al mostrar que el grado apalancamiento, en comparación con la calificación u otras nociones de calidad crediticia, capta con mayor precisión las diferencias en los costos relativos del crédito entre las empresas. El aspecto novedoso que esta investigación aporta para la teoría del *spread* del crédito, es entender de qué factores dependen los precios relativos del crédito. El análisis muestra que al menos dos variables de estado son necesarias para hacer coincidir las fluctuaciones persistentes en el nivel y la curvatura de la superficie VIC, y con ello derivar interpretaciones claras de estos factores estocásticos; en términos de una volatilidad variable en el tiempo y riesgos de quiebra en el crecimiento agregado de activos.

Por otro lado, en la literatura existen dos enfoques para conducir el análisis empírico. El primer enfoque, calibra los modelos estructurales de los títulos de crédito representativos para cada categoría de calificación; donde se busca, por ejemplo, equiparar los promedios incondicionales de los *spreads* del crédito para una calificación dada, en lugar de comparar los *spreads* de cada firma mes a mes. En esta línea de investigación se encuentran los trabajos de Cremers, Driessen y Maenhout (2008), Chen, Collin-Dufresne y Goldstein (2009), Huang y Huang (2012).

Un beneficio de este enfoque de calibración es que los modelos pueden ser evaluados con base en su capacidad para igualar los márgenes observados y respetan las tasas de incumplimiento históricas. Sin embargo, un defecto es que la dinámica del riesgo del crédito no puede ser directamente analizada con este enfoque, debido a la poca frecuencia inherente a los incumplimientos históricos.

La gran diferencia del segundo enfoque es que éste considera los *spreads* de CDS de todas las firmas, todos los vencimientos y en cada período de tiempo. Al igual que Kelly, Manzo y Palhares (2015), Huang y Zhou (2008) y Feldhütter y Schaefer (2014) también

conducen su investigación con este enfoque de corte transversal, mediante series de tiempo del comportamiento los *spreads* del crédito.

El estudio Feldhütter y Schaefer (2014) señala que, de realizar la calibración individual de una empresa, además de resolver en gran parte el rompecabezas del spread del crédito, se resucita el modelo Merton (1974); ya que demuestra su utilidad como un descriptor viable de los *spreads*. A pesar de ello Kelly, Manzo y Palhares (2015) indican que, si bien la construcción de su modelo sigue un enfoque de desagregación similar; el fuerte sesgo de monetización y la dinámica de la VIC que estos autores encuentran expone las fallas inmediatas del modelo de Merton (1974), de la misma manera en que los patrones de la VIO rechazan el modelo de Black-Scholes.

3. Componentes de la VIC

Como se menciona en los apartados anteriores, el presente estudio está basado en la investigación conducida por Kelly, Manzo y Palhares (2015), quienes emplean el modelo de Merton (1974) para derivar la fórmula de la superficie que caracteriza la VIC. Concretamente, el modelo plantea que el *spread* s de las opciones tipo *put* para los bonos soberanos depende de la varianza implícita (σ_A), el grado de apalancamiento (L), el tiempo restante de maduración del instrumento ($T - t$) y la tasa libre de riesgo (r), así la función queda determinada por:

$$s(\sigma_A, L, T - t, r) = \frac{1}{T - t} \ln \left(N(d_2) + \frac{N(-d_1)}{L} \right) \quad (1)$$

Donde,

$$L_t = A_t / (D_t e^{-r(T-t)}) \quad (2)$$

Representa el nivel de apalancamiento del sector público, que se calcula a partir de la ratio entre los activos A_t y la deuda del sector público D_t ; la cual, considera la tasa libre de riesgo y el tiempo de maduración de los bonos. Por último, $N(d_i)$ $i \in \{1, 2\}$ es la distribución acumulada de un normal estándar con:

$$d_1 = \frac{-\ln L}{\sigma_A \sqrt{T-t}} + \frac{1}{2} \sigma_A \sqrt{T-t} \quad (3)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma_A \sqrt{T-t} \quad (4)$$

Kelly, Manzo y Palhares (2015) indican que la ecuación del *spread* es monótona creciente, lo que asegura la existencia de su función inversa dados los valores de r , L y $T - t$. Por lo tanto, la volatilidad implícita con el *spread* observado \tilde{s} , está caracterizada por:

$$VIC(\tilde{s}, L, T-t, r) = s^{-1}(\tilde{s}, L, T-t, r) \quad (5)$$

4. Consolidación de la información

Esta sección presenta el detalle de la información que se necesitan para el cálculo de la ecuación 5, los cuales, incluyen el grado de apalancamiento del sector público en México, la tasa libre de riesgo de los bonos soberanos, el tiempo restante de maduración y el precio *spread* de las opciones *put* de dichos instrumentos. Dada la naturaleza y la disponibilidad de las cifras, se emplearon diferentes metodologías para completar la información requerida. A continuación, se especifican las fuentes de los datos y la estadística descriptiva de los mismos.

En primer lugar, se describe el cálculo del grado de apalancamiento, el cual, se construye a partir de los activos y pasivos financieros del sector público en México (ver la ecuación 2). Para dimensionar los pasivos, se utiliza el indicador de la deuda neta del sector público, que a diferencia del saldo histórico de los requerimientos financieros del sector público (SHRFSP); no representa la totalidad de las obligaciones contraídas por el gobierno mexicano.⁴

Específicamente, se toman como pasivos financieros los montos de deuda neta pública consolidada por el Banco de México (Banxico); y al igual que Kelly, Manzo y Palhares

⁴ El Anexo explica de manera general la composición de dichos pasivos y propone medidas de apalancamiento alternativas.

(2015) para aquellos instrumentos que se asemejan a los bonos corporativos, se aproxima el grado de apalancamiento con la siguiente formula:

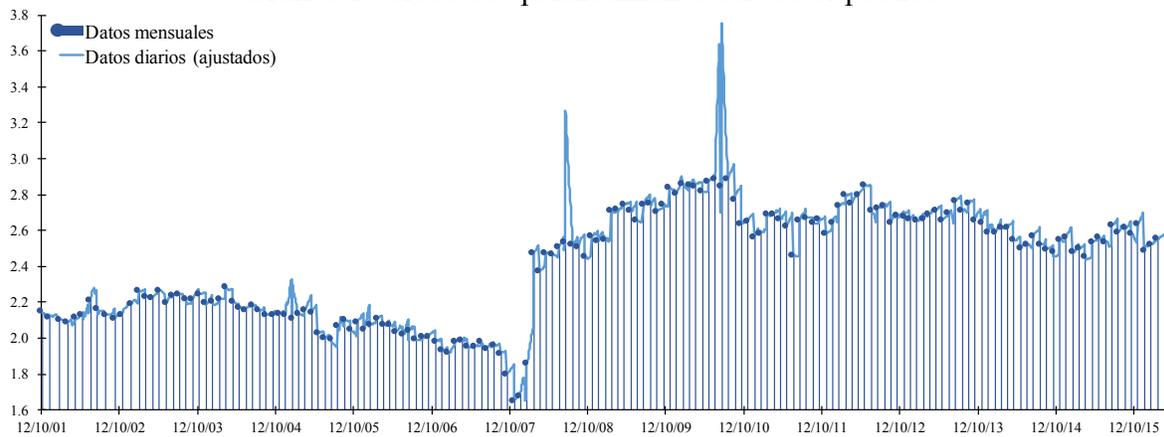
$$L_t = \frac{Deuda_t}{Activos_t + Deuda_t} \quad (6)$$

La Gráfica 1 muestra que el grado apalancamiento del sector público se ha mantenido relativamente constante entre 2001 y 2016. Sin embargo, a mediados de 2008 se presentó un aumento de este indicador; consecuencia del incremento en el endeudamiento público, para cubrir la expansión del gasto público contra cíclico que ayudó a contrarrestar los efectos adversos de la crisis financiera global. Asimismo, el análisis realizó un ejercicio de ajuste a partir de los cambios en los instrumentos de deuda pública y donde se minimiza el error respecto al dato de cierre reportado; lo anterior, posibilita la creación de datos de apalancamiento con periodicidad diaria, bajo la consideración de que los activos permanecen constantes a lo largo de los meses del periodo de estudio.

Por su parte, el tiempo restante de maduración se construyó a partir de datos históricos de los bonos soberanos que reporta Banxico. De acuerdo al modelo de Merton (1974), el tiempo restante de maduración está determinado por el instrumento referenciado. Por lo tanto, este indicador se calculó como el tiempo promedio diario de todos los bonos dividido entre 360 días.

La Gráfica 2 señala que el tiempo restante de maduración de los bonos soberanos, al igual que el grado de apalancamiento, exhibió un cambio importante a mediados de 2008. Antes de junio de ese año, el tiempo restante de maduración era menor a 1,500; en tanto, posterior al cierre de 2008 se tiene un tiempo superior a los 3,000 días. Lo cual, se explica principalmente por el aumento de las emisiones de deuda y el tiempo de maduración que contemplan los nuevos instrumentos (ver Anexo).

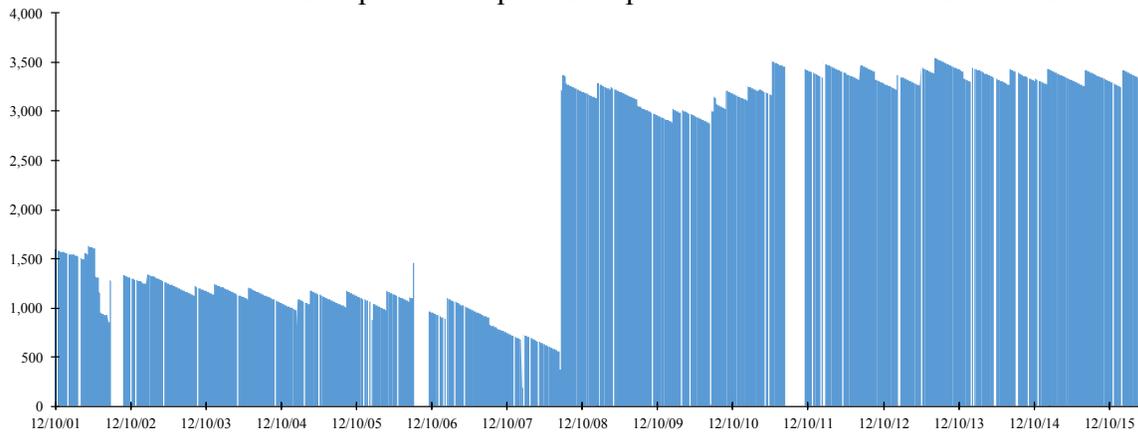
Gráfica 1: Grado de apalancamiento del sector público



Nota: Por construcción las cifras de cierre de cada mes son iguales a los datos diarios correspondientes.

Fuente: Elaboración propia con datos de Banxico.

Gráfica 2: Número de días promedio que restan para la maduración de los bonos soberanos

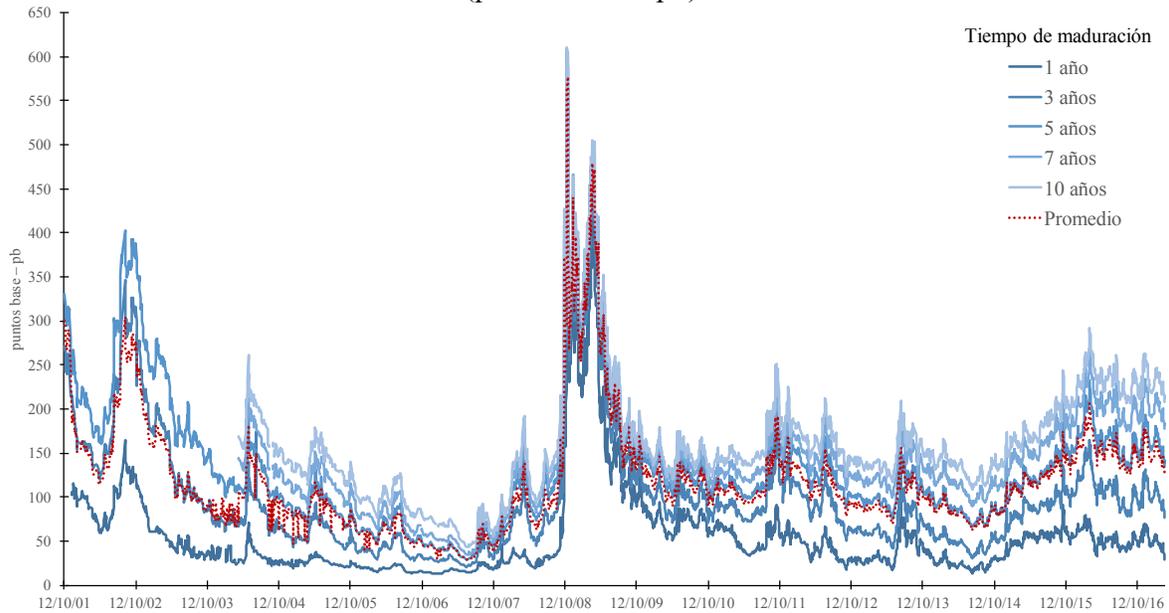


Fuente: Elaboración propia con datos de Banxico.

La información sobre los precios diarios o *spread* de las opciones de venta de los bonos soberanos mexicanos, se obtuvo de Bloomberg. La Gráfica 3 muestra que la trayectoria de los *spreads* diarios posee máximos locales en octubre de 2002 y a mediados de 2008, lo cual, corresponde al efecto conjugado de la desaceleración económica y el aumento del crédito público presente en esos años.

Finalmente, el Cuadro 1 presenta la estadística descriptiva de los tres indicadores que se emplean para caracterizar la VIC; lo anterior, con una periodicidad mensual a partir de datos duros y con cifras construidas de frecuencia diaria. Si bien los estadísticos del promedio, el máximo y el mínimo son similares entre las dos frecuencias, la varianza es mayor para la información mensual en el grado de apalancamiento y el tiempo restante de maduración; mientras que para el *spread*, existe más varianza en la información de corte diario.

Gráfica 3: *Spread* diario de opciones *put* de bonos soberanos por tiempo de maduración (puntos base – pb)



Fuente: Elaboración propia con datos de Bloomberg.

Cuadro 1: Estadística descriptiva del grado de apalancamiento, tiempo restante de maduración y *spread* los bonos soberanos del sector público

Frecuencia	Estadístico	Apalancamiento (%)	$T - t$ (días)	<i>Spread</i> (pb)
Mensual				
	Observaciones	169	162	169
	Promedio	70	2,234	113
	Varianza	0.1	1,285,340	3,464
	Mínimo	62	14	28
	Máximo	74	3,534	447
Diario				
	Observaciones	3,657	3,641	3,919
	Varianza	0.01	1,212,112	4,027
	Mínimo	63	14	28
	Máximo	79	3,545	577

pb – puntos base.

Fuente: Elaboración propia con datos de Banxico y Bloomberg.

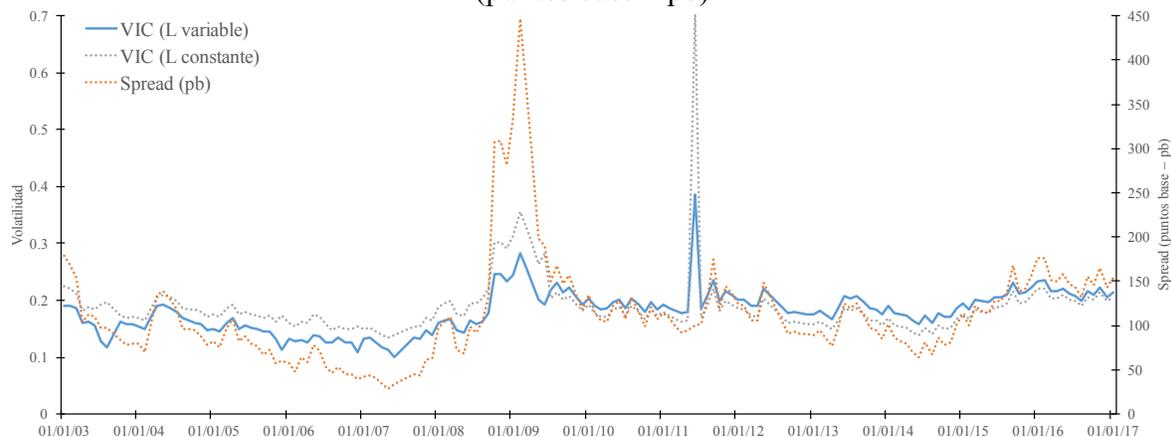
5. Cálculo de la VIC

Con los datos del apartado anterior, esta sección muestra los resultados de la construcción de la VIC de los bonos soberanos en México; esto a nivel mensual y con periodicidad diaria. En primera instancia, la Gráfica 4 expone el cálculo de la VIC con base en información mensual para un grado de apalancamiento constante y variable.

Donde, se encuentra que la volatilidad es estable en el tiempo con un nivel de 0.2 y corresponde a un grado de apalancamiento alto como señalan Kelly, Manzo y Palhares (2015). Además, se comprueba lo que los autores establecen, al indicar que la evolución del *spread* se explica en mayor medida por el comportamiento de la VIC; en comparación con el grado de apalancamiento del sector público.

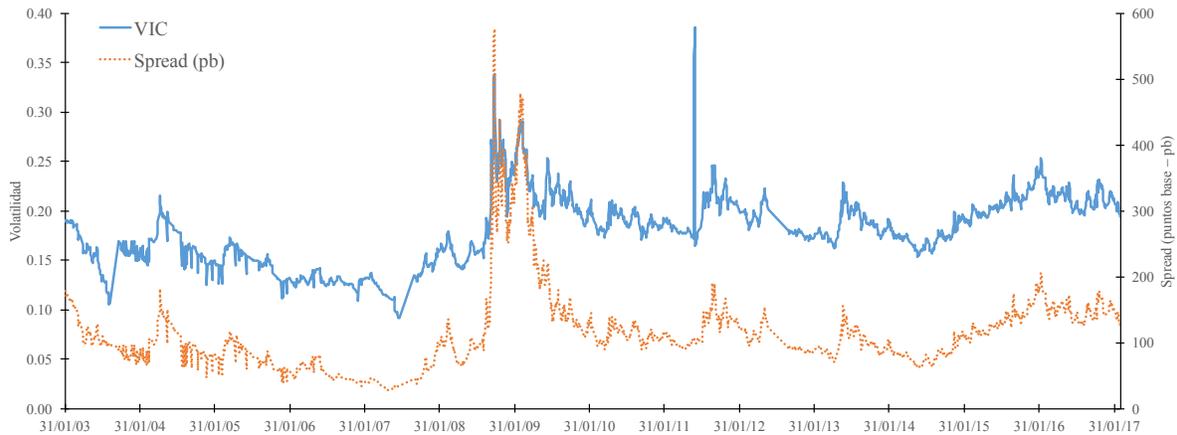
De igual forma, la Gráfica 5 construye la VIC a partir de datos diarios y confirma que los movimientos del *spread* de los bonos soberanos se mantienen regidos por la evolución de la volatilidad implícita. Así, los resultados de las Gráficas 4 y 5 apuntan a la necesidad de crear un marco analítico para modelar aquellos factores que determinan la VIC, y con ello entender la formación de precios de los CDS de bonos soberanos en México.

Gráfica 4: VIC y *spread* con información mensual
(puntos base – pb)



Fuente: Elaboración propia con datos de Banxico y Bloomberg.

Gráfica 5: VIC y *spread* con información diaria
(puntos base – pb)



Nota: La volatilidad implícita está calculada con un nivel de apalancamiento variable.
Fuente: Elaboración propia con datos de Banxico y Bloomberg.

Una vez mostrada la relación entre el spread y la volatilidad implícita se han realizado diferentes estimaciones econométricas para motivar el modelo estocástico. Con este fin, se ha decidido mostrar los determinantes de la volatilidad implícita de los bonos soberanos en México. Se han realizado una serie de estimaciones para dimensionar y caracterizar los factores que determinan la volatilidad implícita así como el precio de los CDS.

Se ha estimado el siguiente modelo lineal:

$$VIC_t = \alpha + \beta X_t + \gamma V_t + L_t + E + u_t \quad (7)$$

Donde VIC_t es la volatilidad implícita de los bonos soberanos, β es el vector de estimadores para el vector de variables X_t las cuales comprenden las siguientes: IGAE, Indicador Global de Actividad Económica; pasivo sobre activo financiero del sector público; reservas internacionales sobre PIB; tipo de cambio nominal y probabilidad de impago de Bloomberg. Los datos fueron tomados de manera mensual de enero de 2003 a enero de 2017. El vector de parámetros γ representa el vector estimado para las variables curtosis, asimetría y varianza de la volatilidad momentos estadísticos tomados de la distribución diaria de cada mes. Por último, el valor L_t representa un conjunto de 12 rezagos, E representa un conjunto de variables dicotómicas por mes y año y u_t es un error estadístico con varianza 1 media 0.

Se han estimado 5 modelos incorporando paulatinamente las diferentes variables. Como era de esperarse, el nivel de pasivo sobre el activo del sector público de México es significativo e impacta positivamente. Esto muestra como el nivel de deuda del sector público tiene un efecto sobre la posibilidad de pago lo que aumenta la incertidumbre de pagos lo que aumenta la volatilidad y por lo tanto el precio de los CDS. Aunado a lo anterior, el nivel de tipo de cambio, de igual forma, aumenta la posibilidad impago debido a que aumenta el costo financiero de la deuda extranjera. Por último, la varianza de la volatilidad en el mes es un indicador de la volatilidad el precio al fin de mes, forma en la que es medida la volatilidad implícita del mismo. Las variables rezagas de la volatilidad no son significativas lo que implica que la volatilidad no se encuentra ligada a efectos anteriores lo que apoya la idea de que dicho proceso es independiente en el tiempo. El Cuadro 2 muestra los resultados.

Cuadro 2: Determinantes de la volatilidad implícita

Modelo	1	2	3	4	5
Intercepto	0.079	0.006	-0.106	-0.045	0.011
	0.406	0.948	0.276	0.687	0.928
IGAE	0.001	0.000	0.000	-0.001	-0.001
	0.488	0.758	0.881	0.407	0.182
Pasivo/Activo	0.010	0.010	0.008	0.057	0.057
	0.005	0.006	0.017	0.000	0.000
Reservas sobre PIB		1.042	0.233	0.423	0.373
		0.001	0.557	0.317	0.371
Tipo de cambio			0.016	0.015	0.015
			0.002	0.011	0.014
Probabilidad de impago de Bloomberg				-0.306	-0.130
				0.798	0.916
Curtosis					0.001
					0.720
Asimetría					0.000
					0.933
Varianza					0.001
					0.069
Efectos fijos por año	Si	Si	Si	Si	Si
Efectos fijos por mes	Si	Si	Si	Si	Si
Rezagos sobre la volatilidad	Si	Si	Si	Si	Si

R ²	0.730	0.755	0.775	0.970	0.975
Observaciones	150	150	150	57	57

Fuente: Elaboración propia.

Los determinantes en su conjunto apuntan a que el nivel de apalancamiento y un proceso no inherente al spread como lo son los factores de tipo de cambio nominal o nivel de reservas internacional afectan la volatilidad. Asimismo, la varianza de la volatilidad implícita también juega un papel relevante, de esta manera se motiva un modelo que capture el proceso estocástico de los spreads.

6. Modelo estructural

Mientras que el apartado anterior, señala que la VIC posee un fuerte poder explicativo para el *spread* de las opciones *put* de los bonos soberanos de México; esta sección aborda el modelo estructural que sirve para determinar el comportamiento de la VIC. En este contexto, en primer lugar, se presenta la importancia que tienen los saltos en la distribución para precisar la evolución de la volatilidad implícita. Donde éstos, implican que los inversionistas perciben riesgos asociados a la tenencia de los instrumentos gubernamentales.

Se propone una modelo estructural en un sentido de modelación sobre el proceso estocástico. Este modelo permite aterrizar parámetros de un proceso estocástico sobre el crecimiento de los activos de gobierno para finalmente ser evaluado y obtener los Spreads de los CDS. Al modelar este proceso es posible disciplinar un modelo de crecimiento de los activos y por lo tanto de los precios de CDS soberanos.

Por otro lado, la frecuencia de la información tiene un papel fundamental para determinar el proceso estocástico que gobierna el comportamiento de la VIC. Así, es preferible conducir el modelo con datos de corte diario para capturar los movimientos de un proceso estocástico de alta frecuencia; ya que esto, permite identificar el vínculo que existe entre dicho proceso y los ciclos económicos, o las condiciones de la economía.

Para el modelo estructural, el crecimiento de un activo está dado por:

$$dA_t = A_t[r - \lambda_t \xi_m]dt + A_t \sqrt{v_t} dW_t^m + A_{t-} [(e^{-q_m} - 1) dJ(\lambda_t)] \quad (8)$$

El primer término representa el *drift*, o tendencia; el segundo término representa la difusión, *i.e.* el cambio de estado; y el tercer término representa un salto en la distribución. Donde J es una distribución Poisson con media λ_t .⁵ En tanto, el parámetro λ_t está en función de la volatilidad de una ecuación de difusión,

$$\lambda_t = av_t + z_t \quad (9)$$

La evolución de los parámetros de volatilidad v_t y z_t está determinada por un modelo Cox–Ingersoll–Ross (CIR) de la siguiente manera,

$$dv_t = \kappa_v(\theta_v - v_t)dt + \sigma_v\sqrt{v_t}dW_t^v \quad (10)$$

$$dz_t = \kappa_z(\theta_z - z_t)dt + \sigma_z\sqrt{z_t}dW_t^z \quad (11)$$

Por simplicidad se considera $A_t = A_{t-}$, por lo que el modelo puede reexpresarse de forma matricial cómo,

$$\begin{bmatrix} dA_t \\ A_t \\ dv_t \\ dz_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r - \lambda_t \xi_m \\ \kappa_v(\theta_v - v_t) \\ \kappa_z(\theta_z - z_t) \end{bmatrix} dt + \begin{bmatrix} \sqrt{v_t} & 0 & 0 \\ \sigma_v \rho \sqrt{v_t} & \sigma_v \sqrt{v_t(1 - \rho^2)} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z \sqrt{z_t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dW_t^m \\ dB_t^2 \\ dW_t^z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (e^{-qm} - 1)dJ(\lambda_t) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Donde $dW_t^v = \sigma_v \rho \sqrt{v_t} dW_t^m + \sigma_v \sqrt{v_t(1 - \rho^2)} dB_t^2$ captura los movimientos brownianos independientes de W_t^m y B_t^2 . Así, matricialmente se tiene que,

$$dX = \mu dt + \sigma dB + J \quad (13)$$

⁵ La evolución de los activos está expresada como neutral al riesgo o bajo la medida Q , por lo que $E\left[\frac{dA_t}{A_t}\right] = r dt$. Esto, debido a que $E[dW_t^m] = 0$ y $E[(e^{-qm} - 1)dJ(\lambda_t)] = \left[e^{\left(\frac{\sigma_{qm}^2}{2} + \mu_{qm}\right)} - 1\right] \lambda_t dt = \lambda_t \xi_m dt$ con $\xi_m = e^{\left(\frac{\sigma_{qm}^2}{2} + \mu_{qm}\right)}$. Además, $E[dJ(\lambda_t)] = 1 * \lambda_t dt + 0 * (1 - \lambda_t dt) = \lambda_t dt$.

En la que σ representa la matriz de correlaciones entre los movimientos brownianos y el vector J constituye un salto discontinuo por la izquierda.

Se aplica la fórmula de Feynman-Kac a $x = f(A_t) = \ln(A_t)$ y se asume una función $G(\phi, \tau, x, v, z)$ donde $\tau = T - t$, para obtener que:⁶

$$\begin{aligned} \kappa_v(\theta_v - v_t)G_v + \kappa_z(\theta_z - z_t)G_z + \rho v_t \sigma_v G_{vx} + \frac{1}{2} \sigma_v^2 v_t G_{vv} + \frac{1}{2} \sigma_z^2 z_t G_{zz} + \frac{1}{2} v_t G_{xx} \\ + (r - \lambda_t \xi_m)G_x - G_\tau + \lambda_t E[G(x + qm) - G(x)] = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

$$G(\phi, 0, x, v, z) = e^{\phi x} \quad (15)$$

Se asume la forma explícita de la función,

$$G(\phi, \tau, x_t, v_t, z_t) = e^{\phi x_t + \phi r \tau + F_0(\phi, \tau) + v_t F_1(\phi, \tau) + z_t F_2(\phi, \tau)} \quad (16)$$

Al aplicar esta forma funcional se obtiene la siguiente ecuación:⁷

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \phi^2 v_t - \phi \varepsilon_m (av_t + z_t) + \phi \rho v_t \sigma_v F_1 - av_t - z_t + \kappa_v \theta_v F_1 - \kappa_v v_t F_1 + \kappa_z \theta_z F_2 - \kappa_z z_t F_2 \\ + \frac{1}{2} \sigma_v^2 v_t F_1^2 + \frac{1}{2} \sigma_z^2 z_t F_2^2 + (av_t + z_t) e^{\left(\frac{\phi^2 \sigma_{qm}^2}{2} + \phi \mu_{qm}\right)} - v_t F_1' - z_t F_2' \\ - F_0' = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

⁶ EL operador de Feynman-Kac para x_i variables del modelo está dado por:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \mu_i \frac{\partial}{\partial x_i} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma \sigma^T_{i,j} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} + \lambda_t E[G(x + qm) - G(x)]$$

⁷ Es importante considerar que la fórmula de Feynman-Kac se encuentra en logaritmos. Por lo que, al retomar el modelo original, el salto en la distribución está dado por $A(u) - A(u-) = 0$ si $dJ(\lambda_t) = 0$, o $A(u) - A(u-) = (j - 1) A(u-)$ si $dJ(\lambda_t) = 1$; lo que implica que $A(u) = jA(u-)$. Por lo que de tomar los respectivos logaritmos $\ln[A(u)] - \ln[A(u-)] = qm$, se tiene que el valor esperado está dado por:

$$\lambda_t E[G(x + qm) - G(x)] = \lambda_t e^{\left(\frac{\phi^2 \sigma_{qm}^2}{2} + \phi \mu_{qm}\right)}$$

Así, el valor esperado sobre la variable qm es el valor esperado de una distribución normal logarítmica, debido a que,

$$E[G(x + qm) - G(x)] = E[e^{\phi qm}] = e^{\left(\frac{\phi^2 \sigma_{qm}^2}{2} + \phi \mu_{qm}\right)}$$

Al recomodar los términos de la anterior ecuación, se obtiene que:

$$\begin{aligned}
v_t \left(\frac{1}{2} \phi^2 - \phi \varepsilon_m a - a + a e^{\left(\frac{\phi^2 \sigma_{qm}^2}{2} + \phi \mu_{qm} \right)} + (\phi \rho \sigma_v - \kappa_v) F_1 + \frac{1}{2} \sigma_v^2 F_1^2 - F_1' \right) \\
+ z_t \left(-\phi \varepsilon_m - 1 + e^{\left(\frac{\phi^2 \sigma_{qm}^2}{2} + \phi \mu_{qm} \right)} - \kappa_z F_2 + \frac{1}{2} \sigma_z^2 F_2^2 - F_2' \right) + \kappa_v \theta_v F_1 \\
+ \kappa_z \theta_z F_2 - F_0' = 0
\end{aligned} \tag{18}$$

Lo que implica las siguientes tres ecuaciones:

$$\frac{1}{2} \phi^2 - \phi \varepsilon_m a - a + a e^{\left(\frac{\phi^2 \sigma_{qm}^2}{2} + \phi \mu_{qm} \right)} + (\phi \rho \sigma_v - \kappa_v) F_1 + \frac{1}{2} \sigma_v^2 F_1^2 - F_1' = 0 \tag{19}$$

$$-\phi \varepsilon_m - 1 + e^{\left(\frac{\phi^2 \sigma_{qm}^2}{2} + \phi \mu_{qm} \right)} - \kappa_z F_2 + \frac{1}{2} \sigma_z^2 F_2^2 - F_2' = 0 \tag{20}$$

$$\kappa_v \theta_v F_1 + \kappa_z \theta_z F_2 - F_0' = 0 \tag{21}$$

Lo primero que resalta, es que estas ecuaciones ya no son funciones de las variables de estado, sino de parámetros y funciones que se definieron sobre la función G explícita. Al seguir la metodología de Sepp (2003), las primeras dos igualdades pueden expresarse como ecuaciones diferenciales de segundo grado al utilizar que,

$$F_i = \frac{Y_i'(\tau)}{C_i Y_i(\tau)} \tag{22}$$

Para $i \in \{1,2\}$, donde Y es una función sobre τ y C_i que representa un factor constante multiplica al termino cuadrático. Al aplicar dicha sustitución, se obtienen las siguientes dos soluciones:

$$\frac{1}{2}\sigma_v^2 \left(\frac{1}{2}\phi^2 - \phi a \varepsilon_m + a e^{\left(\frac{\phi^2 \sigma_{qm}^2}{2} + \phi \mu_{qm} \right)} - a \right) Y_1(\tau) - (\phi \rho \sigma_v - \kappa_v) Y_1'(\tau) + Y_1''(\tau) = 0 \quad (23)$$

$$\frac{1}{2}\sigma_z^2 \left(-\phi \varepsilon_m + e^{\left(\frac{\phi^2 \sigma_{qm}^2}{2} + \phi \mu_{qm} \right)} - 1 \right) Y_2(\tau) + \kappa_z Y_2'(\tau) + Y_2''(\tau) = 0 \quad (24)$$

Y ambas ecuaciones tienen una solución general en el campo de los números reales,⁸

$$Y_1(\tau) = C_{1,1} e^{\frac{1}{2}\tau \varphi_1^-} + C_{1,2} e^{\frac{1}{2}\tau \varphi_1^+} \quad (25)$$

⁸ La solución está caracterizada de forma general para las ecuaciones diferenciales de segundo orden de Riccati. En este caso se considera que la solución es un número real. Luego entonces, se suponen las siguientes ecuaciones:

$$aZ'' + bZ' + cZ = 0$$

$$Z = e^{\beta x}$$

Con ello se logra que,

$$Z' = \beta e^{\beta x}$$

$$Z'' = \beta^2 e^{\beta x}$$

Lo que implica,

$$a\beta^2 e^{\beta x} + b\beta e^{\beta x} + c e^{\beta x} = (a\beta^2 + b\beta + c)e^{\beta x} = 0$$

Debido a que $e^{\beta x} > 0$. Entonces se tiene que,

$$a\beta^2 + b\beta + c = 0$$

Por lo tanto, la solución está dada por:

$$\beta_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$\beta_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

En el caso particular de los números reales se tiene que si $b^2 - 4ac > 0$ entonces,

$$Z = C_1 e^{\beta_1 x} + C_2 e^{\beta_2 x}$$

Si $b^2 - 4ac = 0$ implica que,

$$Z = C_1 e^{\beta x} + C_2 x e^{\beta x}$$

Con $\beta = -b/2a$.

Finalmente, para una solución compleja se tiene que:

$$Z = C_1 e^{(\alpha_1 + i\alpha_2)x} + C_2 e^{(\alpha_1 - i\alpha_2)x}$$

Con,

$$\alpha_1 = -b/2a$$

$$\alpha_2 = \sqrt{4ac - b^2}/2a$$

Donde,

$$\varphi_1^+ = -\phi\rho\sigma_v + \kappa_v + \delta \quad (26)$$

$$\varphi_1^- = \phi\rho\sigma_v - \kappa_v + \delta \quad (27)$$

$$\delta = \sqrt{\left((\phi\rho\sigma_v - \kappa_v)^2 - 2\sigma_v^2 \left(\frac{1}{2}\phi^2 - \phi a \varepsilon_m + a e^{\left(\frac{\phi^2 \sigma_{qm}^2}{2} + \phi \mu_{qm} \right)} - a \right) \right)} \quad (28)$$

De las condiciones iniciales se tiene que,

$$Y_1(0) = C_{1,1} + C_{1,2} \quad (29)$$

$$Y_1'(0) = -\frac{1}{2}\varphi_1^- C_{1,1} + \frac{1}{2}\varphi_1^+ C_{1,2} = 0 \quad (30)$$

Lo cual implica que,

$$C_{1,1} = \frac{\varphi_1^+ Y_1(0)}{\varphi_1^- + \varphi_1^+} \quad (31)$$

$$C_{1,2} = \frac{\varphi_1^- Y_1(0)}{\varphi_1^- + \varphi_1^+} \quad (32)$$

Una vez determinadas las constantes, se encuentra la función $F_1(\phi, \tau)$ a través de,

$$F_1(\phi, \tau) = \frac{Y_1'(\tau)}{\frac{1}{2}\sigma_v^2 Y_1(\tau)} = \frac{-\frac{1}{2}\varphi_1^- C_{1,1} e^{-\frac{1}{2}\tau\varphi_1^-} + \frac{1}{2}\varphi_1^+ C_{1,2} e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_1^+}}{\frac{1}{2}\sigma_v^2 \left(C_{1,1} e^{-\frac{1}{2}\tau\varphi_1^-} + C_{1,2} e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_1^+} \right)} \quad (33)$$

$$F_1(\phi, \tau) = \frac{-\frac{1}{2}\varphi_1^- - \frac{\varphi_1^+ Y_1(0)}{\varphi_1^- + \varphi_1^+} e^{-\frac{1}{2}\tau\varphi_1^-} + \frac{1}{2}\varphi_1^+ + \frac{\varphi_1^- Y_1(0)}{\varphi_1^- + \varphi_1^+} e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_1^+}}{\frac{1}{2}\sigma_v^2 \left(\frac{\varphi_1^+ Y_1(0)}{\varphi_1^- + \varphi_1^+} e^{-\frac{1}{2}\tau\varphi_1^-} + \frac{\varphi_1^- Y_1(0)}{\varphi_1^- + \varphi_1^+} e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_1^+} \right)}$$
(34)

$$F_1(\phi, \tau) = \frac{-\varphi_1^- \frac{\varphi_1^+}{\varphi_1^- + \varphi_1^+} e^{-\frac{1}{2}\tau\varphi_1^-} + \varphi_1^+ \frac{\varphi_1^-}{\varphi_1^- + \varphi_1^+} e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_1^+}}{\sigma_v^2 \left(\frac{\varphi_1^+}{\varphi_1^- + \varphi_1^+} e^{-\frac{1}{2}\tau\varphi_1^-} + \frac{\varphi_1^-}{\varphi_1^- + \varphi_1^+} e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_1^+} \right)}$$
(35)

$$F_1(\phi, \tau) = \frac{-\varphi_1^- \varphi_1^+ e^{-\frac{1}{2}\tau\varphi_1^-} + \varphi_1^+ \varphi_1^- e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_1^+}}{\sigma_v^2 \left(\varphi_1^+ e^{-\frac{1}{2}\tau\varphi_1^-} + \varphi_1^- e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_1^+} \right)}$$
(36)

Al utilizar la misma metodología se tiene que,

$$Y_2(\tau) = C_{2,1} e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_2^-} + C_{2,2} e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_2^+}$$
(37)

$$\varphi_2^- = \kappa_z + \sqrt{\left(\kappa_z^2 - 2\sigma_z^2 \left(-\phi\varepsilon_m + e^{\left(\frac{\phi^2\sigma_{qm}^2}{2} + \phi\mu_{qm} \right)} - 1 \right) \right)}$$
(38)

$$\varphi_2^+ = -\kappa_z + \sqrt{\left(\kappa_z^2 - 2\sigma_z^2 \left(-\phi\varepsilon_m + e^{\left(\frac{\phi^2\sigma_{qm}^2}{2} + \phi\mu_{qm} \right)} - 1 \right) \right)}$$
(39)

Por analogía se obtiene:

$$F_2(\phi, \tau) = \frac{-\varphi_2^- \varphi_2^+ e^{-\frac{1}{2}\tau\varphi_2^-} + \varphi_2^+ \varphi_2^- e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_2^+}}{\sigma_v^2 \left(\varphi_2^+ e^{-\frac{1}{2}\tau\varphi_2^-} + \varphi_2^- e^{\frac{1}{2}\tau\varphi_2^+} \right)}$$
(40)

Por lo tanto,

$$F_0' = F_0 = \kappa_v \theta_v F_1 + \kappa_z \theta_z F_2 \quad (41)$$

Lo cual, permite caracterizar la solución en función de las variables de estado mediante,

$$G(\phi, \tau, x, v, z) = e^{\phi x + \phi r \tau + F_0(\phi, \tau) + v_t F_1(\phi, \tau) + z_t F_2(\phi, \tau)} \quad (42)$$

El último paso es, resolver las variables de estado que fueron calculadas a través de una discretización de las ecuaciones. El proceso CIR se calcula a partir de:

$$\Delta v_t = \kappa_v (\theta_v - v_t) \Delta t + \sigma_v \sqrt{\Delta t} v_t \gamma_t^v \quad (43)$$

Donde $\gamma_t^v \sim N(0,1)$. De forma similar, se construye el valor de z_t con los valores iniciales (v_0, z_0) . Por lo que al seguir la metodología de Carr y Madan (1999), la función característica está dada por:

$$FC(u) = E[e^{i u s \tau}] = G(iu, \tau, x, v, z) = e^{i u x + i u r \tau + F_0(iu, \tau) + v_t F_1(iu, \tau) + z_t F_2(iu, \tau)} \quad (44)$$

Así, los precios se determinan a través de las siguientes dos ecuaciones,

$$S_t = \frac{e^{\alpha \phi k}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Re e^{i u k} \Psi(u) du \quad (45)$$

$$\Psi(u) = \frac{e^{-r \tau} FC(u - (\alpha \phi + 1)i)}{(\alpha \phi)^2 + \alpha \phi - u^2 + i(2\alpha \phi + 1)u} \quad (46)$$

Con $k = \ln(K)$ y $\alpha = 1.5$, donde el precio de una opción de compra *call* se define por $\phi = 1$ y de venta *put* mediante $\phi = -1$.

El resultado de esta caracterización de las variables estado, con el tiempo de maduración y el logaritmo de los activos, implica que la integral de la ecuación 43 esté determinada como una función de u sobre los números reales. Para encontrar la solución de esta integral, Carr y Madan (1999) emplean el método de transformación rápida de Fourier (*Fast Fourier Transformation – FFT*).

7. Resultados del modelo estructural

En primer lugar, esta sección aborda el cálculo de los parámetros utilizados para entrenar el modelo estructural y, en segundo término, muestra la bondad de ajuste del modelo respecto a los datos observados. Con base en el apartado anterior, además del resto de parámetros para los que se necesita una serie de tiempo, existen ciertos aspectos que deben considerarse para obtener la información de las variables de estado, las cuales son v, z, x, τ, r, k . Las variables v y z se estiman mediante la discretización del proceso CIR, mientras que para el resto de variables los datos son de frecuencia mensual. Debido a la disponibilidad de las cifras, el tiempo de maduración τ se calcula con el promedio de los bonos soberanos que circulan en el mercado.

Si bien este parámetro no corresponde exactamente al tiempo de maduración de las opciones de venta de los bonos soberanos, el tiempo promedio se toma como aproximación; esto, con la consideración de que el CDS analizado sólo puede ser ejercido al momento de la finalización del instrumento. La tasa de interés libre de riesgo r , se toma de los Certificados de la Tesorería de la Federación (Cetes) a 28 días; información que reporta Banxico. El grado de apalancamiento del sector público se calcula bajo los supuestos que se exponen en los apartados anteriores.

En este marco, gracias a las diferentes series de tiempo y los procesos CIR se puede calcular el precio del CDS con el espacio paramétrico,

$$\theta = \{a, \kappa_v, \kappa_z, \mu_{qm}, \rho, \sigma_v, \sigma_z, \theta_v, \theta_z, \sigma_{qm}, v_0, z_0\} \quad (47)$$

Por lo que, para realizar el entrenamiento paramétrico se define la siguiente función objetivo, que busca minimizar el error cuadrático medio entre el *spread* observado S_t y el *spread* estimado \tilde{S}_t ,

$$\min_{\theta} \{(S_t - \tilde{S}_t)^2\} \quad (48)$$

Debido al tiempo de computación, así como disponibilidad de datos, se ha decidido realizar el ejercicio con periodicidad mensual de octubre de 2003 a junio de 2014. Ahora bien, de acotar el campo de entrenamiento del modelo y controlar las discontinuidades que introduce el promedio del tiempo de maduración de los bonos soberanos, el modelo ajusta de mejor forma y comprueba el hallazgo encontrado por Kelly, Manzo y Palhares (2015); qué la VIC es el componente del proceso estocástico que mayor poder explicativo tiene para el *spread* de los CDS. El Cuadro 3 muestra los resultados de la calibración. En primera instancia, hay que notar que logra explicar alrededor del 80 por ciento de la varianza.⁹

Cuadro 3: Resultados de ejercicios de calibración del espacio paramétrico θ

Periodicidad diaria	Oct 2013 a jun 2014
R ²	.83
Observaciones	124
A	-0.238
ρ	0.261
κ_v	0.108
θ_v	0.029
σ_v	0.134
κ_z	0.242
θ_z	0.035
σ_z	0.112
μ_{qm}	-0.836
σ_{qm}	0.636

Notas: Debido al redondeo, ciertos parámetros muestran valores iguales a cero; aunque éste no es el valor correcto. En tanto, los diferentes ejercicios utilizan la metodología FFT con un entramado de 2^{13} , un valor máximo de 200 y $\alpha=1.5$. Para favorecer la trazabilidad del proceso de minimización de la función objetivo, el nivel de tolerancia es de 1×10^{-3} . Por tiempo computacional se ha decidido detener el algoritmo en 100,000 iteraciones. Los cálculos se realizan con la base computacional de Matlab, compilado en C++, y Python 3.

Fuente: Elaboración propia.

⁹ EL nivel de ajuste fue calculado bajo una regresión entre el valor observado y el valor estimado sin intercepto. De esta manera, en caso de un ajuste bueno los valores se encuentran bajo la línea de 45 grados en una gráfica que relaciona ambos valores.

Estos resultados apuntan a que la superficie de la volatilidad tiene saltos discontinuos en su proceso estocástico debido a una media en el salto μ_{qm} diferente de cero. Aunado a lo anterior, la varianza σ_{qm} es diferente de cero, lo que señala que el proceso Poisson no es constante. Por otro lado, los valores positivos de los procesos CIR implican que éstos siempre tiendan a regresar a su media, como lo establece la teoría.

A partir de la calibración de parámetros, se realiza una estimación de la serie de tiempo del *spread* de los CDS de bonos soberanos; esto, permite realizar una comparación entre los valores observados y estimados para evaluar la bondad de ajuste del modelo estructural. Al comparar los *spreads* estimado en relación con los observados se ve que se tiene un buen ajuste y logra capturar los saltos de los *spreads*, sin embargo, los saltos estimados son menores a los que muestran los datos. Lo anterior, podría explicarse en parte por la aproximación que se hace para calcular el tiempo de maduración de los bonos; lo que se realiza mediante el promedio de los instrumentos en circulación y al parecer no logra capturar adecuadamente la madurez del bono. Asimismo, los contratos CDS son un instrumento derivado de un bono en particular, por lo que la media de maduración del bono soberano; no necesariamente representa el grado de madurez del CDS y puede sesgar los resultados. El Cuadro A.3 del Anexo muestra que cualquier movimiento en el tiempo de maduración guarda una correlación negativa con los precios del modelo.¹⁰

A pesar de la varianza que introduce al modelo los datos del promedio de maduración de los bonos, los resultados anteriores apuntan a que ésta no tiene un impacto considerable sobre la tendencia de la estimación del precio de los CDS; aunque sí sobre la varianza del mismo. Por lo que, para probar esta hipótesis el siguiente paso de la investigación supone que el tiempo de maduración es constante y calibra nuevamente el modelo.

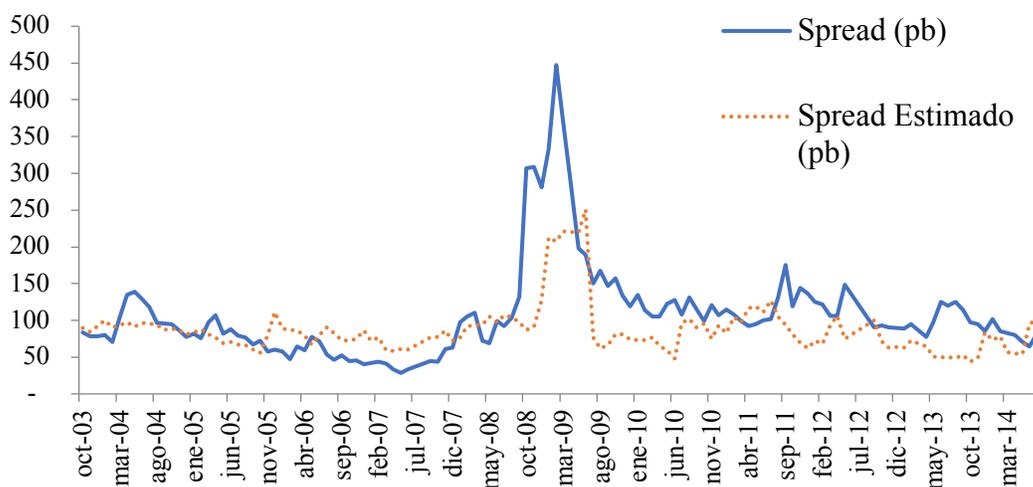
Aunado a esto, las series de tiempo para los diferentes instrumentos de deuda pública sobre los días de maduración, presentan saltos marcados al momento de colocar los bonos en los mercados; choques que no se reflejan en los datos de los *spreads* de los CDS. Así, al instante en el que emiten bonos de alta duración, el promedio del tiempo de maduración se mueve hacia arriba; lo contrario sucede cuando la colocación involucra instrumentos de

¹⁰ El Cuadro A.3 del Anexo expone los resultados de una regresión lineal entre el *spread* del CDS y sus componentes.

baja maduración. En el caso del modelo, esto se traduce en una mayor volatilidad y se refleja en una sobreestimación de la VIC de los *spreads* para las opciones de venta de los bonos soberanos en México.

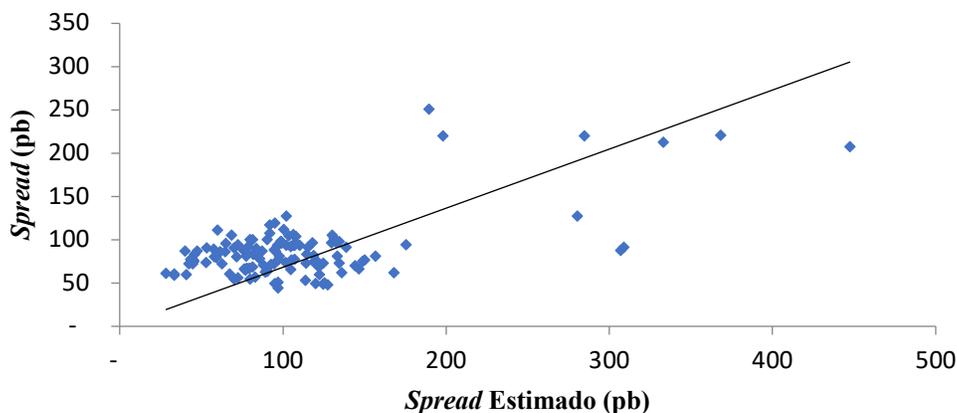
Por otro lado, El nivel, el cual está dado por el procesos CIR se encuentra relativamente bien ajustado. La Gráfica 6 y 7 muestran los resultados del modelo estimado en relación a los datos estimados y los datos encontrados.

Gráfica 6: *Spread* observado y estimado (puntos base – pb)



Fuente: Elaboración propia.

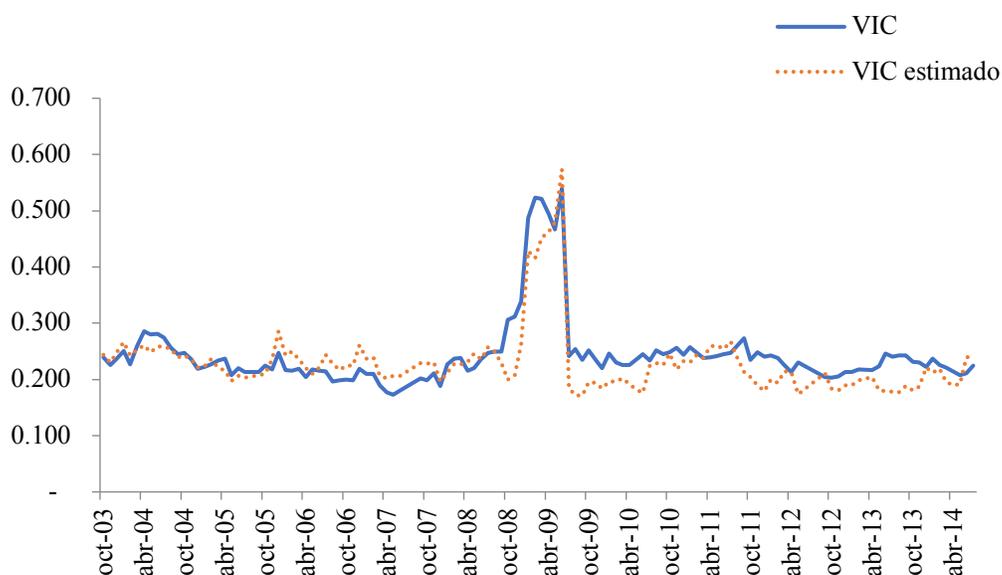
Gráfica 7: *Spread* observado y estimado (puntos base – pb)



Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el ejercicio de obtener la volatilidad implícita mediante la ecuación 2 y 5 para el precio estimado se obtiene un ajuste bueno de un 97 por ciento medido bajo la R cuadrada de la regresión entre el valor observado y el estimado. Este resultado apunta a la importancia del proceso estocástico modelo el cual contempla saltos discontinuos siendo así un primer paso para entender la determinación del precio de los CDS asimismo el proceso de decisión de los inversionistas y expectativas de impago de la deuda soberana. La Gráfica 8 muestra los resultados del modelo:

Gráfica 8: *Volatilidad implícita estimada*
(puntos base – pb)



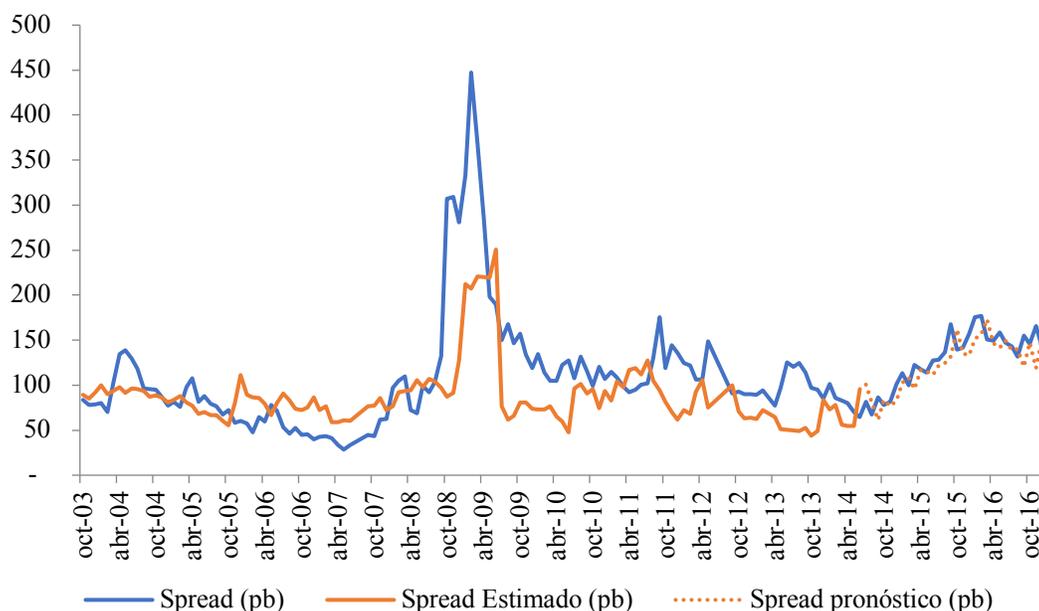
Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el valor de la volatilidad implícita que se ha mostrado su nivel de ajuste ante los valores estimados se ha pasado a generar un pronóstico con respecto a los parámetros estimados. Este pronóstico permite caracterizar un indicador adelantado del riesgo de impago de los bonos soberanos mexicanos. De esta manera, apunta a capturar las posibles expectativas de los inversores en México.

Para obtener valores los valores estimados para los siguientes periodos a junio del 2014 se ha realizado la siguiente metodología. Dada las propiedades de los precios estimados bajo la medida Q se ha obtiene cada valor estimado posterior basado en el inmediato anterior. Para hacer esto se recalibran sólo los valores iniciales del proceso CIR dado los parámetros calibrados tal que el precio en t sea igual al estimado inmediato anterior al que

se estima. Una vez estimado este valor inicial se sigue el proceso estocástico dado los valores observados de maduración, apalancamiento y madurez para obtener el valor en $t+1$. Esto quiere decir que el modelo estima el valor esperado en el periodo $t+1$ dado las variables de estado en el periodo t . En otras palabras, dado el proceso estocástico o distribución del valor que se da en el tiempo, se obtiene el valor promedio en $(t+1)$ dado el valor inmediato anterior (t) el cual es un valor observado. Por lo tanto, cada nuevo punto es el valor esperado en función del inmediato anterior lo que restringe a que es necesario conocer el valor observado inmediato anterior para obtener un pronóstico bajo este ejercicio.¹¹ Esto inmediatamente implica que sólo podemos hacer pronóstico sobre el dato inmediatamente posterior a lo observado. Se ha realizado el ejercicio para los datos mensuales de julio de 2014 a enero de 2017. La Gráfica 9 muestra los resultados.

Gráfica 9: *Spread* observado pronosticado
(puntos base – pb)



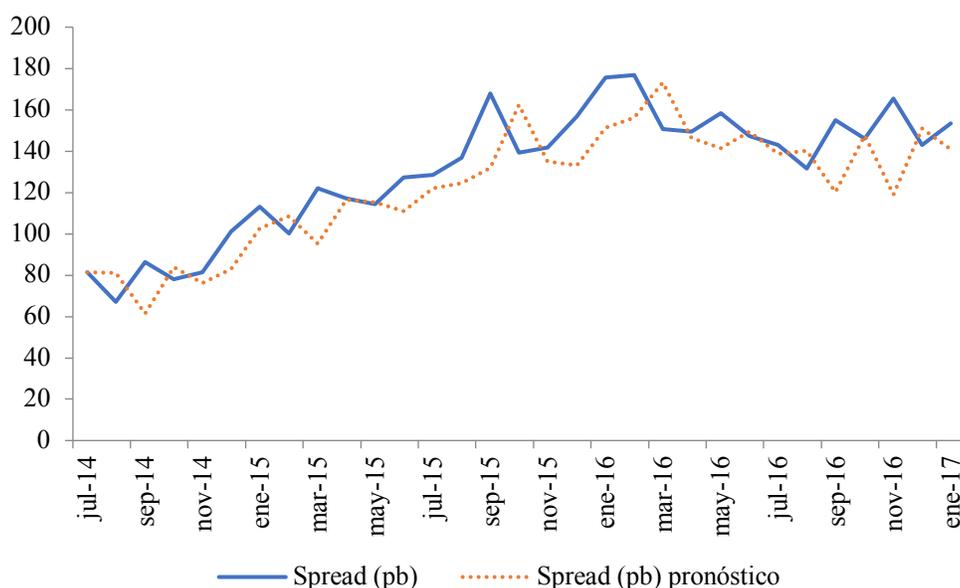
Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados, implican que la explicación del *spread* se relaciona en mayor medida con factores externos los cuales son capturados por el proceso estocástico caracterizado en el modelo dejando más de lado el nivel de apalancamiento y otros factores. La Gráfica 10

¹¹ Otro ejercicio podría ser sólo calibrar el nivel inicial de los procesos CIR y seguir el proceso estocástico dados los valores observados de maduración, apalancamiento e interés.

muestra la evolución de los precios pronosticados en relación a los observados para el periodo del ejercicio.

Gráfica 10: *Spread* observado pronosticado
(puntos base – pb)



Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, dada la relevancia del proceso estocástico en la determinación de la VIC, y asimismo, de la determinación del precio indicarían la relevancia como el tipo de cambio, expectativas de los inversiones o niveles de reservas podrían influir en la proceso de impago de bonos soberanos y por lo tanto del precio de su seguro (CDS).

Lopez y Martinez (2011) en un análisis para los años de 2005 a 2010, señalan que el tipo de cambio, la calificación de la deuda y el monto de crédito externo, son factores que determinan el *spread* del bono soberano a 5 años. En tanto, Amato y Remolona (2003) indican que la prima de riesgo y no las perdidas esperadas, es el factor que está detrás del comportamiento del *spread*. Por su parte, Aguiar et. al (2017) apuntan a que el *spread* se explica en mayor parte por la creencia de los inversionistas.

En este contexto, de-Córdoba et. al (2017) a través de un enfoque de equilibrio general de naturaleza dinámica y estocástica (DSGE por sus siglas en inglés), señalan que es la existencia de altos niveles de deuda pública y no los fundamentales de la economía, el factor que desencadena una crisis de pagos. Estos autores mencionan que es el pánico de

los inversionistas lo que genera la crisis, la cual no habría existido si, en primer lugar, no se hubiera generado el entorno de sobresalto.

Asimismo, Conesa y Kehoe (2015) indican que una crisis de pagos se explica por el ambiente de pánico que aumenta, lo que se refleja en la mayor prima de riesgo que pagan los bonos soberanos, i.e. sobre el *spread*; que finalmente hace que los países incurran en trayectorias insostenibles de deuda pública.

Es por estos resultados, que surge la necesidad de esclarecer qué proceso estocástico rige el comportamiento de los precios de los CDS de bonos soberanos y cuál es la forma estructural del mismo. Aunado a lo anterior, se deben precisar las interacciones que dicho proceso guarda con otros factores económicos y que no se contabilizan en la presente investigación; ya que ello, permitiría cubrir aquellos aspectos que otros autores han encontrado y que son de suma relevancia para garantizar la sostenibilidad de la política fiscal.

Por lo tanto, si bien esta investigación es un marco de referencia, se debe generar un análisis que extienda la modelación del proceso estocástico hacia una forma estructural en un sentido económico que determine el origen, la configuración y la interpretación económica del mismo.

8. Conclusiones y consideraciones finales

El presente documento construye la superficie de volatilidad implícita del *spread* de los CDS de bonos soberanos de México, y con ello muestra la importancia de modelar el proceso estocástico que guía la generación de precios de dichos instrumentos. La presente investigación caracteriza los determinantes de la VIC y muestra la relevancia de factores externos en la determinación del precio de los CDS. Aunado a lo anterior elabora sobre un modelo sobre procesos estocásticos para determinar el precio. Los resultados de la investigación indican que el proceso que determina el *spread*, se encuentra mayormente relacionado con la VIC y deja en segundo término al tiempo de maduración los bonos y el nivel de apalancamiento del sector público. Asimismo, los hallazgos muestran la conveniencia de incorporar discontinuidades en el proceso estocástico, para robustecer la

explicación del comportamiento de los precios de los CDS de los bonos soberanos de México.

Finalmente, los resultados apuntan a que la determinación de precios está gobernada principalmente por factores externos al modelo; como es el caso de la creencia de los inversionistas, la calificación de la deuda y el estrés financiero, entre otros.

Estas conclusiones, abren una pauta para ampliar la investigación hacia la exploración de modelos estructurales en un sentido económico; de manera que éstos logren precisar el vínculo existente entre la economía agregada y el proceso estocástico que se define aquí.

Bibliografía

- Aguiar, Mark, Satyajit Chatterjee, Harold Cole, and Zachary Stangebye.** 2017. “Self-Fulfilling Debt Crises, Revisited: The Art of the Desperate Deal”. *National Bureau of Economic Research*.
- Amato, Jeffery D, and Eli M Remolona.** 2003. “The credit spread puzzle”. *BIS Quarterly Review*.
- Andersen, Torben G, Nicola Fusari, and Viktor Todorov.** 2015. “The risk premia embedded in index options.” *Journal of Financial Economics*, 117(3): 558–584.
- Carr, Peter, and Dilip B. Madan.** 1999. “Option valuation using the fast fourier transform.” *Journal of Computational Finance* 3, 463-520.
- Chen, Long, Pierre Collin-Dufresne, and Robert S Goldstein.** 2009. “On the relation between the credit spread puzzle and the equity premium puzzle.” *Review of Financial Studies*, 22(9): 3367–3409.
- Chen, Nan, and SG Kou.** 2009. “Credit spreads, optimal capital structure, and implied volatility with endogenous default and jump risk.” *Mathematical Finance*, 19(3): 343–378.
- Christoffersen, Peter, Mathieu Fournier, and Kris Jacobs.** 2013. “The factor structure in equity options.” *Rotman School of Management Working Paper*.
- Conesa, Juan Carlos, and Timothy J Kehoe.** 2015. “Gambling for Redemption and Self-Fulfilling Debt Crises”. *Federal Reserve Bank of Minneapolis*.
- Cont, Rama, José Da Fonseca, et al.** 2002. “Dynamics of implied volatility surfaces.” *Quantitative finance*, 2(1): 45–60.
- Coval, Joshua D, Jakub W Jurek, and Erik Stafford.** 2009. “Economic catastrophe bonds.” *The American Economic Review*, 628–666.
- Cremers, KJ Martijn, Joost Driessen, and Pascal Maenhout.** 2008. “Explaining the level of credit spreads: Option-implied jump risk premia in a firm value model.” *Review of Financial Studies*, 21(5): 2209–2242.
- Cremers, Martijn, Joost Driessen, Pascal Maenhout, and David Weinbaum.** 2008. “Individual stock-option prices and credit spreads.” *Journal of Banking & Finance*, 32(12): 2706–2715.
- de-Córdoba, Gonzalo F, Pau S Pujolas, and José L. Torres.** 2016. “Fiscal Discipline and Defaults.” *Working Papers 2016-05, Universidad de Málaga*.
- Delianedis, Gordon, and Robert Geske.** 2001. “The components of corporate credit spreads: Default, recovery, tax, jumps, liquidity, and market factors.” *Finance*.

- Ericsson, Jan, Kris Jacobs, and Rodolfo Oviedo.** 2009. "The determinants of credit default swap premia." *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 44(01): 109–132.
- Feldhütter, Peter, and Stephen Schaefer.** 2014. "The Credit Spread Puzzle-Myth or Reality?" Working paper, London Business School.
- Hilberink, Bianca, and LCG Rogers.** 2002. "Optimal capital structure and endogenous default." *Finance and Stochastics*, 6(2): 237–263.
- Huang, Jing-zhi, and Hao Zhou.** 2008. "Specification analysis of structural credit risk models."
- Huang, Jing-Zhi, and Ming Huang.** 2012. "How much of the corporate-treasury yield spread is due to credit risk?" *Review of Asset Pricing Studies*, 2(2): 153–202.
- Jones, E Philip, Scott P Mason, and Eric Rosenfeld.** 1984. "Contingent claims analysis of corporate capital structures: An empirical investigation." *The journal of finance*, 39(3): 611–625.
- Kelly, Bryan, Gerardo Manzo, and Diogo Palhares.** 2015. "Credit-Implied Volatility." University of Chicago, Working Paper.
- Kelly, Bryan, Hanno Lustig, and Stijn Van Nieuwerburgh.** 2013. "Firm volatility in granular networks." *National Bureau of Economic Research*.
- Kelly, Bryan T, Hanno Lustig, and Stijn Van Nieuwerburgh.** Forthcoming. "Too-systemic-to-fail: What option markets imply about sector-wide government guarantees." *American Economic Review*.
- López, Arnoldo, and Iván Martínez Urquijo.** (2011). "Economics fundamentals anchor Mexico CDS spreads in an uncertain global environment." *Mexico: BBVA Research*.
- Mason, Scott P, and Sudipto Bhattacharya.** 1981. "Risky debt, jump processes, and safety covenants." *Journal of Financial Economics*, 9(3): 281–307.
- Merton, Robert C.** 1974. "On the pricing of corporate debt: The risk structure of interest rates." *The Journal of Finance*, 29(2): 449–470.
- Sepp, Artur.** 2003. "Fourier Transform for Option Pricing under Affine Jump- Diffusions: An Overview." *Unpublished Manuscript, available at www.hot.ee/seppar*.
- Vassalou, Maria, and Yuhang Xing.** 2004. "Default risk in equity returns." *The Journal of Finance*, 59(2): 831–868.
- Zhou, Chunsheng.** 2001. "The term structure of credit spreads with jump risk." *Journal of Banking & Finance*, 25(11): 2015–2040.

Anexo

El total de obligaciones financieras del gobierno se mide a través del saldo histórico de los requerimientos financieros del sector público (SHRFSP), ya que este indicador amplio de la deuda; captura la totalidad del pasivo que se necesita para cubrir el financiamiento que necesitan las diferentes actividades del sector público (ver Cuadros A.1 y A.2). Además de la deuda del sector público, este indicador contempla los siguientes pasivos:

- Obligaciones del Instituto para la Protección al Ahorro Bancario (IPAB).
- Obligaciones derivadas del programa de apoyo a deudores de la banca.
- Obligaciones del Fondo Nacional de Infraestructura para el rescate de carreteras.
- La pérdida o ganancia esperada de la banca de desarrollo y los fondos de fomento, esta neta de activos o valor de recuperación.
- Los proyectos de infraestructura productiva de largo plazo (antes proyectos de inversión de infraestructura productiva con registro diferido en el gasto público – Pidiregas) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE)

En tanto, el pasivo del sector público se divide en las obligaciones del gobierno federal más los pasivos de:

- Las empresas productivas del estado (Pemex y CFE).
- La banca de desarrollo, donde se incluye el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, la Sociedad Hipotecaria Federal, Nacional Financiera, el Banco Nacional de Comercio Exterior, la Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero, y el Banco del Ahorro Nacional y Servicios Financieros.

Cuadro A.1: Composición del SHRFSP

Saldo Histórico de los Requerimientos Financieros del Sector Público (SHRFSP)	Obligaciones del Instituto para la Protección al Ahorro Bancario		
	Obligaciones derivadas del programa de apoyo a deudores de la banca		
	Fondo Nacional de Infraestructura para el rescate carretero		
	Banca de desarrollo y fondos de fomento (neta de activos o valor de recuperación)		
	Pidiregas de CFE		
	Sector Público	Gobierno Federal	Préstamos bancarios
			Emisiones de valores gubernamentales
			Deuda con organismos financieros internacionales
			Comercio exterior
			Obligaciones derivadas de la nueva Ley del ISSSTE y cuentas relacionadas con la seguridad social
			Otros
			Empresas productivas del estado
			Banca de desarrollo

Fuente: Elaboración propia con base en el Reporte del 4to trimestre de 2016 de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).

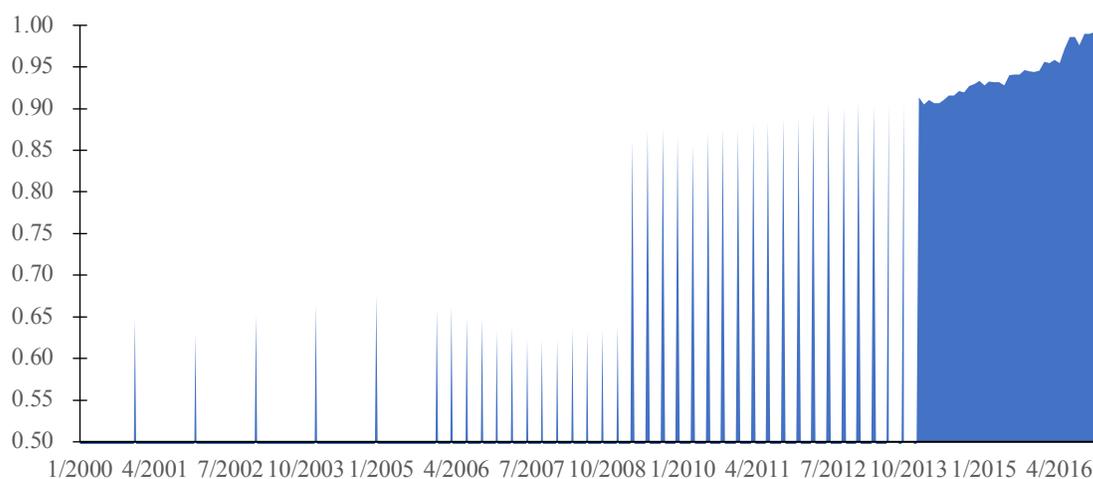
Cuadro A.2: Clasificación de la deuda neta y el saldo histórico de los requerimientos financieros del sector público al cierre de 2016.

Saldo Histórico de los Requerimientos del Sector Público		Deuda Neta del Sector Público Federal					
9,797.4 mmp 50.1%		9,693.2 mmp 49.6%					
Deuda Neta del Sector Público No Presupuestario		Deuda Neta del Sector Público Presupuestario		Deuda Neta de la Banca de Desarrollo			
1,038.3 mmp 5.3%		8,759.1 mmp 44.8%		934.1 mmp 4.8%			
Obligaciones del Instituto para la Protección del Ahorro Bancario		Deuda Neta del Gobierno Federal		Deuda Neta de las Empresas Productivas del Estado⁻¹		Deuda Bruta de la Banca de Desarrollo⁻²	
+ 892.2 mmp 4.6%		7244.2 mmp 37.1%		1,514.9 mmp 7.8%		341.0 mmp 1.7%	
Obligaciones del Programa de Apoyo a Deudores de la Banca		Deuda Bruta del Gobierno		Deuda Bruta de las Empresas Productivas del Estado⁻¹		Disponibilidades	
+ 52.0 mmp 0.3%		7,448.0 mmp 38.1%		2,145.4 mmp 11.0%		- 593.1 mmp -3.0%	
Obligaciones del Fondo Nacional de Infraestructura		Deuda Bruta Interna del Gobierno Federal		Disponibilidades			
+ 215.3 mmp 1.1%		5,620.3 mmp 28.8%		630.5 mmp 3.2%			
Pérdida o Ganancia Esperada de la Banca de Desarrollo y los Fondos de Fomento		Valores Gubernamentales					
+ - 275.0 mmp -1.4%		+ 4,915.3 mmp 25.2%					
Pasivos de Pidiregas de la CFE		Fondo de Ahorro S.A.R.					
+ 153.9 mmp 0.8%		+ 115.2 mmp 0.6%					
		Obligaciones derivadas de la Ley del ISSSTE					
		+ 147.5 mmp 0.8%					
		Bonos de Pensiones de					
		+ 137.6 mmp 0.7%					
		Otros					
		+ 143.6 mmp 0.7%					
		Deuda Bruta Externa del Gobierno Federal					
		1,827.6 mmp 9.4%					
		Mercado de Capitales					
		+ 1,273.5 mmp 6.5%					
		Organismos Financieros Internacionales					
		+ 515.2 mmp 2.6%					
		Comercio Exterior					
		+ 38.9 mmp 0.2%					
		Activos Financieros del Gobierno Federal					
		203.8 mmp 1.0%					
		Activos Financieros Internos del Gobierno Federal					
		+ 172.8 mmp 0.9%					
		Activos Financieros Externos del Gobierno					
		+ 30.9 mmp 0.2%					

Fuente: Elaborado con base en el Análisis del Informe de Avance de Gestión Financiera 2015 de la ASF y actualizado a 2016 con datos de la SHCP.

Con base en la descomposición del SHRFSP, se aprecia que en 2016 los pasivos del sector público llegan a representar hasta 98% del SHRFSP. En el último lustro, su mínima participación fue 62% y su máxima de 99% del SHRFSP (ver Gráfica A.1). Más aún, sin considerar el efecto cambiario, después del cierre de 2008 la evolución de la deuda total del sector público y su componente externo han tenido una trayectoria similar (ver Gráfica A.2).

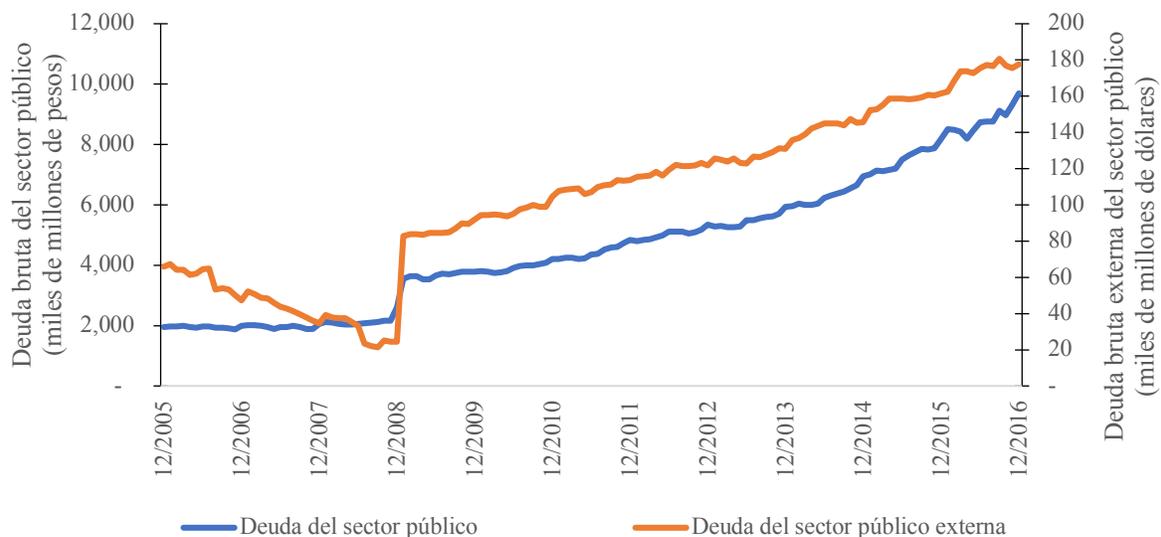
Gráfica A.1: Razón de la deuda del sector público contra el SHRFSP



Nota: Los datos de 2000 a 2005 son anuales, mientras que de 2006 a 2004 son de corte trimestral y de 2014 a 2016 de periodicidad mensual.

Fuente: Elaboración propia con datos de la SHCP.

Gráfica A.2: Deuda bruta del sector público y su componente externo



Nota: Los datos del SHRFSP de 2000 a 2005 son anuales, mientras que de 2006 a 2004 son de corte trimestral y de 2014 a 2016 de periodicidad mensual. Por su parte, los datos de deuda externa son mensuales.

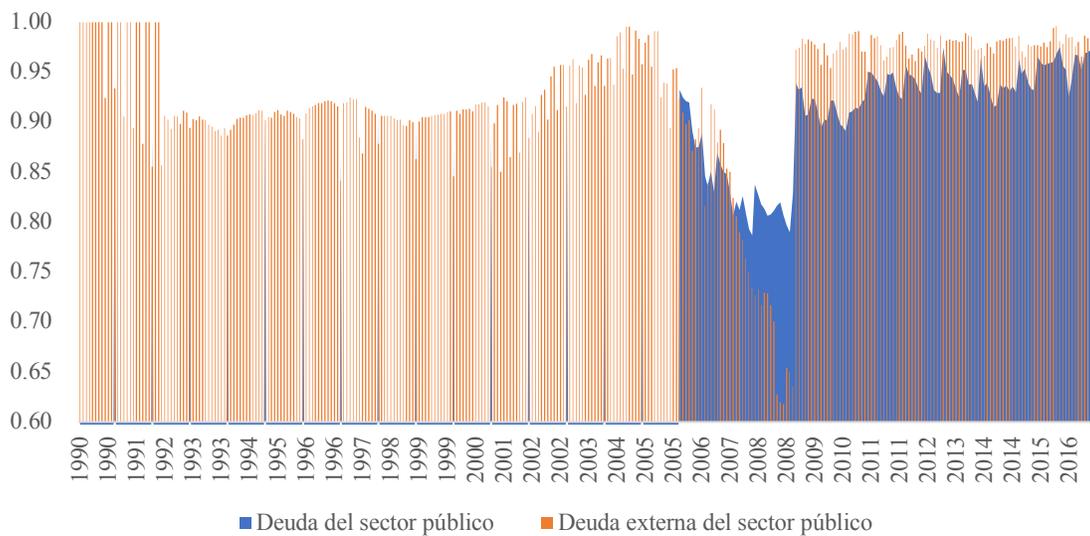
Fuente: Elaboración propia con datos de SHCP.

Con base en estos hallazgos se tienen dos opciones para generar una estimación del grado de apalancamiento del gobierno:

- A través del indicador de la deuda del sector público, el cual tiene información disponible desde 2005 para generar 133 observaciones.
- O bien, mediante el componente de deuda externa del sector público, disponible desde 1990, con un total de 324 observaciones.

Finalmente, al calcular el grado de apalancamiento para estos dos indicadores de la deuda del sector público, con datos desde diciembre del 2005 y hasta el cierre de 2016; se obtiene una correlación de 0.61 para estas variables (ver Gráfica A.3).

Gráfica A.3: Grado de apalancamiento del sector público



Nota: Los datos del SHRFSP de 2000 a 2005 son anuales, mientras que de 2006 a 2004 son de corte trimestral y de 2014 a 2016 de periodicidad mensual. Por su parte, los datos de deuda externa son mensuales.
Fuente: Elaboración propia con datos de SHCP.

SENADO DE LA REPÚBLICA
INSTITUTO BELISARIO DOMÍNGUEZ

Comité Directivo

Sen. Manuel Bartlett Díaz
PRESIDENTE

Sen. Daniel Gabriel Ávila Ruiz
SECRETARIO

Sen. Marlon Berlanga Sánchez
SECRETARIO

Sen. Rubén Antonio Zuarth Esquinca
SECRETARIO

Mtro. Juan Pablo Arroyo
COORDINADOR EJECUTIVO DE INVESTIGACIÓN

*Qué factores determinan el precio de la deuda pública:
Un análisis de volatilidad implícita del crédito soberano en México*
Primera edición mayo de 2018

D. R. © INSTITUTO BELISARIO DOMÍNGUEZ, SENADO DE LA REPÚBLICA

Donceles 14, Colonia Centro,
Delegación Cuauhtémoc, 06020, Ciudad de México.

Dirección General de Finanzas

Mtro. Noel Pérez Benítez

Autores:

Mtro. Juan Manuel Andrade Hernández

Mtro. Max Lugo Delgadillo

Dr. Irving Arturo De Lira Salvatierra

Este análisis se encuentra disponible en la página de internet del Instituto Belisario Domínguez:
<http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/1875>

Información para consultar en la biblioteca digital:

Título: *Qué factores determinan el precio de la deuda pública: Un análisis de volatilidad implícita del crédito soberano en México*

Serie: Cuadernos de investigación en finanzas públicas

Número: 9

Fecha de publicación: Mayo 2018

DISTRIBUCIÓN GRATUITA.

Impreso en México.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no reflejan, necesariamente, los puntos de vista del Instituto Belisario Domínguez o del Senado de la República.

El Instituto Belisario Domínguez es un órgano especializado encargado de realizar investigaciones estratégicas sobre el desarrollo nacional, estudios derivados de la agenda legislativa y análisis de la coyuntura en campos correspondientes a los ámbitos de competencia del Senado con el fin de contribuir a la deliberación y la toma de decisiones legislativas, así como de apoyar el ejercicio de sus facultades de supervisión y control, de definición del proyecto nacional y de promoción de la cultura cívica y ciudadana.

El desarrollo de las funciones y actividades del Instituto se sujeta a los principios rectores de relevancia, objetividad, imparcialidad, oportunidad y eficiencia.