

La deuda pública en México

Propuesta de un Sistema de Alerta Temprana

Francisco Javier Benita Maldonado y Junior Alfredo Martínez Hernández*

Fecha de recepción: 13 de noviembre de 2011; fecha de aceptación: 23 de abril de 2013.

Resumen: Este trabajo propone el diseño de un sistema de alerta temprana (SAT) para evaluar la ocurrencia de una crisis de deuda pública en México. Para su construcción se usó la teoría de detección de señales, basada en estadística no paramétrica y análisis exploratorio de datos. Además, se generó un índice de clasificadores principales que resultó capaz de ajustarse a las fluctuaciones de la variable de deuda pública. Probamos el SAT para el periodo 1990-2010 utilizando como clasificadores razones financieras, y como variable objetivo la deuda total neta del sector público como proporción del PIB. Los resultados son consistentes con la propuesta teórica, lo cual sugiere la presente investigación como manual para construir una herramienta de monitoreo que permita la implementación de una regulación macropreventiva para la deuda pública de México.

Palabras clave: deuda pública, sistema de alerta temprana, crisis, teoría de detección de señales, sector público.

Public Debt in Mexico: An Early Warning System Proposal

Abstract: This paper proposes the design of an early warning system (EWS) to evaluate the possibility of public debt crisis in Mexico. For the EWS construction we use the signal detection theory based on non-parametric statistics and exploratory data analysis. We generated a mainly classified index, which is able to adjust to debt fluctuations. The model is estimated using data for the period 1990-2010, taking financial ratios as classifiers, and as a target variable the total net debt of the public sector as a proportion of GDP. Our results are consistent with the theoretical proposition. This article is suggested as a manual to build up a monitoring tool that allows macroprudential analysis of public debt.

Keywords: public debt, early warning system, crisis, signal detection theory, public sector.

Clasificación JEL: H6, H63, H68.

*Francisco Javier Benita Maldonado, francisco_benita@hotmail.com, estudiante de doctorado, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, ITESM, Campus Monterrey. Junior Alfredo Martínez Hernández, junior.martinez@ethos.org.mx, investigador, Área de Desarrollo Social y Económico, Ethos Laboratorio de Políticas Públicas, México, D.F. Los autores agradecen los valiosos comentarios y sugerencias de dos dictaminadores anónimos que han fortalecido este trabajo.

Introducción

La relevancia del fenómeno de la deuda pública es tal que ha sido abordado desde hace tiempo, no sólo por economistas y especialistas financieros, sino por el conjunto de la clase política. Actualmente, los gobiernos de los países en desarrollo requieren información relevante acerca de los niveles de deuda pública en aras de administrarla de manera responsable con el objetivo de preservar la estabilidad macroeconómica en el mediano y largo plazo.

Prueba de lo anterior es que, a tan sólo un año de que economías como Irlanda y Portugal recurrieran al rescate financiero, se presenta el caso de Grecia, donde el gasto público se disparó en la última década y las fuentes de ingresos fiscales mermaron producto de la crisis global de 2009. Esta situación ha llevado a que la deuda pública griega como proporción de su PIB alcance niveles de 157 por ciento para 2011. Esto ha precipitado el temor de que el gobierno griego se declare en moratoria y que esta situación afecte a otras economías de la zona europea. Por lo anterior, el gobierno de ese país ha tenido que implantar un proceso agresivo de saneamiento financiero, sacrificando una gran cantidad de puestos laborales para poder acceder a los paquetes de rescate del Banco Central Europeo. Estas medidas, si bien necesarias, acarrearán un costo social altísimo y han puesto en jaque el esquema de gobernabilidad en Grecia. El caso griego es el más reciente y aleccionador ejemplo de las implicaciones que tiene un inadecuado manejo de la deuda pública.

En México, el interés por el estudio de este tema es tal que existen evidencias provenientes de la época colonial. Fauzi (1989) señala que en el tiempo colonial era muy común que el gobierno recurriera a las instancias religiosas, mercaderes, el tribunal de minería o cualquier particular para la solicitud de préstamos con el objetivo de hacer frente al déficit presupuestal. Más tarde, y al consumarse la independencia, la deuda pública comenzó a constituir un problema relevante que obligó al gobierno a aumentar los impuestos. Así, en 1823 se negoció un crédito por 16 millones de pesos con la Casa Goldschmidt y un año más tarde, a causa de los continuos problemas económicos, México suspendió por primera vez el servicio de pago de la deuda pública externa y recurrió a la interna; este antecedente constituye el primer antecedente de moratoria.

Sin embargo, los antecedentes más relevantes de la deuda pública en México se ubican en el siglo xx. De acuerdo con Fauzi (1989), no fue sino hasta 1942, al terminar la época de la hacienda pública, cuando se inició

una recuperación del crédito público, nutrida por el desempeño económico del país en el llamado periodo estabilizador, expansión ocurrida hasta 1970. No obstante, entre 1970 y 1976 la deuda pública se cuadruplicó pasando de 4 mil a 20 mil millones de dólares, hasta alcanzar un monto total de alrededor de 90 mil millones de dólares. Fue a partir de este año cuando la deuda pública se convirtió en un serio problema en México, donde el gobierno tuvo que encarar problemas de liquidez, al no contar con los recursos para cubrir las obligaciones en el pago del servicio de la deuda. Esta situación fue uno de los elementos esenciales que desencadenaron la primera gran crisis financiera del México contemporáneo.

Más adelante y a lo largo de la década de 1980, la capacidad del gobierno federal para invertir y canalizar recursos al área social se vio afectada, llegándose a destinar 60 por ciento del presupuesto federal al servicio de la deuda (Jiménez, 2004). Tras una renegociación obligada, el gobierno federal de los años noventa logró reducir la deuda pública externa destinando sólo 24 por ciento del gasto público al servicio de la misma, consiguiendo un mayor margen de maniobra para la inversión en infraestructura, el gasto social y la eventual recuperación económica.

Como experiencia de esta crisis de deuda externa, en donde la participación del componente externo en el total de la deuda casi se duplicó, los gobiernos posteriores a la administración de Miguel de la Madrid comenzaron a utilizar con mayor frecuencia la deuda pública interna como nuevo mecanismo de capitalización. Esta tendencia se manifestó a partir de 1995, periodo en el cual la deuda interna aumenta su peso específico de manera sistemática, triplicando su participación en el total de la deuda (CEFP, 2006). A partir del año 2000, tras el arribo de la alternancia política, la deuda pública ha ido en aumento paulatino representando a finales del año 2006 —al inicio de la administración del presidente Felipe Calderón— 20 por ciento del PIB, para alcanzar a finales de 2010 niveles cercanos a 39 por ciento del PIB.

Pese a lo ya expuesto, México ha avanzado en la consolidación de organismos financieros encargados de prevenir la recurrencia de crisis financieras. Por ejemplo, instituciones como el Banco de México han logrado que el país avance en términos del manejo y gestión de la deuda disminuyendo los montos totales de deuda y su sustitución de moneda extranjera por deuda nacional, además de aplazar su vencimiento (Banxico, 2006).

La Secretaría de Hacienda y Crédito Público, por su parte, bajo los Lineamientos Estratégicos para el Manejo del Crédito Público 2006, puso un énfasis extraordinario en la gestión de la deuda pública. El fortalecimiento de los fundamentales macroeconómicos, la disciplina fiscal y las refor-

mas legales en el sistema financiero permitieron que se pusiera en marcha una política proactiva de deuda pública orientada a incrementar la duración de la deuda interna y reducir la dependencia en la deuda externa. En ese entorno, el manejo de la deuda pública se consolidó no sólo como un elemento fundamental para coadyuvar a la estabilidad macroeconómica y financiera, sino también como un instrumento de promoción del desarrollo del sistema financiero nacional.

Además, en los Criterios Generales de Política Económica 2010 se señala que la política de deuda pública seguirá conservando un alto grado de flexibilidad para adaptarse al desenvolvimiento de los mercados financieros tanto nacionales como internacionales y estará dirigida a satisfacer las necesidades de financiamiento del gobierno federal, al menor costo posible, manteniendo un nivel de riesgo compatible con la sana evolución de las finanzas públicas.

En este orden de ideas, la creación en 2010 del Consejo de Estabilidad del Sistema Financiero manifiesta la preocupación de las autoridades financieras para evaluar fenómenos económicos que pudieran generar interrupciones o alteraciones sustanciales en la adecuada articulación del sistema financiero mexicano. Ello destaca la importancia de llevar a cabo una evaluación continua de la acumulación de fuentes de riesgo sistémico, como las crisis de deuda pública, que puedan afectar la estabilidad macroeconómica.

A la luz de estas premisas, este trabajo pretende evaluar la confiabilidad de estas políticas de deuda y hacer una aportación metodológica que amplíe la perspectiva de los tomadores de decisión en evaluación y gestión de la deuda pública. Además de profundizar en el entendimiento de la naturaleza y dinámica de la deuda pública, es necesario generar herramientas de análisis y prospectiva que nos permitan monitorear este tipo de eventos.

La presente investigación detalla una propuesta al respecto. Se sugiere la implementación de un sistema de alerta temprana (en lo sucesivo SAT), como una herramienta que permita el monitoreo preventivo de potenciales deslizamientos en los niveles de la deuda pública en México. A lo largo del documento, detallamos toda la metodología necesaria para la construcción del SAT, lo que deriva en un índice de riesgo que permite monitorear el comportamiento de la deuda pública. La clave de esta investigación reside en la propuesta de un SAT como mecanismo macropreventivo que pueda coadyuvar en la consolidación de instrumentos analíticos que permitan a instituciones del Estado tomar decisiones de política económica sobre el manejo adecuado de la deuda pública.

El documento se compone de cuatro apartados. Primero se contextualiza la problemática de la deuda pública en México, estudiando su composición y manifestando preocupación por su adecuado manejo; se pasa revista de las principales posturas teóricas que han abordado el fenómeno y se describen brevemente los resultados encontrados por algunos autores. El segundo apartado consiste en una amplia y detallada descripción de la metodología formal para la implementación de un SAT que pueda monitorear la evolución de las variables clave y anticipar comportamientos anormales del endeudamiento público; además, aplicamos la metodología propuesta para el caso específico de la deuda total neta del sector público como proporción del PIB en México. En el tercer apartado, se reportan los principales resultados encontrados a partir de la implementación del modelo. Finalmente, el cuarto apartado aborda la discusión que se deriva al respecto y toca los alcances y limitaciones de la metodología propuesta, además de futuras extensiones del mismo.

I. Revisión de literatura

1.1. Contexto histórico y conceptos

Una revisión somera de la literatura convencional sobre deuda pública nos remite hasta los clásicos de la ciencia económica. Por ejemplo, autores como Smith (1776) sostuvieron que el gasto público financiado con deuda conformaba una preocupación en el desarrollo económico de los países. En su momento, Ricardo (1888) recapituló el tema teniendo como objetivo la dinámica de la acumulación de capital. Desde aquel tiempo procede el interés de los economistas por las restricciones que la deuda pública impone al funcionamiento de una economía.

En términos básicos, la deuda se expresa como un contrato, cuyas repercusiones jurídicas, afectan los términos de intercambio entre los individuos implicados. Un documento de deuda es una obligación contractual por parte de una persona o entidad, por la cual se promete el pago de cantidades estipuladas de cosas a lo largo de una sucesión de periodos determinados a partir del momento en que se firmó el contrato.

Entre los preceptos constitucionales que regulan las actividades de deuda en México se encuentran el art. 74 en su fracción IV que faculta a la Cámara de Diputados para aprobar el presupuesto de egresos de la federación (PEF); el art. 75 que señala la anualidad del PEF, estableciendo que la Cámara de Diputados es la única capaz de aprobarlo y que deberá señalar

los montos programables y; el art. 126 que establece que no podrá realizarse ninguna erogación que no esté señalada en el PEF (Fauzi, 1989). Además, a través de la Cámara de Diputados se dictaminaron la Ley de Deuda Pública y la Ley de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria, que establecen las disposiciones y los lineamientos para que el Estado gestione el tema de la deuda.

Así, la deuda pública se constituye por las obligaciones insolutas del sector público federal, es decir, son los pasivos financieros contractuales derivados de financiamientos internos y externos sobre el crédito de la nación, para realizar principalmente inversión productiva. Estas obligaciones están constituidas por bonos, títulos y otras clases de instrumentos de crédito.

Entiéndase por sector público la totalidad de instituciones, dependencias y entidades que comprenden los poderes legislativo y judicial, órganos autónomos, administración pública central, y los organismos y empresas de control público. Entonces podemos clasificar a la deuda pública según distintos criterios (CEFP, 2006):

1. Por su origen: dividida en interna y externa.
2. Por plazo de amortización: toma en cuenta el periodo de amortización de las obligaciones agrupando la deuda a corto y largo plazo.
3. Por deudor directo ante el extranjero: considera la entidad pública que contrata los recursos en el extranjero, aun cuando estos no sean utilizados en la misma entidad.
4. Por usuario de los recursos: identifica al usuario directo de los recursos, independientemente de qué entidad pública los contrae ante el extranjero.
5. Por país acreedor: toma en cuenta al país de donde provienen los recursos del empréstito.
6. Por moneda: toma en cuenta el tipo de moneda en que fue otorgado el crédito.
7. Por fuentes de financiamiento: esta clasificación se hace tomando en consideración los canales e instituciones bancarias y financieras.

Atendiendo a la clasificación por origen, la deuda pública se clasifica en interna y externa. Es interna cuando se contrata dentro del país y en moneda nacional, por otra parte, es externa cuando se contrata en moneda extranjera con sujetos residentes en el extranjero. Contablemente, la deuda interna está constituida por los valores gubernamentales, el fondo de

ahorro del Sistema de Ahorro para el Retiro, la deuda asumida y otros pasivos. Por otra parte, la deuda externa está integrada por las colocaciones públicas, financiamientos de los organismos financieros internacionales, los recursos obtenidos en forma directa a través de la banca comercial, los créditos bilaterales, la deuda asumida y la deuda reestructurada (CEFP, 2006). En México, la clasificación más utilizada es por su origen, ya que permite conocer movimientos de divisas que se tienen con el exterior, así como la transferencia del poder de compra de los particulares nacionales hacia el sector público (CEFP, 2002).

1.2. Teoría y deuda pública

Una vez revisados algunos conceptos básicos sobre deuda pública en México, pasamos revista a algunas de las principales corrientes teóricas que han tratado de explicar el fenómeno del endeudamiento público.

La visión tradicional del déficit fiscal plantea que la emisión de deuda pública estimula la demanda agregada y por tanto el crecimiento económico a corto plazo aunque reduce el nivel del capital y del producto en el largo plazo. El supuesto básico de este resultado reside en que el sustituir impuestos por deuda provoca un aumento en el ingreso disponible de los hogares; es decir, un aumento de la demanda. No obstante, en el largo plazo y en una economía abierta, cuando los precios se ajustan al aumento de la demanda, el ahorro nacional comienza a disminuir, lo que se traduce en un incremento en las tasas de interés. Sin embargo, el deseo de los hogares de aumentar su consumo hoy será satisfecho por el endeudamiento con el resto del mundo, dicho endeudamiento queda registrado como un déficit en la cuenta corriente de la balanza de pagos y al adquirir obligaciones con el resto del mundo se reducirá la riqueza nacional a largo plazo.

Cuando el gobierno realiza gasto público posee dos posibles fuentes de financiamiento: la recaudación impositiva (manteniendo a las finanzas públicas equilibradas) o bien el déficit (incurriendo en endeudamiento). La posición clásica respecto a este tema consiste principalmente en las diferencias que las dos modalidades de financiamiento del gasto pudieran tener sobre la acumulación de capital.

Para Smith (1776), por ejemplo, el gasto público financiado con deuda es más dañino para la acumulación de capital que cuando el gasto es financiado mediante la recaudación de impuestos; por otro lado, para Ricardo (1888), el gasto público, cuando se considera en el largo plazo, tiene que pagarse necesariamente con la recaudación de impuestos. En este sentido

a hipótesis de la *equivalencia ricardiana*, desarrollada por Barro (1974) y con importante aceptación entre los economistas neoclásicos, postula que desde el punto de vista macroeconómico, no existe diferencia entre el financiamiento del gasto público con impuestos o con deuda.

Recientemente, han surgido nuevas teorías que tratan de explicar el fenómeno del endeudamiento público y sus implicaciones. Tal es el caso de la teoría de la restricción pública (Hamilton y Flavin, 1986; Wilcox, 1989; Kremers, 1989); la teoría de la intolerancia de la deuda con autores como Reinhart *et al.* (2003); la corriente de la administración pública (Milesi-Ferretti, 1995; Pecchi y Piga, 1999); la teoría fiscal del nivel de precios desarrollada por Leeper (1991), Sims (1994), Woodford (1995) y Dupor (2000); o la sostenibilidad de la deuda pública (Buiter *et al.*, 1985; Blanchard, 1990).

Respecto a este último enfoque, el de la sostenibilidad de la deuda pública, una política fiscal sostenible suele definirse como aquella que puede continuarse en el futuro sin ser modificada (sin ajustes del superávit primario y sin incumplimientos ya sea por inflación o cualquier otro motivo) y que como mínimo, se deben satisfacer los criterios de solvencia intertemporal.

En los países en desarrollo podría resultar difícil diseñar una política fiscal que nunca tenga que ser modificada. Aunque las autoridades de política tengan las mejores intenciones de estabilizar la deuda, existe cierta posibilidad de que una evolución negativa de las tasas de interés, los tipos de cambio, el producto y otras variables clave puedan causar aumentos persistentes de la deuda pública. En este sentido, la sostenibilidad es probabilística. Por consiguiente, las autoridades fiscales podrían tratar de reducir la probabilidad de que esos ajustes serán necesarios realizando nuevos ajustes en el superávit primario.

Así pues, el enfoque de la sostenibilidad de la deuda pública tiene dos vertientes básicas. La primera hace énfasis en que los gobiernos, principalmente de los países en desarrollo, se enfrentan a serios problemas de incertidumbre al momento de evaluar los patrones de ingreso y gasto, de tal suerte que existe cierta probabilidad de mantener o incrementar sus niveles de endeudamiento.

Desde la perspectiva de estos métodos probabilísticos, las medidas de sostenibilidad derivadas de la estrategia a largo plazo o el análisis intertemporal, se consideran inexactas para los gobiernos que mantienen grandes niveles de deuda y hacen frente a importantes shocks de ingresos y gastos. Entonces, la pregunta clave aquí no es si la deuda pública es sostenible en un cierto estado de equilibrio, la interrogante es si el actual en-

deudamiento es sostenible dado el presente entorno económico nacional e internacional y sus perspectivas en el futuro.

La segunda vertiente tiene por objeto incorporar elementos de la literatura de las fricciones financieras aplicadas a las recientes crisis de los mercados emergentes. Por ejemplo, la deuda pública en muchos mercados emergentes muestra una característica conocida como “dolarización de los pasivos” (es decir, la deuda es a menudo denominada en moneda extranjera o indexada al nivel de precios). Como resultado, los cambios abruptos en los precios relativos internos, que son comunes tras una gran devaluación, o una paralización repentina de las entradas netas de capital, pueden alterar dramáticamente el estándar a largo plazo de los cálculos de los coeficientes de deuda sostenible y hacer que los niveles de endeudamiento que parecían sostenibles en una situación sean insostenibles en otra.

Los métodos probabilísticos para evaluar la sostenibilidad de la deuda pública proponen estrategias para abordar la incertidumbre macroeconómica. Por ejemplo, Barnhill y Kopits (2003) incorporan la incertidumbre mediante la adaptación del valor en riesgo de los principios de la teoría financiera a los instrumentos de deuda emitidos por los gobiernos teniendo como objetivo modelar la probabilidad de una situación adversa en el patrimonio del gobierno. Otro modelo probabilístico es el del Fondo Monetario Internacional (FMI, 2003) que modifica las propuestas de Buitier *et al.* (1985), Blanchard (1990) y Blanchard *et al.* (1990) incorporando elementos sobre la sostenibilidad de la deuda además de examinar a corto plazo su dinámica que resulta de los distintos supuestos sobre la trayectoria de corto plazo de las variables que entran en la restricción presupuestaria del gobierno en forma determinista. Por ejemplo, la dinámica determinista de endeudamiento de diez periodos futuros puede ser calculada por las variaciones de la tasa de crecimiento de dos desviaciones estándar con respecto a su media de algunas variables macroeconómicas como el PIB, las tasas de interés, el balance primario, entre otras.

En este caso, la evaluación de la sostenibilidad fiscal es por naturaleza probabilística y, así, una perspectiva comparada permite abordar el tema de forma más flexible que con indicadores, estimando funciones de reacción de la política fiscal o modelos probabilísticos. Asimismo, podemos señalar que un país se define en cesación de pago si es clasificado como tal por Standard & Poor's o si ha recibido un desembolso durante el primer año de un acuerdo con el FMI de más de 100 por ciento de su cuota (Martner y Tromben, 2004).

Entonces, dadas sus características, la teoría de la sostenibilidad de la deuda pública bajo la vertiente probabilística es el enfoque bajo el cual

se enmarca un SAT para el análisis del endeudamiento público en México, pues el objetivo es sólo advertir a los hacedores de política pública la posibilidad (probabilidad bajo el enfoque de la sostenibilidad) de incurrir en una situación de crisis.

I. 3. Determinantes del endeudamiento público, evidencia empírica

Autores como Missale *et al.* (2002), Kulfas y Schorr (2003), Pascual *et al.* (2004) o Velasco (2010) han presupuesto grupos de variables que vienen a ser determinantes en la contratación de deuda pública para distintos países. No obstante, gran parte de la literatura actual se ha mantenido circunscrita en torno a los vínculos entre inflación y los determinantes subyacentes del endeudamiento público.

Hernández *et al.* (2000) contribuyen al debate acerca de si el gobierno de Colombia debe rescindir el pago de la deuda pública o pagarla tal como la ha pactado. En su trabajo, a través de distintas simulaciones encuentran que los gobiernos se endeudan por motivos tan distintos como: el déficit del gobierno central, los ingresos y gastos totales del gobierno central o la evolución de las tasas de interés de la deuda del gobierno central.

En Neck y Getzner (2001) se realiza un estudio para Austria entre 1960 y 1999 bajo el enfoque de la sostenibilidad fiscal y se encontró que la tasa de desempleo y el superávit primario en relación con el PIB influyeron significativamente en las decisiones del gobierno austriaco lo que derivó en incrementos importantes de la deuda. De forma similar, Bohn (1998) encuentra que los superávits primarios mantienen una relación positiva con la función de deuda pública medida como proporción del PIB en Estados Unidos entre 1916 y 1995.

Algunos otros trabajos que han explorado específicamente casos de países con bajos ingresos son los de Bandiera (2008), quien analizó los determinantes de la dinámica de la deuda pública en 17 países de África, Asia y América Latina durante 1990 y 2003. Encontró que esta dinámica de deuda se ve influida no sólo por variables macroeconómicas, sino también por la composición de la deuda. Además encontró un alto grado de heterogeneidad subrayando la importancia de los factores específicos para cada país como lo son la política fiscal, los sistemas de tipo de cambio, la composición y estructura de la deuda y la política usada para gestionarla.

En el contexto nacional existen trabajos como los de Cuevas y Chávez (2007) que analizan cuestiones estructurales de la problemática de la deuda pública en México, así como la necesidad de realizar una reforma ha-

endaria a través de distintos indicadores macroeconómicos como la tasa de interés, el tipo de cambio, la actividad económica y los precios.

Quizás uno de los trabajos más representativos que modelan las consecuencias de una crisis de deuda en México es el de Cole y Kehoe (1998), quienes exploraron el nivel de incapacidad posible del gobierno mexicano para refinanciar su deuda pública entre diciembre de 1994 y enero de 1995. Su modelo desarrolla un intervalo de crisis en donde el gobierno pretende refinanciar su antigua deuda con la emisión de nuevos bonos, los cuales no podrán ser vendidos por la desconfianza de los posibles acreedores. Por su parte, Hernández y Villagómez (2001) hacen lo propio y examinan algunas de las hipótesis sobre las estrategias de deuda que *a priori* parece haber seguido el gobierno federal, partiendo su estudio de un examen de la evolución y composición de ésta. Sugieren que la composición de la deuda y su perfil de vencimientos se convierten en un aspecto particularmente importante en México para explicar los niveles relativamente bajos de deuda total con respecto al PIB.

Como vemos, se trata de estudios dedicados a analizar variaciones en la composición de la deuda (interna, externa, corto o largo plazo, entre otras) desde distintas perspectivas metodológicas convencionales pero no desde un punto de vista de los sistemas macroprudenciales como es el caso que nos ocupa. Son investigaciones en donde muchos de los indicadores propuestos aparecen con un considerable rezago de tiempo y que sólo han servido como evaluaciones retrospectivas de estos fenómenos. Es decir, no se ha hecho hincapié en la retroalimentación constante y aplicación práctica que pudiera servir para prevenir estos eventos. Por lo anterior, la metodología propuesta para la construcción del SAT basada en métodos no convencionales puede resultar relevante para el caso de la deuda pública en México.

II. Metodología

II.1. Preámbulo

La metodología que empleamos para construir un SAT es, en esencia, una adaptación de la versión propuesta originalmente por Kaminsky *et al.* (1998), la cual tiene como objetivo prevenir la ocurrencia de crisis cambiarias. Dicho modelo ha sido adaptado, en Davis y Karim (2008) y Karim (2008), para efectos de anticipar episodios de crisis bancarias. La construcción de un SAT implica el monitoreo de una importante cantidad de indicadores, los cuales tienden a exhibir un comportamiento anómalo en

el periodo previo a una crisis de deuda pública. Cuando un indicador supera su valor umbral significa que está enviando una señal de alerta, la cual puede estar asociada estadísticamente con la ocurrencia de una crisis de deuda. Todas las observaciones de un indicador determinado pueden ser tipificadas como una señal de alerta o una señal normal en función de su comportamiento. Asimismo, pueden ser clasificadas en función de su coincidencia con una crisis futura en el marco de un horizonte o ventana de ocurrencia.

Es importante aclarar que nuestra adaptación del método de Kaminsky y Reinhart (1999) al caso de una crisis de deuda se inscribe en un ámbito donde resulta escasa la literatura económica en torno a sistemas macropreventivos. El SAT consiste en un análisis exploratorio de datos en patrones y tendencias, con un enfoque no paramétrico. La utilización de estos métodos es recomendable cuando no se puede asumir que los datos se ajustan a una distribución conocida. Esto resulta en una ventaja sobre la posible aplicación de especificaciones econométricas para variables categóricas como Logit o Probit.

Como detallaremos en párrafos subsecuentes, la metodología que planteamos para la construcción de un SAT es, *grosso modo*, una sucesión de cuatro etapas:

1. Selección y transformación de variables indicadores.
2. Clasificación de estados para la variable objetivo (deuda pública) y para las variables explicativas (clasificadores). Para ello, especificaremos, para todas las observaciones de nuestras variables y clasificadores, reglas de pertenencia a conjuntos que representan estados, ya sea de normalidad o crisis de deuda. Esta segunda etapa desemboca en la obtención de señales, las cuales serán clasificadas a través de la matriz de confusión o tabla de contingencia, con lo cual obtendremos una serie de estadísticos que nos permitirán conocer la naturaleza de las señales previamente obtenidas.
3. La tercera etapa, una vez conocida la naturaleza de las señales, implica el uso del análisis *Receiver-Operating-Characteristics* (en lo sucesivo ROC) en aras de discriminar los clasificadores determinantes de una crisis de deuda. Esta tercera etapa resulta crucial, puesto que es el objetivo *sine qua non*, obtener las variables que poseen una relación significativa con la ocurrencia de crisis de deuda.
4. La cuarta etapa consiste en la construcción de un índice de crisis de deuda (ICD) diseñado con las variables determinantes obtenidas en la

tercera etapa. El índice compuesto, en teoría, deberá capturar o emular las fluctuaciones de la deuda. Si lo anterior resulta cierto, será una forma alternativa de validar la metodología para la obtención de variables determinantes. Finalmente, el ICD representa una propuesta concreta como instrumento de prospectiva en el ámbito de la política económica.

II.2. Selección de variables

La primera parte de la metodología implica la definición de un conjunto de variables de deuda pública, que serán objeto de un proceso estadístico de clasificación. Definiremos a continuación un listado de variables de deuda pública que fungen como nuestras variables a clasificar. El objeto del SAT es clasificar los posibles estados de las variables de deuda pública en función del monitoreo de una serie de variables indicadores.

Las conclusiones que se obtienen de la clasificación estadística estarán expresadas en dos niveles de generalidad. El primero será relativo a los determinantes obtenidos para cada variable de deuda pública. El segundo estará avocado a describir los patrones y elementos recurrentes al conjunto de variables de deuda pública.

Una vez que hemos definido el conjunto de variables objetivo que serán sujetas al proceso de clasificación estadística, resta definir el conjunto de variables indicadores que fungen como clasificadores de la ocurrencia de crisis de deuda. Este conjunto de clasificadores serán monitoreados, a la par de las variables de deuda en términos de su posible comportamiento anómalo. Lo anterior define el rastreo de señales y, con su consecuente tipología, nos permitirá definir su naturaleza en pos de elegir los clasificadores que operan como determinantes de una crisis de deuda.

La selección de las variables indicador así como de la variable objetivo fue realizada en función de una serie de criterios de análisis previstos en la revisión de la literatura y se muestran en el cuadro 1.¹ Además, su periodicidad se encuentra de forma mensual y abarca de enero de 1990 a diciembre de 2010, es decir un lapso de 21 años.

¹ Se omitió la inclusión de la tasa de crecimiento del PIB en la lista de variables indicadores debido a que aparece implícita en la variable objetivo, al ser ésta una proporción del PIB. La mayor parte de las variables que fueron seleccionadas como indicadores están bajo control y determinación directa o parcial de las autoridades fiscales y monetarias, por lo que descartamos el tipo de cambio, al ser un precio relativo que obedece a la dinámica de los mercados internacionales así como el Indicador Global de la Actividad Económica (IGAE) como *proxy* del comportamiento de la economía.

Cuadro 1. Selección de variables

<i>Variable objetivo</i>		
<i>Variable</i>		<i>Descripción</i>
DTNSP_PIB	Deuda total neta del sector público / PIB	Deuda total neta del sector público como proporción del Producto Interno Bruto.
<i>Variables indicadores</i>		
<i>Variable</i>		<i>Descripción</i>
DTNSP_IPSP	Deuda total neta / Ingreso presupuestal	Mide el nivel de endeudamiento total, es decir la parte de los ingresos que se encuentran comprometidos
DTNSP_GPSP	Deuda total neta / Gasto presupuestal	Coefficiente que muestra en qué proporción la deuda total hace parte del gasto presupuestal del sector público
DP	Diferencia entre ingreso presupuestal y gasto total	Mide la parte del déficit fiscal sobre la cual se puede ejercer control directo
GPROSP_GPSP	Gasto programable / Gasto presupuestal	Porción del gasto que es programada tomando como base el gasto presupuestal
GPCORRSP_ GPROSP	Gasto presupuestal corriente / Gasto programable	Intensidad en el uso del gasto corriente
GPCAPSP_ GPROSP	Gasto presupuestal de capital / Gasto programable	Intensidad en el uso de las asignaciones destinadas a la creación de bienes de capital
GPCORRSP_ GPCAPSP	Gasto presupuestal corriente / Gasto presupuestal de capital	Inverso del gasto programable destinado a capital
GNOPROSP_ GPSP	Gasto no programable / Gasto presupuestal	Grado en el uso del gasto no programable
PARTFEDEF_ GPSP	Participaciones federales / Gasto presupuestal	Peso relativo de las participaciones federales en el presupuesto
DTNSP_ PARTFEDEF	Deuda total neta / Participaciones federales	Indicador de apalancamiento que mide la razón de la deuda neta total del sector público como proporción de las participaciones federales que se programaron en el presupuesto
CFSP_IPSP	Costo financiero / Ingreso presupuestal	Intensidad que ha tenido el costo financiero en relación a los ingresos

Cuadro 1. Selección de variables (continuación)

<i>Variables indicadores</i>		
<i>Variable</i>		<i>Descripción</i>
DTNSP_IP	Deuda total neta / Ingresos petroleros	Proporción de los ingresos petroleros comprometidos por la adquisición de deuda
IP_IPSP	Ingresos petroleros / Ingresos presupuestales	Proporción de ingresos recibidos por concepto de crudo
IVATOTAL_IPSP	IVA total / Ingreso presupuestal	Impuesto sobre el valor agregado como proporción de los ingresos presupuestarios del sector público.
IVAPETRO_IVATOTAL	IVA petrolero / IVA total	Impuesto sobre el valor agregado derivado de actividades petroleras como proporción del impuesto
IVANOPETRO_IVATOTAL	IVA no petrolero / IVA total	Impuesto sobre el valor agregado derivado de actividades no petroleras como proporción del impuesto
PPMM	Precio del petróleo	Tendencia de los precios de la mezcla mexicana de petróleo
CETESRAP	Cetes	Tasa de rendimiento nominal anual de los Cetes
PPV	Plazo promedio de vencimiento	Es el promedio de días que falta para la devolución del pago de la deuda.
INF	Inflación	Índice nacional de precios al consumidor que estima la evolución de precios de la canasta básica

Fuente: Elaboración propia con datos del portal estadístico de Banco de México (2011).

II. 3. Transformación de variables

Las variables de finanzas públicas en México, particularmente las series de deuda, están sujetas a efectos estacionales. Por ello, como parte de nuestra propuesta, separamos los ciclos de las tendencias subyacentes en cada variable. Al final, el análisis de detección de señales y la clasificación de las mismas se lleva a cabo con las tendencias. Con esto evitamos que las oscilaciones producidas por los efectos estacionales de las variables puedan ser clasificadas como señales de alerta, lo que conduciría a un cálculo erróneo de la matriz de contingencia.

Las descomposiciones de ciclo-tendencia son una rutina en la macroeconomía moderna existiendo diversos filtros de series de tiempo, comúnmente utilizados en la investigación macroeconómica y financiera. Estos filtros nos permiten separar el comportamiento de una serie en su componente cíclico y tendencial. La idea básica es descomponer una serie económica en la suma de su tendencia de lenta evolución y su desviación transitoria de la misma.

Para efectos de la presente investigación, trabajaremos con la tendencia de todas las variables propuestas, con la intención de eliminar los efectos estacionales a que están sujetas las variables de finanzas públicas. De este modo se utilizó el filtro Hodrick-Prescott² (Hodrick y Prescott, 1981), el cual se ha convertido en el método estándar, dentro de la literatura de ciclos económicos reales, para remover la tendencia subyacente en una serie. El filtro extrae una tendencia suavizada τ_t de una serie de tiempo x_t resolviendo el siguiente problema de minimización:

$$\min_{\tau_t} \sum_{t=1}^T [(X_t - \tau_t)^2 + \lambda((\tau_{t+1} - \tau_t) - (\tau_t - \tau_{t-1}))^2] \quad (1)$$

El residual o desviación de la tendencia $Z_t = X_t - \tau_t$ es comúnmente conocido como el componente cíclico. Por lo anterior, el filtro descompone la serie original en dos: su tendencia y sus componentes de alta frecuencia capturados en Z_t .

Finalmente, algunas de las variables utilizadas fueron sometidas a un proceso de diferenciación, con la finalidad de poder alimentar el modelo con variables estacionarias, por lo que se recurrió a la utilización de pruebas básicas de raíz unitaria.³

II.4. Señales de crisis de deuda

El siguiente paso de la metodología exige que definamos qué es una crisis de deuda pública. Si seguimos el planteamiento de Kaminsky y Reinhart

²Tradicionalmente, la literatura recurre a X12 ARIMA y TRAMO-SEATS como métodos de ajuste estacional. Sin embargo, la utilización de dichos métodos, en particular X12 ARIMA, requiere la obtención de una serie *preajustada*. Para realizar este ajuste, se tendrían que remplazar los valores de la serie original con las proyecciones derivadas de la mejor especificación ARIMA. Sin embargo, la aplicación del ajuste referido implicaría enfrentarnos a los problemas de especificación contenidos en la metodología Box-Jenkins.

³Variables como la DTNSP_PIB, PPMM, CETESRAP, PPV, entre otras, resultaron tener raíz unitaria. Los resultados de estas pruebas están disponibles para el lector bajo demanda específica.

(1999), en donde se construye un índice de turbulencia para el mercado cambiario, aduciríamos que una crisis de deuda pública ocurre cuando dicho índice excede su media por tres desviaciones estándar.⁴ Sin embargo, al abordar un tema de estudio distinto, en donde la volatilidad de la variable objetivo es mucho menor a la del mercado cambiario, partiremos del criterio de Dowling y Zhuang (2002) que utiliza como umbral de referencia dos desviaciones estándar.

Este umbral de referencia coincide con el de algunos trabajos realizados bajo el enfoque de la sostenibilidad de la deuda pública, por ejemplo Mendoza y Oviedo (2009), quienes computan los límites naturales de endeudamiento para México, Brasil, Colombia y Costa Rica calculando coeficientes de ajuste fiscal implícito⁵ llegando a cuestionar la sostenibilidad de la deuda en Brasil y Colombia, mientras que en México y Costa Rica se asegura estar dentro de los límites de solvencia fiscal. Otro ejemplo es el del FMI (2003), donde la dinámica determinista de endeudamiento puede ser calculada por las variaciones de la tasa de crecimiento de dos desviaciones estándar con respecto a su media de algunas variables macroeconómicas.

Para situar lo anterior en su mejor perspectiva, intentamos ofrecer una definición empírica del concepto de deuda pública bajo las premisas de la teoría de la sostenibilidad de la deuda aunado al concepto de cesación definido en el apartado I.2. Por tanto, tomaremos como umbral de referencia el criterio de dos desviaciones estándar, el cual ha sido utilizado en trabajos de la misma naturaleza como en Dowling y Zhuang (2002). En línea con Elmendorf y Mankiw (1998) y Cochrane (2001) podemos expresar una variable de deuda pública D_t , corregida por inflación, mediante la siguiente función:

$$\frac{D_{t-1}}{N_t} = W_t + \frac{1}{r} \frac{D_t}{N_{t+1}} \quad (2)$$

donde N_t es el nivel de precios, W_t es el déficit primario y r es la tasa de interés.

⁴La implicación directa de considerar un exceso de tres desviaciones estándar es importante, puesto que restringiría el número de observaciones consideradas. En consecuencia se acotaría la detección de crisis de deuda al plantear un criterio tan restrictivo. Advuértase que bajo este criterio la probabilidad de ocurrencia sería menor a 1 por ciento.

⁵Este coeficiente indica el número de desviaciones estándar respecto a la media que los gastos en intereses no deben reducirse para dar un límite de endeudamiento igual al valor anualizado del balance fiscal primario que tendría lugar durante una crisis fiscal.

De acuerdo con (2), la deuda real del periodo siguiente depende de la deuda real del periodo pasado y el nivel que guarda el déficit primario en el periodo actual. Una vez definida la variable, sea $Q \subset \mathbb{R}$ el conjunto de crisis de deuda definido por todos los valores de D_t que exceden su media por dos desviaciones estándar:

$$Q = \left\{ D_t \mid \left[\frac{\Delta D}{D_t} \leq (\bar{D} - 2\sigma) \right] \wedge \left[\frac{\Delta D}{D_t} \geq (\bar{D} - 2\sigma) \right] \right\} \quad (3)$$

donde σ es la desviación estándar, \bar{D} es la media histórica de la deuda pública, mientras que $\frac{\Delta D}{D_t}$ es su tasa de cambio mensual. En el caso contrario, todos los elementos de D_t que se encuentren fuera de la regla planteada en (3) serán considerados como puntos de estabilidad de deuda. En este sentido, podemos definir un conjunto $P \subset \mathbb{R}$ de estabilidad de deuda, el cual estará definido por:

$$P = \left\{ D_t \mid \left[\frac{\Delta D}{D_t} \geq (\bar{D} - 2\sigma) \right] \wedge \left[\frac{\Delta D}{D_t} \leq (\bar{D} - 2\sigma) \right] \right\} \quad (4)$$

donde, al igual que en (3), las expresiones $(\bar{D} - 2\sigma) \wedge (\bar{D} + 2\sigma)$ funcionan, respectivamente, como cota inferior y cota superior del umbral de crisis. Resulta claro entonces, que todas las observaciones de D_t pueden ser clasificadas como elementos del conjunto Q o del conjunto P . Alternativamente, todas las observaciones de D_t pueden ser tipificadas en dos estados. El primero de crisis de deuda, denotado por todos los elementos pertenecientes al conjunto Q , mientras que el segundo, de estabilidad de deuda, está denotado por todos los elementos pertenecientes a P .

Ahora, es conducente definir ¿en qué momento un clasificador de deuda o variable indicador emite una señal determinada, ya sea de normalidad o alerta? ¿Cuál es la forma en que podemos tipificar dichas señales? El criterio para discernir una señal de alerta de una señal normal se encuentra en los periodos de comportamiento anómalo que dichos indicadores posean. La literatura convencional al respecto, Kaminsky *et al.* (1998), Kaminsky y Reinhart (1999) y Dowling y Zhuang (2002) establece como norma que un indicador emitirá una señal de alerta cuando su comportamiento exceda por, al menos, dos desviaciones estándar a su media. No obstante, dicha norma ha sido definida para estudios cuya problemática se cierne a las crisis cambiarias. Para efectos de nuestro estudio, en donde la literatura teórica sobre sistemas de alerta temprana para crisis de deu-

da resulta escasa, examinaremos las señales vertidas por los clasificadores para umbrales de una y dos desviaciones estándar. La finalidad es discriminar la configuración de umbrales que resulte en variables con una proporción de ruido más pequeña.

Al igual que con nuestra variable de deuda, resulta necesario definir en términos formales la emisión de una señal por parte de un indicador determinado. Para tal efecto, sea L_t un indicador o clasificador cualquiera, el cual emitirá una señal cuando su comportamiento exceda por una o dos desviaciones estándar a su media. Por su parte, podemos definir $S_1 \wedge S_2 \subset \mathbb{R}$ como los conjuntos de señales de alerta a una y dos desviaciones estándar respectivamente, los cuales estarán asociados a las siguientes reglas de pertenencia:

$$S_1 = \left\{ L_t \mid \left[\frac{\Delta L}{L_t} \leq (\bar{L} - \sigma) \right] \wedge \left[\frac{\Delta L}{L_t} \geq (\bar{L} - \sigma) \right] \right\} \quad (5)$$

$$S_2 = \left\{ L_t \mid \left[\frac{\Delta L}{L_t} \leq (\bar{L} - 2\sigma) \right] \wedge \left[\frac{\Delta L}{L_t} \geq (\bar{L} - 2\sigma) \right] \right\} \quad (6)$$

donde σ es la desviación estándar, \bar{L} es la media de la variable indicador, mientras que $\frac{\Delta L}{L_t}$ es su tasa de cambio mensual. Al igual que con las variables de deuda pública, queda claro que todas las observaciones de cualquier clasificador pueden ser definidas en un conjunto determinado. De esta forma, aquellos elementos de L_t que no cumplan con las reglas planteadas en (5) y (6) no serán considerados como señales de alerta.

Alternativamente podemos definir un par de conjuntos $Z_1 \wedge Z_2 \subset \mathbb{R}$ de señales normales, los cuales están definidos por todos aquellos elementos de L_t que no exceden, respectivamente, por una o dos desviaciones estándar a su media:

$$Z_1 = \left\{ L_t \mid \left[\frac{\Delta L}{L_t} \geq (\bar{L} - \sigma) \right] \wedge \left[\frac{\Delta L}{L_t} \leq (\bar{L} - \sigma) \right] \right\} \quad (7)$$

$$Z_2 = \left\{ L_t \mid \left[\frac{\Delta L}{L_t} \geq (\bar{L} - 2\sigma) \right] \wedge \left[\frac{\Delta L}{L_t} \leq (\bar{L} - 2\sigma) \right] \right\} \quad (8)$$

donde las expresiones denotadas por los límites relativos a $(\bar{L} - 2\sigma) \wedge (\bar{L} + 2\sigma)$ funcionan como las cotas de los umbrales para una y dos desviaciones estándar.

Hasta ahora, hemos definido la noción de crisis de deuda en el contexto de un SAT y hemos establecido el criterio para tipificar cuándo un clasificador emite una señal de alerta o una señal normal. El siguiente paso de la metodología requiere el establecimiento de una clasificación cualitativa de las señales emitidas por los clasificadores. Aquí introduciremos el concepto de ventana de crisis que se define como el periodo de antelación, con el cual una señal emitida por una variable clasificador coincide con la ocurrencia de una crisis de deuda. Para ello utilizaremos la convención establecida por Kaminsky *et al.* (1998) y Kaminsky y Reinhart (1999) que establece que, para el caso de una crisis de deuda, los indicadores emitirán una señal de alerta con un periodo de antelación de 12 o 24 meses. Este lapso relativo a la ventana de crisis ha sido utilizado por diversos autores, Vickers (2006) y Dowling y Zhuang (2002), avocados a construir un SAT con la intención de prevenir la ocurrencia de una crisis cambiaria. Por las características del estudio, además de la convención ya mencionada sugerimos la utilización de una ventana de crisis de seis meses. Dicha decisión no es arbitraria, puesto que suponemos que las variables de deuda pública pueden absorber la información de las señales emitidas por los clasificadores en un periodo menor al de otros países.

Por otra parte, si nos ubicamos desde la perspectiva del enfoque de señales, una señal es positiva verdadera cuando una variable indicador emite una señal de alerta y, dada una ventana de crisis determinada, ocurre una crisis de deuda. Entonces, una señal se tipifica como positiva falsa cuando una variable indicador emite una señal de alerta y, dada una ventana de crisis determinada, no ocurre una crisis de deuda. Una señal es negativa verdadera cuando la variable indicador emite una señal normal y, dada la ventana de crisis seleccionada, no ocurre una crisis de deuda. Finalmente, una señal es negativa falsa cuando la variable indicador no emite una señal de alerta y, dada la ventana de crisis seleccionada, ocurre una crisis de deuda.

Formalmente, sea A una señal positiva verdadera la coincidencia entre la emisión de una señal de alerta y la ocurrencia de una crisis de deuda. Así los elementos de S_i y Q (definidas en (3), (5) y (6)), emiten una señal de alerta S_i para un umbral $i = \{1, 2\}$ determinado, ocurriendo crisis de deuda Q en el marco de una ventana temporal $k = \{6, 12, 24\}$ determinada. La regla para clasificar una señal como A es la siguiente:

$$A = \{(L_t, D_t) \mid (L_t \in S_i) \wedge (D_{t+k} \in Q)\} \quad (9)$$

Una señal positiva falsa puede definirse como B , que representa la coincidencia entre la emisión de una señal de alerta y la no ocurrencia de una crisis de deuda, donde opera un periodo de estabilidad de deuda definido por el conjunto P (acotado en (4)) en el marco de una ventana temporal $k = \{6, 12, 24\}$ determinada y su regla de clasificación es:

$$B = \{(L_t, D_t) \mid (L_t \in S_i) \wedge (D_{t+k} \in P)\} \quad (10)$$

Una señal negativa falsa la denotaremos como C y es la coincidencia entre la emisión de una señal estable y la ocurrencia de una crisis de deuda. Representa la concurrencia de elementos de Z_i y Q (definidos en (7), (8) y (3)) tal que, cuando se emite una señal normal Z_i para un umbral $i = \{1, 2\}$ especificado, ocurre una crisis de deuda Q en el marco de una ventana temporal $k = \{6, 12, 24\}$ determinada. *Ergo*, la regla para clasificar una señal como C es la siguiente:

$$C = \{(L_t, D_t) \mid (L_t \in Z_i) \wedge (D_{t+k} \in Q)\} \quad (11)$$

Finalmente, denotamos una señal negativa verdadera mediante D , que representa la coincidencia entre la emisión de una señal normal y la no ocurrencia de una crisis de deuda. Ésta es la combinación de elementos de Z_i y Q tal que, cuando se emite una señal normal Z_i para un umbral $i = \{1, 2\}$ determinado, no ocurre una crisis de deuda Q . En otras palabras, opera un periodo de estabilidad de deuda definido por el conjunto P , en el marco de una ventana temporal $k = \{6, 12, 24\}$ determinada. La regla para clasificar una señal como D es:

$$D = \{(L_t, D_t) \mid (L_t \in Z_i) \wedge (D_{t+k} \in P)\} \quad (12)$$

Una vez que hemos reconsiderado la detección de señales como un problema de clasificación, podemos iniciar su planteamiento considerando dos clasificadores de clase $P \wedge Q$. Cada uno representa, respectivamente, los eventos de estabilidad de deuda y crisis de deuda. Partiendo de la

metodología de Fawcett (2005) tenemos que cada instancia o clasificador $L_t = \{S_i, Z_i\}$ se puede mapear en algún elemento del conjunto $D_t = \{Q, P\}$ conformado por etiquetas de clase binarias. Un modelo de clasificación es, por tanto, el mapeo que ocurre desde las instancias de clasificación L_t hacia las etiquetas de clase estimadas para D_t ; $f: L_t \rightarrow D_t$.

Por ende, dado que poseemos instancias de clasificación definidas por $L_t = \{S_i, Z_i\}$ y etiquetas de clase expresadas por $D_t = \{Q, P\}$ podemos tipificar los cuatro posibles resultados ya mencionados.

Cuadro 2. Matriz de contingencia

		Ocurrencia de crisis de deuda	
		Ocurrencia de deuda Q	Ocurrencia de deuda P
Señal alerta S	A = $\{(L_t, D_t) (L_t \in S_i) \wedge (D_{t+k} \in Q)\}$	B = $\{(L_t, D_t) (L_t \in S_i) \wedge (D_{t+k} \in P)\}$	
Señal normal Z	C = $\{(L_t, D_t) (L_t \in Z_i) \wedge (D_{t+k} \in Q)\}$	D = $\{(L_t, D_t) (L_t \in Z_i) \wedge (D_{t+k} \in P)\}$	

Fuente: Elaboración propia.

II.5. Estadísticos de prueba

La *razón de ruido a señal* (RRS) es uno de los estadísticos esenciales del enfoque de señales y de acuerdo con Kaminsky *et al.* (1998), mide la habilidad que posee un indicador para prevenir la ocurrencia de una crisis. Denotamos γ_{itk} para expresar la forma funcional que asume el estadístico de la RRS para una clasificadora i , una variable de deuda t y una ventana de crisis k determinados:

$$\gamma_{itk} = \frac{B}{B+D} \bigg/ \frac{A}{A+C} \quad (13)$$

Mientras más pequeño sea el valor de la RRS mayor será la habilidad de una variable clasificador para encontrar una asociación estadística con la ocurrencia de una crisis de deuda en el marco de una ventana de crisis determinada. Adviértase que más adelante definiremos al numerador como la tasa de señales positivas o tasa de errores. Ésta es la definición funcional del ruido al que también conoceremos, en el contexto del análisis

ROC, como costo de clasificación. Por su parte, la expresión en el denominador, en su momento la definiremos como la tasa de señales positivas verdaderas o tasa de aciertos.

Asimismo, es necesario calcular la *probabilidad condicional de crisis* (PCC), la cual es un estadístico que mide la probabilidad de ocurrencia de una crisis de deuda, dada la aparición de una señal de alerta. Esta probabilidad condicional es la representación de las señales positivas verdaderas con respecto a la totalidad de señales clasificadas en la primera fila de la matriz de confusión:

$$\rho_{itk} = \frac{A}{A + B} \quad (14)$$

donde ρ_{itk} expresa la forma funcional que asume el estadístico; mientras el valor de ρ_{itk} sea más cercano a la unidad, el poder predictivo de nuestro indicador será mayor. Es evidente entonces que el dominio de ρ_{itk} es $[0, 1]$.

El paso siguiente es llevar a cabo un análisis *Receiver-Operating-Characteristics* (ROC), comúnmente conocido por la gráfica del mismo nombre. De acuerdo con Fawcett (2005) es una técnica para visualizar, organizar y seleccionar clasificadores basados en su desempeño. Una gráfica ROC es en esencia, una técnica utilizada para discriminar clasificadores estadísticos y en la visión de Swets (1988), su uso ha sido extendido para la visualización y análisis del comportamiento de sistemas de diagnóstico.

A lo anterior se debe agregar que la curva ROC nos permite discriminar indicadores relevantes que, por su capacidad de clasificación, fungirán como determinantes de una crisis de deuda. La importancia del espacio ROC reside en que se trata de una métrica cualitativa que nos permite ponderar el nivel de eficiencia de un sistema de diagnóstico cualquiera. En nuestro caso, nos permitirá discriminar aquellos clasificadores o indicadores de nuestro SAT que posean el mejor desempeño posible para efectos de determinar la ocurrencia de una crisis de deuda. El espacio ROC, como métrica cualitativa, posee un dominio y contradominio definidos en $[0, 1]$. Por ejemplo, el par ordenado correspondiente al punto $(0, 0)$ no comete el error de clasificar señales positivas falsas, no obstante, tampoco captura señales positivas verdaderas, por lo que representa una estrategia de clasificación ambigua puesto que no es posible la clasificación en stricto *sensu*. Por su parte, el par ordenado ubicado en $(1, 1)$ también incurre en una lógica de clasificación ambigua al operar con una tasa de acierto perfecta, no obstante, dicho poder predictivo se contrarresta con un costo de clasificación de la misma magnitud. De hecho, si trazamos una recta de 45° , carac-

terizada por $y = x$, cualquier punto que se encuentre sobre ella corresponderá a una variable cuya estrategia de clasificación es ambigua.

Una vez que hemos explicitado la idea detrás del análisis ROC, conviene definir la forma en que se derivan los valores de la *tasa de acierto*, correspondientes a la dimensión vertical del espacio ROC. La tasa de acierto es un estadístico esencial para discriminar los clasificadores que componen al SAT, puesto que captura el poder de clasificación de un indicador determinado. En términos formales, denotamos δ_{itk} para expresar la forma funcional que asume el estadístico de la tasa de acierto para el clasificador i , una variable de deuda t y una ventana de crisis k determinada:

$$\delta_{itk} = \frac{A}{A + C} \quad (15)$$

donde el dominio de δ_{itk} está definido en $[0, 1]$. De esta forma, mientras más cercano a la unidad sea el valor de la tasa de acierto, el indicador posee una habilidad superior para clasificar la ocurrencia de una crisis de deuda.

En seguida, se calcula *el costo de clasificación* que nos permite ponderar la dimensión horizontal del espacio ROC. Éste, mide la proporción de señales positivas falsas en relación al total de señales clasificadas negativamente, expresadas en la suma de las señales positivas falsas y las señales negativas verdaderas. Formalmente, denotamos θ_{itk} para expresar la forma funcional que asume el estadístico del costo de clasificación o tasa de errores para el clasificador i , una variable de deuda t y una ventana de crisis k determinada:

$$\theta_{itk} = \frac{B}{B + D} \quad (16)$$

como ya se había señalado en la definición del espacio ROC, el dominio de θ_{itk} está definido en $[0, 1]$. De esta forma, mientras más cercano a la unidad sea el valor del costo de clasificación, mayor será la incapacidad de un indicador para clasificar correctamente la ocurrencia de una crisis de deuda. Si esto ocurre, será más difícil que dicho clasificador funja como determinante de una crisis.

El siguiente estadístico de prueba es el de *precisión*, que evalúa las capacidades globales de un indicador para determinar la ocurrencia de una crisis de deuda. Mide la proporción de señales verdaderas con respecto al total de las señales clasificadas, tanto verdaderas como falsas. En términos formales, denotamos ψ_{itk} para expresar la forma funcional que asume

el estadístico de precisión para un clasificador i , una variable de deuda t y una ventana de crisis k determinada:

$$\psi_{itk} = \frac{A+D}{A+B+C+D} \tag{17}$$

donde el dominio de ψ_{itk} está definido en $[0, 1]$. De esta forma, mientras más cercano a la unidad sea el valor del estadístico precisión, mayor será el grado de predicción positiva que posee un clasificador para determinar la ocurrencia de una crisis de deuda pública.

Después hay que calcular la *especificidad* que nos proporciona una medida del grado de habilidad que posee un indicador determinado para clasificar acertadamente aquellas situaciones en donde no ocurrirá una crisis de deuda. La especificidad mide la proporción de señales negativas verdaderas en relación al total de señales clasificadas negativamente. En este sentido, sea Ω_{itk} el estadístico que mide la especificidad, así para un clasificador i , una variable de deuda t y una ventana de crisis k determinada:

$$\Omega_{itk} = \frac{D}{B+D} \tag{18}$$

para Ω_{itk} el dominio está definido en $[0, 1]$. Por tanto, mientras más cercano a la unidad sea el valor de la especificidad, mayor habilidad posee un indicador para clasificar correctamente la no ocurrencia de una crisis de deuda. Adviértase que, por su conformación, el estadístico de especificidad es el complemento de costo de clasificación; en otras palabras, significa que $\Omega_{itk} + \theta_{itk} = 1$:

$$\Omega_{itk} \equiv \theta_{itk}^c \tag{19}$$

El último estadístico de prueba es el *estadístico F* que genera una medida que nos permite evaluar la pertinencia de un clasificador en el contexto de un sistema de diagnóstico. Se trata, de acuerdo con Fawcett (2005), de una medida de ajuste conjunto entre la tasa de aciertos δ_{itk} y la probabilidad condicional de crisis ρ_{itk} . Para ello denotaremos ξ_{itk} para expresar la forma funcional que asume el estadístico F para un clasificador i , una variable de deuda t y una ventana de crisis k :

$$\xi_{itk} = \frac{2}{\left(\frac{A}{A+C}\right)^{-1} + \left(\frac{A}{A+B}\right)^{-1}} \tag{20}$$

el dominio de ξ_{itk} está definido en $[0, 1]$. De esta forma, mientras más cercano a uno sea el valor del estadístico F mejor será el desempeño conjunto de la probabilidad condicional de crisis y de la tasa de aciertos. Si ocurre lo anterior, constituye un indicio de que el indicador en cuestión posee una habilidad de clasificación significativa.

Hasta aquí hemos definido los estadísticos relevantes para conocer la naturaleza clasificadora de los indicadores monitoreados. Conviene ahora definir su uso en aras de discriminar aquellos que pudiesen fungir como determinantes de una crisis de deuda pública. El proceso de discriminación resulta esencial para los objetivos de la investigación. De éste se deriva la obtención de un conjunto de variables que, por su desempeño clasificador, pudieran fungir como determinantes de una crisis de deuda en el contexto de un SAT.

El primer criterio para desechar un indicador como posible determinante de una crisis de deuda se encuentra en los estadísticos de enfoque de señales, esto es, la PCC y la RRS. Con respecto al estadístico de la razón de ruido a señal sabemos que está definido por γ_{itk} . Sabiendo que el dominio de γ_{itk} está expresado en $[0, 1]$, sólo pasarán la fase inicial de selección aquellos clasificadores cuya RRS se encuentre definida en $[0, 1]$, todo indicador que exceda dicho rango será descartado inicialmente del análisis.

Una vez definidas las variables que han superado el criterio de selección del enfoque de señales, el segundo paso de la discriminación implica llevar a cabo el análisis gráfico ROC. Para ello, con los valores de la matriz de confusión de cada variable calculamos los valores de la tasa de acierto y el costo de clasificación definidos, respectivamente por δ_{itk} y θ_{itk} . Con dichos valores, graficamos los pares ordenados de todos los clasificadores pertenecientes a una variable de deuda pública, conformando así el espacio ROC.

Hasta aquí es donde termina lo propuesto por el análisis ROC. Sin embargo, en esta fase surge la interrogante planteada por Fawcett (2005): ¿Qué sucede con aquellos clasificadores que están ligeramente por encima de la recta de clasificación aleatoria de 45° ? ¿Son realmente eficientes en su labor de clasificación o tan sólo superaron la porción inferior del espacio ROC por efectos de probabilidad? Para zanjar esta disyuntiva proponemos estimar, mediante mínimos cuadrados ordinarios, una recta de ajuste lineal con la nube de puntos conformada en el espacio ROC. Esta recta, al capturar la distancia mínima entre cada una de las observaciones del espacio ROC, se encontrará naturalmente por encima de la curva de ambigüedad de 45° .

Entonces, el tercer paso de nuestra sucesión de discriminación establece que seleccionaremos aquellas variables que se encuentren por encima

de la pendiente obtenida de la especificación lineal propuesta. Formalmente, el espacio ROC está poblado por los pares ordenados de $(\theta_{itk}, \delta_{itk})$. Al estimar la especificación lineal propuesta, obtendremos valores estimados de δ_{itk} definidos por la siguiente ecuación de regresión:

$$\hat{\delta} = \beta\theta_{itk} + \nu \quad (21)$$

donde $\hat{\delta}$ es el valor estimado y ν es un término de error aleatorio. Por tanto, la regla para discriminar clasificadores en esta tercera etapa implica que seleccionaremos aquellos indicadores cuyo valor real de δ_{itk} sea mayor al valor estimado de $\hat{\delta}$ derivado de la especificación lineal que planteamos.

II.6. Índice de clasificadores principales

La cuarta etapa de la metodología de investigación que hemos planteado implica la construcción de un índice de clasificadores principales (ICP). Se trata de un índice compuesto con los indicadores que hayan resultado relevantes como clasificadores de una crisis de deuda. En este sentido, se trata de un índice conformado con los resultados básicos de nuestra investigación. Este índice, pese a no ser el objetivo central de nuestra investigación, resultaría por su desempeño esperado, en un elemento de prospectiva que coadyuve al análisis de política económica. En teoría, este índice, al estar conformado por aquellas variables que poseen un poder de clasificación superior, sería un elemento de prognosis relevante, teniendo en cuenta sus alcances y limitaciones como herramienta. La construcción de este índice, conformado por las variables más relevantes del SAT, justifica la aplicación de toda la metodología que hemos desglosado.

Para su construcción, asumiremos la propuesta hecha por Dowling y Zhuang (2002), en donde el índice es compuesto por la representación binaria $\{0,1\}$ de los indicadores más relevantes ponderados por el inverso de su razón de ruido a señal.

Como habíamos señalado en las reglas de pertenencia para los conjuntos S_i y Z_i , definidas en (5), (6), (7) y (8), cualquier indicador L_i puede estar asociado a dos estados relativos a la señal que emite: señal de alerta y señal de normalidad. Asociamos estos estados con una representación binaria Γ que puede asumir los valores de la configuración categórica definida por:

$$\Gamma = \begin{cases} S_i = 1 \\ Z_i = 0 \end{cases}$$

con esto, podemos representar un índice de clasificadores principales ponderado por el inverso de γ_{itk} . Formalmente, denotamos Λ_{itk} para representar a un ICP para un índice de crisis de deuda t y una ventana de crisis k determinada:

$$\Lambda_{itk} \equiv \sum_{i=1}^L \frac{1}{\gamma_{itk}} \Gamma \quad (22)$$

Al ponderar los componentes del índice con el inverso de la RRS estamos restándole peso a aquellos clasificadores que, aun habiendo pasado la prueba de discriminación de indicadores, posean una RRS alta.

Una vez que hemos generado las observaciones del ICP, Λ_{itk} , procedemos a graficarlo mediante la técnica de ajuste no paramétrico conocida como bandas medianas. De acuerdo con Hogg y Craig (1995) una banda mediana provee una forma conveniente para establecer una tendencia en la relación entre dos variables. Para generar una banda mediana cada uno de los ejes x , y y de un espacio bidimensional son divididos en una cantidad determinada de w intervalos del mismo tamaño. Entonces, se calcula la mediana, denotada por $\mu_{\frac{1}{2}}$, para las observaciones capturadas en cada intervalo del espacio. Con las medianas $\mu_{\frac{1}{2}}$ de cada intervalo w formamos la tupla $(\mu_{\frac{1}{2}}^x(w_i), \mu_{\frac{1}{2}}^y(w_j))$, la cual genera los puntos del ICP. El número de intervalos w para cada eje está definido por el máximo de la secuencia:

$$w = \max_n \{10, \dots, 10 \cdot \log_{10}(n)\} \quad (23)$$

donde n es el número de observaciones generadas por el índice Λ_{itk} . Se espera que el desempeño del índice de clasificadores principales capture las tendencias del comportamiento de la variable de deuda que establecimos como nuestro objetivo. En este sentido, si el comportamiento del ICP que hemos construido logra emular las tendencias y fluctuaciones de la variable de deuda, habremos corroborado la pertinencia del SAT conformado con los criterios de discriminación propuestos.

III. Resultados

Hemos expuesto la metodología para la construcción de un SAT y la consecuente obtención de los indicadores que servirán como determinantes de una crisis de deuda pública. Ahora nos resta aclarar el criterio de presen-

tación de los resultados obtenidos. Se especifican los clasificadores que de acuerdo a la metodología resultaron como determinantes de una crisis de deuda para cada índice particular, detallando las propiedades que cada caso presenta en términos del enfoque de señales, el análisis ROC y el desempeño del ICP.

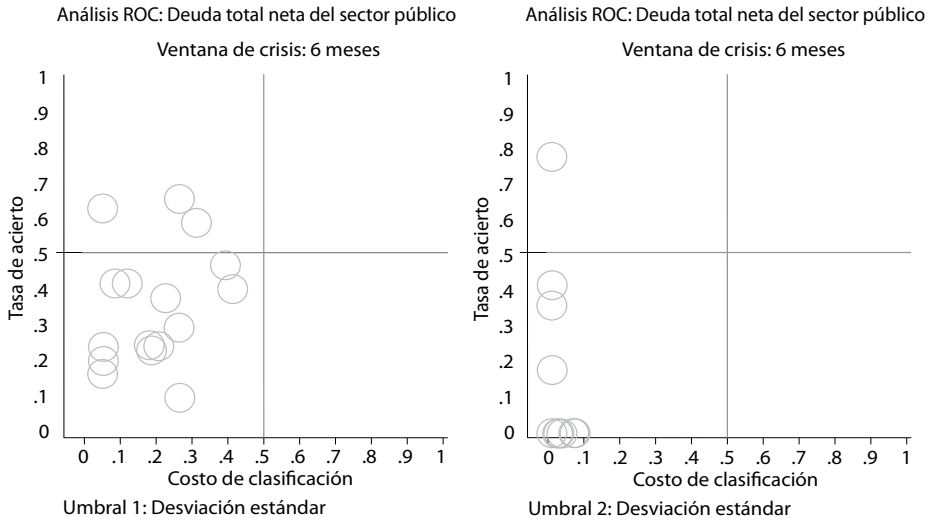
El primer aspecto en consideración para construir un SAT con indicadores eficientes consiste en encontrar aquella configuración de umbral de crisis que minimice la RRS. Se probaron todas las combinaciones posibles, específicamente seis combinaciones para cada variable de deuda: una y dos desviaciones estándar en conjunción con cada una de las ventanas de crisis planteadas $k = \{6, 12, 24\}$. Con las señales previamente clasificadas, procedemos a comparar los valores de la RRS obtenidos con la configuración de una desviación estándar de aquellos obtenidos con dos desviaciones estándar. En términos generales, seleccionamos aquella configuración de umbral de crisis que nos proporciona una mayor cantidad de variables indicadores con sus valores óptimos.

En este sentido, el primer hallazgo de la investigación es que, para las variables de deuda analizadas, la configuración de una desviación estándar resulta ser más eficiente que la configuración de dos desviaciones estándar. Este resultado confirma la intuición que habíamos señalado en la descripción de la metodología. Es decir, una configuración de dos desviaciones estándar, si bien es cierto captura un espectro más amplio de señales, termina por hacerlo con un costo de clasificación o tasa de error superior. Por lo anterior, el umbral de crisis de dos desviaciones estándar se descarta como configuración del SAT. Esto se debe a que la RRS de sus clasificadores se vuelve indeterminada y por tanto, es incapaz de generar confiablemente la PCC. La tendencia se puede apreciar en el comparativo siguiente.

En términos generales, la configuración de dos desviaciones estándar arroja una gran cantidad de indicadores cuya RRS posee un valor indefinido o superior a la unidad. Por tanto, el primer resultado importante del monitoreo realizado indica que un SAT diseñado para una crisis de deuda pública será más eficiente partiendo de una configuración de umbral de crisis de una desviación estándar. Este patrón encontrado es una referencia metodológica importante en la literatura relativa a la construcción de SAT.

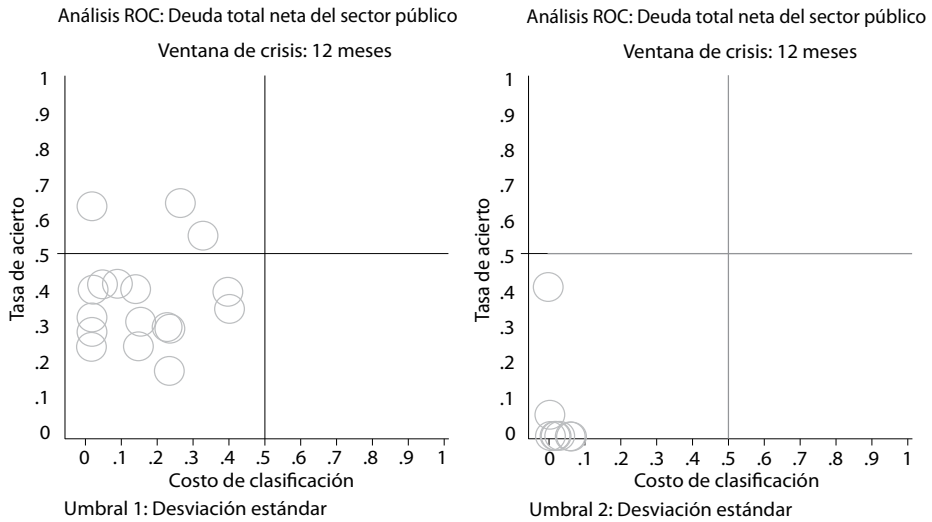
Hasta ahora, hemos discriminado la configuración de umbral de crisis que produce un grupo más eficiente de variables indicadores, en términos de su RRS. Ahora conviene hacer lo propio con las especificaciones de ventana de crisis, definidas por $k = \{6, 12, 24\}$. Para ello, la base es el análisis

Gráfica 1. Comparativo: umbral 6 meses



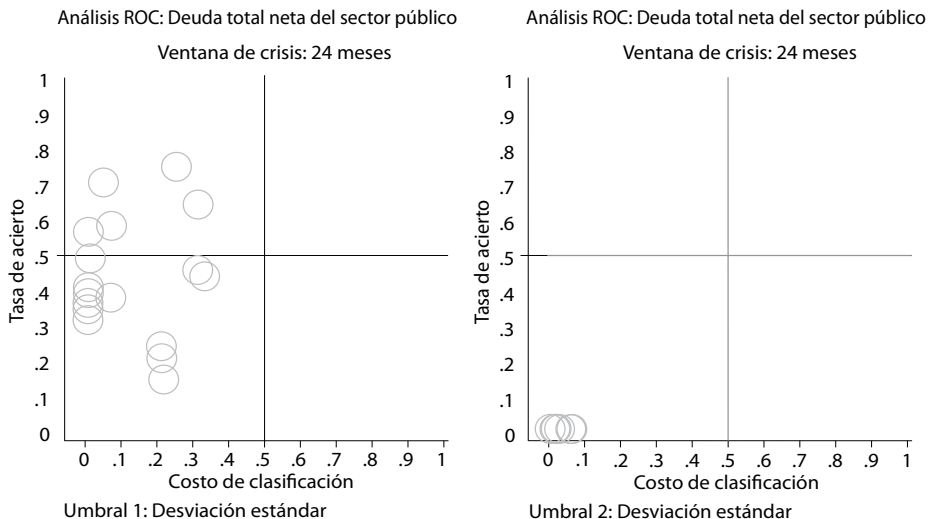
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. Comparativo: umbral 12 meses



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Comparativo: umbral 24 meses



Fuente: Elaboración propia.

gráfico del espacio ROC, en dicho espacio, el criterio es la selección de aquella configuración de ventana de crisis que posea una mayor cantidad de clasificadores eficientes. Entonces, un clasificador es eficiente si se encuentra ubicado en el área de la porción triangular superior del espacio ROC. Aquella configuración de ventana de crisis que arroje un grupo más numeroso de indicadores por encima de la recta de ambigüedad de 45° será la más apropiada para la construcción de un SAT. No obstante, de acuerdo al señalamiento hecho en Fawcett (2005), pueden existir clasificadores, cuya situación en el espacio ROC, los ubique apenas por encima de la recta de clasificación aleatoria. Este hecho implicaría que un indicador, pese a estar emplazado en la porción triangular superior del espacio ROC, pudiera hallarse en dicho punto por una cuestión meramente aleatoria, lo que pondría en duda sus capacidades de clasificación. Para sortear dicho inconveniente, propusimos un criterio lineal de discriminación, definido por una recta de mínimos cuadrados ordinarios, que separaría del análisis aquellas variables cuya colindancia con la recta de 45° ponga en duda sus capacidades de clasificación.

Entonces, una vez definida una configuración de umbral de crisis de una desviación estándar, resta establecer cuál especificación de ventana

Cuadro 3. Discriminantes de clasificadores*

Análisis de pendientes en el espacio ROC**
Mínimos cuadrados ordinarios***

<i>Configuración de sistema de alerta temprana</i>	<i>Ventana de crisis</i>	<i>Umbral de crisis</i>	<i>Pendiente OLS</i>	<i>Promedio de pendientes</i>
	k	t	$\hat{\delta}$	
Configuración 1	6	1 D.S	1.45	1.48
Configuración 2	12	1 D.S	1.36	1.48
Configuración 3	24	1 D.S	1.65	1.48
Configuración 4	6	2 D.S	0.00	—
Configuración 5	12	2 D.S	0.00	—
Configuración 6	24	2 D.S	0.00	—

Fuente: Elaboración propia. *La discriminación de clasificadores opera en función de la pendiente de la OLS; **Los valores resaltados corresponden a configuraciones encima del promedio; ***Se suprimió el término constante en la regresión.

de crisis es la que supera el criterio lineal de discriminación propuesto. Para esto se procedió a graficar el espacio ROC para todas las combinaciones posibles. Con la nube de clasificadores se trazó una recta de ajuste lineal, con lo cual, tenemos ahora una tasa de acierto estimada para cada una de las combinaciones posibles. Para efectos de determinar cuál es la especificación de ventana de crisis que posee un mayor poder de clasificación, obtenemos un promedio de las tasas de acierto estimadas para cada combinación. Finalmente, aquella especificación que supere al promedio de sus tasas de acierto estimadas contendrá los indicadores que denotaremos como determinantes de crisis de deuda pública.

Una interrogante que puede surgir en torno a la aplicación de dicho criterio es: ¿Se pueden comparar las pendientes derivadas de espacios ROC correspondientes a diferentes especificaciones de ventana de crisis? La respuesta es afirmativa. Como ya se detalló en la metodología, el espacio ROC constituye una métrica que, por su construcción, permite comparar diversas configuraciones, no sólo de ventanas de crisis sino también de umbrales de crisis. El hecho de que el dominio y rango del espacio ROC se encuentren definidos en $[0, 1]$ permite que la nube de clasificadores de una configuración específica de SAT sea perfectamente comparable, en desempeño, con cualquier otra. Esta característica del análisis ROC lo convierte en la herramienta adecuada para someter a escrutinio sistemas de

diagnóstico diversos, *in casu*, un SAT aplicado a crisis de deuda pública. En el cuadro 3 se sintetizan los resultados del criterio propuesto.

Nótese que la configuración que supera el promedio de sus pendientes estimadas es utilizada para extraer los clasificadores que catalogaremos como determinantes de crisis de deuda. Además, los clasificadores de esta configuración sobresaliente serán utilizados como los componentes de los índices de clasificadores principales. Como es de notar, este criterio nos permite verificar el poder de clasificación de cualquier combinación de umbral y ventana de crisis determinada. Además nos permite discernir cuáles son las configuraciones que brindan un poder clasificación más eficiente. Con los indicadores de dichas configuraciones estamos en condiciones de construir un ICP, el cual se espera capture las principales fluctuaciones de las variables de deuda, puesto que está conformado de las variables con mayor poder de clasificación.

Ahora presentamos los clasificadores que, dada la metodología, superaron todos los criterios para ser catalogados como determinantes de crisis de deuda pública. Después de la lista de clasificadores correspondientes a las configuraciones que cumplieron con los requisitos impuestos por la metodología, presentamos un ICP construido con las representaciones binarias de las variables que fungen como determinantes.

La lista de los determinantes particulares de crisis de deuda pública se encuentra en el cuadro 4. Se detallan dos datos relevantes, la tasa de acierto observada y la tasa de acierto estimada. La regla que establecimos para considerar una variable como determinante de crisis de deuda pública se constituye de dos pasos. El primero, que la tasa de acierto observada se situará en la porción triangular superior del espacio ROC, en otras palabras, que se localizara por encima de la recta diagonal. El segundo requisito es que la tasa de acierto observada supere a la tasa de acierto estimada, o sea que:

$$\delta_{itk} \geq \hat{\delta}$$

Esta restricción permite que las variables resultantes sean aquellas que excedan con suficiencia el criterio mínimo de clasificación. Esto asegura que el ICP esté compuesto por las variables más sobresalientes en cuanto a poder de clasificación se refiere. Se construyen gráficas superpuestas, con sus respectivas escalas, con la finalidad de observar si el índice compuesto es capaz de capturar las principales tendencias y fluctuaciones de las variables de deuda.

En el cuadro 4, las filas sombreadas representan aquellas variables con un poder de clasificación superior. De las 20 variables, originalmente

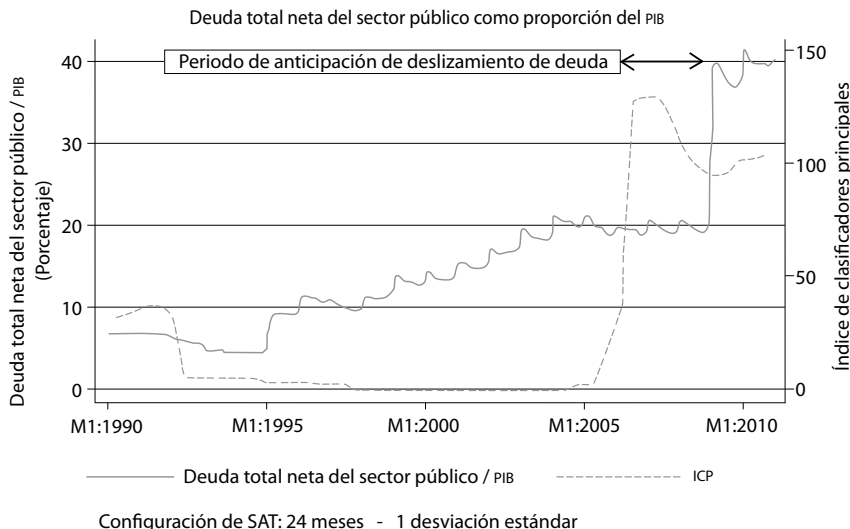
Cuadro 4. Clasificadores seleccionados*

Horizonte de crisis: 24 meses
Umbral: 1 desviación estándar

<i>Clasificadores de crisis de deuda pública</i>	<i>Tasa de acierto observada</i>	<i>Costo de clasificación</i>	<i>Tasa de acierto estimada</i>	<i>Regla de decisión</i>
	δ_{itk}	θ_{itk}	$\hat{\delta}$	$\delta_{itk} \geq \hat{\delta}$
DTNSP_IPSP	0.3125	0	0	Verdadero
DTNSP_GPSP	0.4063	0	0	Verdadero
DP	0.375	0.0642	0.1056	Verdadero
GPROSP_GPSP	0.5625	0	0	Verdadero
GPCORRSP_GPROSP	0.4375	0.3209	0.5281	Falso
GPCAPSP_GPROSP	0.4375	0.3209	0.5281	Falso
GPCORRSP_GPCAPSP	0.4531	0.3048	0.5016	Falso
GNOPROSP_GPSP	0.5625	0	0	Verdadero
PARTFEDEF_GPSP	0.7031	0.0428	0.0704	Verdadero
DTNSP_PARTFEDEF	0.3594	0	0	Verdadero
CFSP_IPSP	0.3438	0	0	Verdadero
DTNSP_IP	0.5781	0.0642	0.1056	Verdadero
IP_IPSP	0.6406	0.3048	0.5016	Verdadero
IVATOTAL_IPSP	0.75	0.246	0.4048	Verdadero
IVAPETRO_IVATOTAL	0.1406	0.2086	0.3433	Falso
IVANOPETRO_IVATOTAL	0.1406	0.2086	0.3433	Falso
PPMM	0.4844	0.0053	0.0087	Verdadero
CETESRAP	0.2031	0.2032	0.3344	Falso
PPV	0.3906	0	0	Verdadero
INF	0.2344	0.2032	0.3344	Falso

Fuente: Elaboración propia. *Notas:* * Valor de la Pendiente de OLS : 1.6456 (cuadro 3).

Gráfica 4. Índice de clasificadores de deuda pública



Fuente: Elaboración propia.

propuestas, son 13 las que integrarán el ICP. Primero, son producto de la mejor configuración de SAT, esto es una ventana de crisis de 24 meses y un umbral de una desviación estándar. Segundo, son aquellas variables que superaron el criterio restrictivo de la pendiente de mínimos cuadrados ordinarios. Dichas variables son los elementos del conjunto de clasificadores con el cual se construye el ICP, que será la herramienta de prospectiva que nos permitirá monitorear el desempeño y comportamiento de la deuda pública.

El éxito del índice propuesto radica en la capacidad que posea para emular el comportamiento de la deuda total neta del sector público como proporción del PIB. En la medida en que el índice capture, con antelación, la dinámica de la variable objetivo habremos alcanzado el propósito de construir un SAT. Para verificar lo anterior, graficamos de manera conjunta la variable objetivo y el ICP derivado de la construcción del SAT. Para obtener las variables con una mayor capacidad de clasificación utilizamos la mejor configuración encontrada, o sea, una ventana de crisis de 24 meses con un umbral de crisis de una desviación estándar.

Como se aprecia en la gráfica 4, el ICP captura, a lo largo del periodo analizado, la tendencia creciente de la deuda total neta del sector público,

la cual alcanza una proporción cercana a 40 por ciento del PIB. El índice logra capturar, de manera eficiente, los saltos que presenta la deuda a últimas fechas, como cuando el gobierno federal asumió en su contabilidad el costo fiscal de la Reforma a Ley del ISSSTE, ocurrido a finales de 2008. El índice propuesto también captura los saltos de la reclasificación de los pasivos de Pemex, de deuda no presupuestaria a deuda presupuestaria, movimiento ocurrido a partir de enero de 2009.

Por cuestiones de construcción, relativos a la escala, el ICP no ajusta, de manera gráfica, el comportamiento de la deuda total neta del sector público. Sin embargo, es capaz de emular, con anticipación, la dirección de cambio de la variable objetivo. Esta propiedad puede apreciarse en la gráfica, donde el índice presenta un incremento súbito en su tendencia, respetando el periodo de antelación de 24 meses, que fue establecido después de especificar la mejor configuración del SAT. Esta característica del índice, implica que esta herramienta, si se alimenta con los clasificadores adecuados, es capaz de anticipar cambios súbitos en la dirección de cambio de la deuda total neta del sector público.

IV. Conclusiones

Una vez que detallamos, configuramos e implementamos el SAT para el caso de la deuda pública en México, conviene llevar a cabo una discusión general en torno a los alcances y limitaciones de la presente investigación. Sin ánimo de ser concluyentes, el presente apartado es un intento por situar en su justa dimensión la labor de investigación realizada. En el contexto de las posibles aportaciones de nuestro trabajo se encuentra el hecho de la adaptación de una metodología al contexto de un problema nuevo. Como ya se había señalado, los SAT habían sido ampliamente probados para efectos de crisis cambiarias y bancarias, no obstante, hasta donde se sabe, no existía un parangón para el caso de una crisis de deuda pública. En ese sentido, consideramos como una primera aportación la adaptación de la metodología del SAT a un entorno de crisis de deuda pública.

La teoría de detección de señales forma parte de un entramado teórico más amplio denominado análisis exploratorio de datos. El marco de trabajo empírico habitual para el ámbito de la investigación económica es la econometría, no obstante, generalmente es difícil alcanzar los criterios y supuestos que exige para operar y obtener relaciones de causalidad probada. En nuestro caso, dicha cortapisa es agravada por la cantidad de variables en juego y por las distintas propiedades de cada una de ellas. Es por

eso que el contexto del análisis exploratorio de datos resultó ideal para lidiar con el conjunto de los clasificadores propuestos. Contrario a lo que una especificación econométrica exige, el análisis exploratorio de datos parte del hecho de que las variables en juego no requieren cumplir determinada distribución o propiedades estadísticas para ser susceptibles de análisis. Aun cuando los resultados que obtuvimos no pueden ser interpretados bajo el rasero de la causalidad, los determinantes que obtuvimos son consistentes con las especificaciones econométricas abordadas en la revisión de la literatura. En este sentido, más que hablar de una dicotomía entre los métodos paramétricos y los métodos no paramétricos estaríamos pensando en términos de complementación.

Otro de los puntos a considerar, respecto a la metodología que hemos expuesto, es que la construcción que llevamos a cabo del SAT parte de la literatura seminal al respecto, Kaminsky *et al.* (1998), quienes plantearon el enfoque de señales. No obstante tratamos de llevar el análisis a sus últimas consecuencias complementándolo con lo que la teoría de detección de señales exige, que es la aplicación del análisis ROC como un mecanismo para validar los clasificadores propuestos. Más aún, una vez llevado a cabo el análisis ROC, propusimos un criterio lineal que nos permitió zanjar dos objetivos. El primero, resolver la problemática planteada por Fawcett (2005) en torno a discriminar un clasificador cuya posición en el espacio ROC lo situaba en un punto de ambigüedad respecto a sus habilidades de clasificación. Bajo esta lógica, el criterio lineal propuesto nos permitió separar aquellos clasificadores eficientes de aquellos que, por su posición, incrementaban la posibilidad de llevar a cabo un análisis ambiguo. Segundo, el criterio lineal propuesto, además de incrementar los requisitos de desempeño de un clasificador determinado, nos permitía discriminar entre todas las combinaciones posibles de configuraciones de SAT. En dicho sentido, nos permitió discriminar tanto posibles combinaciones de ventanas de crisis como posibles combinaciones de umbrales de crisis, permitiéndonos obtener aquellas configuraciones de SAT cuyos clasificadores poseían mayores capacidades.

En este orden de ideas, uno de los hallazgos de la presente investigación está en haber encontrado una configuración de SAT afín a la representación de deuda abordada, o sea la deuda total neta del sector público. Como ya se mencionó, la configuración de umbral de crisis de una desviación estándar resultó sobresaliente para el conjunto de los casos analizados. Este hecho puede ser contrastado mediante el análisis gráfico ROC, donde podemos observar que la configuración de una desviación estándar

posee una distribución de la nube de clasificadores mucho más cercana a los criterios de eficiencia planteados.

Como todo estudio de carácter científico resulta pertinente señalar cuáles serían las posibles limitaciones del trabajo aquí expuesto. Si bien es cierto que nos ha permitido disertar en torno a una crisis de deuda pública, la metodología del SAT desarrollada desde la perspectiva del análisis exploratorio de datos posee también sus bemoles. Es un marco de trabajo que requiere una disponibilidad importante de datos y que buena parte de su desempeño está en función de la existencia de series largas. Entonces, pese a que los resultados que hemos descrito en nuestra investigación están validados por el análisis exploratorio de datos, sería posible sofisticar el análisis con un marco de datos más amplio. Por otra parte, pese a que el índice compuesto que construimos opera en función de las expectativas con las que fue creado, su utilización como herramienta de prospectiva y análisis debe tomarse con un carácter indicativo. Finalmente, pese a que el índice posee un rendimiento diferenciado en el corto plazo, logra capturar las principales tendencias históricas del comportamiento de la variable de deuda en el largo plazo con la anticipación sugerida en su configuración.

Referencias bibliográficas

- Bandiera, L. (2008), "Public Debt and Its Determinants in Low Income Countries: Results from 7 Country Case Studies", *World Bank*, Working paper series.
- Banxico (Banco de México) (2006), "Consideraciones sobre la deuda pública en México", disponible en: http://www.senado.gob.mx/comisiones/LX/financiamiento_deuda/content/reu/docs/15agosto07_presentacion.pdf [fecha de consulta: 10 de junio de 2011].
- Barnhill J. y G. Kopits (2003), "Assessing Fiscal Sustainability under Uncertainty", *IMF Working Paper*, WP/03/79.
- Barro, R. (1974), "Are Government Bonds Net Wealth?", *Journal of Political Economy*, 82 (6), pp. 1095-1117.
- Blanchard, O. (1990), "Suggestions for New Set of Fiscal Indicators", *Working Papers* 79, OCDE.
- Blanchard, O., J. C. Chouraqui, R. P. Hagemann y N. Sartor (1990), "The Sustainability of Fiscal Policy: New Answers to an Old Question", *OECD Economic Studies*, 15, pp. 7-36.
- Bohn, H. (1998), "The Behavior of U.S. Public Debt and Deficits", *The Quarterly Journal of Economics*, 113 (3), pp. 949-963.

- Buiter, W., T. Persson, y P. Minford (1985), "A Guide to Public Sector Debt and Deficits", *Economic Policy*, 1 (1), pp. 13-79.
- CEFP (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas) (2002), "Breves comentarios sobre la evolución de la deuda pública en México y de otros países", CEFP, comunicado 016/2002.
- _____ (2006), "La deuda del sector público presupuestario, 1985-2005", CEFP, comunicado 035/2006.
- Cochrane H. (2001), "Long-term Debt and Optimal Policy in the Fiscal Theory of the Price Level", *Econometrica*, 69 (1), pp. 69-116.
- Cole H. y T. Kehoe (1998), "A Self-Fulfilling Model of Mexico's 1994-1995 Debt Crisis", *Journal of International Economics*, 41 (3-4), pp. 309-330.
- Cuevas, V. y F. Chávez (2007), "Déficit, deuda y reforma fiscal en México", *Problemas del Desarrollo*, 38 (148), pp. 69-97.
- Davis, E. y D. Karim (2008), "Comparing Early Warning Systems for Banking Crises", *Journal of Financial Stability*, 4 (2), pp. 89-120.
- Dowling, J. y J. Zhuang (2002), "Causes of the 1997 Asian Financial Crisis: What Can an Early Warning System Model Tell Us?", *Asian Development Bank*, Working Paper Series 26.
- Dupor, W. (2000), "Exchange Rates and the Fiscal Theory of the Price Level", *Journal of Monetary Economics*, 45 (3), pp. 613-630.
- Elmendorf D. y G. Mankiw (1998), "Government Debt", *Harvard Institute of Economic Research*, Working Papers 1820.
- Fauzi, H. (1989), "Aspectos jurídicos de la deuda pública: Teoría y práctica", conferencia presentada el 12 de junio de 1989 en el Instituto de Investigaciones Jurídicas, México.
- Fawcett, T. (2005), "An Introduction to ROC Analysis", *Pattern Recognition Letters*, 27 (8), pp. 861-874.
- Hamilton, J. y M. Flavin (1986), "On the Limitations of Government Borrowing: A Framework for Empirical Testing", *American Economic Review*, 76 (4), pp. 1-32.
- Hernández, A., L. Lozano y M. Misas (2000), "La disyuntiva de la deuda pública: Pagar o sisar", *Revista de Economía Institucional*, 2 (3), pp. 149-184.
- Hernández, F. y A. Villagómez (2001), "La estructura de la deuda pública en México", *Revista de Análisis Económico*, 16 (1), pp. 99-143.
- Hodrick P. y E. Prescott (1981), "Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation", Discussion Paper 451, Northwestern University.
- Hogg, R. y A. Craig (1995), *An Introduction to Mathematical Statistics*, 5a. ed., Nueva York, Macmillan.

- IMF (International Monetary Fund) (2003), "Sustainability-Review of Application and Methodological Refinements", mimeo., Policy Development and Review Department.
- Jiménez, G. (2004), "Análisis de la deuda pública en México", *Instituto Tecnológico de Tehuacán*, documentos de trabajo.
- Kaminsky, G. y C. Reinhart (1999), "The Twin Crises: The Causes of Banking and Balance of Payments Problems", *The American Economic Review*, 89 (3), pp. 473-500.
- Kaminsky, G., S. Lizondo y C. Reinhart (1998), "Leading Indicator of Currency Crises", *International Monetary Fund Staff Papers*, 45 (1), pp. 1-48.
- Karim, D. (2008), "The Use of Binary Recursive Trees for Banking Crisis Prediction", *Brunel University Department of Economics and Finance*, Working Paper.
- Kremers, J. (1989), "U.S. Federal Indebtedness and the Conduct of Fiscal Policy", *Journal of Monetary Economics*, 23 (2), pp. 219-238.
- Kulfas, M. y M. Schorr (2003), *Deuda externa y valorización financiera en la Argentina actual: Factores explicativos del crecimiento del endeudamiento externo y perspectivas ante el proceso de renegociación*, Buenos Aires, CIEPP-OSDE.
- Leeper, E. (1991), "Equilibria under 'Active' and 'Passive' Monetary Policies", *Journal of Monetary Economics*, 27 (1), pp. 129-147.
- Martner, R. y V. Tromben (2004), *La sostenibilidad de la deuda pública, el efecto bola de nieve y el "pecado original"*, Serie Gestión Pública, Santiago de Chile, CEPAL-ILPES.
- Mendoza, E. y M. Oviedo (2009), "Public Debt, Fiscal Solvency and Macroeconomic Uncertainty in Latin America: The Cases of Brazil, Colombia, Costa Rica and Mexico", *Economía Mexicana Nueva Época*, XVIII (2), pp. 133-177.
- Milesi-Ferretti, G. (1995), "Do good or Do well? Public Debt Management in a Two Party Economy", *Economics and Politics*, 7 (1), pp. 59-78.
- Missale, A., F. Giavazzi y B. Pierpaolo (2002), "How is the Debt Managed? Learning from Fiscal Stabilizations", *The Scandinavian Journal of Economics*, 104 (2), pp. 443-469.
- Neck, R. y M. Getzner (2001), "Politico-economic Determinants of Public Debt Growth: A Case Study for Austria", *Public Choice*, 109 (3), pp. 243-268.
- Pascual, M., D. Cantarero, R. Fernández, y M. A. García-Valiñas (2004), *Determinants of Local Government Debt in Spain: A Panel Data Approach*, 60th IIPF 2004 Congress, Fiscal and Regulatory Competition, Milán.

- Pecchi, L. y G. Piga (1999), "The Politics of Index-linked Bonds", *Economics and Politics*, 11 (2), pp. 201-212.
- Reinhart, C., K. Rogoff y M. Suvastano (2003), "Debt Intolerance", *NBER, Working Paper 9908*.
- Ricardo, D. (1888), *Works of David Ricardo*, Londres, John Murray.
- Sims, C. (1994), "A Simple Model for Determination of the Price Level and the Interaction of Monetary and Fiscal Policy", *Economic Theory*, 4 (3), pp. 381-399.
- Smith, A. (1776), *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, editado por Edwin Cannan, York, Methuen.
- Swets, J. (1988), "Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems", *Science*, 40 (3), pp. 1285-1293.
- Velasco, C. (2010), "The Determinants of Brazilian Public Debt's Duration in the Post-real Plan Period", tesis de maestría, Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas.
- Vickers, S. (2006), *Could the Kaminsky-Reinhardt Model Have Predicted the 2002 Uruguayan Currency and Banking Crises?*, Trinity College of Duke University, Duke University.
- Wilcox, D. (1989), "The Sustainability of Government Deficits: Implications of the Present Value Borrowing Constraint", *Journal of Money, Credit and Banking*, 21 (3), pp. 291-306.
- Woodford, M. (1995), "Price Level Determinacy without Control of a Monetary Aggregate", *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 43, pp. 1-46.