



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE ECONOMÍA

**MEDICIÓN DE RIESGO CRÉDITO USANDO EL
MODELO KMV:**

APLICACIÓN MULTISECTORIAL

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN ECONOMÍA

P R E S E N T A:

ALEJANDRA ANAYA VILLAFAÑA

DIRECTOR DE TESIS:

MTRO. GABRIEL RODRÍGUEZ GARCÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., 2023





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi mamá,

Porque sin ti no lo hubiera logrado, porque tú me diste la oportunidad de tener este presente y poder mejorar mi futuro, por ser mi apoyo y mi soporte en todo momento, porque solo necesito mirarte para saber que todo es posible en esta vida, porque eres la mujer más poderosa de este mundo.

Porque solo Dios, tú y yo sabemos lo que hemos pasado, porque te amo con todo mi ser y espero que la vida me dé para poder compensarte todo.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	5
JUSTIFICACIÓN	7
HIPÓTESIS	8
OBJETIVOS	9
Objetivo general	9
Objetivos particulares	9
I. RIESGOS FINANCIEROS	10
1.1 Conceptualizando el riesgo	10
1.2 La medición del riesgo y su evolución	11
1.3 Los riesgos financieros	12
1.4 Tipos de riesgos financieros	14
1.4.1 Riesgo de mercado	14
1.4.1.1 Riesgo de renta variable	15
1.4.1.2 Riesgo de tasa de interés	16
1.4.1.3 Riesgo por tipo de cambio	21
1.4.1.4 Riesgo de precios de <i>commodities</i>	21
1.4.2 Riesgo de Crédito.....	22
1.4.2.1 Riesgo de crédito en bonos.....	23
1.5 Riesgo de liquidez	26
1.6 Riesgo operacional	27
1.7 Riesgo legal y regulatorio	28
1.8 Riesgo de negocio	29
1.9 Riesgo estratégico	30
1.10 Riesgo de reputación	31
II. LA IMPORTANCIA DEL RIESGO CREDITICIO	33
2.1 Importancia del riesgo de crédito y de su medición	33
2.1.1 Crack de los tulipanes en Holanda. La primera burbuja económica.	36
2.1.2 Desastre financiero: Argentina 2001	37
2.1.3 La crisis de los créditos <i>subprime</i>	38
2.2 Mercados financieros y la taxonomía de riesgo para bonos	39
2.2.1 Mercado de renta variable	39

2.2.2 Mercado de derivados	42
2.2.3 Mercado de inversiones alternativas	44
2.2.4 Mercado de renta fija	46
2.2.5. Las agencias de calificación	56
III. MODELOS DE RIESGO DE CRÉDITO	58
3.1 Modelos tradicionales	58
3.1.1 Coeficiente de capital del Comité de Basilea	59
3.1.2 El modelo Z – Score de Altman.....	63
3.2 Modelos modernos.....	67
3.2.1 El modelo CreditMetrics™ de J.P. Morgan	69
3.2.2 El modelo Credit Risk+ de Credit Suisse.....	75
3.3 Comportamiento de la tasa de incumplimiento	81
3.4 Modelos estructurales	83
3.4.1 El modelo de Black y Scholes	84
3.4.2 El modelo de Merton.....	92
3.4.3 El modelo KMV de Moody’s.....	97
IV. APLICACIÓN DEL MODELO KMV	104
4.1 Insumos del modelo.....	104
4.2 Proceso y aplicación.....	105
4.3 Resultados Crisis económica 2008.....	106
4.3 Resultados periodo post crisis	114
4.3 Resultados 2020	121
CONCLUSIONES.....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	136
REFERENCIAS	133

INTRODUCCIÓN

Desde hace algunas décadas se ha escrito una cantidad importante de textos acerca del riesgo de crédito; de la misma manera, se han ido desarrollando modelos cuyo propósito es entender y obedecer las exigencias del mercado financiero y las condiciones que el mismo impone.

El creciente interés por el estudio del riesgo de crédito se explica por los nuevos retos a los que se enfrentan las instituciones financieras y los inversionistas, siendo uno de los mayores desafíos la inestabilidad que caracteriza a los mercados financieros y su sensibilidad ante cualquier evento relacionado o externo.

Las condiciones del sistema financiero han obligado a que se preste más atención en el desarrollo de herramientas cuantitativas que permitan hacer estimaciones oportunas y proporcionen de manera anticipada información acerca del deterioro de las contrapartes. La detección temprana de un detrimento en las condiciones de una compañía es fundamental para minimizar pérdidas económicas en una inversión. Asimismo, la crisis financiera de 2008 generó fuertes cuestionamientos acerca de la administración de riesgos en las instituciones financieras, haciéndose evidente la importancia de emitir regulaciones que establezcan estándares mínimos de cumplimiento en la administración de riesgos. En general, existe la necesidad de evaluar correctamente el riesgo de incumplimiento inherente a las operaciones financieras, puesto que cada vez se vuelven más impersonales y sofisticadas.

El riesgo de crédito se define como la pérdida potencial ocasionada por el hecho de que una contraparte incumpla con sus obligaciones de acuerdo con los términos inicialmente pactados. El concepto es generalmente asociado con el sector bancario, sin embargo, los agentes se ven expuestos en otros contextos, tales como invertir en bonos o acciones, ventas a plazo o un préstamo familiar, estas situaciones involucran un compromiso de pago y por tanto, existe probabilidad de incumplimiento de la contraparte.

En este sentido, la medición del riesgo de crédito surge por la necesidad de conocer, estimar y controlar las pérdidas a las que un agente se expone como consecuencia de sus operaciones. La administración de riesgos de crédito cobra gran relevancia en la actualidad al darle seguridad y confianza a los emisores del crédito, pretendiendo mayor estabilidad en el sistema financiero. Entre las herramientas y modelos para estimar el riesgo de que incumpla una contraparte, se encuentra el modelo KMV de Moody's, el cual es una alternativa para determinar la probabilidad de incumplimiento de las empresas.

El asunto que plantea el presente trabajo es la aplicación empírica del modelo KMV utilizando un grupo de empresas que ya se han visto en situaciones de *default* en años anteriores y otras que han visto afectada su situación financiera derivado de la pandemia mundial presentada en 2020 por el COVID-19. Para lo cual, se estimarán los indicadores claves del riesgo de crédito, entre los que se encuentran la distancia al *default* y la probabilidad esperada de incumplimiento.

Para cumplir con el propósito planteado, el trabajo se divide en cuatro capítulos, los cuales se resumen como sigue:

El primer capítulo comienza dando una explicación integral del riesgo como un factor inherente en las acciones cotidianas del ser humano, posteriormente, se introduce al contexto de las finanzas y se ofrece una explicación de los riesgos financieros a los que están expuestos los participantes de los mercados financieros.

El capítulo segundo destaca la importancia del riesgo de crédito en las operaciones celebradas en el sistema financiero, así como algunos de los eventos de la historia económica que advierten la trascendencia de una apropiada gestión del riesgo de incumplimiento y las consecuencias que pueden traer a la estabilidad del sistema financiero y la economía. Asimismo, en este apartado se presenta la taxonomía de los mercados financieros y su composición con el propósito de resaltar el alcance que han logrado en la economía mundial.

El capítulo tercero propone una clasificación de los modelos de riesgo de incumplimiento, para desarrollar los principales supuestos y resultados de algunas de las metodologías más empleadas en el medio. En este apartado se detalla el sustento metodológico del modelo estructural KMV de Moody's, objeto de este trabajo.

En el Capítulo IV se define el planteamiento empírico del modelo y se presenta a manera de análisis los resultados de la aplicación para grupos de empresas que incumplieron con sus pagos en tres momentos diferentes: i) crisis de 2008, ii) periodo post crisis y, iii) pandemia COVID-19. El análisis de los resultados se presenta de manera particular para un mejor detalle. Finalmente, se presentan las conclusiones del marco teórico del trabajo y de la aplicación del modelo.

JUSTIFICACIÓN

A lo largo de la historia se han presentado diversos hitos a nivel mundial que han puesto en evidencia, no solo las ventajas, sino la necesidad de contar con una oportuna administración de los riesgos financieros. Al respecto, la medición del riesgo crediticio destaca por su eficacia para mitigar las pérdidas potenciales ante un incumplimiento de pago, siendo el cimiento de los sistemas bancarios nacionales e internacionales, impulsado por las normas emitidas por el Comité de Basilea. Adicional a lo anterior, el riesgo de crédito se considera como vulnerable ante su facilidad de originar un efecto domino en más de un agente financiero.

Diversas metodologías se han ofrecido como solución para la gestión del riesgo crediticio, no obstante, el presente trabajo propone al Modelo KVM de Moody's como un modelo eficiente para su gestión. Lo anterior, derivado de que su metodología tiene como base el Modelo Black & Scholes de valuación de opciones, mismo que es usado en el mundo financiero, asimismo, la metodología de Moody's tiene como *inputs* información que es pública para las empresas que cotizan en bolsa, tales como i) el precio de las acciones, ii) volumen de capitalización y, iii) el valor de su deuda.

Por otra parte, el Modelo KVM de Moody's se diferencia de otras metodologías ya que sugiere una medición integral al incorporar en el cálculo la percepción que en ese momento tiene el mercado sobre la empresa valuada, así como los antecedentes que ofrece la información de la empresa a través de sus Estados Financieros. En esencia, el Modelo KVM deriva correlaciones de incumplimientos a partir de los rendimientos de activos, donde los valores históricos de los activos son reconstituidos a partir del precio de mercado de las acciones y el valor de los instrumentos emitidos de deuda se consulta en el balance de la empresa a evaluar. Lo anterior, podría considerarse contrario a otros modelos, que tienen como base las calificaciones de riesgo emitidas por las Agencias de Calificación, mismas que no suelen actualizarse en periodos amplios y que podrían no estar reflejando la situación vigente de la empresa, tal como ocurrió en la crisis financiera del 2008 o en el periodo de pandemia COVID-19.

La contribución que esta investigación persigue alcanzar, es ofrecer un entendimiento y dimensionamiento de la importancia del riesgo de crédito, más allá de una definición. Lo anterior, conllevará a presentar al lector las virtudes de diversas metodologías para el riesgo de crédito, para finalmente, plantear la aplicación de un modelo de riesgo de crédito en particular y estimar un incumplimiento crediticio futuro a fin de mitigar posibles pérdidas. Por medio del KVM de Moody's, se conocerá la veracidad del modelo en la estimación del riesgo de crédito de diversas empresas que cayeron en incumplimiento en diversas coyunturas económicas.

HIPÓTESIS

El Modelo KMV ofrece una solución en la medición de riesgo de crédito para las instituciones financieras y para los inversores particulares, implicando una oportuna estimación del incumplimiento crediticio en épocas de coyuntura económica y de estabilidad financiera.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar el marco teórico y práctico y la importancia en la medición del riesgo crediticio en el contexto de un inversionista en particular y de una economía en general, aplicando el Modelo KMV de Moody's para conocer la precisión del modelo en la estimación del incumplimiento crediticio.

Objetivos particulares

- Revisar las formulaciones teóricas y metodológicas de la teoría de riesgo de crédito y su aplicación en la estimación del incumplimiento.
- Ofrecer un enfoque general y accesible de la teoría del riesgo de crédito, mediante la definición de los riesgos financieros que un participante de mercado enfrenta.
- Conocer los hitos relevantes que han marcado la importancia del riesgo de crédito y contribuido en su medición.
- Exponer los principales supuestos y resultados de los modelos de valuación del riesgo de crédito, considerando las metodologías más aplicadas en su gestión.
- Elaborar una herramienta que facilite el cálculo del riesgo de crédito para empresas públicas, tomando como base la metodología KMV de Moody's.

I. RIESGOS FINANCIEROS

El presente trabajo tiene como finalidad abordar de manera práctica un modelo de riesgo de crédito y evaluar su viabilidad, no obstante, para poder estar en condiciones de llegar a ese punto, es necesario conocer qué es el riesgo. Por lo anterior, el presente capítulo tiene como objetivo primeramente entender el concepto común del riesgo, lo cual facilitará familiarizarlo en el contexto económico, para finalmente, exponer los riesgos financieros a los que se enfrenta un inversionista.

1.1 Conceptualizando el riesgo

Es difícil realizar una definición precisa del riesgo dado que puede considerarse un término ambiguo y complejo. La palabra riesgo proviene del italiano *riscare* que significa “atreverse” (Banco de México, 2005). Considerando esta definición, el riesgo es una elección y no un resultado aleatorio.

El riesgo es tan antiguo como la existencia de la raza humana, no obstante, el concepto es relativamente reciente. Si bien las sociedades antiguas contaban con una noción de actividades de incertidumbre, principalmente juegos de azar, no existía el concepto del riesgo, incluso era común que existiera la creencia que los eventos ocurridos eran por deseo de seres sobrenaturales. Fue a partir del desarrollo matemático y estadístico que el riesgo fue introduciéndose en el terreno de la ciencia hasta convertirse hoy en día en uno de los principales catalizadores de la sociedad moderna.

Los individuos están rodeados de riesgos en sus actividades diarias, siempre existe la posibilidad de que algo salga diferente a lo planeado. Cuando un individuo considera tomar una decisión evalúa su costo-beneficio así como sus ventajas y desventajas, es decir, realiza un análisis de riesgo. El riesgo es inherente a la vida humana y muchas veces no se es consciente del mismo, no obstante, los individuos lo integran automáticamente al decidir realizar una elección.

El riesgo de cualquier actividad consta de dos factores: i) la posibilidad de que ocurra un resultado no favorable y ii) la magnitud de éste resultado; por lo tanto, mientras mayor sea la posibilidad de ocurrencia y la pérdida potencial, mayor será el riesgo al que se está expuesto.

La prevención de riesgos ha tomado gran importancia en el sistema económico, guiando una amplia gama de toma de decisiones que vienen desde el gobierno, empresas y personas. La administración pública toma decisiones en salud, educación, seguridad, economía, comercio exterior, etc.; cuando el gobierno decide manipular las tasas de interés, lanzar Cetes de la tesorería o firmar un nuevo tratado comercial, lo hace buscando beneficios económicos, sociales y políticos. Por su parte, las empresas toman decisiones cuando abren una nueva sucursal, lanzan un nuevo producto o contratan un empleado; los bancos asumen riesgos cada vez que dan una tarjeta de crédito y cuando el cliente dispone dinero.

Un individuo común asume riesgos al tomar decisiones, ya sea andar en bicicleta, buscar nuevo trabajo, contratar una hipoteca, comenzar un negocio, pasarse un alto, etc. La lista de decisiones y de riesgos que rodea a la sociedad moderna es infinita, desde hacer la guerra hasta planificar una familia. Y todos ellos lo hacen con la expectativa de obtener beneficios, nadie se arriesga con la perspectiva de perjudicar su situación actual.

La manera de enfrentarse al riesgo depende de la personalidad de cada individuo. Habrá quién tenga apetito y se expongan constantemente mientras que también habrá quien sea averso e intente evitarlo. El riesgo existe en cada decisión que se toma, la magnitud del mismo varía dependiendo del contexto y de los agentes que intervienen, pero no porque éste sea pequeño debe ser evadido. Es importante ser consciente de él, evaluar todas las alternativas y tomar la decisión que permita tener el mejor resultado posible.

La capacidad para gestionar el riesgo y tomar decisiones prospectivas son elementos clave del motor que impulsa el sistema económico actual. Una vez que el individuo toma conciencia de que ya sea ignorándolo o asumiéndolo, el resultado produce un impacto que afecta directamente sus intereses, se ve en la necesidad de reducir los efectos negativos y maximizar los beneficios. Lo anterior, ha llevado al estudio de la gestión de riesgos en los distintos ámbitos cotidianos y económicos de la sociedad.

1.2 La medición del riesgo y su evolución

La medición del riesgo tiene sus inicios en el sistema de numeración decimal indio-árabe, comenzando su desarrollo a partir del renacimiento y registrando su auge con el capitalismo. Peter Bernstein enlista una serie de acontecimientos matemáticos trascendentes en el desarrollo de la medición del riesgo, siendo el primer indicio la teoría de la probabilidad por Blaise Pascal en 1654 (Bernstein, 1998).

La teoría de la probabilidad puede considerarse como el corazón matemático del riesgo, enriquecida por los conceptos de distribución de probabilidad normal, teorema de Bayes, regresión estadística, entre otros; no obstante, sería erróneo situarla como la única herramienta para su medición.

Bernstein considera que la gestión para hacer frente al riesgo depende tanto de la medición probabilística como de la racionalidad del ser humano. El modelo de elección racional es uno de los principales supuestos en la economía moderna y fue inicialmente planteado por Daniel Bernoulli en 1738. La tesis dice que los agentes tienden a tomar decisiones con el objetivo de maximizar su utilidad esperada y reducir sus riesgos; en otras palabras, los individuos tienden a evitar eventos cuyos resultados son pérdidas (Bernstein, 1998).

Cuando un individuo decide usar el auto y se coloca el cinturón de seguridad, no lo hace con el propósito de tener un accidente; cuando sube a un avión no es con el deseo de que este se desplome en medio de la nada; cuando compra un electrodoméstico no es con la intención de que no funcione; o al menos, eso es lo que dice el supuesto de racionalidad.

John Coates afirma que el razonamiento humano y la toma de decisiones están completamente conectados con el cuerpo, y la combinación de ambos determina la manera en que un individuo enfrenta el riesgo (Coates, 2013). En la universidad, cuando los alumnos preguntaban a los profesores de finanzas qué se necesitaba para ser *trader*, estos respondían que era cuestión de “estómago”.

La teoría dice que la misma gestión de riesgos anima a los individuos a tomar riesgos que de otra forma no asumirían. Por ejemplo, los cinturones de seguridad alientan a los conductores a conducir de manera más rápida; las agencias aseguradoras hacen que los individuos sean más propensos a aceptar riesgos sabiendo que tienen un seguro de respaldo que les permitirá recuperar parte de sus potenciales pérdidas (Bernstein, 1998, pág. 335).

La probabilidad de ocurrencia se basa en la información disponible de cada evento; en un juego de dados un jugador tiene la información necesaria para tener una estimación certera. No obstante, en la vida real nunca se tiene toda la información disponible y los individuos deben hacer uso de su razonamiento inductivo para tomar la mejor decisión; para eso, suelen tomar como referencia la evidencia con la que se cuenta, es decir, el comportamiento histórico de los hechos, ya que es fácil asumir que el futuro se parecerá al pasado, a lo ya conocido. Un individuo optará por salir de casa con paraguas en verano más que en invierno, al igual que preferirá viajar en un avión que ya ha realizado varios vuelos a otro de una aerolínea nueva que realiza su primer viaje. Si no, que alguien explique el origen del famoso refrán “*Más vale malo conocido que bueno por conocer*”.

Con su hipótesis de racionalidad, Bernoulli transformó la medición del riesgo en un proceso que contempla las decisiones subjetivas de los individuos cuando los resultados son inciertos. En la medición del riesgo, tanto la probabilidad como la subjetividad son esenciales y complementarios, ninguno es suficiente por sí mismo. John M. Keynes, en un tratado de probabilidad mencionó: “Existe una relación entre evidencia y el evento considerado, pero no es necesariamente medible” (Bernstein, 1998, pág. 202).

1.3 Los riesgos financieros

El mismo concepto de riesgo expuesto anteriormente es al que se enfrentan los inversionistas en los mercados financieros. En este caso, se refiere a la incertidumbre que existe sobre el valor futuro de los activos y el análisis de costo beneficio se traduce en los rendimientos esperados de los instrumentos financieros, lo anterior, se puede ejemplificar con los derivados. Los instrumentos derivados funcionan como una cobertura de riesgo sobre otro activo subyacente, lo que los convierte en una especie de cinturón de seguridad para los inversionistas; sin embargo, estos agentes han alterado su propósito empleándolos también como vehículos especulativos.

Los agentes tratan de conocer la mayor información posible sobre sus inversiones para tener una mejor gestión del riesgo. Todos los eventos tienen evidencias empíricas, en las finanzas la mejor evidencia es el valor de los activos y su comportamiento histórico. Retomando el ejemplo del individuo y su paraguas, un inversionista preferirá comprar una

acción que registra una tendencia alcista a otra cuya tendencia ha sido negativa por un largo periodo.

El riesgo en un juego de dados se traduce en que el resultado sea diferente al número por el que se apostó, en las finanzas el riesgo está en que el valor de los activos varíe de manera que genere pérdidas al inversionista; si se compra una acción hoy, siempre se puede vender mañana pero ¿A qué precio? ¿Mayor o menor del precio de compra? Un inversionista racional siempre buscará que sea a un precio mayor.

El desconocimiento de saber qué pasará con el valor de la acción en el futuro se llama incertidumbre. La variación en el rendimiento de los activos es lo que en la jerga financiera se conoce como volatilidad. La volatilidad es el *proxy* de incertidumbre por lo cual es el principal indicador de la medición del riesgo financiero.

Los mercados de valores son considerados como un gran casino de juegos de azar, donde los jugadores son los inversionistas, los juegos los activos y las apuestas se dan entorno a su valor futuro. Estas apuestas y la especulación que generan, son de las principales causas que hacen que los mercados financieros sean volátiles. En el caso de las acciones no tienen fecha de vencimiento, la única forma en que los inversores pueden liquidar su posición es vendiendo sus acciones a otros inversionistas, pero ¿y si no las quieren comprar? Todos dependen de las decisiones y el poder de compra de los demás. Por el contrario, los bonos o los contratos de crédito sí tienen pactada una fecha de vencimiento futura pero, ¿Y si la empresa quiebra antes? ¿Si el inversionista necesita su dinero con antelación?

Por tanto, la gestión de riesgos financieros consiste en determinar la variación del rendimiento de los activos con el propósito no solo de minimizar las pérdidas, si no de obtener beneficios. La varianza es la herramienta estadística empleada en cuantificarlo, ya que describe qué tanto los rendimientos oscilan alrededor de su promedio. La varianza se ha convertido en el sinónimo de la volatilidad de activos y, por tanto, del riesgo de una inversión.

Como se mencionó en líneas anteriores, Bernstein expone una serie de acontecimientos que tuvieron gran incidencia en el desarrollo de la medición del riesgo, entre los que destacan la teoría de probabilidad, distribución normal, regresión estadística, teoría de selección de cartera de Harry Markowitz, teoría de juegos de Von Neumann y Oskar Morgenstern, entre otros. El acontecimiento más reciente mencionado por Bernstein consiste en la teoría moderna de precios de opciones desarrollada por Fischer Black y Myron Scholes (Bernstein, 1998).

El artículo escrito por Black y Scholes fue enviado a *The Journal of Political Economy* en 1970 y a la Revista de Economía de Harvard, no obstante, fue rechazado bajo el argumento de que había “muchas finanzas y poca economía” y fue hasta 1973 que lo publicaron gracias a la intervención de prestigiosos académicos en la revista de la Universidad de Chicago. El artículo resultó ser una de las investigaciones más influyentes jamás publicadas en el campo de la economía y las finanzas (Bernstein, 1998, pág. 326).

El modelo de variación de opciones de Black & Scholes es la base teórica del modelo para medir el riesgo de crédito que éste trabajo pretende plantear. Para cumplir con tal propósito, el presente se permite abordar primeramente los diferentes riesgos financieros a los que están expuestos los agentes en la economía moderna, para después plantear los modelos pioneros en la gestión de riesgo de incumplimiento.

1.4 Tipos de riesgos financieros

Los agentes financieros se ven expuestos a más de un riesgo, entre los principales se encuentran: riesgo de mercado, riesgo de crédito, riesgo de liquidez, riesgo operacional, riesgo legal y regulatorio, riesgo de negocio, riesgo estratégico y riesgo de reputación (Global Association of Risk Professionals, 2016). Los factores de riesgo conocidos están presentes dentro de esta tipología.

A continuación, se dará una breve explicación de cada uno de los riesgos que amenazan al sistema financiero.



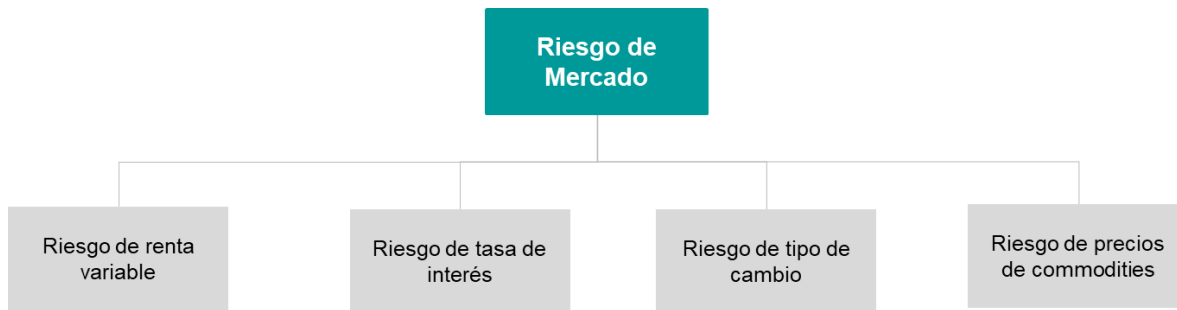
Fuente: Elaboración propia con base en (Global Association of Risk Professionals, 2016)

1.4.1 Riesgo de mercado

El riesgo de mercado se refiere a la pérdida potencial en el valor de un portafolio que puede sufrir un inversionista debido a los movimientos adversos en el mercado, sobre todo en los factores de riesgo del instrumento en cuestión.

Este riesgo puede subdividirse en categorías más específicas; como se muestra en la figura 1.2, existen cuatro tipos principales de riesgo de mercado: riesgo de renta variable, riesgo de tasa de interés, riesgo de tipo de cambio y riesgo de precios de commodities.

Figura 1.2 Subdivisión del riesgo de mercado



Fuente: Elaboración propia con base en (Global Association of Risk Professionals, 2016)

1.4.1.1 Riesgo de renta variable

Este tipo de riesgo está relacionado con la volatilidad que presentan los instrumentos de renta variable. Se refiere principalmente a la sensibilidad que pueden tener las acciones ante los cambios en los índices bursátiles o en las condiciones del mercado financiero que determinan su precio.

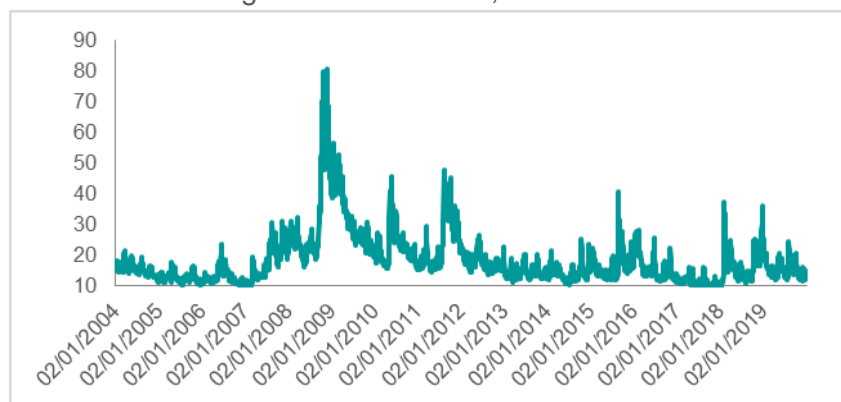
El precio de una acción se determina, como en cualquier mercado, en función de la demanda y oferta. En épocas de incertidumbre la volatilidad de los mercados aumenta y generalmente hace que el precio de las acciones baje, ya que más personas están dispuestas a vender que a comprar.

La volatilidad de los mercados ha ido en aumento en al menos las últimas tres décadas, Michael Lewis comenta que la volatilidad de los precios en las bolsas estadounidenses fue entre 2010 y 2013 un 40% más elevada que la existente entre 2004 y 2006 (Lewis, 2014). La innovación tecnológica, globalización e integración de los mercados pueden ser algunas de las razones; es por tanto que se resalta la importancia de estimar los riesgos que se corren al adquirir un activo.

Lo anterior puede verse a través del indicador Chicago Board Options Exchange Market Volatility Index (VIX) en el periodo citado. Tal como se observa en la Figura 1.3, del 2010 a 2013 el VIX fue superior al periodo de 2004 a 2006, registrando una cifra de casi 50 puntos durante el primer ciclo, mientras que en el segundo apenas superó los veinte. Es de señalar que si bien las cifras más altas alcanzadas por el índice (81 puntos) se registraron durante 2008 – 2009, fue debido a la crisis financiera desencadenada por el colapso de la burbuja inmobiliaria en el mercado de Estados Unidos y la inestabilidad que la misma conllevó.

El VIX busca medir la volatilidad del mercado de opciones basados en ciertas series de referencia. Está correlacionado con el S&P 500, por lo que en los momentos de alta volatilidad el VIX alcanza una cifra elevada mientras que el S&P registra caídas significativas; esto refleja que en el mercado existe una situación de pesimismo que ocasiona fuertes movimientos en los mercados bursátiles. Por el contrario, si el VIX está en niveles bajos indica que en el mercado hay confianza y estabilidad.

Figura 1.3 Índice VIX, 2004-2019



Fuente: Elaboración propia con información de Yahoo Finance.

1.4.1.2 Riesgo de tasa de interés

El riesgo por tasa de interés es el riesgo de que el valor de un activo de renta fija cambie debido a una variación en las tasas del mercado. La relación entre el valor de estos activos y de las tasas de interés es inversa; si los tipos de interés aumentan, el valor de las inversiones de renta fija, como los bonos, caerá y viceversa.

Este riesgo puede considerarse como uno de los más importantes dentro del mercado ya que su gestión es de los principales determinantes en las ganancias o pérdidas de una inversión. Específicamente, el valor de un bono o de una cartera de deuda será determinado por el tipo de interés en que estén valuados.

En portafolios más elaborados, el riesgo por tipo de interés adquiere una mayor complejidad ya que la cantidad por la cual los valores aumenten o decaigan dependerá del vencimiento del bono y del flujo que éste genere, de ahí la importancia de tener una cartera diversificada. Un bono con vencimiento al corto plazo aminoraría este riesgo.

El precio de un bono cuyo cupón está en función de una tasa de referencia, por ejemplo la Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) a 28 días, dependerá de los movimientos de dicha tasa. Si la TIIE aumenta, el precio del bono disminuirá debido a la relación inversa que guarda el precio de un bono con la tasa de interés. La explicación es que su precio es el valor presente de los flujos futuros que generará el instrumento; consecuentemente, a medida que aumentan las tasas el precio tiende a variar negativamente compensando la nueva tasa de interés requerida por el mercado.

En México, el banco central es el encargado de determinar las tasas de referencia, siendo éstas uno de los principales instrumentos de política monetaria. Las tasas de México están interconectadas con las estadounidenses, por lo que si la Reserva Federal decide ajustar la suya es probable que la tasa mexicana también cambie; de ahí la importancia de monitorear no sólo las decisiones del país sino también las internacionales.

1.4.1.2.1 Determinación de la tasa de interés

A lo largo de la historia económica, se han establecido diferentes enfoques para determinar la tasa de interés así como sus repercusiones en la economía, entre ellos, se

encuentran principalmente la teoría monetarista, keynesiana y la síntesis neoclásica. Independientemente de los argumentos de cada una de las corrientes, lo cierto es que la tasa de interés juega un papel determinante y estructural dentro de la dinámica de los mercados y de la economía en general.

A continuación, se expondrá brevemente la concepción de la tasa de interés que consideran las corrientes antes mencionadas.

a) La tasa de interés según los monetaristas.

El monetarismo es una corriente de pensamiento económico que se basa en la teoría cuantitativa del dinero y se ocupa de los efectos del mismo sobre la economía. De igual forma, se distinguen por su postura librecambista y su oposición a la intervención del Estado en las decisiones económicas.

El monetarismo ha tenido grandes autores desde sus orígenes en el siglo XVIII con David Hume y John Stuart Mill; sin embargo, no fue hasta finales del siglo XIX cuando adoptó una expresión matemática en los escritos de Irving Fisher, Alfred Marshall y Milton Friedman. La idea principal de los monetaristas pre keynesianos es que la tasa de interés está determinada por el ahorro y la inversión y que por tanto es independiente a la cantidad de dinero en el mercado (Mántey, 1994).

Estos teóricos se han distinguido por su posición referente a la neutralidad del dinero y los efectos que esta afirmación trae sobre la tasa de interés. Para ellos, la tasa de interés se considera como una recompensa por el ahorro y depende, por el lado de la demanda, de la productividad del capital y, por el lado de la oferta, de los fondos de inversión en el mercado, dada las preferencias de los consumidores por el ahorro. En otras palabras, la tasa de interés se determina por el ahorro y la inversión independientemente de la cantidad de dinero que exista; en este sentido, fue definida como un fenómeno real de la economía.

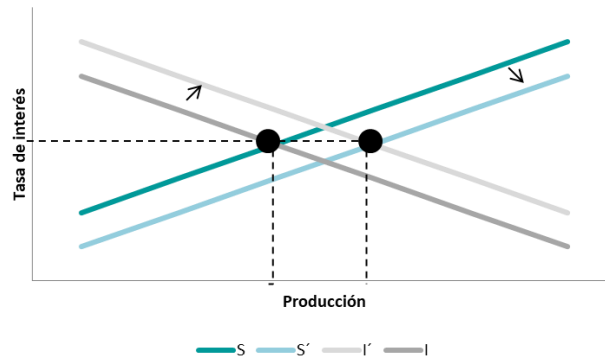
Los pre keynesianos la consideraban como cualquier otro precio que se determina cuando la demanda es igual a la oferta. Por tanto, la tasa de interés se vuelve el precio que equilibra la demanda de inversiones con la oferta del ahorro.

Los supuestos principales bajo los que se encuentra esta teoría son precios flexibles y recursos móviles, lo que garantiza que en todo momento existe pleno empleo de los factores productivos. Bajo estos supuestos, una variación de la tasa no afecta la inversión, el ahorro o la producción real de una economía. El único efecto que tiene es sobre los precios y el ingreso nominal; es decir, genera inflación (Mántey, 1994).

Los clásicos argumentaban que el incremento en la oferta monetaria aumenta el ahorro y la inversión, de manera que la tasa de interés real permanece en el mismo nivel debido a que los factores que la determinan (la productividad del capital y la preferencia de los ahorradores) no dependen de la cantidad de dinero en circulación; dicha tasa de interés sería denominada por Wicksell como la “tasa de interés natural”. Tal como se muestra en la figura 1.4, el aumento de la oferta monetaria eleva la inversión de I a I' al igual que

haría que el ahorro aumentará en la misma proporción de S a S' , ocasionando que el nivel de la tasa de interés permanezca igual.

Figura 1.4 Determinación de la tasa de interés en una economía cerrada.



Fuente. Elaboración propia con base en (Mántey, 1994).

De esta afirmación se desarrolla el concepto de neutralidad del dinero, el cual significa que un cambio en la cantidad de dinero afecta sólo a las variables nominales¹ sin modificar las variables reales.² Una de las consecuencias inmediatas de esta conclusión es la ineficacia de la política monetaria y la incompetencia del gobierno de influir en la economía a través de ella.

Para Fisher y Friedman, monetaristas de la corriente de Cambridge, la tasa de interés real depende también de la tasa de ganancia que pueden obtener destinando el capital a un uso productivo. Dichos autores consideran que un movimiento del dinero no influye sobre la tasa de interés real, solamente afecta a la tasa nominal³ al modificar las expectativas de inflación.

A pesar de las críticas que ha tenido el pensamiento monetarista, ha sido pionero en distintos momentos de la economía y eje fundamental en la política económica de algunos países. La teoría monetarista de Friedman ha sido base en las acciones tomadas por la Reserva Federal de Estados Unidos.

b) La tasa de interés según Keynes

John M. Keynes es uno de los economistas más influyentes del siglo XX puesto que marcó un paradigma importante en la historia del pensamiento económico a partir de la Gran Depresión de los años treinta. El keynesianismo ganó partida ante la incapacidad de la teoría clásica para explicar las causas de la crisis y su falta de soluciones para salir de ella. La teoría keynesiana significó la respuesta a estas interrogantes y la intervención que el Estado necesitaba para salir de la crisis.

El principio central del keynesianismo fue abogar por la intervención del gobierno como una solución para estabilizar la economía, descalificando la idea del libre mercado que

¹ Ejemplo: precios, salarios, tipo de cambio.

² Ejemplo: empleo, producción real, consumo.

³ La tasa nominal para los monetaristas es igual a la tasa de interés real más la tasa de inflación esperada.

había existido hasta entonces. En cuanto a la tasa de interés, las diferencias con la economía clásica también son contradictorias. Keynes consideraba al tipo de interés como un fenómeno puramente monetario y no apoyaba la idea de neutralidad.

En esta teoría, se define a la tasa de interés como el pago que recibe un agente por renunciar a su preferencia por la liquidez y no como la recompensa por el ahorro. Por lo tanto, la tasa de interés dependía de la preferencia por la liquidez de los individuos y de la oferta monetaria.

Para Keynes, la preferencia por la liquidez se determina por tres motivos (Keynes, 1945):

- i. Motivo transacción. Los agentes prefieren tener dinero en efectivo para realizar sus transacciones económicas comunes.
- ii. Motivo de precaución. Las personas optan por guardar dinero para cualquier imprevisto que se presente.
- iii. Motivo especulación. La gente mantiene dinero líquido aguardando el mejor momento para invertirlo cuando los tipos de interés los favorezcan.

Consecuentemente, la tasa de interés dependería de estos factores.

Asimismo, el gobierno puede influir sobre la oferta de dinero mediante la colocación o retiro de deuda pública y por tanto sobre la tasa de interés (Mántey, 1994). Un aumento de la oferta monetaria causaría una disminución en la tasa incentivando la inversión y ocasionando aumentos en el empleo y en el ingreso real. De esta manera, se consideraba a la tasa de interés como un fenómeno monetario y vulnerable a la cantidad de dinero en circulación, por tanto, Keynes descartaba el concepto de neutralidad del dinero (Keynes, 1945).

Existe un sólo escenario en el que este mecanismo no se desarrollaría y un aumento de la oferta monetaria no influiría positivamente en la economía; este es el llamado “estado de liquidez absoluta”. Este término es referido a la situación donde la tasa de interés se encuentra en su límite mínimo, de tal manera que la preferencia por la liquidez de los individuos tiende a ser absoluta en la espera de que la tasa aumente. En estas circunstancias, ningún aumento en la masa monetaria motivaría la economía ni disminuiría las tasas de interés y los agentes se encontrarían en la trampa de la liquidez. Para salir de este estado, Keynes sugiere la intervención a través de la política fiscal mediante el gasto público (Keynes, 1945).

Esta situación de liquidez absoluta era en la que Keynes decía se encontraba la economía mundial después de la crisis de los años treinta, por lo que era necesario la intervención del Estado para reactivar la economía e incentivar a los agentes. La teoría keynesiana siguió vigente hasta los años setenta, cuando la situación de la economía cambió y la teoría no alcanzaba a explicar los acontecimientos observados.

c) La tasa de interés según la síntesis neoclásica

La síntesis neoclásica es un movimiento académico cuya finalidad fue realizar una síntesis de los clásicos y keynesianos y asumir una posición intermedia. El primer teórico de la síntesis fue John Hicks seguido por Paul Samuelson.

La vertiente monetarista de la síntesis sostiene que la tasa de interés es un fenómeno real determinado por la oferta y demanda de los fondos prestables⁴ y que la oferta monetaria sólo influiría en ella a través de cambios en las expectativas de los precios. El aporte que realizaron los clásicos de la síntesis fue situar el modelo en una economía moderna donde oferta y demanda se manifiesta a través de las compras y ventas de valores en los mercados financieros.⁵ Su conclusión fue que la tasa de interés se establece en el mercado financiero, es decir, en el conjunto del mercado de dinero y el mercado de capitales.

Dicho modelo se expone en la teoría de los fondos prestables, la cual argumenta que la tasa de interés de equilibrio es la que iguale la oferta y la demanda de este mercado, una vez que la oferta está determinada por el ahorro, el desatesoramiento y el incremento en la oferta monetaria; mientras que la demanda es igual a la inversión y el atesoramiento.

Por su parte, la corriente keynesiana de la síntesis sigue considerando a la tasa de interés como un fenómeno monetario en función de preferencia por la liquidez y oferta de dinero, determinando su equilibrio en el mercado de dinero. Una diferencia considerable entre los keynesianos de la síntesis y la teoría general de Keynes, es que los primeros no confían tanto en la capacidad de la política monetaria para intervenir en la economía, debido a que suponen que el ahorro y la inversión no son tan sensibles a la tasa de interés (Mántey, 1994).

En las líneas anteriores, se mencionaron únicamente tres corrientes acerca de las tasas de interés, no obstante, existen otras teorías y un gran número de escritos con diversas explicaciones. Independiente de la teoría que se aplique, lo cierto es que la tasa de interés es uno de los términos financieros más importantes de la economía. Los gobiernos han hecho uso de ella para intervenir en su política interna de manera que los agentes permanecen atentos a los cambios que se realizan sobre ésta. Un ejemplo claro, es la creciente incertidumbre y especulación que se genera en los mercados ante la perspectiva de que Banxico o la Reserva Federal la ajusten unos cuantos puntos.

La tasa de interés adquirió un enfoque diferente en las economías modernas debido a su papel determinante en los mercados financieros, tal como expone la síntesis neoclásica. Sin embargo, no hay que perder de vista que siempre ha sido una variable determinante y motivo de debate desde los inicios de la historia del pensamiento económico. No en vano fue nombrada por Irving Fisher como el precio más penetrante de la economía.

⁴ El mercado de los fondos prestables es aquel donde los ahorradores ofrecen sus fondos en forma de títulos financieros y los inversionistas demandan dichos fondos.

⁵ "Las empresas que demandan fondos para invertir ofrecen acciones, bonos, etc. y los ahorradores proveen los fondos mediante las compras de estos valores" (Mántey, 1994, pág. 152)

1.4.1.3 Riesgo por tipo de cambio

El riesgo por tipo de cambio se presenta cuando los activos adquiridos son emitidos en una divisa distinta a la local. Es el riesgo de que una variación en los tipos de interés ocasione pérdidas potenciales en la cartera de un agente financiero. Este riesgo dependerá principalmente de la volatilidad de las divisas: un inversionista tendrá menos flujos mientras más depreciada se encuentra la divisa en la que está denominado el activo con respecto a su moneda local.

Las compañías o inversionistas cuyos negocios implican un intercambio entre divisas protegen sus activos utilizando estrategias de cobertura, como los instrumentos derivados, para minimizar el riesgo. En contraparte, la especulación cambiaria permite una gran captación de beneficios y aumenta sustancialmente los movimientos de capital internacionales a corto plazo.

Es importante que un agente valore el riesgo por tipo de cambio ya que puede afectar su inversión. Por ejemplo, si un inversor estadounidense adquiere acciones de HSBC en la bolsa de Londres, el rendimiento que estas le generen dependerá del cambio en el precio de las acciones y del cambio en el valor de la libra frente al dólar. Si se supone que las acciones que el inversor adquirió presentaron un rendimiento del 10% pero la libra se depreció por el mismo porcentaje frente al dólar, la variación del tipo de cambio habría anulado el beneficio obtenido por la venta de las acciones. Si en vez de depreciarse el 10% sólo se depreció un 8%, se tiene que el inversionista consiguió una ganancia del 2% por concepto de revalorización de sus acciones.

De esta manera, un inversionista extranjero no podría obtener el mismo rendimiento que un inversor local, aunque estos adquirieran el mismo número de acciones a precios iguales. Al inversor norteamericano no le interesan las ganancias que sus acciones tuvieron en libras, sino le preocupa el rendimiento que tuvieron en dólares. Situación análoga sucede con las compañías que operan comercio exterior.

1.4.1.4 Riesgo de precios de *commodities*

El riesgo de precio en los *commodities* difiere de los otros riesgos en el sentido de que la oferta de estos instrumentos está concentrada en manos de pocos oferentes, por lo que los precios de las materias primas suelen tener poca liquidez. Otros factores que afectan a sus precios son los elevados costos del almacenamiento y de transporte, gastos que otros instrumentos no tienen. Por tales razones, los precios de estos instrumentos suelen tener mayor volatilidad que la mayoría de los instrumentos financieros que se negocian.

Los *commodities* se clasifican principalmente en productos no perecederos (metales preciosos y metales básicos), productos básicos (productos agrícolas) y productos energéticos (como el gas o el petróleo). La volatilidad en el precio de un *commodity* dependerá del tipo de activo del que se trate.

Los países cuya economía está basada en estos productos primarios pueden estar fuertemente expuestos a este tipo de riesgo. Por ejemplo, México ha sido un gran exportador de petróleo desde hace décadas y gran parte de sus finanzas públicas se basaban en los

ingresos registrados por este bien. Es por ello que cuando el petróleo cayó de 110 dólares por barril en 2014 a menos de 50 dólares por barril en 2016, el país se vio en problemas económicos que lo llevaron a reestructurar sus finanzas públicas. El Presupuesto de Ingresos y Egresos de la Federación fue reducido significativamente, al igual que el subsidio que daba el gobierno al precio de la gasolina. Los portafolios de inversión que incluyen entre sus activos algunos *commodities*, deben contemplar las especificaciones de sus bienes y emplear las acciones necesarias para aminorar el riesgo al que estos exponen.

Como se ha explicado en los párrafos anteriores, el riesgo de mercado es uno de los principales riesgos a los que se expone un inversionista. La importancia de monitorearlo radica en aminorar las pérdidas causadas por los diversos factores que afectan a los activos y que son inherentes al sistema financiero.

1.4.2 Riesgo de Crédito

El siguiente tipo de riesgo al que se enfrentan los inversionistas es el riesgo de crédito, el cual es motivo de investigación de este trabajo. El riesgo de crédito es el riesgo de que una de las partes sea incapaz de cumplir con sus obligaciones financieras pactadas, ocasionando que la otra parte incurra en pérdidas.

El ejemplo más común de este tipo de riesgo se da cuando se celebra un préstamo entre dos personas y el deudor no paga la deuda o se atrasa en el pago generando una pérdida en el capital del acreedor. La medición del riesgo de crédito tiene como fin estimar la probabilidad y el monto de estas pérdidas y, para su cálculo, es necesario conocer la solvencia financiera del agente al cual se le dará el préstamo.

La naturaleza de los distintos tipos de activos representa una exposición al riesgo diferente. En el caso de los instrumentos financieros su principal fuente de riesgos son los factores de riesgo del mercado en sí, mientras que en el caso de los activos bancarios sus factores de riesgo pueden atribuirse a la calidad crediticia del emisor y la concentración de su cartera en términos de exposición, industria y geografía. Por lo tanto, el riesgo de crédito puede ser visto desde dos puntos de vista: del lado de los activos financieros y del lado de los activos crediticios. El tenedor de un instrumento financiero está expuesto al riesgo de contraparte (o riesgo de emisor); mientras que los activos crediticios tienen una exposición al riesgo de incumplimiento (Elizondo, 2010).

Figura 1.5 Exposición al riesgo dada la naturaleza de activos



Fuente: Elaboración propia con base en (Elizondo, 2010)

Asimismo, el riesgo de crédito debe distinguirse en dos niveles: el individual y el de portafolio. Los elementos para la valuación de riesgos individuales son principalmente la probabilidad de incumplimiento, la tasa de recuperación y la probabilidad de migración. El estudio del riesgo del portafolio se basa en el incumplimiento, la calidad crediticia y la concentración de la cartera.

En un portafolio de inversión es necesario buscar una diversificación adecuada que permita mitigar riesgos mediante la combinación de activos de diferentes características. La correcta combinación de los títulos seleccionados será factor determinante en el desempeño de la cartera.

El modelo para medir el riesgo de crédito dependerá de la naturaleza del activo del que se trate. Los marcos regulatorios como los Acuerdos de Basilea ofrecen metodologías del riesgo de crédito derivado del incumplimiento con el fin de que los bancos cuenten con las reservas necesarias. Asimismo, el riesgo de contraparte en un bono se presenta en distintas maneras, las cuales se explican a continuación.

1.4.2.1 Riesgo de crédito en bonos

El riesgo de crédito está latente en distintos tipos de instrumentos financieros, no obstante, hay algunos que son más vulnerables a él, tal como ocurre con los bonos.

Un bono es un instrumento financiero de deuda que es utilizado tanto por empresas como por gobierno con el fin de obtener financiamiento. Este título es publicado por el emisor y adquirido por un prestamista (inversor); al momento de realizarse la transacción, el emisor se compromete a pagar el valor nominal del bono más los intereses generados en un periodo a una tasa contractual. De esta manera, el emisor consigue fondos directamente en el mercado sin recurrir a intermediarios financieros.

Debido a su naturaleza, el riesgo de crédito en un bono puede descomponerse en cinco tipos principales: riesgo de incumplimiento, riesgo de quiebra, riesgo por degradación, riesgo por *spread* y riesgo de liquidación (Fabozzi, 2007).

El primero se refiere a la incapacidad del deudor o a su negativa de cumplir con sus obligaciones adquiridas por la deuda, ya sean referentes al pago de intereses o el pago del capital. Este tipo de riesgo es el que enfrentan, por ejemplo, los bancos al otorgar un crédito o las personas al prestar una cantidad de dinero a su vecino.

El riesgo de quiebra es la posibilidad de que el emisor de un activo de deuda se vea totalmente imposibilitado a pagarla llegando a una situación de insolvencia. En el caso de que una empresa quiebre, los tenedores de deuda asumirían el control de la compañía por encima de los accionistas.

Por su parte, para comprender el riesgo por *spread* es necesario entender que el rendimiento de un bono tiene dos componentes: un rendimiento similar al ofrecido por los títulos del gobierno más una prima o *spread* que se le da al inversionista por el riesgo que supone adquirir un bono no gubernamental; dicho *spread*, que es atribuible al riesgo de *default*, se denomina como riesgo por *spread*. En la medida en que el riesgo del bono aumente, el *spread* que reciba el inversionista también lo hará.

El riesgo por degradación hace alusión a que un bono baje su calificación crediticia lo cual refleja que la capacidad de pago del emisor es menor. Una baja en la calificación da una señal negativa al mercado y deteriora la confiabilidad de la empresa. Es por tal motivo que las calificaciones crediticias son el primer acercamiento del inversor para conocer el riesgo al que se enfrentan.

El último tipo de riesgo al que se exponen los tenedores de bonos es el riesgo de liquidación, el cual se refiere a que una operación no se concrete en los términos que se esperaban. Los factores que pueden impedir que una transacción se realice pueden ser debido al incumplimiento de una de las partes, a restricciones de liquidez o a problemas operacionales. Este riesgo es mayor cuando los pagos ocurren en distintas zonas horarias, ya que, por las diferencias entre las horas de cierre del mercado puede haber diferencias en los valores de tasas de interés y capitales.

Los cinco tipos de riesgo explicados anteriormente se refieren a los tipos de riesgo de crédito que trae consigo un título de deuda propiamente. Sin embargo, los bonos pueden exponer a un inversor a más de un riesgo, específicamente a siete.

Figura 1.6 Riesgos financieros en bonos



Fuente: Elaboración propia con base en: (Fabozzi, 2007) y (Global Association of Risk Professionals, 2016).

Un bono se enfrenta en el mercado a siete tipos de riesgos financieros: riesgo de crédito, riesgo de mercado, riesgo de reinversión, riesgo de *call*, riesgo de inflación, riesgo de liquidez y riesgo de riesgos (Fabozzi, 2007).

El riesgo de mercado en un bono puede desglosarse en riesgo por tasa de interés y por tipo de cambio, los cuales ya se abordaron con mayor detalle en el apartado anterior. El primero se deriva de cambios en los precios o de la tasa de mercado en sentido adverso para la posición que interesa al inversionista. Si un inversionista desea vender un bono, un aumento de la tasa de interés disminuiría el precio del activo generando una pérdida de capital.

Por su parte, el riesgo por tipo de cambio se tiene cuando los bonos fueron emitidos en una divisa distinta a la local; los cupones recibidos dependerán del tipo de cambio al momento. Un inversionista tendrá menos flujos mientras más depreciada se encuentra la divisa en la que está denominado el bono.

El riesgo de reinversión se refiere a la incertidumbre existente sobre la tasa de interés a la que serán reinvertidos los cupones. Uno de los supuestos básicos acerca del rendimiento de los bonos es que los flujos de efectivo recibidos son reinvertidos a una tasa determinada por el inversionista. Por tanto, la disminución en dicha tasa provocada por los cambios en el mercado se denomina como riesgo de reinversión.

Es importante resaltar que el riesgo de mercado y el riesgo de reinversión tienen efectos contrarios. Un inversionista estará expuesto al riesgo de mercado cuando la tasa de interés sube porque el precio del bono disminuye; por su parte, el riesgo de reinversión existirá cuando la tasa de interés baje ya que el rendimiento de los cupones caerá.

Algunos bonos tienen la característica de ser emitidos con una opción *call*, la cual indica que el título puede ser redimido por el emisor de forma anticipada a su vencimiento. Para el emisor esta opción es una ventaja porque le permite tener la libertad de refinanciar el bono en caso de que en el futuro la tasa de interés del mercado caiga por debajo de la tasa cupón. Sin embargo, para el inversionista la opción *call* tiene ciertas desventajas. El primer riesgo es que no puede saber con certeza los flujos de efectivo que recibirá puesto que desconoce si el emisor llamará el bono; en segundo lugar, dado que el emisor puede ejercer la opción *call* cuando la tasa baje, el inversionista está expuesto al riesgo de reinversión; finalmente, la revalorización del capital de uno bono puede disminuir como consecuencia de que el precio del bono este por debajo del precio de *call*.

El siguiente tipo de riesgo al que se enfrenta un tenedor de bonos es el riesgo por inflación, la cual afecta a los cupones recibidos en términos de poder adquisitivo. Se es más susceptible a este riesgo cuanto mayor sea el plazo del vencimiento del bono.

El riesgo de liquidez se refiere a la dificultad con la que se puede llevar un instrumento al mercado secundario y liquidarlo. Y por último, se tiene al riesgo de riesgos, el cual se define como el desconocimiento de los riesgos asociados a los activos. El riesgo de riesgos es consecuencia de las innovaciones que se han producido en los mercados financieros principalmente por instrumentos cada vez más sofisticados y complejos.

Las condiciones económicas cambiantes son una fuente de riesgos para las instituciones y los inversionistas. En los últimos años han proliferado una gran variedad de instrumentos que aumentan el riesgo de que la contraparte no cumpla con sus obligaciones; estos instrumentos son principalmente los derivados.

En este contexto, en las últimas décadas se han implementado modelos de calificación de cartera y de riesgo de crédito que implican el uso de técnicas probabilísticas y matemáticas cada vez más sofisticadas que han tenido como objetivo principal medir la probabilidad de incumplimiento por riesgo de crédito. Uno de estos es el llamado modelo KMV de Moody's, el cual es propósito de ésta investigación y se explica a detalle en el Capítulo IV del presente trabajo.

1.5 Riesgo de liquidez

El Comité de Supervisión Bancaria de Basilea define a la liquidez como la capacidad de una institución o de un inversionista para financiar aumentos de su volumen de activos y para cumplir sus obligaciones al vencimiento sin incurrir en pérdidas (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2010). El riesgo de liquidez comprende tanto el riesgo por financiación como el riesgo de liquidez por negociación; el primero se refiere a la capacidad que tiene una empresa para generar el efectivo necesario para pagar su deuda, cumplir con sus requerimientos de efectivo y para cubrir su capital de trabajo.

El riesgo por financiación también se puede definir como la probabilidad de que un agente no cumpla con sus compromisos a tiempo debido a que no cuenta con efectivo. La falta de liquidez puede llevar a una empresa a la quiebra. Cuando no cuenta con efectivo

disponible, una empresa comienza a atrasar sus pagos con proveedores y a faltar a sus compromisos con clientes.

Por su parte, el riesgo de negociación es el riesgo de que una institución no pueda realizar una transacción en el mercado debido a que no hay una contraparte que esté dispuesta a aceptarla. Esta situación puede causarle fuertes pérdidas a la empresa debido a que reduce su capacidad para satisfacer cualquier faltante de efectivo mediante la venta de sus activos, en este caso se dice que la empresa tiene recursos poco líquidos.

El riesgo de que la liquidez de un mercado en particular escasee se debe principalmente a que los agentes adopten una posición en común, es decir, que todos quieran comprar y nadie vender o viceversa; en caso contrario, la característica principal de un mercado líquido es que siempre hay agentes dispuestos a comprar y vender, generándose así las transacciones suficientes para que no se produzcan movimientos significativos en los precios.

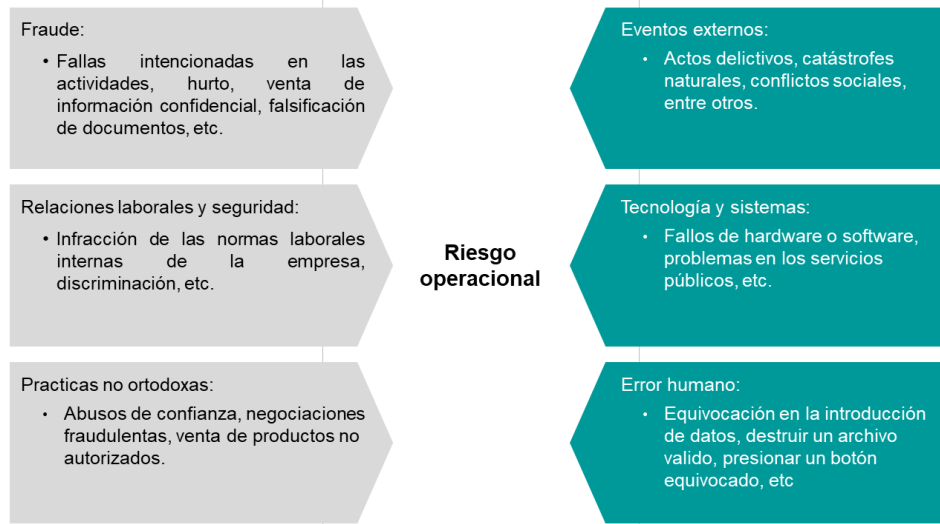
Al igual que el riesgo de crédito, el riesgo de liquidez tiene un papel importante en las instituciones financieras, sin embargo, no fue hasta después de la crisis de 2007 que existió un marco regulatorio específico. La crisis resaltó los problemas de liquidez con los que operaban las instituciones financieras a nivel global y como respuesta se publicó el Acuerdo de Basilea III, mismo que establece las bases para el monitoreo del riesgo de liquidez invitando a las instituciones a apegarse al él.

1.6 Riesgo operacional

Cuando se habla de riesgo operacional, se refiere al riesgo de sufrir pérdidas por fallos en los procesos, personas y sistemas de una empresa, así como a causa de eventos externos a la misma. Es decir, el riesgo operacional engloba los riesgos no financieros a los que se enfrenta una institución.

Es difícil esclarecer una tipología de riesgo operacional puesto que este depende específicamente de las características de una empresa y de sus actividades; no obstante, con los avances en los sistemas informáticos y la evolución de las operaciones de negocio, las empresas cada vez se ven más expuestas a este riesgo. El Comité de Basilea en su artículo titulado *Buenas prácticas para la gestión y supervisión del riesgo operativo* menciona diferentes tipos de riesgos que se presentan en instituciones bancarias, no obstante, no son exclusivas de este sector y pueden ser aplicables a empresas de cualquier actividad (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2003); a saber:

Figura 1.7 Riesgos operativos



Fuente: Elaboración propia con base en (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2003).

El riesgo operacional presenta una gran dificultad para ser cuantificado debido que abarca elementos que no pueden ser establecidos con certeza; su gestión depende de factores propios de la institución tales como su tamaño, actividad, localización, etc. A pesar de esto, es importante que las entidades consideren este riesgo en la gestión operativa.

Las entidades deben de tener un marco regulatorio para el riesgo operacional, preferentemente debe de ser monitoreado por auditoría externa. Asimismo, se deben de tener estrategias y planes de acción claramente definidos puesto que el riesgo operacional se puede dar en cualquier momento.

1.7 Riesgo legal y regulatorio

Estos riesgos están considerados por el Acuerdo de Basilea II como riesgos operacionales y se refieren a la posibilidad de contraer una sanción por incumplimiento a las leyes; o bien, cuando los derechos y obligaciones legales de un trato no están claramente establecidos y son violados por alguna de las partes (Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, 2003).

El ejemplo más común del riesgo legal es el incumplimiento contractual, el cual se presenta cuando una de las partes no cumple con sus obligaciones y es demandada por la contraparte. Las obligaciones sociales también son causas de problemas legales, en especial en compañías dedicadas a temas ligados al medio ambiente (ej. empresas mineras).

Asimismo, el riesgo legal puede presentarse en las relaciones con los clientes, sobre todo en temas asociados con la protección de privacidad. Si un cliente detecta que su información ha sido utilizada para otros fines de los establecidos y no fue advertido de la situación puede litigar contra la institución por mal uso de sus datos.

El riesgo legal es importante considerarlo puesto que todos los negocios de una compañía están expuestos a él y una demanda puede afectar la reputación de la institución.

1.8 Riesgo de negocio

El riesgo de negocio se refiere a los riesgos clásicos que corre una compañía al desempeñar una actividad económica, por ejemplo, la incertidumbre sobre la demanda de productos, el costo de producción o el precio que pueden cobrar por esos productos. En otras palabras, es la probabilidad de que un evento o una decisión afecten positiva o negativamente las operaciones previstas de la empresa (Global Association of Risk Professionals, 2016).

Como es de suponer, los riesgos empresariales dependen de la actividad específica de cada negocio y no existe un marco formal regulatorio como lo hay en el riesgo de crédito o de mercado. Cada quien debe de identificar los riesgos de su negocio y con base en esto crear un plan para administrarlo. Las decisiones estratégicas sobre qué producto lanzar al mercado, qué proveedor contratar, cuál canal de comercialización utilizar o las políticas de inventario, son algunas tareas centrales de la gestión de este riesgo (Global Association of Risk Professionals, 2016).

Ernst & Young publicó un informe de los diez principales riesgos empresariales a los que se enfrentan los negocios en el mundo en los distintos sectores de la economía (Ernest & Young , 2011). Según señalan, los más importantes se concentran en las áreas de regulación y cumplimiento. El informe fue elaborado con base en las perspectivas de empresas multinacionales que son líderes en sus industrias.

Figura 1.8 Principales riesgos de negocios

Tema	Riesgos
Regulatorios y de cumplimiento	Cambios en los reglamentos que afectan la toma de decisiones y la planeación de los negocios.
Acceso a crédito	Disponibilidad del crédito y costos futuros de la deuda.
Recuperación lenta de la crisis	Consecuencias de la crisis financiera.
Administración de talentos	Condiciones del capital humano y sus estructuras de compensación, así como su seguridad social.
Mercados emergentes	Las economías emergentes pueden llegar a tener un mayor peso en el crecimiento global.
Reducción de costos	Sostener costos bajos a pesar de la inflación y de la amenaza de los competidores.
Participantes no tradicionales	Competidores emergentes.
Medio ambiente	Medidas radicales a favor del medio ambiente.
Riesgo de aceptación social y responsabilidad social empresarial	Mantener la confianza de los consumidores.
Realización de alianzas y transacciones	Disminución en el último año en fusiones y adquisiciones.

Fuente: Elaboración propia con base en (Ernest & Young , 2011).

Los riesgos más importantes se concentran en la regulación y el cumplimiento; según se detalla en el informe, las industrias dedicadas a la administración de activos, la banca y los seguros, mostraron especial preocupación en este riesgo por la renovación del marco regulatorio después de la crisis de 2007. Otro caso que se presentó, es el de las empresas del sector primario (petróleo, gas, minería y metales) que deben subsidiar los problemas de liquidez de sus gobiernos cediéndoles parte de sus ingresos. Un ejemplo de esto es Pemex, la petrolera mexicana que por años subvencionó el presupuesto federal.

Los negocios evolucionan y los riesgos a los que se ven expuestos cambian, es por esto que su administración debe de estar en las principales actividades de las compañías. En este contexto, su capacidad de prevención, respuesta y adaptación ante los mercados dependerá de la adecuada gestión de los riesgos empresariales.

1.9 Riesgo estratégico

El riesgo estratégico es aquel que esta inerte a los negocios propios de las empresas y de los cuales existe incertidumbre sobre su rentabilidad futura. Este riesgo se podría confundir con el de negocios, sin embargo, el estratégico se refiere a las estrategias de las compañías, las cuales son decididas y planeadas desde la Dirección General de la misma.

Una estrategia puede ser definida como un conjunto de opciones que pueden posicionar a una organización para crear una ventaja sostenible respecto a sus competidores. Por tanto, los riesgos estratégicos serían los que amenacen con interrumpir la realización de las estrategias planeadas (Deloitte , 2016)

Una empresa puede ejecutar un cambio en la estrategia que toma frente a sus competidores; si resulta exitoso, la empresa se posicionará mejor en el mercado y ganará ventaja con respecto a los demás oferentes. Si la empresa no tiene éxito, entonces sufrirá pérdidas y su reputación frente a los inversionistas se verá afectada.

Un ejemplo muy interesante respecto al riesgo estratégico es el de la compañía Nokia (Global Association of Risk Professionals, 2016), empresa multinacional de tecnología y comunicaciones que en 1999 decidió realizar una fuerte inversión en el nuevo mercado de teléfonos celulares con acceso a internet, destinando el 80% de su presupuesto a diseñar estos teléfonos con capacidades similares a las de las computadoras. Al concentrar su atención y recursos en esta tecnología, Nokia descuido su mercado vigente en ese momento: el de teléfonos de gama media con pantallas a color y con cámaras de baja calidad, dándole oportunidad a Samsung y Motorola para posicionarse como los nuevos líderes. Lo que la empresa consiguió con esta estrategia fue dejar de ser competitivo en el mercado de ese momento y perder fuertes cantidades de inversión.

En 2013, Nokia detectó como principal competidor a Microsoft por lo que decidió incluir su sistema operativo *Windows* en su teléfonos, en lugar de su propio sistema *Symbian*; la estrategia era hacer más atractivo su producto utilizando el sistema de su principal competidor; sin embargo, la competencia en el mercado de los teléfonos inteligentes era

grande y ya incluía a empresas como Apple y Samsung, Nokia no logró ganarse la preferencia de los consumidores. Lo que sí consiguió fue bajar el precio de sus acciones, degradar su calificación crediticia y perder la buena reputación que se había ganado. En resumen, Nokia eligió erróneamente sus estrategias de mercado y con esto perdió participación en el mercado y la confianza de sus accionistas y de posibles inversores.

Los riesgos estratégicos pueden ser difíciles de detectar o de interpretar, no obstante, todas las industrias enfrentan creciente riesgo estratégico en el contexto actual donde existen presiones de índole económicas, regulatorias y tecnológicas. Es por esta razón que las empresas deben tener identificados los pros y contras de las estrategias que toman.

1.10 Riesgo de reputación

El riesgo de reputación está asociado a la percepción que se pueda tener de una institución. Es decir, es el riesgo de que un evento afecte favorable o desfavorablemente la reputación que los *stakeholders*⁶ tienen sobre una compañía. Este riesgo se puede clasificar en dos tipos: i) la percepción de que una empresa puede cumplir sus obligaciones con sus contrapartes y acreedores y, ii) la percepción de que una institución sigue prácticas justas y en base a la ética. La primera forma de riesgo de reputación se refiere principalmente a la confianza que se tiene sobre la institución (Global Association of Risk Professionals, 2016).

La percepción que tienen los *stakeholders* de la compañía es de gran importancia en el mercado, tan es así que fue uno de los temas más discutidos durante la última crisis, cuando después del colapso de Lehman Brothers la confianza en las entidades crediticias se quebró por completo al ver la caída de grandes instituciones que se consideraban sólidas. Y es que si hay un sector donde la falta de confianza puede derrumbarlo todo, es el sector financiero, sobre todo en momentos de incertidumbre.

La segunda forma de este riesgo refiere su relevancia a finales de los años noventa a partir de los fraudes registrados a accionistas y tenedores de bonos de varias corporaciones. A parte de la regulación que se tiene para las prácticas justas, un escándalo de mala *praxis* desacredita completamente a una empresa ante sus *stockholders*.

El riesgo de reputación es una amenaza para las instituciones financieras debido a que su negocio necesita de la confianza de sus clientes, acreedores, reguladores y del mercado en general. Actualmente, existen instrumentos que no tienen esclarecidas sus normas contables y legales, lo cual hace más minucioso el seguimiento de este riesgo. Una buena reputación mejora el prestigio de la institución financiera y contribuye a crear más valor de mercado para la misma. Según el Barómetro de Riesgos del 2005, realizado por la

⁶ Se consideran como *stakeholders* a aquellos grupos que tienen intereses u opinión sobre una empresa. Pueden ser internos (accionistas, propietarios, empleados) y externos (clientes, proveedores, acreedores, sociedad, administración pública, medios de comunicación etc.).

Economic Unit, el riesgo reputacional se colocó como el riesgo que supone una mayor amenaza para las instituciones con el 34%, mientras que el riesgo de mercado y el de crédito solo obtuvieron el 25% para cada uno (Global Association of Risk Professionals, 2016).

Asimismo, el riesgo de reputación ha adquirido una mayor importancia en los últimos años debido al crecimiento de las redes sociales, puesto que cualquiera puede difundir un rumor, cierto o falso, por internet haciendo que este se propague rápidamente.

Las instituciones financieras buscan fortalecer su imagen al público a través de actividades de interés social y ecológico. Al respecto, diez bancos internacionales firmaron el acuerdo de los Principios de Ecuador, donde se gestionan asuntos sociales y ambientales relacionados con proyectos en países emergentes.

El entorno empresarial actual ha generado una creciente presión hacia las compañías, quienes están a la merced de sus distintos grupos de interés. A pesar de que no existe una regulación específica acerca del riesgo de reputación, la importancia que le dan las instituciones financieras es cada vez mayor; no en vano las empresas destinan año tras año una cantidad importante a temas de publicidad.

II. LA IMPORTANCIA DEL RIESGO CREDITICIO

De manera histórica, el riesgo de crédito es el más antiguo y el que mayor importancia ha tenido derivado de las pérdidas económicas que su inadecuado manejo puede ocasionar en una institución. Con el objetivo de dimensionar lo anterior, el presente capítulo tiene como propósito exponer la importancia del riesgo de crédito ya sea para un inversionista, o para una institución financiera. Para cumplir con tal propósito, se retoman tres eventos en la historia que servirán para dimensionar el riesgo de crédito, comenzando con el crack de los tulipanes en Holanda en el siglo XVII y finalizando con la crisis financiera global más reciente en 2008. Adicional a lo anterior, en el contexto del riesgo de crédito, se presenta la clasificación de los mercados financieros y la manera en la que están conformados.

2.1 Importancia del riesgo de crédito y de su medición

El riesgo de crédito resalta su importancia en la actualidad debido a las condiciones cambiantes de los mercados financieros cada vez más globalizados y al desarrollo de diversos instrumentos financieros. La historia económica ha sido testigo de innumerables quiebras corporativas que han puesto en evidencia las consecuencias de una deficiente administración de riesgos. La crisis *subprime* de 2008 exigió mejorar los mecanismos de regulación que disminuyan los riesgos financieros a los que están expuestas las instituciones. Un sistema financiero sólido y estable es la base del crecimiento de la economía de un país.

Las regulaciones más importantes al respecto han sido las emitidas por el Comité de Basilea. Al tiempo que han surgido distintos modelos para medir el riesgo crediticio, entre los que se encuentran el modelo de Merton, el Z-Score de Altman, el modelo CreditMetrics de JP Morgan, Credit Risk+ de Credit Suisse y el modelo KMV de Moody's, que es objeto del presente trabajo. En general, existe una necesidad de evaluar correctamente el riesgo involucrado en las operaciones financieras.

La palabra crédito proviene del latín "*creditum*" que significa "creer en". Según esta definición, el crédito se puede ver como la acción de prestar dinero, o cualquier bien económico, confiando en que será devuelto en el futuro. Sin embargo, ¿sería lógico que los bancos presten dinero por la "creencia" de que los deudores lo pagarán? Si esto fuera así, no existiría el sistema bancario. Una institución bancaria realiza un análisis crediticio del solicitante de financiamiento para revisar su situación financiera y evaluar si tiene la capacidad de pago para hacerle frente a sus obligaciones financieras; no obstante, aun así, no garantiza que el deudor le pagará.

En el caso de los instrumentos financieros ocurre una situación similar. Un inversionista acude al mercado de deuda a comprar bonos emitidos por una empresa con necesidad de financiamiento. El inversionista adquiere los bonos bajo el convenio de recibir un interés con cierta periodicidad y el capital en cierta fecha establecida; sin embargo, ¿qué le asegura al inversor que la empresa le pagará su dinero? En realidad, nada.

Por lo tanto, en toda operación de crédito existe un riesgo de que la contraparte no cumpla con una obligación pactada. Se puede dar el caso que los emisores de deuda reestructuren la operación a un mayor plazo o por un monto menor, de esta manera, el tenedor de deuda podrá recuperar una parte de su capital pero con condiciones diferentes al contrato original, esta situación es considerada como un incumplimiento. La magnitud del riesgo variará dependiendo del monto de la deuda.

De esta manera, el riesgo de crédito surge por la necesidad de conocer y evaluar las posibles pérdidas a las que un tomador de deuda se expone como parte de sus operaciones. La administración de riesgo de crédito cobra gran relevancia en la actualidad al darle seguridad y confianza a los inversionistas pretendiendo lograr mayor estabilidad en el sistema financiero.

El principal escenario donde se resalta la importancia de medir el riesgo de crédito es en el sistema bancario. Un banco es una entidad financiera cuyo principal servicio es captar recursos de los ahorradores y canalizarlos en forma de préstamos a los inversores o cualquier otro agente que requiera liquidez. El banco cobra una tasa de interés por otorgar el crédito y a su vez tiene que compensar al ahorrador con un rendimiento (Freixas & Rochet, 1997).

El sistema financiero y bancario es uno de los principales motores económicos para el desarrollo de un país, debido a que las economías requieren de una base sólida que financie su crecimiento e incentive la inversión. Los grandes proyectos realizados por las empresas e incluso por el gobierno se llevan a cabo en primera instancia con recursos de terceros.

El propósito del sistema financiero está justificado por el papel que desempeñan en la asignación de recursos dentro de la sociedad, ya sea para el consumo de los hogares o para usos productivos. Los bancos contribuyen a la asignación de los recursos a través de cuatro formas, (Freixas & Rochet, 1997):

- i. Proveyendo liquidez al sistema a través del cambio de dinero (ej. cambio de divisas); y suministrando servicios de pago a la sociedad con el fin de simplificar las transferencias de fondos de unos agentes económicos a otros reduciendo a su vez, los costes de transacción.
- ii. Transformando activos mediante la creación de títulos de acuerdo a las necesidades de sus clientes. Por ejemplo, un banco puede transformar el vencimiento de un título convirtiéndolo de corto plazo a largo plazo; también tiene la facultad de emitir un título propio que ofrezca un mejor rendimiento que un activo promedio del mercado.
- iii. Gestionando el riesgo que aqueja a las instituciones bancarias, principalmente el riesgo de crédito, de tasa de interés y de liquidez.
- iv. Procesando y evaluando la información de los prestatarios y supervisándolos una vez que fueron acreedores de un crédito.

El riesgo de crédito en un portafolio bancario se presenta cuando otorga cualquier tipo de crédito a sus clientes, desde una tarjeta de crédito, una hipoteca o un crédito empresarial. Al momento de otorgar este préstamo, la entidad financiera asume el riesgo de que el deudor pueda incumplir con el pago. Es por esto que antes de autorizar una línea de crédito los bancos evalúan y analizan la calidad del deudor, al igual que suele exigir ciertas garantías e imponer cláusulas que le permitan aminorar el riesgo. La principal condición de un crédito, así como en cualquier instrumento financiero, es que mientras mayor sea el riesgo estimado mayor será el costo financiero asociado.

La actividad crediticia hace que los bancos sean vulnerables a sufrir importantes pérdidas sobre todo en épocas de crisis. Por ello, se encuentran bajo un marco de regulación que les impone disponer de reservas propias con las cuales pueden contrarrestar las pérdidas por incumplimiento. La regulación bancaria cada vez se ha hecho más rigurosa al imponer montos mínimos de capital requeridos para las instituciones financieras. Al respecto, una de las metodologías más aceptadas a nivel mundial son los Acuerdos del Comité de Basilea, mismos que han sido modificados de tiempo en tiempo y, de los cuales, se da una explicación introductoria en el Capítulo III del presente trabajo. Una desafortunada regulación de la banca y una errónea estimación de las reservas necesarias en el sistema bancario pueden terminar en una gran crisis financiera como la ocurrida en 2008.

La medición del riesgo debe de ser visto desde la perspectiva de un *management risk* y un *risk taking*. La primera consiste en crear beneficios económicos mediante la identificación y evaluación de los factores de riesgo, con el fin de saber cómo responder a ellos. Con esto se garantiza un nivel de riesgos asumidos acorde a los lineamientos que haya definido el inversor; en otras palabras, el objetivo de la administración de riesgos es buscar una relación eficiente entre rentabilidad y riesgo.

Por su parte, un inversionista que sea tomador de riesgos, tiene como fin crear beneficios económicos a partir de oportunidades rentables para asumir dichos riesgos. Estos inversores suelen ser especulativos con el fin de obtener mayores ganancias y generalmente hacen inversiones en corto. Ser un tomador de riesgos significa aceptar las consecuencias de las acciones tomadas en el mercado; quiere decir no temer perder en una operación, buscando siempre ganar, evidentemente. No obstante, un tomador de riesgos no puede apostar todo sin tener un sistema y un plan de acción. Si no se tienen riesgos calculados, las cosas podrían salir mal llegando a perder capitales completos (ver *Crack de los Tulipanes en Holanda. La primera burbuja económica*).

Ante la globalización y la diversificación de las operaciones de la banca y de los sistemas financieros, la necesidad de monitorear los riesgos se hace más relevante para los inversionistas y las instituciones financieras, siendo el riesgo de crédito uno de los principales.

La medición del riesgo de crédito es fundamental para tener una gestión adecuada de las potenciales pérdidas económicas derivadas del mismo, ya que su debida administración permite al tenedor de deuda determinar el nivel de tolerancia o aversión al riesgo que está

dispuesto a aceptar. De la misma manera, le permite definir el capital necesario para cubrir el riesgo y garantizar la continuidad de sus operaciones.

En los siguientes apartados, se mencionan algunos eventos de la historia económica que resaltan la importancia del riesgo de crédito, no solo de manera particular entre los agentes, sino de manera global en la economía.

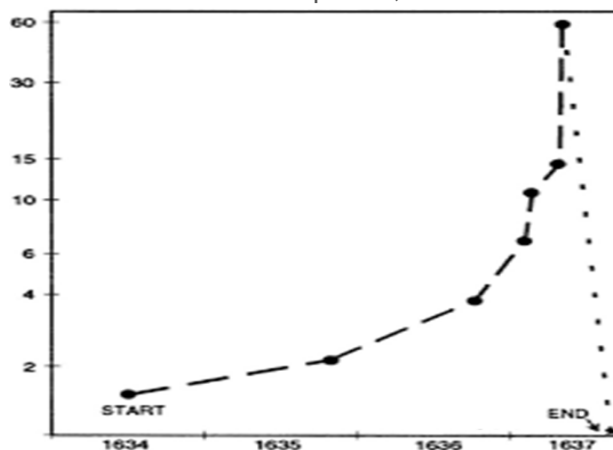
2.1.1 Crack de los tulipanes en Holanda. La primera burbuja económica.

La tulipomanía desatada en Holanda del siglo XVII, es el primer crack bursátil de la historia y consistió en la especulación de la masa sobre los bulbos de tulipanes. Los tulipanes llegaron de Turquía a Holanda en el siglo XVI y crearon tal interés en el país que se convirtieron en un artículo de lujo y distinción entre la sociedad. La especulación llegó a un punto en el que todo el país comenzó a invertir en bulbos de tulipanes, gastando en ello toda su fortuna, pidiendo créditos e incluso hipotecando sus casas. Mientras más inversores compraban tulipanes para comercializarlos, más aumentaba su precio, llegando al extremo de cambiar un tulipán por una mansión en el centro de Amsterdam (Economista, 2017). Incluso se llegó a crear un mercado de futuros de bulbos, donde la gente los compraba aun cuando no habían sido plantados.

La última gran venta registrada fue en 1637 y, a partir del día siguiente, el precio comenzó a desplomarse por las tensiones que causó una mala cosecha. La burbuja estalló en el momento en que todo el mundo quiso dejar el negocio pero ya nadie quería comprar bulbos. La crisis se desató y familias enteras quedaron en quiebra.

La irracional euforia por los tulipanes llevó a toda Holanda a comprar bulbos a precios exagerados, la especulación que se creó en torno a ellos hizo que el precio se sobreestimara de su verdadero valor. Muchas familias apostaron erróneamente todo su capital en comprar tulipanes y las consecuencias terminaron en una profunda depresión económica que afectó a todo el país.

Figura 2.1 Crack de los Tulipanes, Holanda 1634 - 1637



Fuente: Extraída de <https://busy.org/@phgnomo/why-botcoin-is-not-a-tulip-bubble-but-may-still-be-a-bubble>

2.1.2 Desastre financiero: Argentina 2001

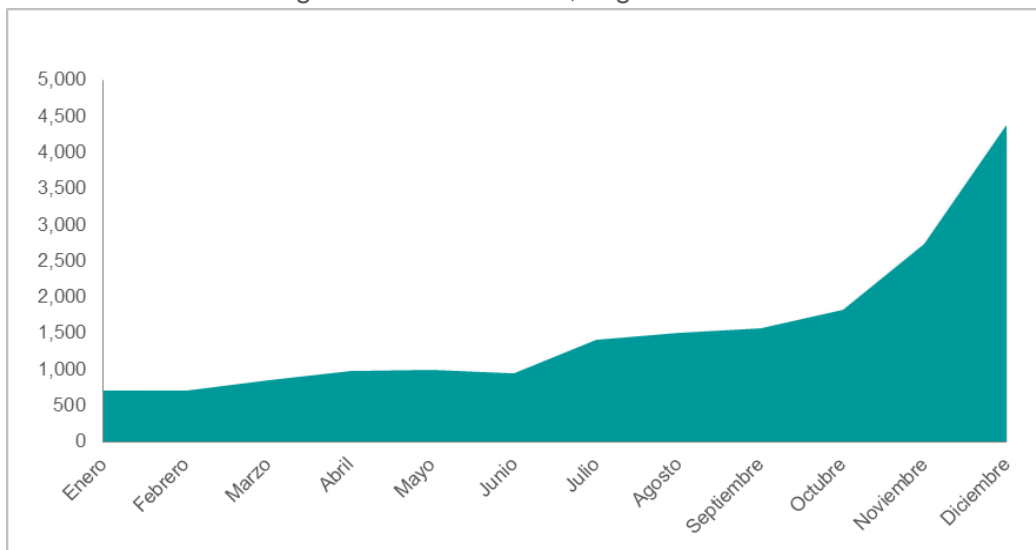
El 23 de diciembre de 2001, en medio de una severa crisis económica, Argentina suspendió los pagos de su deuda soberana. El monto ascendía a 100,000 millones de dólares aproximadamente, por lo que constituye uno de los mayores ceses de pagos de la historia (Expansión, 2014).

Después de cuatro años de apogeo, la economía argentina comenzó a desacelerarse en 1994; las crisis de México, del sudeste asiático y la de Brasil agravaron la situación. Las variables económicas que se vieron mayormente afectadas fueron el peso argentino, la deuda pública (se duplicó para 1999), el gasto y el consumo, aunado a una deflación de precios (Conde, 2003).

En un intento de ganar la confianza de los mercados internacionales, el presidente De La Rúa decidió aumentar los impuestos, otorgar ventajas fiscales a las empresas y elevar la oferta monetaria. Los efectos de estas medidas fueron adversos: la desconfianza por el país aumentó y el panorama que los acreedores tenían del riesgo argentino empeoró.

El riesgo país de Argentina comenzó a elevarse considerablemente a partir del segundo semestre de 2001, tal como se observa en la figura 2.2, llegando a tocar niveles por encima de 4,000 puntos en el EMBI⁷.

Figura 2.2 Índice EMBI, Argentina 2001



Fuente: Elaboración propia con base en información de Centro de Economía Internacional. Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto de la República de Argentina

Los mercados y organismos internacionales observaban de cerca al país y ante la subida del riesgo país, el gobierno ya no obtuvo créditos por ninguna vía y comenzó el cese de pagos; los bancos reestructuraron la deuda a plazos mayores y se les impidió realizar

⁷ El *Emerging Markets Bonds Index* es elaborado por JP Morgan y es el principal indicador de riesgo país con el que cuentan los mercados. Se construye a partir de la diferencia de la tasa de interés de bonos que pagan los países subdesarrollados y los Bonos del Tesoro de Estados Unidos.

retiros en efectivo. Esto desató aún más la crisis y el descontento social que terminó por exigir la renuncia del presidente De La Rúa.

De esta manera, el 23 de diciembre de 2001, el presidente interino Rodríguez Saa, anunció que el gobierno argentino dejaría de pagar sus obligaciones financieras, declarando al país en situación de *default*. Argentina reestructuró su deuda por medio de dos canjes con descuento en 2005 y 2010. Los canjes tuvieron una aceptación entre el 93% de los acreedores; el otro 7% representa a los *holdouts* que no ingresaron al canje y exigieron el pago del 100% de la deuda ante una corte de Nueva York.

El caso del *default* de Argentina no es el único que se ha visto en las últimas décadas. El mayor cese de pagos de la historia ocurrió en marzo de 2012, cuando Grecia declaró que no podía pagar su deuda por 138,000 millones de dólares. Otros países como Ecuador, México, Jamaica y España también han caído en impago.

2.1.3 La crisis de los créditos *subprime*

Durante la crisis sufrida en 2007 fue innegable la mala administración del riesgo de crédito y riesgo de liquidez por parte de las instituciones financieras y de las autoridades regulatorias, que terminó en la crisis más severa a nivel mundial después de la registrada en los años treinta.

Las causas de la crisis pueden situarse desde 2001 cuando la Reserva Federal de Estados Unidos dispuso que la tasa de referencia se mantuviera en niveles mínimos, lo cual incentivó a los bancos a otorgar préstamos hipotecarios a clientes con baja solvencia económica empezándose a crear la burbuja inmobiliaria más grande de la historia.

Al tiempo que la burbuja crecía, se comenzaron a crear derivados que tenían como garantía las hipotecas de los créditos *subprime*⁸. Estos productos fueron adquiridos por inversionistas de todo el mundo incluyendo fondos de inversión de aseguradoras importantes de Estados Unidos; mucho tuvo que ver que estos títulos tuvieran *ratings* favorables por las agencias calificadoras (Maubré, 2008).

Sin embargo, ni los bancos ni los acreedores de las hipotecas, esperaban que la Reserva Federal aumentaría la tasa base a 5.25% en 2004 como una medida de política monetaria para contener la inflación. Una vez que el crédito se encareció y las personas estuvieron imposibilitadas a pagar las hipotecas, la demanda de los bienes inmuebles y sus precios se vinieron en picada.

Como consecuencia de la disminución de los precios de las viviendas, el valor de los instrumentos financieros creados a partir de ellas también cayó, los inversores querían vender sus títulos y los bancos no contaban con la liquidez suficiente para satisfacer la

⁸ Las hipotecas *subprime* son créditos que se consideran de alto riesgo porque son concedidos a clientes con alta probabilidad de impago, es decir, que tienen poca solvencia.

demanda. A partir de ese momento, los bancos centrales tuvieron que intervenir proveyendo liquidez al sistema y soportando las deudas de los bancos más importantes.

La crisis se propagó a los mercados financieros en 2007 debido a que grandes instituciones financieras habían adquirido derivados de las hipotecas de alto riesgo. Las consecuencias inmediatas fueron una repentina contracción del crédito, gran volatilidad en los activos bursátiles y una desconfianza generalizada en los mercados mundiales (Maubré, 2008).

A pesar de las grandes inyecciones de liquidez, muchas instituciones hipotecarias y fondos de inversión fueron declarados en quiebra, entre ellas destacan First Magnus, Lehman Brothers y AIG. Con base en el artículo de Maubré, el Banco Central Europeo inyectó más de 350 millones de euros y acudió al rescate de bancos como FORTIS que fue nacionalizado por el Reino Unido. Por su parte la FED suministró alrededor de 152 millones de dólares para rescatar algunas instituciones y tratar de incentivar la economía (Maubré, 2008).

La crisis no tardó en expandirse al resto del mundo y los problemas financieros que provocó alcanzaron a la economía real disminuyendo drásticamente los niveles de empleo, consumo, ahorro, inversión y producción.

De esta manera, la crisis de las hipotecas *subprime* evidenció las debilidades de la regulación del riesgo de crédito y la falta de monitoreo que tenían las instituciones bancarias en cuanto a temas de liquidez. La razón principal de la crisis fue que los bancos otorgaron préstamos a personas que no tenían capacidad de pago y sus reservas fueron insuficientes para afrontar esta situación. A partir de entonces se ha fortalecido el marco regulatorio de los mercados y las instituciones financieras con el propósito de evitar una crisis como la que se padeció.

2.2 Mercados financieros y la taxonomía de riesgo para bonos

El mercado financiero es el espacio en dónde interactúan compradores y vendedores (demandantes y ahorradores) de instrumentos financieros para su intercambio; como en cualquier mercado, en él se define el precio y la cantidad al que se van a negociar los activos. Los mercados financieros pueden clasificarse principalmente en: i) mercado de renta variable, ii) mercado de derivados, iii) mercado de inversiones alternativas y, iv) mercado de renta fija.

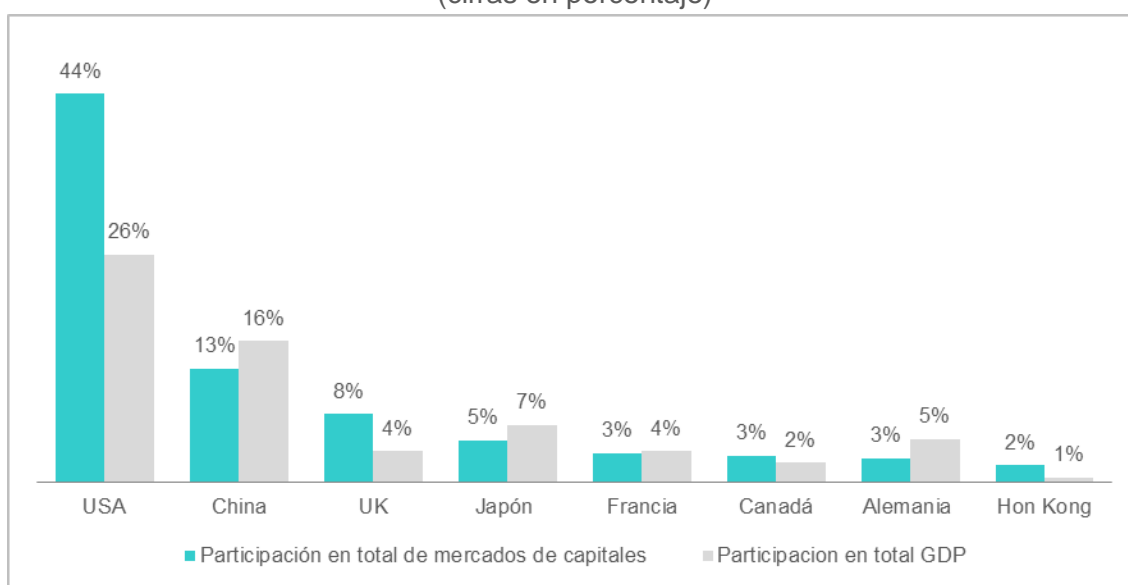
2.2.1 Mercado de renta variable

El mercado de renta variable, también conocido como mercado de capitales, se refiere a los activos donde se desconoce el rendimiento futuro de la inversión; en este caso, la rentabilidad del activo dependerá de las condiciones del mercado en tiempo real y de sus emisores. El instrumento característico de este mercado son las acciones, cuyo rendimiento depende principalmente del precio de compra, de la situación financiera de la

empresa y de los dividendos. Otros ejemplos de activos de renta variable son los fondos de inversión, los ETF'S y las divisas.

El punto de partida para entender los mercados de capitales está en conocer su dimensión actual. Estados Unidos tiene el mercado de capitales más grande y desarrollado del mundo, con una participación de más del 44% de actividad mundial de los mercados de capitales; mientras que concentra el 26% del Producto Interno Bruto mundial (Wright, Asimakopulos, & Hamre, 2019). En 2019, los mercados de capitales de EUA representan más del doble de tamaño que el mercado europeo y es tres veces más grande que los mercados en China. El país asiático participa con el 13% en el total de capitales del mundo y concentra el 16% de la producción bruta mundial.

Figura 2.3 Principales mercados de capitales en el mundo, 2019
(cifras en porcentaje)



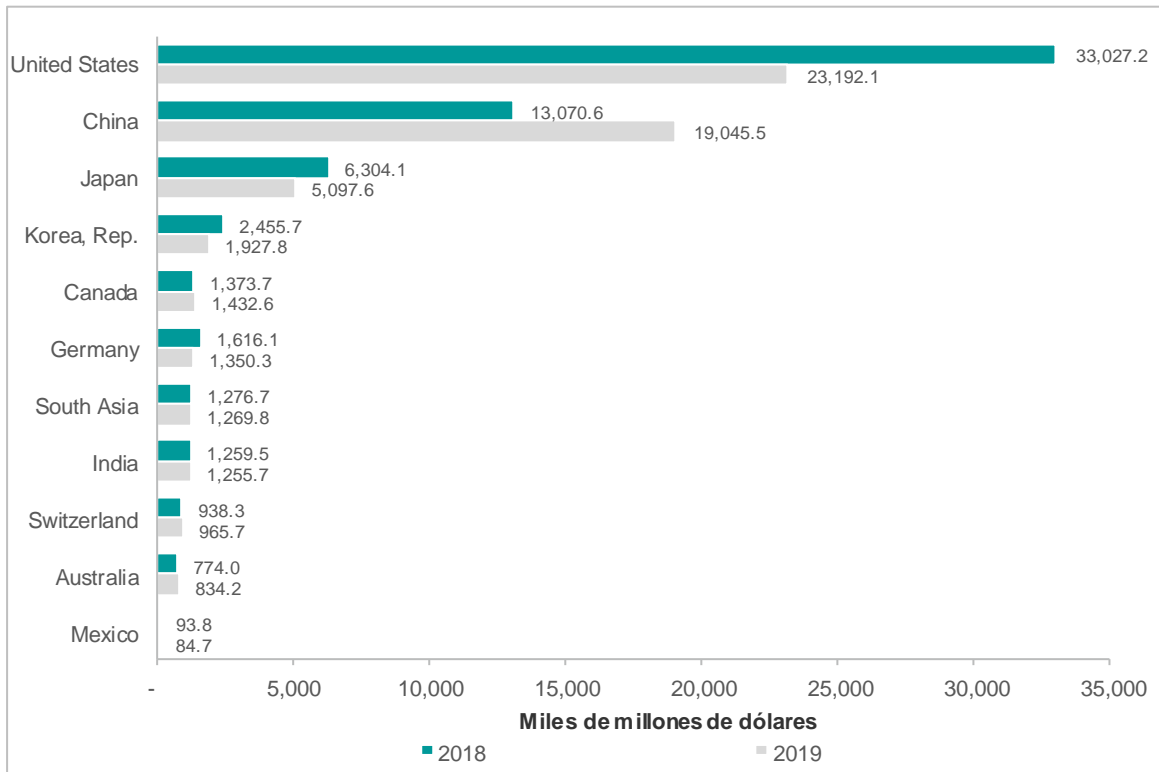
Fuente: Elaboración propia con base en (Wright, Asimakopulos, & Hamre, 2019)

En 2019, el valor de las acciones negociadas en Estados Unidos ascendió a 23,192 miles de millones de dólares (mmdd), consolidándose como el mercado de capitales más grande del mundo; no obstante, se observa una disminución del 30% con respecto del año anterior lo cual puede deberse a la afectación que sufrieron los mercados de valores por la guerra comercial entre Estados Unidos y China.

Por su parte, China registró un mercado de capitales por valor de 19,045 mmdd, 46% mayor a la cifra registrada en 2018; el principal causante de dicho incremento fue el mayor acceso de inversión extranjera que el país asiático autorizó y que permitió la entrada de importantes capitales extranjeros.

En el caso de México, nuestro país ocupa el lugar 26 de acuerdo al ranking de Banco Mundial en cuanto a valor de las acciones negociadas, contando con un valor de mercado de 85 mmdd para 2019. El mercado mexicano de capitales representa el 0.36% del estadounidense y el 0.45% del chino.

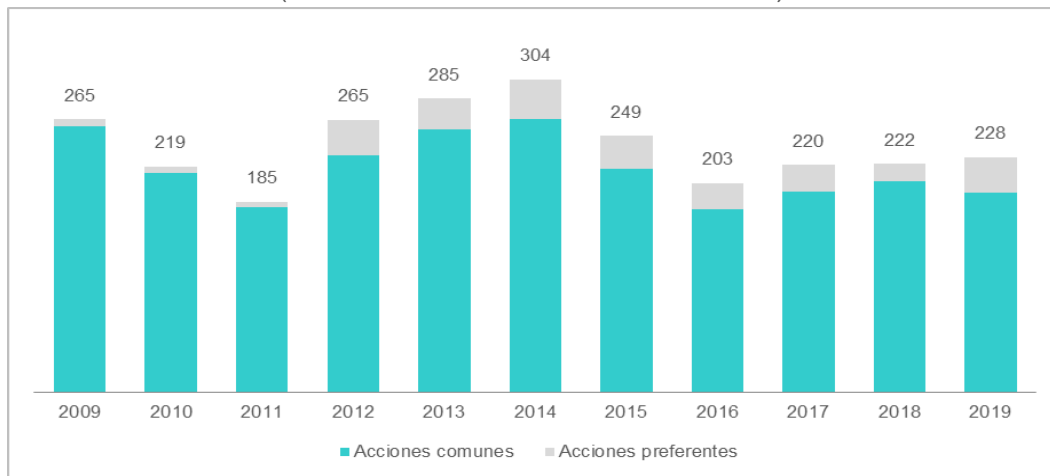
Figura 2.4 Valor de las acciones negociadas por país, 2018 - 2019
(cifras en miles de millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial.
Nota: Información no disponible de Reino Unido y Francia.

Retomando el mercado de Estados Unidos, la formación de capital ascendió en 2019 a 228 miles de millones de dólares (mmdd), liderado por la emisión de acciones comunes en 85% y en 15% por preferentes (Figura 2.5).

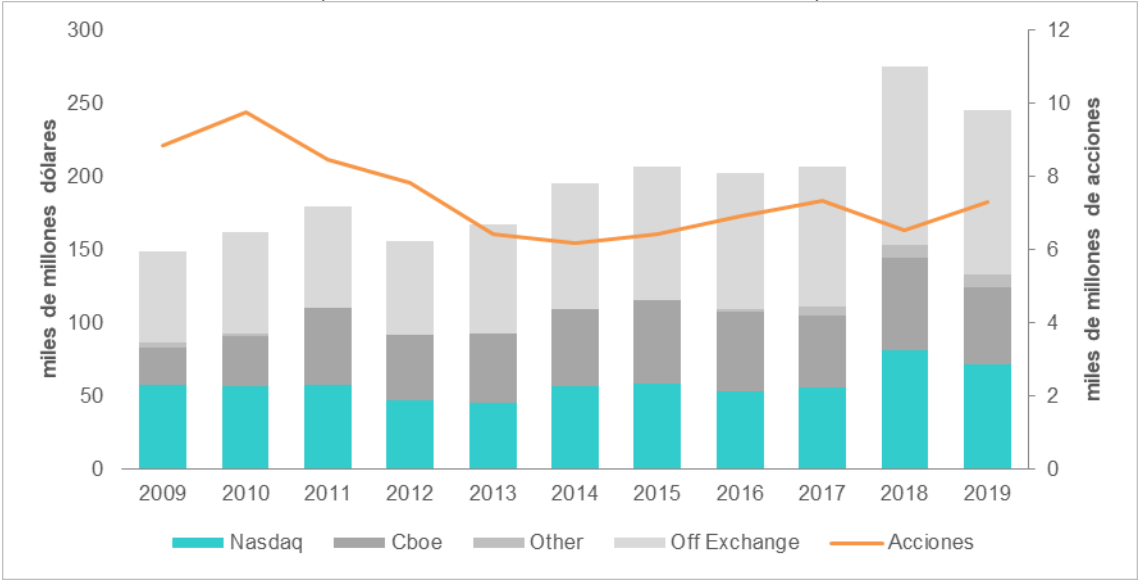
Figura 2.5 Formación de capital, Estados Unidos 2005 – 2019
(cifras en miles de millones de dólares).



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Securities Industry and Financial Markets Association (SIMFA).

El volumen de negociación se ha mantenido por encima de los 200 mmd desde 2014. El mayor volumen registrado se negoció en NASDAQ, la segunda bolsa más grande del mundo que incluye un total de 5,000 empresas. El promedio diario del número de acciones negociadas presenta tendencia a la baja en los últimos años, mientras que el volumen en mmd ha ido en aumento; esto refleja que el precio promedio de los valores negociables se ha elevado (Figura 2.6).

Figura 2.6 Volumen promedio diario de negociaciones, Estados Unidos 2009-2019 (cifras en miles de millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Securities Industry and Financial Markets Association (SIMFA).

Nota: ICE = Intercontinental Exchange = NYSE, Arca, National, Chicago, American; Nasdaq = Nasdaq, BX, PHLX; Cboe = BZX, BYX, EDGX, EDGA; Other = 2008-2010 International Securities Exchange (ISE).

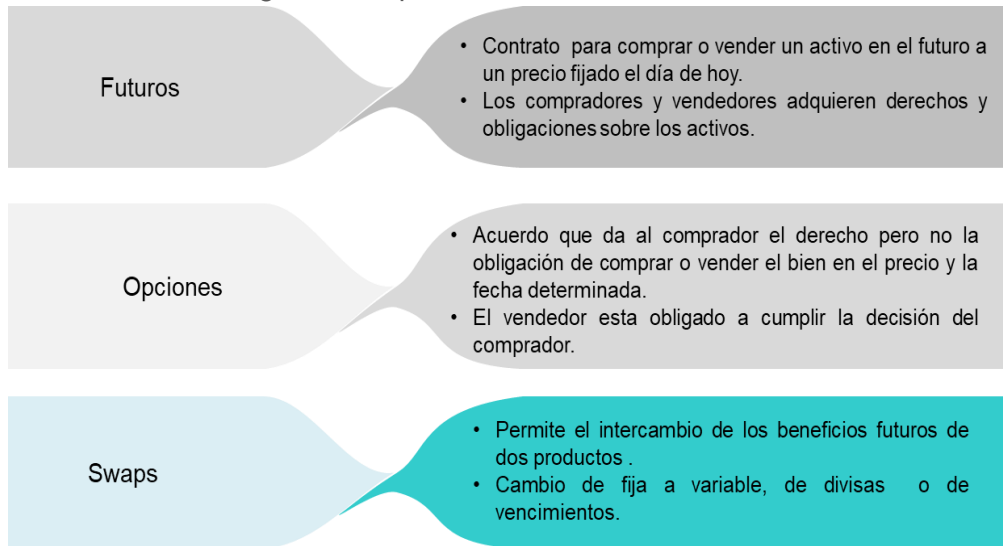
2.2.2 Mercado de derivados

El segundo mercado financiero que se aborda es el mercado de derivados. Los derivados son los instrumentos financieros más sofisticados, complejos e incluso más riesgosos; lo cual podría resultar irónico dado que surgieron por la necesidad de reducir la incertidumbre sobre valores futuros y con el fin de emplearlos como instrumentos de cobertura.

Los productos derivados tienen como principal característica que no tienen valor propio, sino que están vinculados a un activo subyacente ofreciendo cobertura ante las fluctuaciones de precios o tasas y facilitando la gestión de riesgo de las carteras; cualquier activo que sea volátil puede tener un derivado financiero.

Los principales instrumentos derivados son los futuros, opciones y swaps, sus principales características se enlistan a continuación en la Figura 2.7.

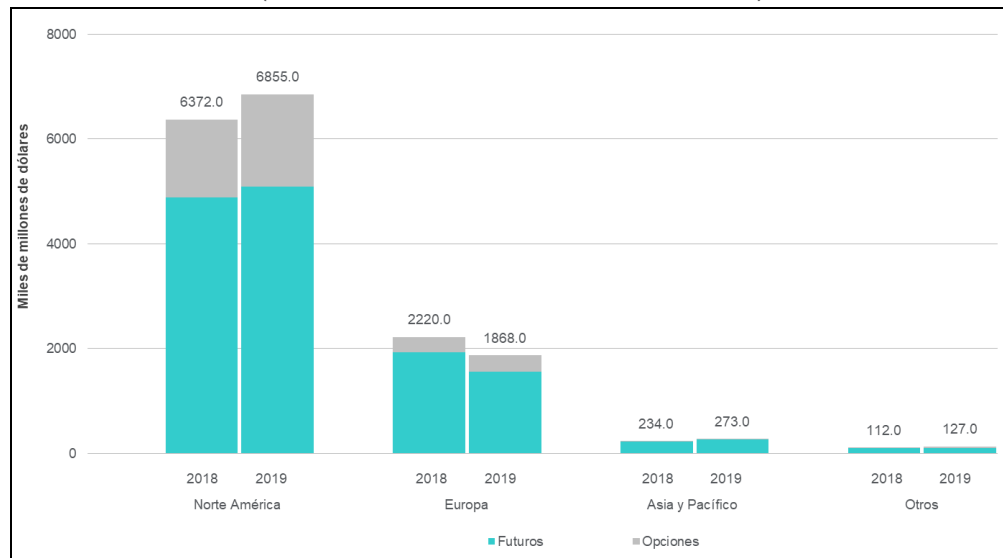
Figura 2.7 Tipos de instrumentos derivados



Fuente: Elaboración propia en base a (Mercado Mexicano de Derivados, s.i.)

El mercado de derivados comenzó a desarrollarse de manera importante a partir de 1972 (Mercado Mexicano de Derivados, s.i.) y actualmente tienen gran captación de capital debido a la diversificación y cobertura que ofrece a los inversores. De acuerdo a la información publicada por el Banco Internacional de Pagos (BIP), el volumen promedio diario de las operaciones de derivados ascendió en 2019 a 7,030 mdd. Como se observa en la Figura 2.8, la región de América del Norte y Europa son las que registran mayor operación con una participación del 75% y 20% respectivamente, mientras que Asia y Pacífico operaron el 3%; es decir, el 75% de las transacciones de instrumentos derivados se llevaron a cabo en América del Norte. Del total de las operaciones pactadas, el 77% correspondieron a futuros y el 23% restante a opciones financieras.

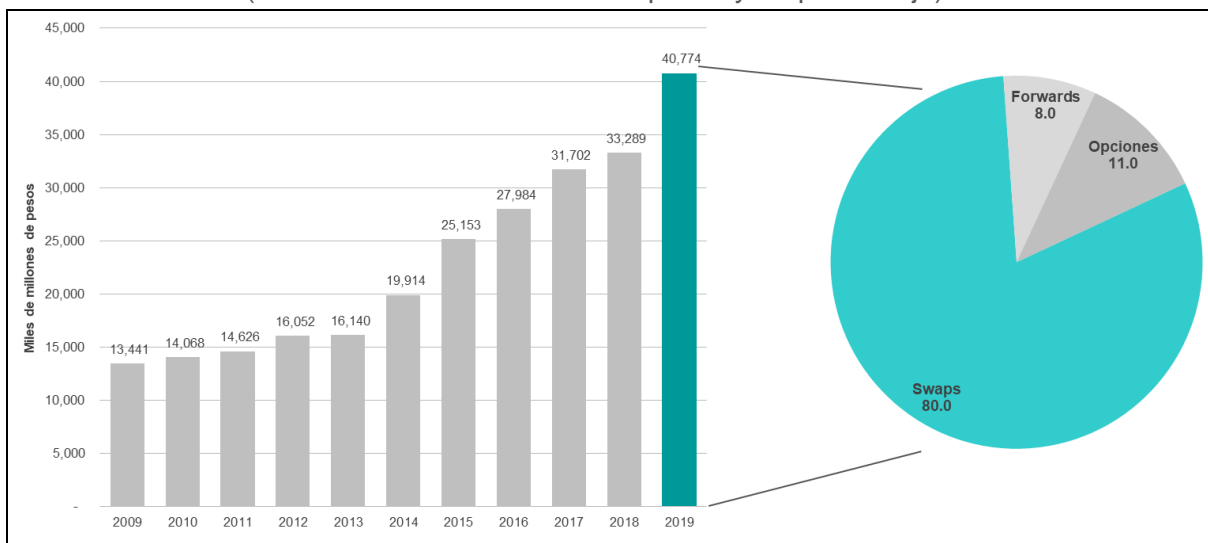
Figura 2.8 Volumen promedio diario de operaciones derivadas, por región 2018-2019. (cifras en miles de millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia con base en datos Banco Internacional de Pagos.

El mercado de derivados en México registró un importe de 40,774 miles de millones de pesos (mmdp) de operaciones vigentes, siendo los swaps los principales instrumentos por Instituciones de crédito y casas de bolsa, seguido de las opciones y los *forwards*.

Figura 2.9 Importe total de operaciones derivadas, México 2009-2019.
(cifras en miles de millones de pesos y en porcentaje)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Banco de México.

2.2.3 Mercado de inversiones alternativas

El mercado de inversiones alternativas probablemente se pueda catalogar como la más reciente creación en el sistema financiero, el cual no necesariamente va ligado a altos niveles de riesgo; más bien reciben este nombre porque son inversiones que van más allá de las tradiciones como las acciones, bonos y fondos de inversión.

Las inversiones alternativas amplían las opciones de los agentes ofreciendo mayor diversificación a sus portafolios y protección ante la volatilidad del mercado. La mayor gestora de fondos del mundo BlackRock, enlista dos tipos principales de inversiones alternativas; la primera constituye en las posiciones que invierten en activos no convencionales, como la infraestructura, el capital privado y el sector inmobiliario; y la segunda se refiere a las estrategias que adquieren activos habituales mediante métodos no tradicionales, como las ventas en corto y el apalancamiento.

Figura 2.10 Tipos de inversiones alternativas

Activos no tradicionales		Estrategias no tradicionales		
Capital privado	Activos físicos	Crédito	Alternativos líquidos	Fondos de cobertura
Inversiones en empresas privadas o compras de empresas públicas.	Compra de bienes raíces e infraestructura.	Su rendimiento es mayor que el crédito de grado de inversión tradicional. Mayor liquidez.	Ofrecen diversificación y protección. ETF's y Fondos mutuos.	Su objetivo es generar rendimientos sin considerar el contexto del mercado.

Fuente: Elaboración propia con base en (BlackRock, 2019).

Las principales diferencias entre las inversiones tradicionales y alternativas se pueden enlistar en el siguiente cuadro:

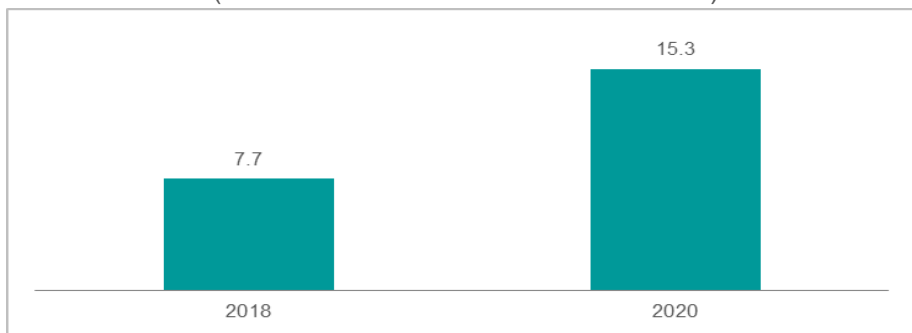
Figura 2.11 Inversiones tradicionales vs alternativas.



Fuente: Elaboración propia con base en (BlackRock, 2019)

Este mercado ha tenido un crecimiento importante en los últimos años; en 2018, el mercado de inversiones alternativas conforma una suma de 7.7 billones de dólares, y se espera que la industria duplique su tamaño para 2020.

Figura 2.12 Inversiones alternativas, 2018-2020 (cifras en miles de millones de dólares)

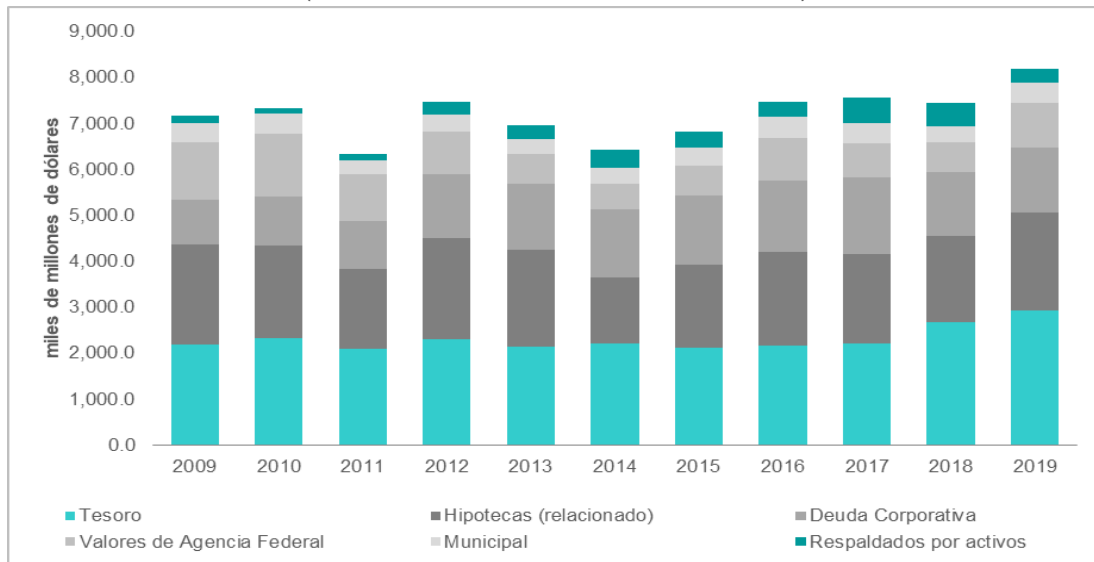


Fuente: Elaboración propia con base en datos de (BlackRock, 2019)

2.2.4 Mercado de renta fija

Estados Unidos concentra la mayor negociación en el mercado de valores, las dos bolsas más importantes del mundo están en este país y constituyen un referente a nivel internacional. Asimismo, su mercado de deuda concentra el mayor volumen de operación posicionándolo como el mayor deudor del mundo. En la Figura 2.13, se observa que en 2019 el mercado de renta fija de este país se constituía principalmente por las emisiones del Tesoro las cuales representaron el 36% del total, haciendo de este gobierno el mayor emisor de deuda del país y del mundo.

Figura 2.13 Emisiones de valores mercado de renta fija, Estados Unidos 2009-2019 (cifras en miles de millones de dólares)



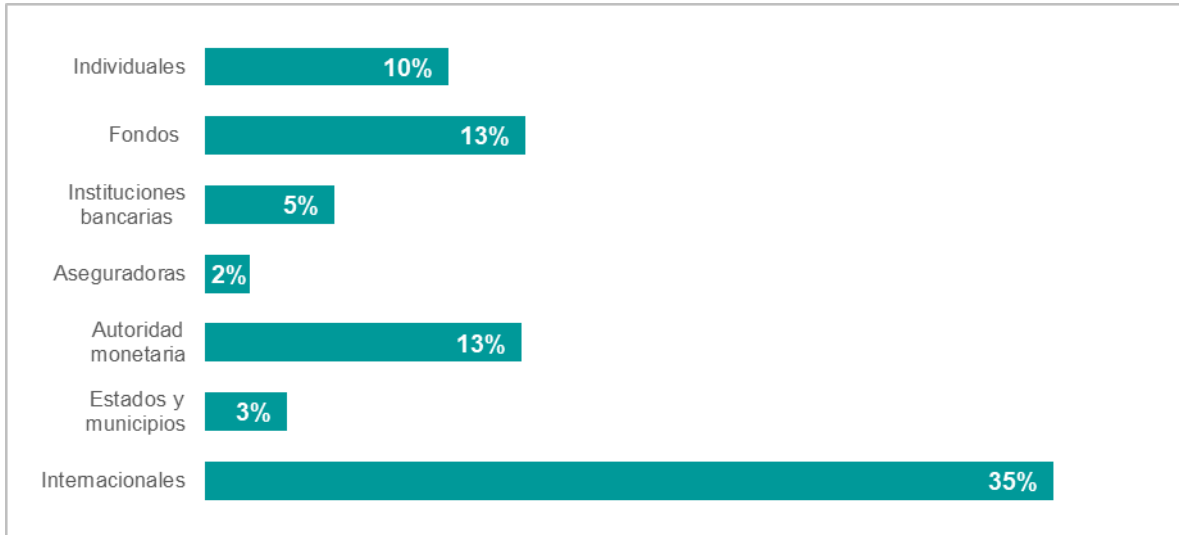
Fuente: Elaboración propia con base en datos de Securities Industry and Financial Markets Association (SIMFA).

El 35% de los valores emitidos por el Tesoro de Estados Unidos se encuentra en posesión de externos, siendo China y Japón sus principales acreedores. Los Fondos de Inversión y las Autoridades monetarias del país concentran el 13% de la tenencia total cada uno; mientras que los títulos de deuda pública participan con el 10% y las Instituciones Bancarias con el 5% de la tenencia de las emisiones del Gobierno.

Los valores respaldados por hipotecas (MBS) son los siguientes con mayor emisión de valores en el mercado con el 26% del total; como su nombre lo indica, el flujo de dinero de estos títulos se hace a través del pago de los poseedores de una hipoteca hasta los tenedores de los títulos. Cabe recordar que la crisis de 2008 tuvo sus inicios por la emisión de bonos de viviendas que fueron colocados en el mercado por los principales bancos de Estados Unidos; al tener un alto rendimiento y un bajo riesgo, estos activos se posicionaron rápidamente entre los preferidos de los inversionistas. Cuando los propietarios de las hipotecas ya no pudieron pagarlas, los bonos fueron disminuyendo su valor y se fue creando incertidumbre en el mercado, ocasionando el estallido de la burbuja inmobiliaria y teniendo los efectos ya conocidos.

Las emisiones realizadas por Corporativos representaron el 17% del total, mientras que los valores de Agencia Federales concentraron el 12% de las emisiones.

Figura 2.14 Tenencia total de valores gubernamentales, Estados Unidos 2019 (cifras en porcentaje respecto a circulación total).



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Securities Industry and Financial Markets Association (SIMFA).

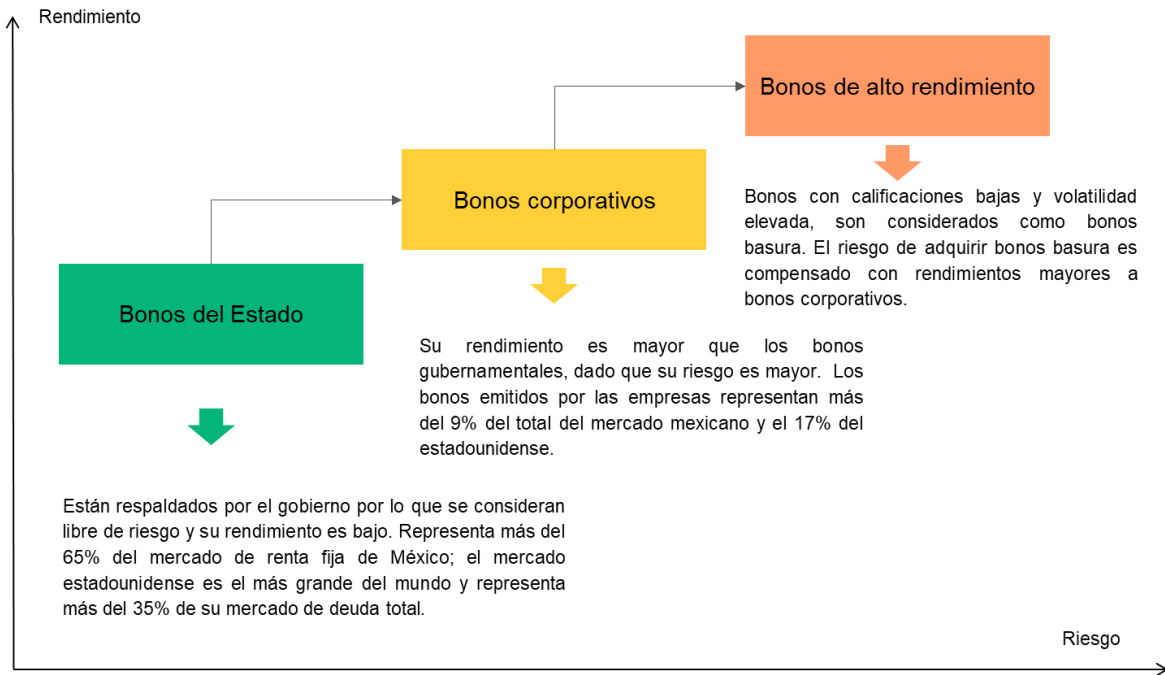
El mercado de renta fija o de dinero se refiere a las inversiones que reconocen de antemano una tasa de interés, la cual usualmente se paga a la fecha de vencimiento del activo. Los instrumentos más comunes en estos mercados son los certificados de depósitos, las aceptaciones bancarias, los pagarés y los bonos.

Un bono es un certificado de deuda que una entidad pública o privada emite con el fin de obtener financiamiento del mercado. Este título compromete al emisor a devolver el monto en una fecha determinada y a remunerar al inversionista a una tasa de interés durante la vida del activo. Es decir, un bono es una promesa de pago futura del emisor al inversionista.

Los emisores de deuda están representados por el gobierno, las corporaciones y las organizaciones supranacionales, como el Banco Mundial, el Fondo Monetario Internacional y la Organización de las Naciones Unidas, entre otros. La estabilidad del emisor es la principal garantía de pago y lo primero a considerar en el riesgo de crédito.

El gobierno es el emisor más sólido y confiable del mercado, por lo que los bonos que emite son considerados “libres de riesgo” por ser deuda soberana y fungen como referentes para los demás emisores. Los bonos corporativos representan un mayor riesgo para un inversor, por lo que es compensado con rendimientos más altos (*spread*). Finalmente, están los bonos de alto rendimiento o bonos basura, que son emitidos por instituciones cuya calificación se encuentra por debajo del grado de inversión.

Figura 2.15 Tipología de bonos



Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIFMA y Banco de México.

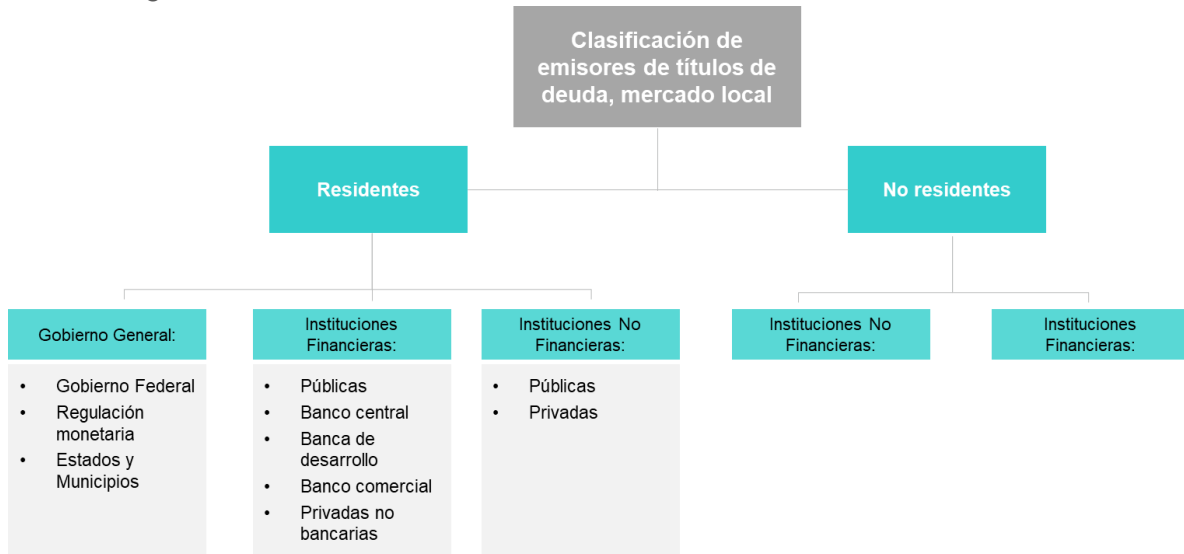
El mercado de deuda representa uno de los canales de transmisión de la política monetaria más inmediatos e importantes para la economía mexicana. Asimismo, un mercado de deuda maduro brinda mayores alternativas de financiamiento e inversión para el sector público y privado.

El origen del mercado de valores gubernamentales en México data de 1978 (Banco de México, 2014, pág. 21), cuando el Gobierno Federal realizó las primeras emisiones de Cetes a plazos de corto plazo y con volúmenes de venta muy pequeños; no obstante, los periodos de alta inflación, devaluaciones de tipo de cambio y la elevada deuda externa limitaron su crecimiento. Fue hasta el año 2000 que el manejo de deuda pública estuvo encaminada a favorecer el desarrollo del mercado de deuda del país.

Actualmente, los emisores de deuda de México están conformados por Instituciones Financieras, no Financieras y Gobierno, tal como se muestra en la Figura 2.16.

En el mercado de deuda total de México, el Gobierno es el principal agente en emitir instrumentos, en 2019 representó el 65% de las emisiones totales, seguido por las Instituciones Financieras con el 27% y por Instituciones No Financieras con el 7%. En saldo, las emisiones de títulos de deuda ascendieron a 11,703 miles de millones de pesos (mmdp), registrando un crecimiento del 7% con respecto al cierre de 2018.

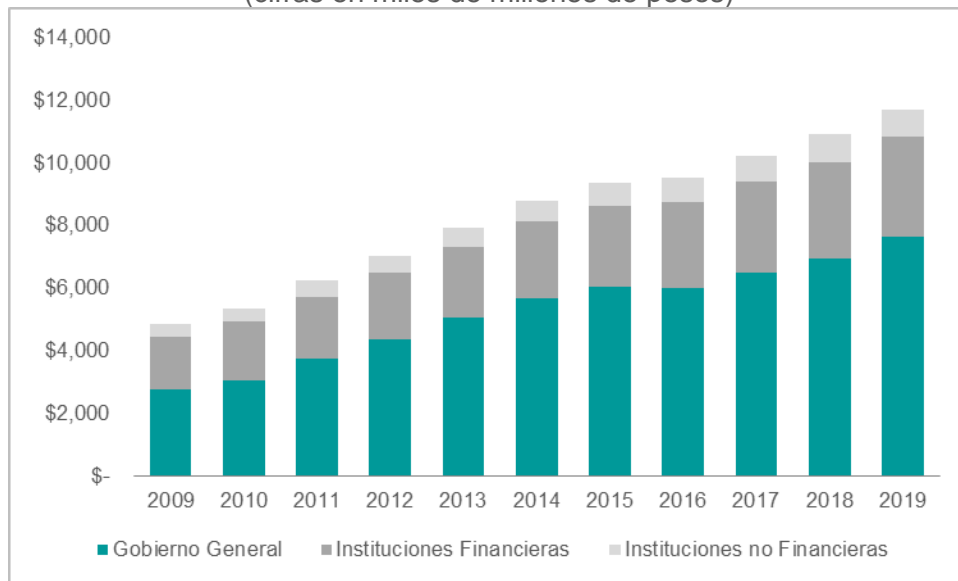
Figura 2.16 Clasificación de emisores de títulos de deuda, mercado local.



Fuente: Elaboración propia con base en (Banco de México, 2014).

En México, hay tres emisores considerados libres de riesgo: Gobierno Federal, Banco de México (Banxico) y el Instituto para el Protección del Ahorro Bancario (IPAB). Las emisiones libre de riesgo, son inversiones que no conllevan riesgo de incumplimiento. Banxico funge como agente financiero en la colocación de los títulos emitidos tanto por el Gobierno Federal como por el IPAB.

Figura 2.17 Clasificación por emisor de títulos de deuda, México 2009-2019. (cifras en miles de millones de pesos)



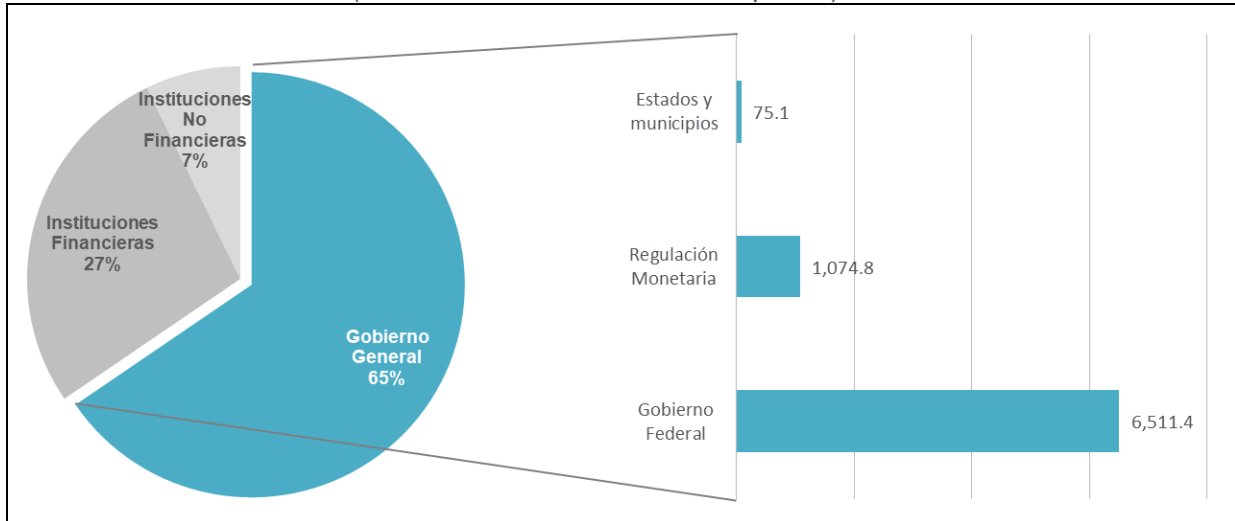
Fuente: Elaboración propia con base en datos de Banxico.

Nota: Considera los saldos nominales correspondientes al cierre de cada año.

El Gobierno Federal es el mayor emisor de bonos, mientras que Estados y municipios apenas emiten el 1%. Los títulos de deuda del gobierno están representados por la deuda pública que emite la Secretaría de Hacienda y Crédito Público a través de Banxico; el

banco central se ha servido de estos instrumentos para añadir o retirar liquidez al mercado a través de las operaciones de mercado abierto. Banco de México emitió sus propios Bonos de Regulación Monetaria (BREMS) entre 2000 y 2006, no obstante, dichos bonos fueron sustituidos por los Bondes D del Gobierno Federal; su propósito es regular la liquidez del mercado y facilitar la conducción de la política monetaria.

Figura 2.18 Clasificación de emisiones de títulos de deuda Gobierno, México 2019
(cifras en miles de millones de pesos)



Fuente: Elaboración propia con base en datos de Banxico.

El gobierno mexicano actualmente coloca cuatro tipos de títulos de deuda en el mercado local: Cetes, Bonos, Bondes D y Udibonos; el detalle de cada instrumento se encuentra en la Figura 2.19.

Figura 2.19 Cronología emisiones locales de valores gubernamentales vigentes, México.

Instrumento	Plazo	Tasa de interés	Pago de interés
CETES Certificados de la Tesorería de la Federación. Son bonos cupón cero, por lo que se comercializan por debajo de su valor nominal.	De 7 a 728 días.	Referenciada a la tasa de descuento	No paga cupón
BONDES D Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal	Múltiplo de 28 días	Tasa ponderada de fondeo bancario ^{1/}	28 días
BONOS Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal con Tasa de Interés Fija	Múltiplo de 182 días	Tasa de interés fija	182 días

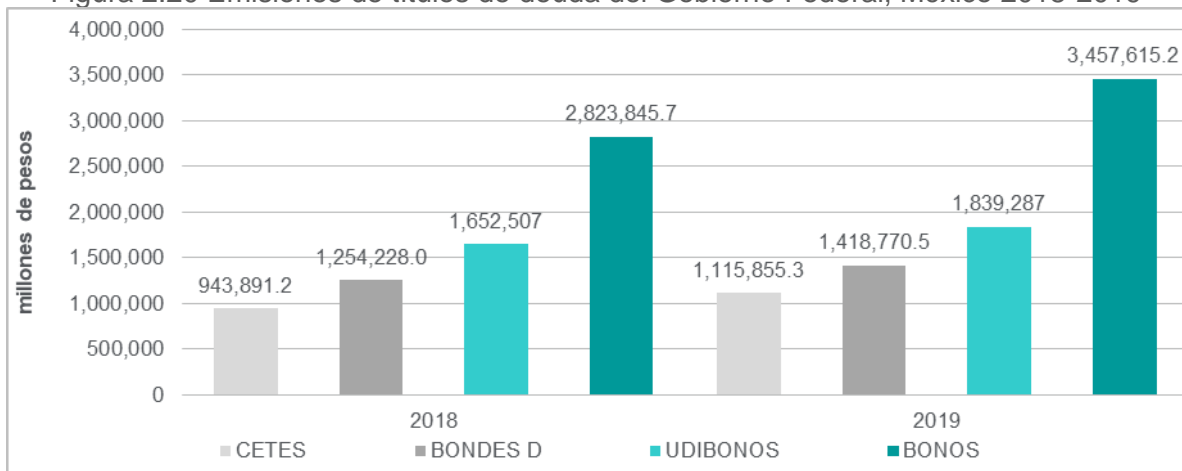
UDIBONOS Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal denominados en unidades de inversión (Udis). Ofrecen una protección contra la inflación.	Múltiplo de 182 días	Tasa de interés fija	182 días
BPA182 Bonos de Protección al Ahorro.	Múltiplo de 182 días	Cetes de 182 días o valor del UDI	182 días
BPAG91 Bonos de Protección al Ahorro.	Múltiplo de 91 días	Cetes 91 o Tasa ponderada de fondeo gubernamental	91 días
BPAG28 Bonos de Protección al Ahorro.	Múltiplo de 28 días	Cetes 28 o Tasa ponderada de fondeo gubernamental	28 días

Fuente: Elaboración propia con base en (Banco de México, 2014)

1/ Tasa representativa de las operaciones de mayoreo realizadas por casa de bolsa y bancos en operaciones de directo y reporto.

La tenencia de valores gubernamentales ascendió en diciembre 2019 a 7,831 mmdp, registrando un saldo 17% mayor con respecto del año anterior. En el gráfico 2.20 se observa que el título de preferencia de los inversionistas son los Bonos al tener una tenencia del 44% de los valores gubernamentales totales; mientras que los Udibonos tienen una participación del 23%, seguido por Bondes D con el 18% y finalmente por los Cetes con el 14% de concentración de las emisiones del Gobierno Federal.

Figura 2.20 Emisiones de títulos de deuda del Gobierno Federal, México 2018-2019

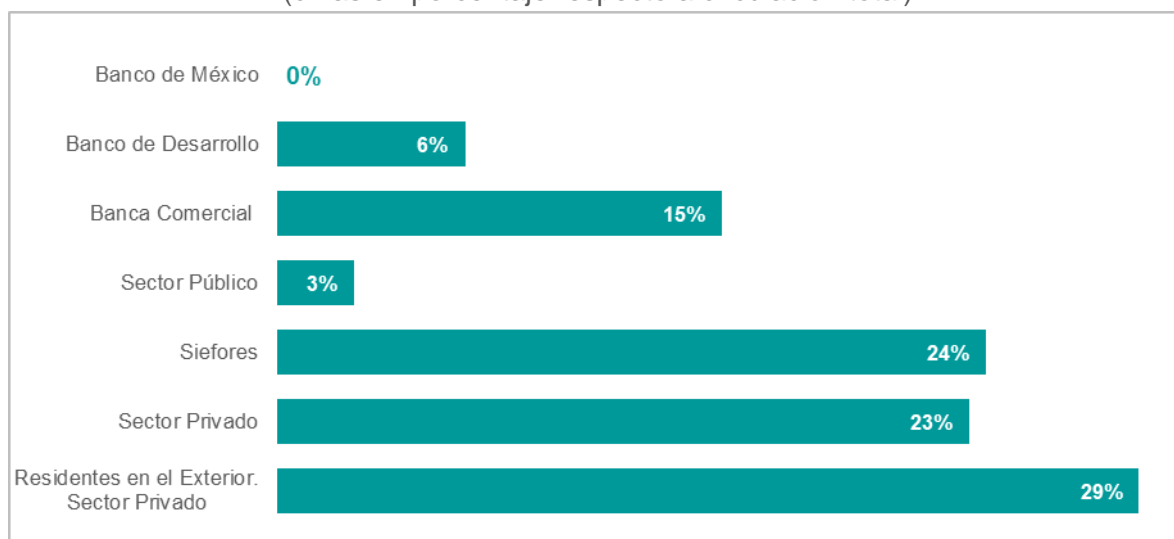


Fuente: Elaboración propia con base en información de Banxico.

La tenencia de estos valores se encuentra en su mayoría en posesión de residentes en el extranjero, concentrando el 29% de la tenencia total de valores gubernamentales en

circulación, seguido por las Siefores (24%) y el sector privado (23%), tal como se observa en la Figura 2.21.

Figura 2.21 Tenencia total de valores gubernamentales, México 2019.
(cifras en porcentaje respecto a circulación total)



Fuente: Elaboración propia con base en información de Banxico.

La demanda de estos valores por parte de las instituciones financieras varía de acuerdo a sus necesidades y políticas de inversión. Por ejemplo, las aseguradoras y fondos de pensión generalmente optan por instrumentos de largo plazo que les permiten generar rendimientos seguros; por su parte, las sociedades de inversión adquieren títulos que les permitan tener liquidez constante para atender los requerimientos de sus clientes.

Los residentes en el exterior son los principales tenedores de bonos con una participación del 57%; por su parte, las Siefores prefieren los Udibonos con propósito de mitigar el riesgo inflacionario y concentran el 58% del total en circulación de estos instrumentos; el sector privado es el principal tenedor de Cetes y Bondes D, esto puede deberse a la mayor liquidez que suelen ofrecer dichos instrumentos.

Figura 2.22 Tenencia de valores gubernamentales por tipo de instrumento, México 2019.
(cifras en porcentaje con respecto a circulación total)

Instrumento	Banco de México	Banco de Desarrollo	Banca Comercial	Sector Público	Siefores	Sector Privado	Residentes en el extranjero. Sector Privado	Total
CETES	0%	0%	20%	4%	23%	32%	22%	100%
Bondes D	0%	34%	15%	0%	7%	43%	0%	100%
Udibonos	0%	0%	3%	7%	58%	29%	3%	100%
Bonos	0%	0%	20%	1%	13%	9%	57%	100%

Fuente: Elaboración propia con base en información de Banxico.

El monto de valores en circulación ha aumentado en los últimos años. La reforma al sistema de pensiones es uno de los grandes contribuyentes ya que al establecerse el

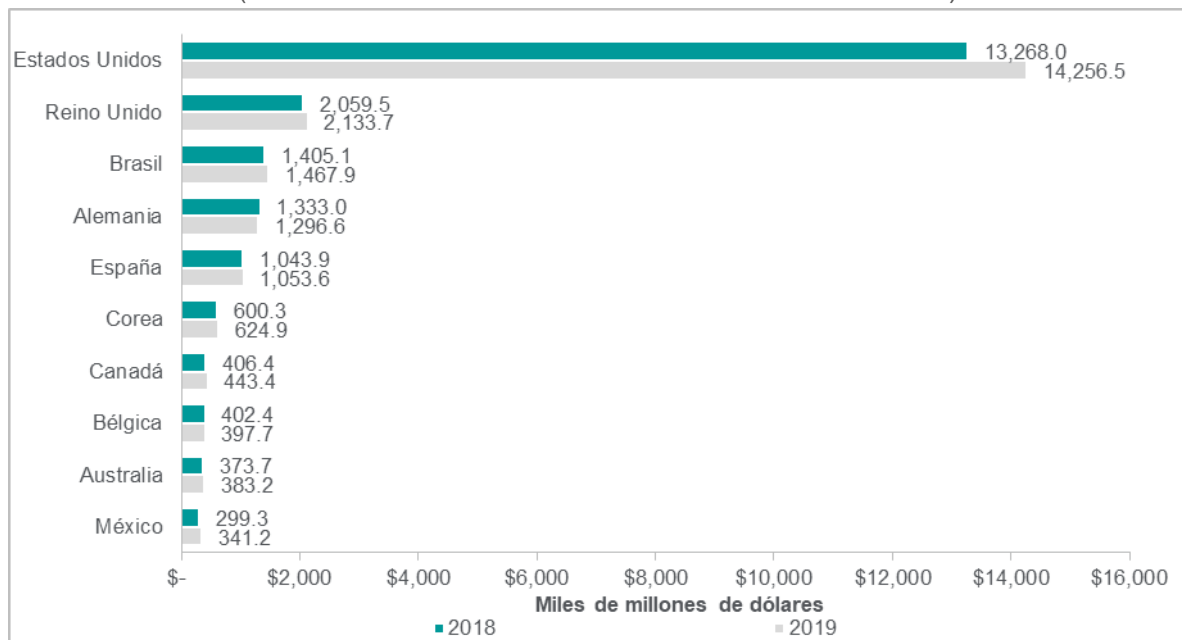
régimen de las Afores, la demanda de instrumentos libre de riesgo tuvo una importante alza.

Un mercado local de bonos es fundamental para el desarrollo del sistema financiero de un país, diversificando las opciones de los agentes económicos y contribuyendo a la estabilidad de los mercados. Asimismo, el mercado de bonos mejora la eficiencia en el sistema en cuanto a diversificación, tasas y montos más competitivos de los que puede ofrecer la banca comercial.

El mercado de valores gubernamentales de México ha tenido gran desarrollo en los últimos 20 años. A fines de los años noventa el título a tasa nominal fija de mayor plazo era el Cete a un año y el activo de mayor plazo era menor a los siete años. En contraste, para 2014 la curva de rendimiento nominal y real tenía un plazo de hasta 30 años contando con un mercado secundario desarrollado y una captación de inversionistas tanto nacionales como extranjeros (Banco de México, 2014, pág. 13).

El mercado de deuda mexicano se posiciona dentro de los diez más grandes del mundo y el segundo más grande de América Latina después de Brasil; su valor asciende a 341 mmdd dólares en 2019. El mercado de deuda gubernamental más desarrollado es el estadounidense tal como ya se mencionó anteriormente, el cual se encuentra muy por encima del resto de los países con un monto en circulación de 14,257 mmdd a 2019. La deuda mexicana representa el 2.4% de la deuda del gobierno central de Estados Unidos.

Figura 2.23 Mercado de deuda gubernamental, por país 2018 – 2019.
(montos en circulación en miles de millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Banco de Pagos Internacionales (BPI)

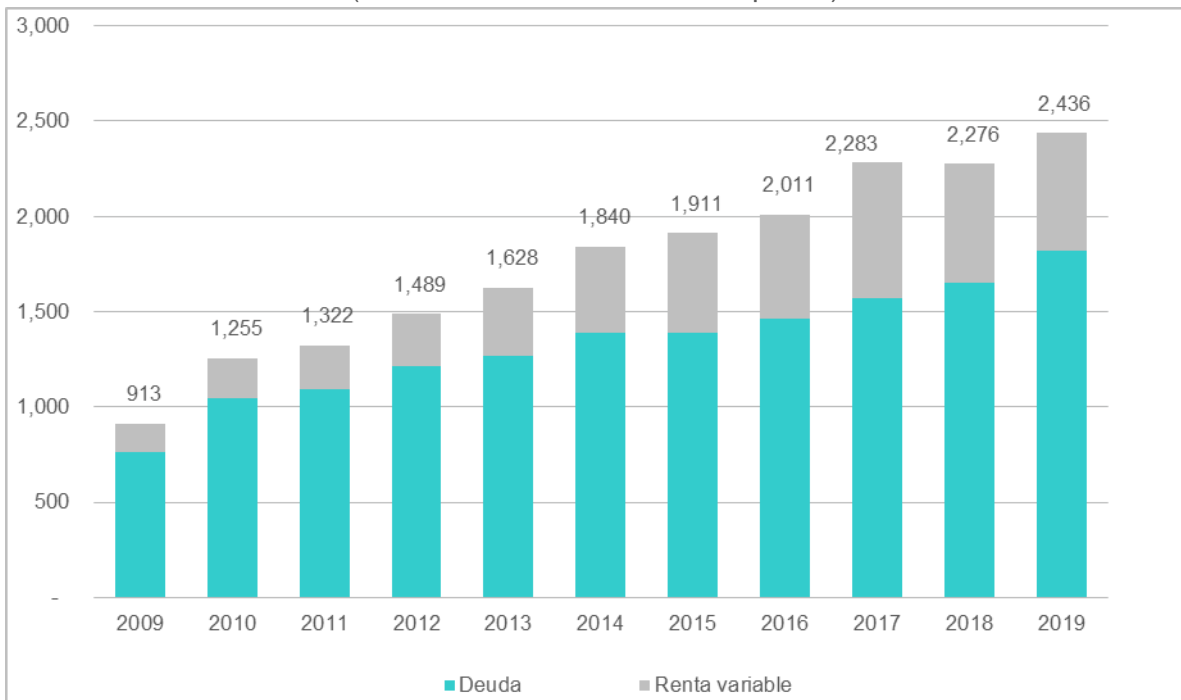
El mercado gubernamental de deuda es la base para el desarrollo del resto de los mercados de renta fija de un país. De hecho, la curva de rendimiento de las tasas de

interés de referencia de otros emisores se origina a partir de la curva de rendimiento de los valores gubernamentales.

En los últimos años, el mercado de deuda total de México ha ido en aumento y se ha posicionado con gran ventaja sobre el mercado de renta variable. Según los datos del Banco Internacional de Pagos (BIP) y el Banco Mundial (BM) el mercado de capitales mexicano ascendió en 2019 a 85 mmdd mientras que el mercado de deuda gubernamental tuvo un valor de 342 mmdd; es decir, el mercado de deuda del gobierno es 4 veces mayor que el mercado de renta variable.

Realizando una comparativa de la relación de activos netos de los Fondos y Sociedades de Inversión, se observa mayor preferencia por activos de deuda, representando el 75% del activo neto total en 2019 (Figura 2.24).

Figura 2.24 Activo neto de Fondos y Sociedades de Inversión, México 2009-2019. (cifras en miles de millones de pesos)

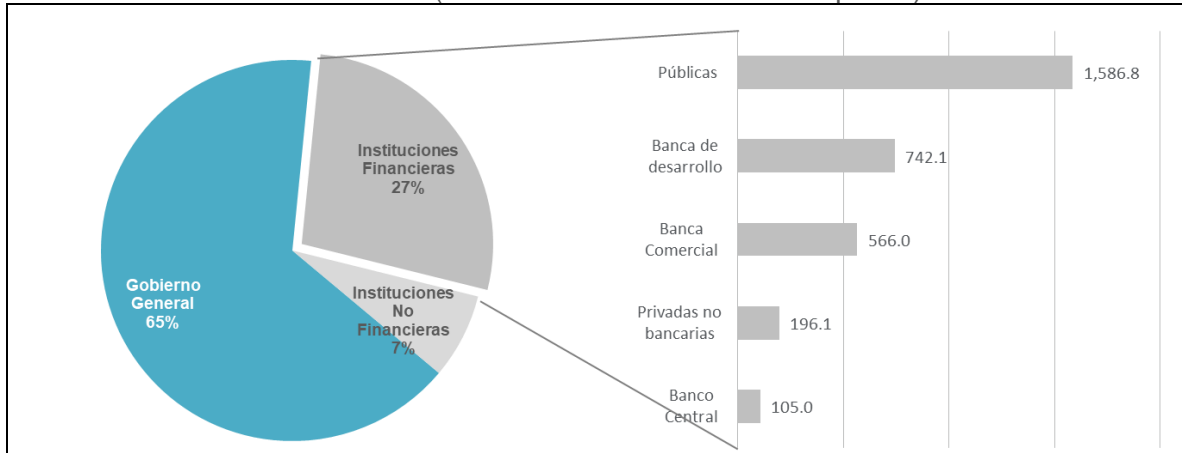


Fuente: Elaboración propia con base en datos de la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV).

El crecimiento del mercado de deuda no solo depende del aumento en el número de inversionistas, sino también a un incremento en el número de emisores. A diciembre de 2019, el monto de emisiones de Instituciones Financieras y no Financieras no públicas representaron el 11% del valor de emisiones totales y el 17% de las emisiones del Gobierno en el mercado de valores.

Las emisiones de instrumentos de deuda en el país de Instituciones Financieras (Figura 2.25) están encabezadas por organismos públicos con el 50% del saldo total a diciembre 2019. La deuda de instituciones financieras públicas se refiere a la emitida por el IPAB, Banobras, Infonavit, Infonacot, Fovissste, entre otras.

Figura 2.25 Clasificación emisiones de títulos de deuda de Instituciones Financieras, México 2019 (cifras en miles de millones de pesos).



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Banco de México.

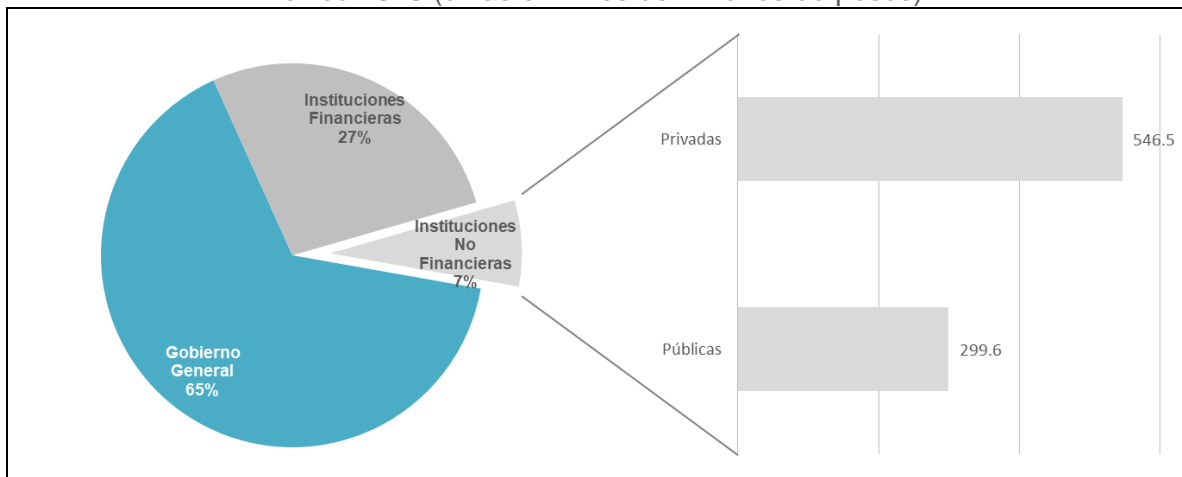
Nota: Públicas: Deuda emitida por el IPAB, Fideicomisos FARAC de Banobras, Fideicomisos del Infonavit, Infonacot, Fovissste, Fonadin y Fifomi.

Privadas no Bancarias: Deuda emitida por el Gobierno Federal, no incluye la emitida con propósitos de regulación monetaria.

Por su parte, la Banca de Desarrollo concentró el 23% del saldo de la deuda emitida a 2019, seguido de la Banca Comercial con el 18%, las instituciones privadas no bancarias y por el Banco Central con el 6% y 3% respectivamente. Las emisiones de Banco Central corresponden a los Bonos de regulación monetaria emitidos por el Banxico conforme al Artículo 7 de la Ley del Banco de México.

La tenencia de Instituciones No Financieras se divide en organismos públicos y privados, siendo estos últimos los principales emisores de deuda a 2019 con el 65% de las emisiones, mientras que los organismos públicos emitieron el 35% restante.

Figura 2.26 Clasificación de emisiones de títulos de deuda de Instituciones Financieras, México 2019 (cifras en miles de millones de pesos).



Fuente: Elaboración propia con base en datos del Banco de México.

Nota: Públicas: Deuda emitida por Pemex y CFE y FONADIN.

Privadas: Deuda emitida por corporativos no financieros del sector privado.

Los bonos corporativos son emitidos por entidades del sector privado; estas emisiones conllevan un riesgo implícito mayor al no estar respaldadas por el Gobierno Federal, por lo que su rendimiento es compensado con una tasa mayor. La colocación de estos bonos permite a las empresas obtener financiamiento en grandes montos y a tasas de interés más competitivas en comparación a un crédito bancario. La empresa registra la emisión de bonos en la parte de pasivos bursátiles de sus estados financieros.

Conocer bien al emisor es fundamental para minimizar los riesgos asociados, especialmente el riesgo de crédito. No obstante, independientemente de quién sea el emisor se tiene cierta probabilidad de impago, aunque sean emisiones gubernamentales como el caso de Argentina.

Un emisor de deuda se compromete principalmente a tres cosas:

- i. Dar un rendimiento.
- ii. Pagar intereses periódicos (en caso de los bonos con cupón).
- iii. Devolver el valor nominal del instrumento en la fecha de vencimiento.

Cuando el emisor de dichos instrumentos sea incapaz de cumplir con sus obligaciones financieras, haciendo que el tenedor del instrumento incurra en pérdidas, se dice que cayó en situación de *default*. Hay otros eventos que afectan el valor de un crédito sin que necesariamente signifique un impago del deudor; por ejemplo, una baja en la calificación crediticia del emisor o de la emisión. Si una agencia degrada una calificación, significa que la probabilidad de incumplimiento del emisor de deuda ha aumentado, a esto se denomina riesgo de *downward*.

2.2.5. Las agencias de calificación

Las agencias calificadoras evalúan a los emisores y a sus emisiones por separado, puesto que cada uno representa un riesgo diferente. El primero se refiere al riesgo de que el emisor sufra un deterioro en su situación financiera que le impida devolver el principal y los intereses de la deuda. Mientras que el segundo, se relaciona a la emisión por sí misma.

Las calificadoras de riesgo son organizaciones que se dedican a evaluar créditos y productos financieros con el fin de determinar la capacidad de una entidad para cumplir con sus compromisos financieros. Las calificadoras más importantes son las estadounidenses Standard & Poor's, Moody's y Fitch. En México, la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV) además de las instituciones ya mencionadas, reconoce como agencias calificadoras a HR Ratings de México, Verum, DBRS y AM Best.

Las entidades que evalúan son países, instituciones financieras y empresas, así como los instrumentos que estas emiten. El análisis se realiza en base a algunos parámetros importantes como la deuda, finanzas, administración y economía. Cada una de las agencias tiene su propia metodología para calificar, por lo que no siempre coinciden entre

ellas. En general la escala de calificaciones varía entre A y D, siendo AAA el máximo valor y D el más bajo:

AAA - A	BBB - B	CCC - C	D
Inversión fuerte y segura	Inversión segura	Inversión poco segura	Suspensión de pagos.

Las agencias calificadoras tienen un gran peso económico a nivel internacional. Sus opiniones son el primer acercamiento del inversionista para conocer el riesgo al que se enfrenta al adquirir un activo financiero.

Cuando una organización desea financiación y emite deuda, acude a una calificadora para que la evalúe y según el resultado se determina la tasa a la cual reeditará al inversor; es decir, si se recibe una baja calificación, tendrá que compensarlo a un tipo de interés elevado y el crédito valdrá menos.

Para los inversionistas, las agencias de calificación proporcionan una medida de riesgo fácil de usar y ayudan a expandir las alternativas de inversión contribuyendo a aumentar la eficiencia de los mercados y a mitigar buena parte de los costos que tendrían los inversionistas al tratar de analizar los riesgos de crédito de cada posible inversión.

No obstante, las agencias de calificación han cometido graves fallas en sus evaluaciones. El ejemplo más popular es el de la crisis de 2008, cuando las agencias evaluaron a los bonos de las hipotecas *subprime* con una calificación de AAA, cuando su riesgo de exposición era considerablemente mayor.

En conclusión, las agencias calificadoras juegan un papel muy importante en los mercados financieros mundiales, sin embargo, presentan graves fallas metodológicas en sus evaluaciones y generalmente incluyen opiniones subjetivas. Esto hace necesario que se establezca una regulación sobre estas agencias con el fin de mejorar su objetividad y normalizar metodologías.

Mediante los sistemas de calificación, los inversionistas determinan la calidad crediticia de los emisores y su probabilidad de incumplimiento. No obstante, este método de evaluación de riesgo no es exacto y tiene diversas limitaciones. Asimismo, la heterogeneidad en los sistemas de calificación dificulta la comparación de los niveles de riesgo crediticio asociados de cada empresa.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar metodologías que permitan cuantificar la probabilidad de incumplimiento y la severidad de las pérdidas de una inversión específica. En el capítulo tres se abordarán brevemente algunos de los modelos más conocidos y aplicados en el medio financiero actual incluyendo al modelo KMV.

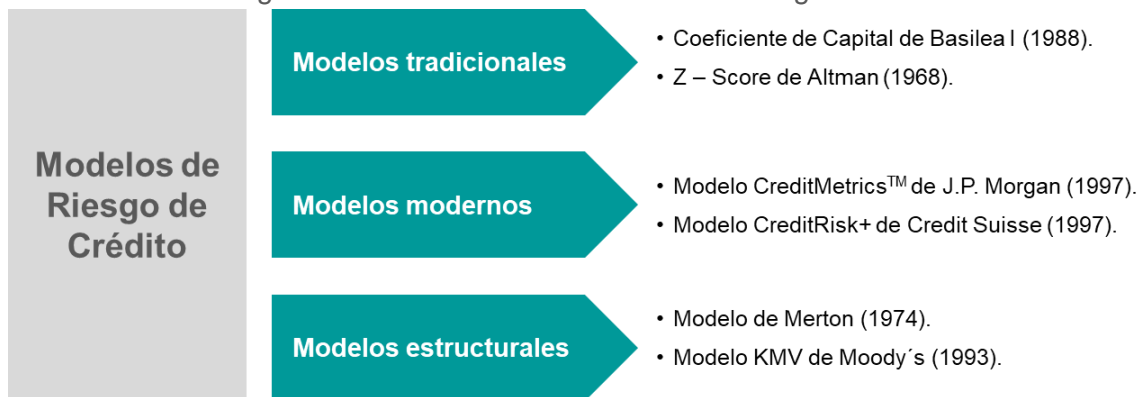
III. MODELOS DE RIESGO DE CRÉDITO

En los capítulos anteriores, se expuso el concepto del riesgo de crédito en el contexto de los mercados financieros, destacando la importancia de su debida gestión no sólo para un inversionista sino para una economía global. El presente capítulo tiene como objetivo exponer las principales vertientes en lo que a la medición del riesgo de crédito se refiere, abordando los principales hallazgos de los modelos considerados como los más aceptados en el medio para dicho fin, tales como i) los Acuerdos de Basilea, ii) el Z – Score de Altman, iii) el CreditMetrics de J.P. Morgan, iv) el CreditRis+ de Credit Suisse, v) el Modelo de Merton y finalmente, la metodología propósito del presente trabajo, vi) el Modelo KMV de Moody’s.

Los modelos para estimar la probabilidad de incumplimiento comenzaron a desarrollarse a partir de los años treinta, no obstante, fue hasta la década de los setenta que surgieron formalmente; su objetivo, es identificar los factores de riesgo en las carteras de los agentes inversores, con el fin de prevenir o minimizar las pérdidas potenciales en las que podrían incurrir.

Si bien no existe un consenso en la clasificación de modelos de riesgo de crédito, la más popular es la que distingue entre los modelos tradicionales, modernos y los estructurales:

Figura 3.1 Clasificación de modelos de riesgo de crédito



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se dará un breviario de las particularidades de cada clasificación y sus principales distinciones, así como la mención de sus metodologías que se expondrán en el presente trabajo.

3.1 Modelos tradicionales

Los modelos tradicionales suelen basar su análisis en dos técnicas, ya sea por medio del análisis fundamental, o bien, empleando una ponderación de los factores determinantes para el cumplimiento de las obligaciones de deuda de las empresas. El análisis de tipo

fundamental parte del estudio de los estados financieros y de sus proyecciones con el fin de determinar si una empresa caerá o no en incumplimiento de pago.

La debilidad de estos modelos es que sus conclusiones se basan principalmente en la información histórica de las empresas y no involucran variables actuales como los precios y la volatilidad de los activos de mercado. Lo anterior, junto con las condiciones cambiantes en el entorno financiero, ha ocasionado que estos modelos se vean superados y sustituidos por metodologías matemáticas más desarrolladas.

Algunas de las metodologías propias de este enfoque son: el Coeficiente de Capital Mínimo por el Comité de Basilea y el Z-Score por Edward I. Altman.

3.1.1 Coeficiente de capital del Comité de Basilea

En 1988 un grupo de representantes de bancos centrales de doce países se reunió en Basilea, Suiza atendiendo la necesidad de establecer un marco regulatorio internacional para reducir al mínimo los riesgos asociados a las operaciones bancarias. En un principio, el Acuerdo iba dirigido a bancos centrales, no obstante fue implementado rápidamente en la banca comercial.

El Acuerdo publicado recibió el nombre de Basilea I y centró su atención en el riesgo de crédito, definiendo los requisitos de capital del balance para una entidad bancaria, siendo sus principales objetivos: i) reforzar la solidez y estabilidad del sistema bancario internacional, y ii) disminuir las desigualdades competitivas entre los bancos internacionales (Balthazar, 2006).

Basilea considera en todo momento el binomio ya bien conocido de rentabilidad – riesgo, estableciendo que la banca debía de tener “un colchón” proporcional al riesgo que estaba asumiendo, correctamente calculado que le permitiera hacer frente al mismo.

Para lograr dichos fines, el Comité diseñó un conjunto de reglas para definir un nivel mínimo de capital regulatorio para los bancos, mismo que está dado por la ratio entre el Capital Regulatorio y los Activos Ponderados por Riesgo (APR). El principio fundamental del indicador es asignar a las partidas que se asientan, tanto dentro como fuera del balance, una ponderación en función de su nivel de riesgo estimado y exigir un nivel de capital equivalente al 8% de los activos ponderados.

Para lograr un convenio internacional en el cálculo, el Comité definió los elementos que conforman el capital bancario y clasificó los componentes del mismo en función de su calidad crediticia (Figura 3.2). El nivel 1 considera formas de capital de mayor calidad, es decir, las que tienen menor prioridad de ser reembolsadas en caso de que el banco se declare en quiebra, por ejemplo, el capital propio del banco. Por su parte, el nivel 2 está compuesto del capital que no pertenece al banco, por lo que su activo principal es la deuda contraída.

El Acuerdo establecía un capital estándar mínimo de 8% del total de los activos ponderados; es decir, el valor del capital del banco tenía que ser al menos el 8% del valor de sus activos riesgosos para ser considerado suficientemente capitalizado. La principal novedad de este indicador comparado con los propuestos anteriormente, es la diferenciación de los activos en función de su riesgo asumido, además, que se incorporaron las partidas fuera de balance que iban tomando gran importancia debido a las operaciones con instrumentos derivados (Balthazar, 2006).

Figura 3.2 Niveles de Capital Regulador por Basilea I



Fuente: Elaboración propia con base en (Balthazar, 2006).

Una vez definido el capital, el Comité determinó cuatro ponderaciones de riesgo asumido y los tipos de activos que las conformarían, estableciéndose de la siguiente manera:

Figura 3.3 Ponderación de riesgos por activo

Ponderación de riesgo	Activos incluidos en la categoría de riesgo
0%	<ul style="list-style-type: none"> - Efectivo - Préstamos en las administraciones centrales de la OCDE - Préstamos en gobiernos centrales
20%	<ul style="list-style-type: none"> - Préstamos en los Bancos de la OCDE y los bancos multilaterales de desarrollo. - Préstamos en bancos fuera de la OCDE con vencimiento menor a un año. - Préstamos a entidades públicas que no dependen del gobierno central.
50%	<ul style="list-style-type: none"> - Préstamos hipotecarios
100%	<ul style="list-style-type: none"> - Todos los demás activos relacionados con negocios, activos en bancos fuera de la OCDE con vencimiento mayor a un año, sector privado.

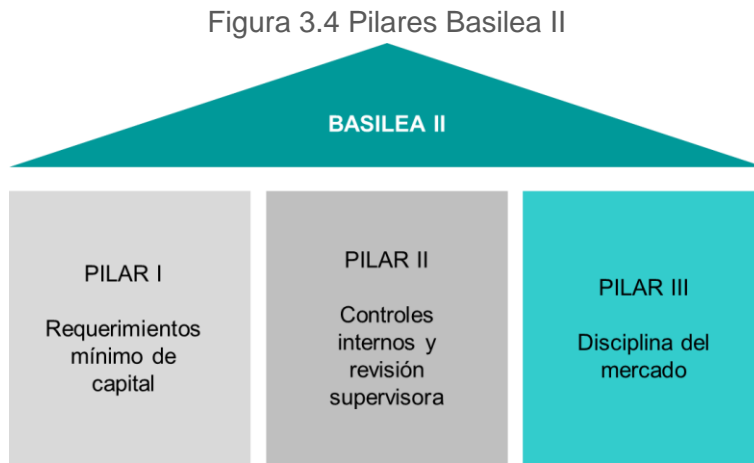
Fuente: Elaboración propia con base en (Balthazar, 2006).

Dependiendo de la categoría a la que correspondía, se determinaba el porcentaje de los activos que sería incluido en el total de activos ponderados por riesgo. De esta manera, mientras más activos fueran colocados en los porcentajes de riesgo más altos, mayor sería el valor de los activos riesgosos, y por tanto, mayor el requerimiento de capital del banco.

El Acuerdo Basilea I decretó por primera vez una metodología para medir el capital de los bancos en función del riesgo de crédito, estableciendo que el nivel de capital requerido debía ser proporcional al valor de sus activos y al nivel de riesgo de pérdida asociado a cada uno de ellos.

En junio de 2004, el Comité de Supervisión Bancaria de Basilea presentó un nuevo Acuerdo para la regulación, el cual fue denominado como Basilea II, dicho Acuerdo tuvo como propósito fundamental establecer los lineamientos para lograr que el capital de los bancos refleje con mayor precisión no sólo su exposición al riesgo de crédito, sino también al riesgo de mercado y riesgo operacional (Balthazar, 2006).

Basilea II se estructura en tres pilares principales, los cuales se consideran como ejes complementarios diseñados para apoyar el objetivo de mayor estabilidad financiera. Estos pilares son:



Fuente: Elaboración propia con base en (Balthazar, 2006).

El requerimiento mínimo de capital continuó teniendo como base el Acuerdo de 1988, el cual establece un requisito de capital mínimo del 8% de los activos ponderados del banco manteniendo la definición de capital; no obstante, la ponderación fue modificada, ya que se incluyeron los conceptos de riesgo operacional y riesgo de mercado. De esta manera, la ratio del capital requerido se determinó de la siguiente manera:

Figura 3.5 Requerimiento mínimo de Capital Regulador por Basilea II

Requerimiento mínimo de capital =		
Capital Regulatorio		
Riesgo de crédito:	+	Riesgo de mercado:
<ul style="list-style-type: none"> • Método estándar (Basilea I). • Método fundamental basado en calificaciones internas (IRBF). • Método fundamental basado en calificaciones internas (IRBF). 		<ul style="list-style-type: none"> • Método estándar. • Método modelo interno (IMA).
		+
		Riesgo operacional:
		<ul style="list-style-type: none"> • Método de indicador básico (BIA). • - Método estandarizado (SA). • - Método de medición avanzada (AMA).

Fuente: Elaboración propia con base en (Balthazar, 2006, pág. 45).

Una avance importante de Basilea II en el cálculo del capital mínimo regulatorio, radica en que los Activos Ponderados por Riesgo, incrementaron a más categorías, mismas que permiten diferenciar entre deuda soberana, deuda pública, banca de desarrollo, banca comercial, deuda corporativa, deuda minorista, créditos garantizados por hipotecas comerciales o residenciales, además de que los activos se clasifican de acuerdo a la calificación crediticia.

Posterior a la crisis de 2008, el Comité se reunió nuevamente y ante la necesidad inmediata de fortalecer los temas de liquidez y de capital bancario, emitió el Acuerdo de Basilea III en diciembre de 2010, con el principal propósito de amortiguar la inestabilidad financiera internacional y crear las bases para un sistema bancario resiliente que ayudará a mitigar las vulnerabilidades sistemáticas. La solución propuesta por el Comité consistió en elevar los requerimientos de capital para la cartera de inversión y exposiciones complejas, y a su vez propuso un nuevo cálculo del requerimiento mínimo de Capital Regulatorio a través del valor en riesgo (VaR) (Balthazar, 2006).

A diferencia del Acuerdo anterior, éste documento considera medidas para reforzar los requerimientos de capital por concepto de riesgo de crédito de contraparte, teniendo como principal objetivo reducir la prociclicidad del sistema financiero. Asimismo, el nuevo Acuerdo modificó la definición de capital que había mantenido en los dos anteriores, estableciéndose de la siguiente manera:

Figura 3.6 Niveles de Capital Regulator por Basilea III



Fuente: Elaboración propia con base en (Balthazar, 2006)

Los elementos del capital se definen como la suma del capital nivel 1 (capital de funcionamiento) y el capital de nivel 2 (capital de liquidación). A diferencia de los anteriores acuerdos, la ratio del requerimiento mínimo de capital se determinó por el capital nivel 1 y los activos ponderados por riesgo, dicho coeficiente debía ser de al menos de 4.5%. Por su parte, la ponderación de riesgo de los activos sería calculada por i) el Método Estándar, en el cual las entidades supervisoras fijan las ponderaciones por riesgo que los bancos tendrán que aplicar para determinar los APR, o ii) el Método basado en calificaciones Internas (IRB), el cual permite que los bancos utilicen modelos internos para estimar el riesgo de crédito y por consiguiente los APR, previa autorización de las entidades supervisoras (Balthazar, 2006).

Por otra parte, el Acuerdo destaca la importancia de limitar el apalancamiento de los bancos a través de un coeficiente que solventará el exceso de endeudamiento. Finalmente, se incluye la recomendación de políticas macroeconómicas que ayuden a consolidar el sistema bancario.

Los Acuerdos de Basilea se han ido complementando entre sí, modificando y contemplando los cambios del sector bancario y el financiero. Asimismo, si bien este conjunto de normas son recomendaciones dirigidas principalmente a los bancos centrales, han sido adoptadas en su mayoría y transmitidas a la banca comercial. El objetivo de los Acuerdos de Basilea ha sido el mismo: lograr la estabilidad del sistema bancario internacional así como su homogeneización, marcando un punto de partida en la regulación bancaria internacional.

3.1.2 El modelo Z – Score de Altman

La metodología desarrollada por Edward I. Altman en 1968 tiene como objetivo predecir la quiebra de una empresa mediante un análisis estadístico en el que se seleccionan y ponderan de forma objetiva los indicadores financieros de las compañías.

La técnica estadística que Altman eligió como la apropiada para su modelo, consiste en el análisis discriminante multivariado, el cual permite clasificar observaciones en grupos pre definidos de acuerdo a sus características individuales. El análisis discriminante busca obtener una combinación lineal de las cualidades que mejor discriminan entre sí, tal que la varianza entre las variables de un mismo grupo sea homogénea y las varianzas entre los distintos grupos sean heterogéneas (Elizondo, 2010, pág. 54).

El modelo Z – Score consiste en identificar un conjunto de empresas con características similares y clasificarlas en dos grupos: solventes o insolventes, para después comparar sus estados financieros y determinar los ratios que más contribuyen a que caiga en una situación de *default*.

Una función discriminante se expresa como:

$$Z = \gamma_1 X_1 + \gamma_2 X_2 + \dots + \gamma_k X_k \dots\dots\dots 1$$

Dónde:

- γ_i , son los coeficientes de la función discriminante.
- X_i , son las variables independientes
- Z, es el valor de la función discriminante o Z – Score.

En el modelo original, Altman seleccionó 66 empresas pertenecientes al sector manufacturero de las cuales 33 habían entrado en quiebra entre los años 1945 y 1965, y el resto fueron empresas elegidas al azar. Además identificó 22 razones financieras que consideraba relevantes para detectar un incumplimiento y las clasificó en cinco categorías: i) liquidez, ii) rentabilidad, iii) apalancamiento, iv) solvencia y v) operatividad, teniendo como base los estados financieros de las empresas (Altman, 1968).

Con el fin de reducir la muestra y considerar los indicadores más valioso, Altman aplicó pruebas de significancia estadística a cada variable y seleccionó 5 de los 22 indicadores originales como aquellos que, en conjunto, podían ser más acertados al predecir la quiebra corporativa, al ser multiplicados por un coeficiente discriminante.

La función discriminante que resultó del ejercicio anterior, es la siguiente:

$$Z = 0.012X_1 + 0.014X_2 + 0.033X_3 + 0.006X_4 + 0.999X_5 \dots\dots\dots 2$$

Dónde:

- $X_1 = \text{Capital de trabajo neto} / \text{Activos totales}$
- $X_2 = \text{Utilidades retenidas} / \text{Activos totales}$
- $X_3 = \text{EBIT} / \text{Activos totales}$
- $X_4 = \text{Valor de mercado de los activos} / \text{Pasivos totales}$
- $X_5 = \text{Ventas} / \text{Activos totales}$

La variable X_1 , es un indicador de liquidez que mide la relación del capital de trabajo neto sobre los activos totales. Se considera que un indicador sano es superior a cero, mientras que una disminución del capital de trabajo neto, entendido como activo circulante menos pasivo circulante, con respecto de los activos totales, es indicio de que la empresa sufre problemas de liquidez.

El ratio de utilidades retenidas sobre activos totales X_2 , fue la variable de rentabilidad más significativa en el modelo de Altman, siendo una medida que muestra el valor de las ganancias reinvertidas históricamente por la empresa. Por lo anterior, mientras mayor sea este indicador, significa que las empresas se financian con mayor flujo generado por la operación propia.

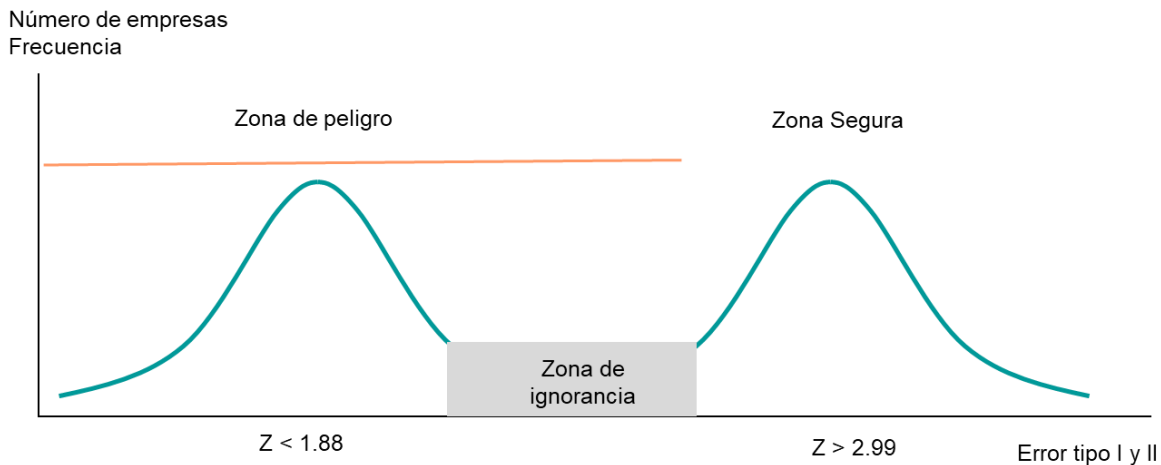
La variable X_3 de la ecuación de Altman, es un indicador de rentabilidad similar a la Rentabilidad sobre los Activos (ROA). No obstante, en el ratio EBIT sobre activos totales, se mide el beneficio operativo de una empresa con respecto de sus activos, antes de pagar intereses e impuestos.

La razón del valor de mercado del capital sobre los pasivos totales, es el único indicador que considera los pasivos en el denominador y es el encargado de incorporar en la ecuación de Altman la percepción subjetiva del mercado. Es decir, mide el valor que le está asignando el mercado a la empresa en relación a sus pasivos contraídos. Asimismo, este ratio muestra hasta dónde pueden disminuir los activos de la empresa antes de que los pasivos excedan los activos y pueda caer en incumplimiento.

Finalmente, la relación de ventas sobre activos totales indica la capacidad de generación de los ingresos, midiendo la efectividad de las ventas comparada con el total de activos con los que cuenta la empresa.

En la aplicación del modelo, Altman concluyó que las empresas con $Z > 2.99$ caen en el sector de no quiebra, mientras que las que resultan con $Z > 1.88$ se consideran en quiebra. Asimismo, definió el área entre 1.81 y 2.99 como "Zona de ignorancia" debido a la susceptibilidad de clasificación de los errores; es decir, no se puede afirmar con certeza a qué grupo pertenece una empresa cuyo indicador Z se encuentra en dicha Zona. La exactitud para predecir la bancarrota corporativa del modelo es de 93.9 % con un año de anticipación y de 36% con cinco años antes (Elizondo, 2010).

Figura 3.7 Z-score de Altman



Fuente: Elaboración propia con base en (Elizondo, 2010)

En el modelo, se supone que la función Z está distribuida normalmente y Altman concluyó que el promedio de las empresas financieramente sanas se encontraba en un valor de Z igual a 4.14, mientras que el de las empresas en bancarrota era de 0.15.

Con objeto de valorar el poder discriminante del modelo, se realiza la prueba estadística F, misma que se calcula como el cociente de la suma de los cuadrados entre grupos y la suma de los cuadrados de cada grupo. Esta prueba estadística resulta ser la más apropiada, en virtud de que el propósito del análisis multivariado es identificar aquellas variables que mejor discriminen entre grupos y al mismo tiempo sean lo más similares dentro de cada grupo.

Asimismo, es posible evaluar los errores de clasificación para conocer la precisión del modelo al clasificar correctamente a las empresas dentro de cada grupo. Los errores de clasificación se refieren a los estadísticos error Tipo I y Tipo II. El Error I es cuando clasifica a una empresa en el grupo de las solventes cuando en realidad pertenece a las insolventes y el Tipo II se refiere al caso contrario. De esta manera, una vez obtenida la calificación Z para una determinada empresa se hacen las pruebas de hipótesis y se determina a qué grupo pertenece.

La interpretación económica de caer en alguno de los errores, es que ambos tienen un costo asociado para el agente que tomará una decisión con base a este resultado, siendo el Error Tipo I generalmente el más costoso. Es decir, si un banco otorga un préstamo a una empresa que se encuentra susceptible a la bancarrota, se clasificaría en el Error Tipo I y la institución podría registrar pérdidas futuras, derivado del incumplimiento de pago; mientras que el error Tipo II representa un costo de oportunidad.

El modelo Z – Score, al igual que otros modelos que miden la solvencia considerando únicamente a un agente financiero, suelen ser utilizados por los bancos en la aprobación de créditos y en el cálculo de las reservas preventivas, a fin de detectar comportamientos en la empresa que pudieran coadyuvar a la quiebra.

A pesar de la valiosa contribución de éste modelo al análisis de quiebras corporativas, no está exento de críticas y limitaciones. Una de ellas, es que utiliza información proveniente de los estados financieros de las empresas y, dado que algunas de las cuentas contables son manipulables, es posible que el modelo no refleje la verdadera situación de la compañía. Aunado a lo anterior, el análisis de las razones financieras no permite identificar variables exógenas que son relevantes en el otorgamiento del crédito, entre las que se encuentra el tamaño corporativo, ya que, una pequeña es más susceptible a caer en *default* que una empresa grande. Finalmente, se le criticó el hecho de que el modelo estaba dirigido a empresas medianas pertenecientes al sector manufacturero y cuya información fuera pública.

Altman construyó otras metodologías posteriores al Z – Score donde buscó subsanar algunas de las deficiencias que se señalaron en su modelo principal. En 1977, elaboró, en colaboración con otros autores, el modelo Zeta donde incorpora empresas del sector manufacturero y que no cotizaban necesariamente en bolsa. Asimismo, en 1995 creó un modelo de calificación para mercados emergentes cuyo objetivo fue determinar la calidad del crédito en los países subdesarrollados.

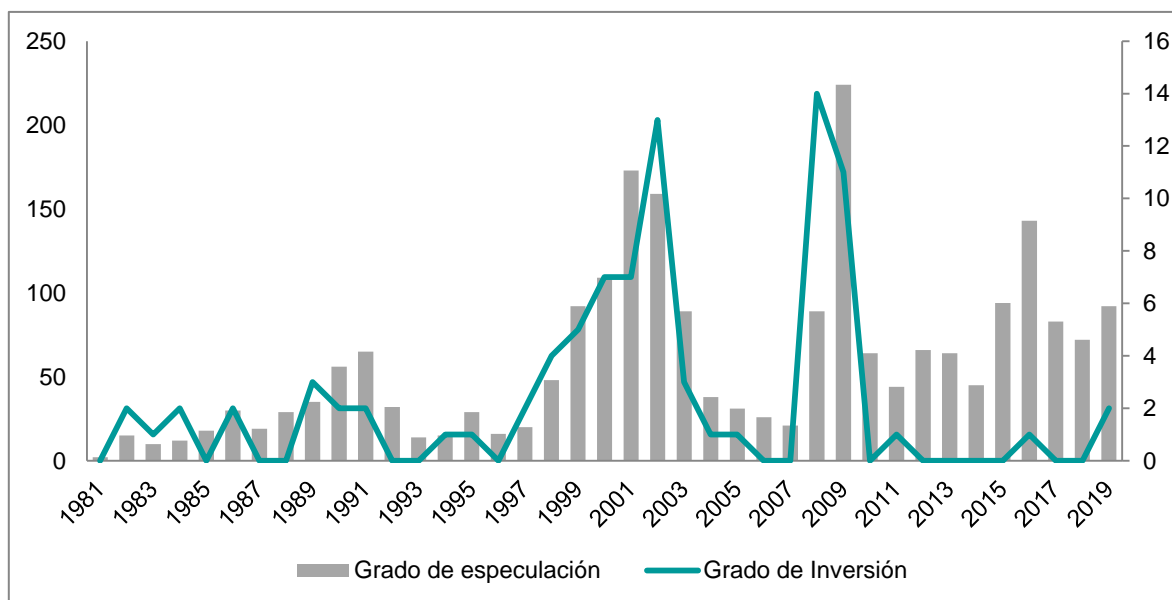
El modelo Z – Score, junto con otros modelos tradicionales, siguen siendo vigentes hoy en día en las predicciones de quiebras corporativas, no obstante, es recomendable complementar su uso con los modelos modernos que incluyen otras variables económicas determinantes en el análisis del riesgo de crédito.

3.2 Modelos modernos

Los modelos modernos usan técnicas más sofisticadas que permiten calcular probabilidades de incumplimiento más certeras comparadas con los modelos tradicionales, ya que incluyen un mayor número de variables que explican mejor las condiciones de los mercados. A pesar de que estos modelos no son nuevos, su popularidad ha ido en aumento en las últimas décadas, debido a la aparición de diversos instrumentos financieros que se basan en la calidad crediticia del emisor y dado el incremento en el número de incumplimientos, especialmente, en el sector privado.

En la figura 3.8 se presentan los incumplimientos corporativos comprendidos en el periodo de 1981 hasta 2019, clasificados por grado de inversión y especulación. Se destaca un incremento en los incumplimientos a partir de 1997, liderado principalmente por empresas con grado de especulación. En 2002 se observa una baja en los incumplimientos corporativos, no obstante, en 2008 se registró un repunte importante derivado de la crisis inmobiliaria.

Figura 3.8 Incumplimientos corporativos 1981 - 2019



Fuente: Elaboración propia con base en (S&P Global Ratings, 2019, pág. 4).

Figura 3.9 Incumplimientos corporativos representativos por año 1994 - 2019

Año	Empresa	Sector	Causa de incumplimiento	Deuda pendiente (mdd)
1994	Confederation Life Insurance	Servicios financieros	Sin información	2,415
1995	Grand Union Co./Grand Union Capital	Consumo	Sin información	2,163
1996	Tiphook Finance	Servicios financieros	Sin información	700
1997	Flagstar Corp.	Inmobiliaria	Sin información	1,021
1998	Service Merchandise Co.	Consumo	Sin información	1,326
1999	Integrated Health Services Inc.	Salud	Sin información	3,394
2000	Owens Corning	Manufactura	Sin información	3,299
2001	Enron Corp.	Energía	Sin información	10,779
2002	WorldCom Inc.	Telecomunicaciones	Sin información	30,000
2003	Parmalat Finanziaria SpA	Alimentos	Sin información	7,177
2004	RCN Corp.	Telecomunicaciones	Sin información	1,800
2005	Calpine Corp.	Servicios públicos	Sin información	9,559
2006	Pliant Corp.	Manufactura	Sin información	1,644
2007	Movie Gallery Inc.	Consumo	Sin información	1,225
2008	Lehman Brothers Holdings Inc.	Servicios financieros	Sin información	144,426
2009	Ford Motor Co.	Automotriz	Sin información	70,989
2010	Energy Future Holdings Corp.	Energía	<i>Distressed exchange</i>	47,648

2011	Texas Competitive Electric Holdings Co. LLC	Energía	<i>Distressed exchange</i>	32,460
2012	BTA Bank J.S.C.	Servicios financieros	Capítulo 15	10,184
2013	Texas Competitive Electric Holdings Co. LLC	Energía	<i>Distressed exchange</i>	31,628
2014	Texas Competitive Electric Holdings Co. LLC	Energía	Pago de interés	28,651
2015	Arch Coal Inc.	Minería	Pago de capital / intereses	6,025
2016	Petroleos de Venezuela, S.A.	Energía	<i>Distressed exchange</i>	19,859
2017	Petroleos de Venezuela, S.A.	Energía	Pago de interés	17,617
2018	iHeartCommunications Inc.	Telecomunicaciones	Pago de capital / intereses	20,176
2019	Community Health Systems Inc.	Salud	<i>Distressed exchange</i>	23,432

Fuente: Elaboración propia con base en (S&P Global Ratings, 2019, pág. 15)

En alcance de lo anterior, algunos de los modelos modernos con mayor aceptación en el mundo financiero son el CreditRisk+ desarrollado por Credit Suisse y el CreditMetrics de J.P. Morgan, ambos publicados en 1997. En las siguientes líneas se abordarán las ideas centrales de dichas metodologías.

3.2.1 El modelo CreditMetrics™ de J.P. Morgan

La metodología desarrollada por J.P. Morgan en 1997 recibe el nombre de CreditMetrics™ (CM), y su propósito es estimar el riesgo de crédito a través de estadísticas descriptivas tales como el valor en riesgo (VAR) y la pérdida esperada. Este modelo permite analizar el riesgo de crédito en un contexto de cartera, a diferencia del modelo Z – Score de Altman que mide únicamente la calidad crediticia individual.

El análisis de riesgo a nivel portafolio permite capturar dos importantes efectos que no se consideran en el análisis individual: i) la granularidad y ii) la concentración del portafolio. La granularidad se refiere a cuánto representa cada activo con respecto del total del portafolio, es decir, mientras mayor sea una posición en relación con el promedio, mayor será el riesgo que aporte al portafolio. Por su parte, el efecto de la concentración alude a la proporción de las posiciones en el mismo sector o en la misma región geográfica, lo cual aumenta la probabilidad de incumplimientos simultáneos (Elizondo, 2010).

CM busca no solo incluir estos factores al análisis, sino que pretende cuantificarlos y explicar la manera en que se relaciona la calificación individual, la granularidad y la concentración, reflejando cambios en la calidad crediticia de los obligados.

Considerando lo anterior, CreditMetrics puede describirse como un modelo de cartera para la medición del riesgo considerando los cambios de valor causados por migraciones en la calidad crediticia de los obligados (Elizondo, 2010, pág. 133). El análisis incorpora

tanto situaciones de incumplimiento como mejoras y deterioros (*upgrade* y *downgrade*) en las calificaciones.

Los principales supuestos que encabezan esta metodología son:

- Todos los emisores que pertenezcan a la misma calidad crediticia son homogéneos en su probabilidad de migración y de *default*, independientemente de sus características individuales.
- El precio de las acciones son una aproximación del valor del activo.
- Las tasas de interés siguen un modelo matemático determinista.
- Se asume que no existe el riesgo de mercado.

Su insumo principal es la matriz de transición creada a partir de los sistemas de calificación y su objetivo es modelar la probabilidad de que un crédito calificado, migre a otro nivel en un determinado periodo; tal probabilidad se conoce como la probabilidad de migración. Matemáticamente, la matriz de transición calcula la probabilidad de pasar del estado i en el tiempo t , al estado j en $t + 1$.

Una matriz de transición con i filas y j columnas debe cumplir con lo siguiente:

1. Todos sus elementos son positivos, es decir $p_{ij} \geq 0$.
2. La suma de los elementos de cada fila es igual al 100%, es decir $\sum p_{ij} = 1$.

Los elementos de la diagonal son mayores que los que se encuentran fuera de ella debido a que la probabilidad más alta siempre será que la calidad se mantenga en su estado inicial, lo cual es conocido como la probabilidad de permanencia. Por su parte, la probabilidad de que los créditos migren a un estado inferior es mayor a la probabilidad de que pase a un estado superior. Además, se supone que los obligados en incumplimiento se encuentran en un estado absorbente y no tienen oportunidad de mejorarlo.

La Figura 3.10 muestra la matriz de transición de un bono corporativo por periodo de un año. La columna de la izquierda representa las calificaciones iniciales del obligado y las de la derecha son los *ratings* en el horizonte de inversión establecido. En este ejemplo, existe una probabilidad del 0.33% de que un crédito calificado como BBB migre a una calificación de AA al final del periodo. Para el mismo obligado, su probabilidad de incumplimiento es del 0.18%.

Tanto los sistemas de calificación como su matriz de transición se pueden obtener de las agencias calificadoras y de las metodologías internas de los bancos. La matriz de transición es el elemento más importante en el modelo CreditMetrics puesto que permite analizar el posible deterioro en la calidad crediticia de un obligado en el futuro.

Figura 3.10 Matriz de transición a un año para bonos (%)

Calificación inicial (t)	Calificación al final del año ($t+1$)							
	AAA	AA	A	BBB	BB	B	CCC	D
AAA	90.81	8.33	0.68	0.06	0.12	0.00	0.00	0.00
AA	0.70	90.65	7.79	0.64	0.06	0.14	0.02	0.00
A	0.09	2.27	91.05	5.52	0.74	0.26	0.01	0.06
BBB	0.02	0.33	5.95	86.93	5.30	1.17	0.12	0.18
BB	0.03	0.14	0.67	7.73	80.53	8.84	1.00	1.06
B	0.00	0.11	0.24	0.43	6.48	83.46	4.07	5.20
CCC	0.22	0.00	0.22	1.30	2.38	11.24	64.84	19.79
Incumplimiento	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100

Fuente: Elaboración propia con base en (RiskMetrics Group, Inc., 2007, pág. 25).

Asimismo, es relevante determinar la severidad de la pérdida en cada uno de los posibles estados de calidad crediticia, considerando las garantías que se hayan otorgado a fin de mitigar la pérdida potencial del activo, así como las características individuales del mismo. Las tasas de recuperación provistas por J.P. Morgan, de acuerdo a los mecanismos de garantía establecidos, se presentan en la Figura 3.11. Por ejemplo, los créditos considerados como *Senior Sin Garantías* tienen una tasa promedio de recuperación del 51.13% y una desviación estándar de 25.45%. Si su valor nominal es de cien, el valor de este bono en caso de incumplimiento es de \$51.13.

Figura 3.11 Tasas de recuperación por antigüedad de créditos en incumplimiento

	Media (%)	Desviación Estándar (%)
Senior Garantizada	53.8	26.86
Senior Sin garantías	51.13	25.45
Senior Subordinada	38.52	23.81
Subordinada	32.7	20.18
Junior Subordinada	17.09	10.9

Fuente: Elaboración propia con base en (RiskMetrics Group, Inc., 2007)

El siguiente paso del modelo es determinar la curva cupón cero de cada categoría de calificación y correspondiente al plazo total de la inversión. La curva cupón cero es la encargada de relacionar los tipos de interés de contado de un activo con sus respectivos plazos de vencimiento, por lo que dicha curva se emplea para determinar el precio de un activo adquirido en t y efectuado en $t + n$.

El documento técnico de J.P. Morgan toma como ejemplo un bono calificado como BBB con vencimiento a cinco años y una tasa cupón del 6% pagadera anualmente. Las curvas de tasa cero para este instrumento están dadas por el cuadro que se presenta a continuación:

Figura 3.12 Curva cupón cero – forwards anuales por calificación

Calificación	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
AAA	3.60	4.17	4.73	5.12
AA	3.65	4.22	4.78	5.17
A	3.72	4.32	4.93	5.32
BBB	4.10	4.67	5.25	5.63
BB	5.55	6.02	6.78	7.27
B	6.05	7.02	8.03	8.52
CCC	15.05	15.02	14.03	13.52

Fuente: Elaboración propia con base en (RiskMetrics Group, Inc., 2007, pág. 27).

Un bono cuyo valor nominal es de \$100, pagará un cupón de \$6 en los próximos cuatro años y en su vencimiento reembolsará al tenedor el valor nominal más el cupón. El precio del bono sería de \$107.53, descontado con las tasas de la curva cupón cero, lo anterior, suponiendo que al final del horizonte de inversión el bono mantuvo su calificación en BBB.

$$P_{BBB} = 6 + \frac{6}{(1+0.041)} + \frac{6}{(1+0.0467)^2} + \frac{6}{(1+0.0525)^3} + \frac{106}{(1+0.0563)^4} = 107.53 \dots\dots\dots 3$$

El precio estimado del bono en un año para el resto de las calificaciones crediticias, se obtiene de la misma manera, teniendo con ello los siguientes resultados:

Figura 3.13 Valores estimados a un año de bono BBB

Calificación	Valor del bono (\$)	Probabilidad
AAA	\$109.35	0.02%
AA	\$109.17	0.33%
A	\$108.64	5.95%
BBB	\$107.53	86.93%
BB	\$102.01	5.30%
B	\$98.09	1.17%
CCC	\$83.63	0.12%
<i>Default</i>	\$51.13	0.18%

Fuente: Elaboración propia con base en (RiskMetrics Group, Inc., 2007)

El nivel AAA corresponde a la calidad crediticia más alta, por lo que su curva cupón cero cuenta con las tasas de descuento más bajas, consecuentemente, el valor presente de los flujos de efectivo del bono resulta más atractivo para esta calificación. El precio del bono en caso de incumplimiento, se calcula descontando los flujos de efectivo futuros con la tasa de recuperación expresada en la Figura 3.11.

Una vez obtenidas las revaluaciones del instrumento, el paso siguiente es determinar la distribución de los valores y su volatilidad causada por los cambios en la calidad crediticia. En la Figura 3.14 se muestran las probabilidades, así como las pérdidas y/o ganancias del bono en los diferentes *ratings*, mismos que son insumos para el cálculo del valor en riesgo.

Figura 3.14 Cálculo de volatilidad de bono BBB.

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a*b</i>	<i>c = b - μ</i>	<i>c²</i>	<i>a*c²</i>
	Pb. de permanencia	Revaluación del bono (\$)	VF ponderado de Pb. (\$)	VF - Media (\$)	Error (\$)	Pb.
AAA	0.02%	109.35	0.02	2.28	5.21	0.0010
AA	0.33%	109.17	0.36	2.10	4.42	0.0146
A	5.95%	108.64	6.46	1.57	2.48	0.1473
BBB	86.93%	107.53	93.48	0.46	0.21	0.1852
BB	5.30%	102.01	5.41	-5.06	25.63	1.3586
B	1.17%	98.09	1.15	-8.98	80.70	0.9442
CCC	0.12%	83.63	0.10	-23.44	549.60	0.6595
D	0.18%	51.13	0.09	-55.94	3129.21	5.6326
		Media (μ)	Σ = \$107.07		Varianza	Σ = 8.9431
					Desviación estándar = 2.9905	

Fuente: Elaboración propia con base en (RiskMetrics Group, Inc., 2007).

Obsérvese que la probabilidad de permanencia corresponde a las probabilidades transpuestas de la matriz de transición de la Figura 3.10. En el caso ejemplificado, la probabilidad más alta corresponde a la calificación crediticia BBB, dado que siempre será más probable que un activo permanezca en el mismo nivel de calificación.

Retomando el supuesto de que la distribución es de tipo discreta, se consideran todos los valores y estados de crédito que existen en el sistema de calificaciones predeterminado. Con base en esta distribución, se obtienen las estadísticas descriptivas del modelo, siendo las principales la media y la desviación estándar. La media de la distribución está dada por la suma de los valores futuros del instrumento ponderados por la probabilidad de migrar a dicho estado, es decir:

$$\mu = \sum Valor_i \times Probabilidad_i \dots\dots\dots 4$$

$$\mu = 107.07$$

Por su parte, la desviación estándar del valor del instrumento se calcula mediante la siguiente formula:

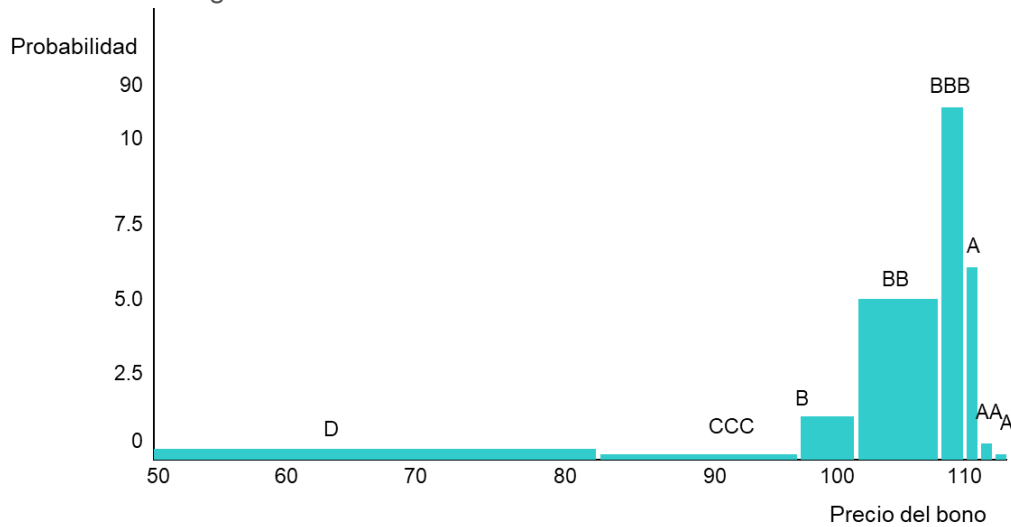
$$\sigma = \sqrt{\sum (Valor_i - \mu)^2 \times Probabilidad_i} \dots\dots\dots 5$$

$$\sigma = 2.9905$$

Lo anterior, significa que la pérdida a una desviación estándar es de 2.9905% del valor nominal del bono.

Con los insumos obtenidos, se calcula el VAR para estimar monetariamente la pérdida que podría registrar el bono con un nivel de confianza definido y, finalmente, se gráfica la distribución de probabilidad correspondiente, misma que resulta de la forma siguiente:

Figura 3.15 Distribución de un bono BBB a un año



Fuente: Elaboración propia con base en (RiskMetrics Group, Inc., 2007).

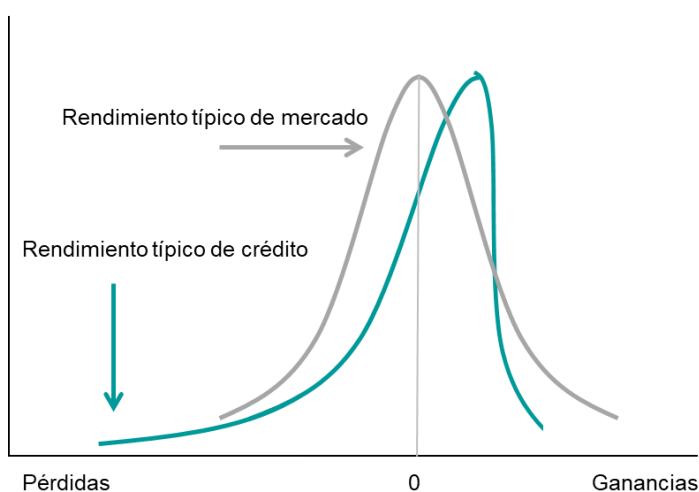
El gráfico de la Figura 3.15, muestra la distribución de probabilidad del bono BBB con vencimiento a cinco años que fue tomado como ejemplo en los párrafos anteriores, en la cual, es posible vislumbrar la asimetría negativa de la curva que caracteriza a las distribuciones de crédito; dicha curva se apreciaría con mayor claridad si se considerara más de un activo.

La curva de distribución de probabilidad del riesgo de crédito está muy lejos de parecerse a una distribución normal, contrario a lo que se presenta con el riesgo de mercado. Lo anterior, se deriva a que los rendimientos de mercado son relativamente simétricos y se aproximan a una distribución gaussiana, lo cual permite utilizar la media y la desviación estándar como medidas de riesgo. Por el contrario, los retornos de crédito son muy sesgados y presentan una curtosis alta en la cola izquierda, por lo que la media y la desviación estándar se vuelven insuficientes para comprender la distribución de una cartera de crédito.

La asimetría negativa de estas distribuciones es causada por las posibilidades de que se dé un incumplimiento. Cuando un inversionista adquiere una posición en un instrumento de crédito promedio, existe tanto la probabilidad de obtener ganancias y la posibilidad de que se presente un *default*. La distribución de una cartera de crédito contempla los dos escenarios, resultando con ello la curva sesgada que se presenta en la gráfica 3.16.

CreditMetrics puede resultar sencillo cuando es un solo instrumento, sin embargo, el análisis se complica cuando se trata de un portafolio de activos. Para medir el riesgo de crédito en una cartera, se deben contemplar las probabilidades de transición de todos los instrumentos, a través de una distribución normal conjunta, misma que permite construir la matriz de transición de todos los activos que conforman el portafolio para describir la probabilidad conjunta de migración. Asimismo, influirá la medida de dependencia que exista entre los obligados, por ejemplo, existirá mayor dependencia en las empresas que pertenezcan al mismo sector.

Figura 3.16 Distribución de rendimientos de crédito y de mercado



Fuente: Elaboración propia con base en (RiskMetrics Group, Inc., 2007, pág. 7)

El modelo incorpora la migración conjunta mediante la dependencia de factores que podrían inducir cambios en la calidad crediticia como lo son: un índice accionario del sector, inflación, tasas de interés, el PIB, etc., a partir de dichos factores se elaboran índices que permiten calibrar las correlaciones entre los obligados.

La metodología elaborada por J.P. Morgan estableció un referente en la medición del riesgo de crédito. Sus aplicaciones básicas han sido útiles para bancos comerciales, casas de bolsa y otras instituciones financieras para determinar su capital económico y regulatorio, analizar la rentabilidad y facilitar el manejo de una cartera, así como estimar el impacto de un *default*, entre otras importantes aplicaciones.

3.2.2 El modelo Credit Risk+ de Credit Suisse

A inicios de la década de los 90's, el banco suizo Credit Suisse First Boston se propuso desarrollar nuevos métodos de gestión de crédito que serían implementados al interior de la institución. En 1993, Credit Suisse Group se unió a la iniciativa y lanzó en paralelo un proyecto para modernizar la gestión de cartera de crédito de todo el conglomerado financiero. De esta manera, en 1996 el grupo incorporó en sus procesos crediticios internos el modelo Credit Risk+ (CR+), cuya aplicación es para todo tipo de productos financieros, incluidos préstamos Pymes, corporativos, derivados y títulos de deuda.

El modelo CR+ se basa, al igual que la metodología de J.P. Morgan, en un enfoque de cartera para modelar el riesgo de incumplimiento crediticio considerando cuatro factores: i) el tamaño de la exposición, ii) el vencimiento de la exposición, iii) la probabilidad de incumplimiento del deudor y, iv) la concentración de cartera. CR+ se concentra en el incumplimiento y en las pérdidas del portafolio, más que en la probabilidad de migración crediticia.

Una característica que distingue la metodología de Credit Suisse, consiste en aplicar técnicas de modelados de agencias de seguros, concentrándose en calcular cambios repentinos en los precios y la distribución total de pérdidas para una cartera de exposiciones crediticias.

El modelo CR+ cuenta con tres componentes principales, que incluyen i) el modelo cuantitativo con enfoque de cartera, ii) la metodología para calcular el capital económico por riesgo de incumplimiento y, iii) el desarrollo de aplicaciones tecnológicas para su gestión (Credit Suisse. First Boston, 1997). El componente de interés en el presente trabajo es el modelo cuantitativo con enfoque de cartera.

Los principales supuestos del modelo son:

- Las tasas de incumplimiento son estocásticas.
- Los valores de la cartera siguen una distribución de Poisson.
- Existe exposición a pérdidas por incumplimiento de un gran número de deudores.
- La probabilidad de incumplimiento de cualquier deudor en particular es pequeña.
- El nivel de las tasas de incumplimiento afecta la incidencia de eventos de incumplimiento, pero no existe una relación causal entre los eventos.

Los insumos del modelo consisten en i) el monto de la exposición crediticia, ii) la tasa de morosidad del deudor, iii) la volatilidad de las tasas de incumplimiento del deudor y, iv) las tasas de recuperación. El segundo y tercer componente se obtienen de las agencias calificadoras, a través de las estadísticas históricas de incumplimientos de cada calificación crediticia.

La aplicación más sencilla del modelo es bajo el supuesto de que la tasa de morosidad es fija para cada deudor, lo cual conlleva a que los eventos de incumplimiento son independientes entre sí. El desarrollo del modelo se hace en tres tiempos: primero se determina el número de eventos de *default*, después la pérdida de incumplimiento y finalmente la distribución de pérdida, todo esto considerando una probabilidad de incumplimiento conocida a un horizonte de tiempo definido de un año (Credit Suisse. First Boston, 1997).

Un incumplimiento crediticio es la consecuencia de una serie de eventos desafortunados, de tal manera que no es posible determinar el momento exacto de su ocurrencia. Si se considera una cartera crediticia con un número N de deudores, bajo el supuesto de tasa de morosidad fija, la probabilidad anual de incumplimiento de un deudor se define como:

$$p_A = \text{Probabilidad anual de incumplimiento del deudor } A \dots\dots\dots 6$$

Para modelar diferentes momentos de la distribución, se genera la Función Generadora de Probabilidad (FGP) dada por:

$$F(z) = \sum_{n=0}^{\infty} p(\text{nincumplimientos})z^n \dots\dots\dots 7$$

La distribución del número de incumplimientos para un deudor en particular, se obtiene de forma indirecta empleando la FGP; si se tiene que A es la variable aleatoria que determina si el crédito incumple o no incumple:

$$A = \begin{cases} 1 & \text{Si incumple con probabilidad } p_A \\ 0 & \text{Si cumple con probabilidad } 1 - p_A \end{cases}$$

y la cartera crediticia se conforma solo por un deudor, la FGP de A está dada por la expresión:

$$F_A(z) = 1 - p_A + p_A z = 1 + (p_A(z - 1)) \dots\dots\dots 8$$

El supuesto de independencia entre los eventos de *default*, permite calcular la función de probabilidad de incumplimiento para toda la cartera como el producto de las funciones individuales, es decir:

$$F(z) = \prod_A F_A(z) = \prod_A (1 + p_A(z - 1)) \dots\dots\dots 9$$

Donde $F_A(z)$ indica la Función Generadora de una cartera constituida por un solo bono del emisor A . Reescribiendo dicha ecuación en términos de la función de logaritmo, se puede expresar de la siguiente manera:

$$\log F(z) = \sum_A \log(1 + p_A(z - 1)) \dots\dots\dots 10$$

Asimismo, el límite de la ecuación está dado por:

$$F(z) = e^{\sum_A p_A(z-1)} = e^{\mu(z-1)}$$

$$\mu = \sum_A p_A \dots\dots\dots 11$$

Dónde μ es el número esperado de eventos de incumplimiento en un año de toda la cartera y P_A indica la probabilidad de incumplimiento del deudor A . Para obtener la distribución de probabilidad correspondiente a esta función, es posible aproximarse mediante la serie de Taylor, llegando al siguiente resultado:

$$F(z) = e^{\mu(z-1)} = e^{-\mu} e^{\mu z} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{e^{-\mu} \mu^n}{n!} z^n \dots\dots\dots 12$$

La ecuación (12) es la FGP del número de incumplimientos de la cartera; por lo tanto, si las probabilidades de incumplimiento individuales son pequeñas, de la ecuación (12) se deduce que la probabilidad de realizar n eventos de incumplimiento en la cartera crediticia en un horizonte de un año, se aproxima a una distribución de Poisson, misma que está dada por la siguiente expresión:

$$\text{Probabilidad } n \text{ incumplimientos} = \frac{e^{-\mu} \mu^n}{n!} \dots\dots\dots 13$$

Dónde μ es el único parámetro en la distribución.

Bajo los supuestos iniciales, la distribución no depende del número de exposiciones de la cartera o de las probabilidades individuales de incumplimiento, siempre y cuando estas sean pequeñas.

Una distribución de probabilidad Poisson con media μ tiene una desviación estándar dada por $\sqrt{\mu}$. No obstante, es importante mencionar que la estadística histórica ha demostrado que la desviación estándar real de incumplimientos es mayor que $\sqrt{\mu}$; en este sentido, bajo los supuestos iniciales, dicha variable no es representativa en el modelo aplicado en la práctica (Credit Suisse. First Boston, 1997).

La distribución del número de morosos en una cartera crediticia está dada por la ecuación (13), sin embargo, el principal propósito es obtener la probabilidad de sufrir determinado nivel de pérdidas en la cartera. Ambas distribuciones son diferentes puesto que el mismo nivel de pérdida por incumplimiento podría surgir tanto de la morosidad de un solo deudor con gran concentración en la cartera o de varios pequeños deudores.

Para obtener la distribución de pérdidas de la cartera, el primer paso consiste en agrupar los créditos por bandas de exposición, lo cual simplifica el proceso al reducir la cantidad de datos que deben incorporarse al cálculo. En la agrupación por bandas de exposición, se debe de considerar que si el número de exposiciones es grande y el ancho de las bandas es pequeño comparado con el tamaño de exposición promedio característico de la cartera, la aproximación es insignificante y, en consecuencia, las cantidades específicas de exposición no son variables críticas en el cálculo de riesgo de incumplimiento de la cartera.

Se supone que la pérdida esperada por un deudor A que cae en impago es una proporción constante λ_A del monto total L_A que debe el mismo deudor. Para cada deudor A se define:

$$L_A = L * v_A \quad \text{y} \quad \lambda_A = L * \varepsilon_A \dots\dots\dots 14$$

$$\varepsilon_A = \frac{\lambda_A}{L}$$

Dónde:

L_A = Exposición de A

λ_A = Pérdida esperada

El nivel de exposición v_A y la pérdida esperada ε_A que representa cada deudor está expresado en múltiplos del nivel de exposición total de la cartera L , dichos múltiplos se denominan como niveles de exposición estándar. Esta descripción permite calcular la pérdida por incumplimiento como el redondeo de v_A al número entero más cercano, de esta manera, se reemplaza cada monto de exposición L_A por el múltiplo entero más cercano de L .

La cartera se divide en m bandas de exposición ordenadas por j , donde $1 \leq j \leq m$. De manera que el número esperado de incumplimientos para cada bono está dado por:

$$\varepsilon_j = v_j * \mu_j$$

$$\mu_j = \frac{\varepsilon_j}{v_j} = \sum_{A:v_A=v_j} \frac{\varepsilon_A}{v_A} \dots\dots\dots 15$$

Debido a que se realizó un ajuste de redondeo en v_j , se debe redondear en la misma medida el número esperado de eventos por incumplimiento μ_j al número entero próximo. Dado que μ es la suma del número esperado de eventos por incumplimiento en cada banda de exposición, siguiendo el razonamiento de la ecuación (11) se tiene que el total de incumplimientos esperados para cada banda m , se expresa como sigue:

$$\mu = \sum_{j=1}^m \mu_j = \sum_{j=1}^m \frac{\varepsilon_j}{v_j} \dots\dots\dots 16$$

El análisis de pérdida por incumplimiento requiere de un segundo elemento de aleatoriedad, el cual es conveniente expresar mediante otra FGP; $G(z)$ se define como la función generadora de pérdidas expresadas en múltiplos de la unidad L de exposición:

$$G(z) = \sum_{n=0}^{\infty} p(\text{pérdidas acumuladas} = n * L) z^n \dots\dots\dots 17$$

Dado que las exposiciones de la cartera no guardan ninguna dependencia entre sí, y por tanto, las bandas de exposición son independientes, es posible expresar la FGP como un producto sobre las bandas de exposición, es decir:

$$G(z) = \prod_{l=1}^m G_l(z) \dots\dots\dots 18$$

De manera análoga a la ecuación (12) y reformulando la FGP mediante la definición de un polinomio $P(z)$, la fórmula de la FGP de pérdidas de una cartera crediticia está dada por la siguiente expresión:

$$G(z) = e^{\mu(P(z)-1)} = F(P(z)) \dots\dots\dots 19$$

Dónde:

$$P(z) = \frac{\sum_{j=1}^m \mu_j z^{v_j}}{\mu} = \frac{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\varepsilon_j}{v_j}\right) z^{v_j}}{\sum_{j=1}^m \left(\frac{\varepsilon_j}{v_j}\right)}$$

La ecuación (19) expresa matemáticamente la combinación de dos fuentes de incertidumbre que surgen de la incidencia de eventos en incumplimiento y la variabilidad de los montos de exposición. Por tanto, $G(z)$ depende de v y ε , por lo que para obtener la distribución de pérdidas de una cartera crediticia se necesita conocer las exposiciones y la pérdida esperada de cada exposición.

De las expresiones (17) y (19) es posible determinar la distribución de pérdidas crediticias bajo el supuesto inicial de tasas fijas de incumplimiento. Siendo n un número entero y A_n la probabilidad de una pérdida $n*L$, se tiene que:

$$p(\text{pérdida de } nL) = \frac{1d^n G(z)}{n!dz^n} \Big| = A_n \dots \dots \dots 20$$

El modelo CR+ emplea la serie de Leibnitz's para el desarrollo de la fórmula y considerando la relación $\varepsilon_j = v_j * \mu_j$ de la ecuación (15) llega a la siguiente expresión:

$$A_n = \sum_{j:v_j \leq n} \frac{\varepsilon_j}{n} A_{n-v_j} \dots \dots \dots 21$$

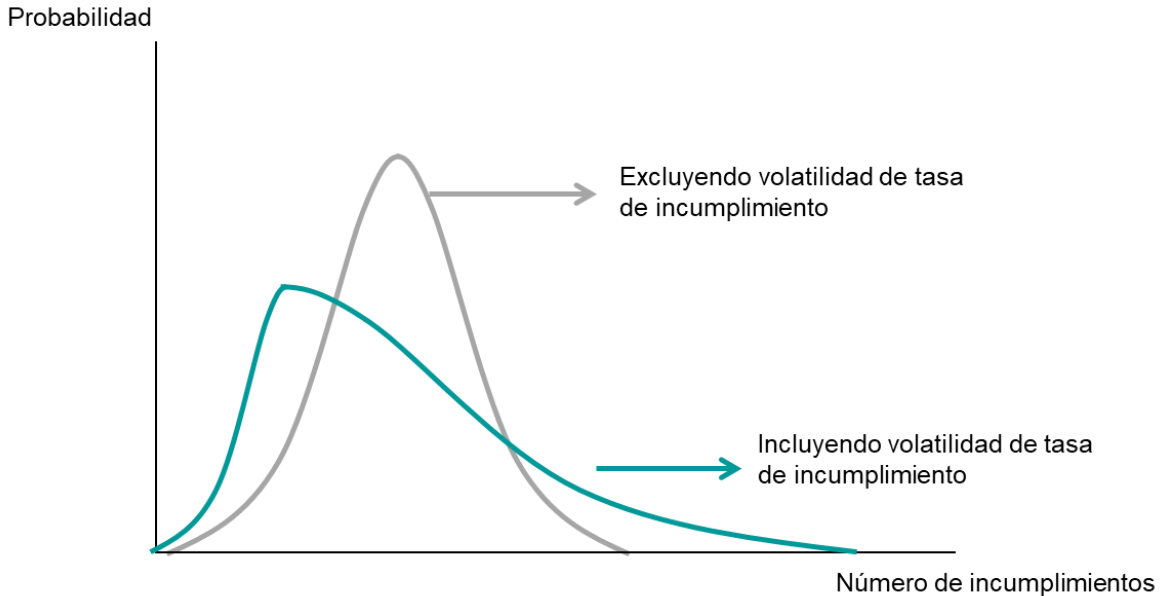
Por lo tanto, la distribución de probabilidad de que no surjan pérdidas en la cartera crediticia está dada por:

$$A_0 G(0) = F(P(0)) = e^{-\mu} = e^{-\sum_{j=1}^m \frac{\varepsilon_j}{v_j}} \dots \dots \dots 22$$

El desarrollo anterior del modelo CR+ considera como supuesto simplificador tasas de incumplimiento fijas, no obstante, las probabilidades de morosidad observadas en la práctica son volátiles a lo largo del tiempo incluso para deudores con buena calidad crediticia. El comportamiento de un número de eventos de incumplimientos en un periodo determinado, donde la probabilidad de incumplimiento de cada deudor es pequeña, se aproxima a la distribución de Poisson, tal como se planteó en la ecuación (13); sin embargo, bajo este supuesto no se incorpora la volatilidad de las tasas de incumplimiento.

En la Figura 3.17 se gráfica la distribución de la probabilidad de incumplimiento incluyendo su volatilidad y excluyéndola, se puede observar que la distribución que incluye la volatilidad se sesga significativamente hacia la derecha, lo cual representa que la varianza aumentó debido a las correlaciones de incumplimiento que presentan los deudores, toda vez que la pérdida esperada se mantuvo y la cola de la distribución se volvió más gruesa.

Figura 3.17 Distribución de eventos de incumplimiento



Fuente: Elaboración propia con base en (Credit Suisse. First Boston, 1997, pág. 18)

Credit Suisse presenta un desarrollo del modelo incorporando la incertidumbre de las tasas de incumplimiento y el análisis sectorial de los deudores. Existen dos casos en los que el comportamiento de las tasas de incumplimientos fijas o variables es similar, dichos casos se refieren cuando hay un gran número de sectores o una baja desviación estándar de las tasas de incumplimiento. En caso de requerir mayor información sobre el modelo CR+ con tasas de morosidad variables, se sugiere consultar directamente el documento de la metodología.

El modelo CR+ ha tenido un fuerte desarrollo desde su creación en 1997, dado que su aplicación básica ha sido un referente en la medición del riesgo de crédito permitiendo capturar las características esenciales de los eventos de incumplimiento crediticio y adoptando los modelos de gestión de riesgos de las compañías aseguradoras. La metodología interpreta los incumplimientos como eventos inusuales que ocurren de manera aleatoria con tasas de incumplimiento observadas que varían continuamente y que son reflejos no sólo de la calidad crediticia del deudor sino del contexto económico y sectorial.

3.3 Comportamiento de la tasa de incumplimiento

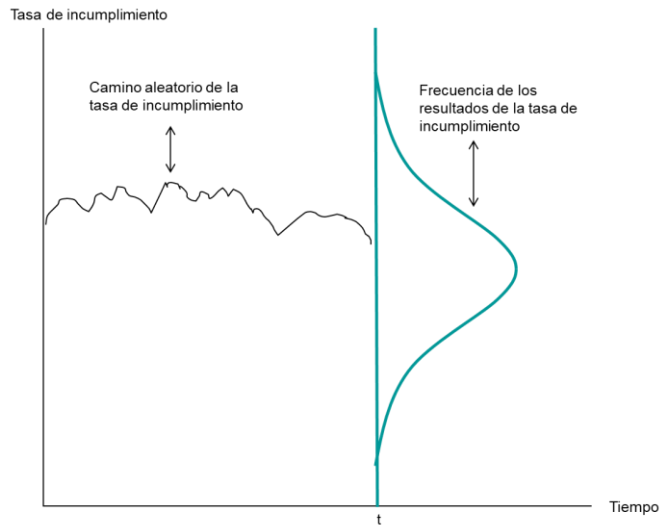
El comportamiento de la tasa de incumplimiento se puede representar de dos formas diferentes. El modelo CM describe la tasa de incumplimiento como una variable discreta mientras que el CR+ le da tratamiento de variable continua, al igual que los modelos estructurales que se plantean a continuación; la distinción entre ambos tipos de variables merece una explicación adicional.

Una variable aleatoria continua puede tomar un número infinito de valores dentro de un intervalo dado; ejemplos de variables continuas son: el tiempo que tarda en fundirse una vela o la cantidad que se consume de agua en una casa por un mes.

Los precios de las acciones y los bonos son de naturaleza prospectiva, conformados de opiniones de inversionistas sobre las expectativas de un deudor en particular; de esta manera, los precios incorporan la calidad crediticia y los posibles cambios en la calidad del deudor. Por lo tanto, la tasa de incumplimiento inferida de los precios de mercado, variará en una escala continua y en consecuencia puede verse como una variable aleatoria continua (Credit Suisse. First Boston, 1997, pág. 10).

En este caso, las posibles tasas de incumplimiento en un horizonte de tiempo establecido se describen como una distribución considerando como insumos el precio de las acciones y su volatilidad. La distribución que puede adoptar las tasas de incumplimiento sigue un camino aleatorio como se ilustra en la Figura 3.18.

Figura 3.18 Distribución de tasa de incumplimiento como variable aleatoria continua

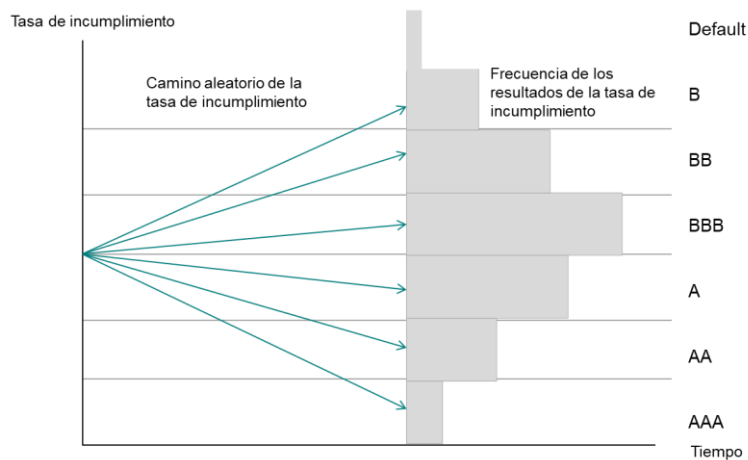


Fuente: Elaboración propia con base en (Credit Suisse. First Boston, 1997, pág. 8)

Por su parte, una variable aleatoria discreta puede asumir sólo cierto número de valores específicos claramente separados y en un intervalo limitado; las páginas de un libro, o el número de alumnos que no asistirán a una clase son ejemplos de variables discretas.

Si se considera la tasa de incumplimiento como una variable discreta, se tiene que simplificar la distribución del proceso continuo. La manera más común de hacerlo es asignando calificaciones crediticias a los deudores y mapeando las tasas de incumplimiento respectivas, esto se logra mediante una matriz de transición, tal como lo plantea el modelo CreditMetrics. La matriz de transición permite observar la probabilidad de que un deudor se mantenga en la misma calificación crediticia o migre a otra, y por lo tanto, que mantenga la misma tasa de incumplimiento o cambie de valor. La distribución de la tasa de incumplimiento como variable discreta se presenta a manera de histograma, gráfico homólogo a la Figura 3.15.

Figura 3.19 Distribución de tasa de incumplimiento como variable aleatoria discreta



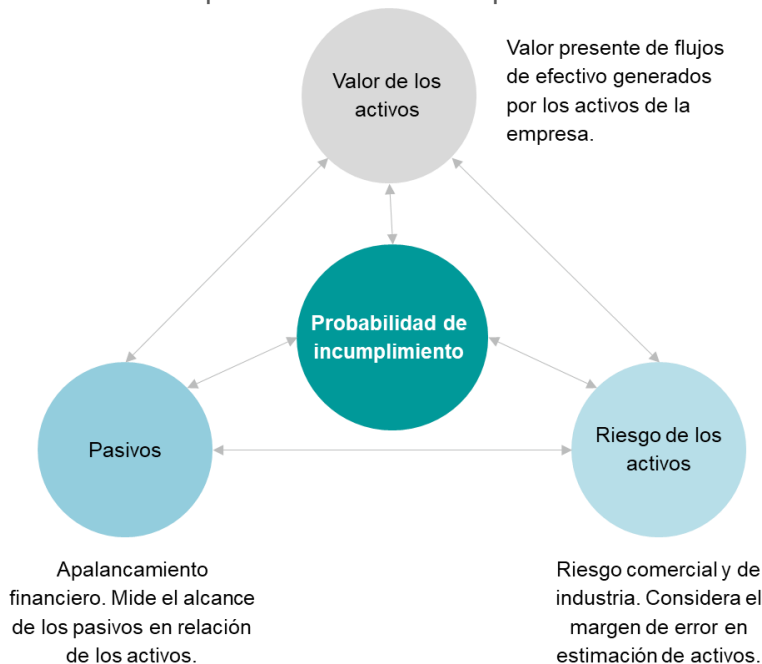
Fuente: Elaboración propia con base en (Credit Suisse. First Boston, 1997, pág. 9).

Ambos enfoques de representación de la tasa de incumplimiento han sido aplicados a los modelos de riesgo de crédito; el modelo de Merton, y por tanto, el KMV describen el comportamiento de la tasa de morosidad como una variable aleatoria continua, al considerar como insumos principales los precios de las acciones y su volatilidad.

3.4 Modelos estructurales

Dentro de los modelos modernos, se encuentran los llamados modelos estructurales, mismos que proponen modelar a los activos y los pasivos de una empresa como los factores determinantes de un incumplimiento. Dado que los activos de la firma no son un valor observable en el mercado, estos modelos proponen calcularlo a partir del precio de las acciones cotizadas en bolsa. En este contexto, hay tres elementos principales para determinar la probabilidad de incumplimiento de una firma: i) el valor de sus activos, ii) el riesgo de sus activos y, iii) su apalancamiento.

Figura 3.20 Elementos en la probabilidad de incumplimiento en modelos estructurales.



Fuente: Elaboración propia con base en (Crosbie & Bohn, 2002).

Los puntos anteriores son observables en el mercado mediante del precio de las acciones, los estados financieros y las evaluaciones subjetivas que tienen los inversionistas sobre la firma. Véanse los elementos anteriores como una línea del tiempo: los estados financieros, son reportes del pasado de la situación financiera de la empresa; por su parte, los inversionistas forman los precios de los activos al especular sobre las decisiones futuras de la compañía, por lo que los precios de mercado se consideran prospectivos.

Por lo tanto, los llamados modelos estructurales consideran que la combinación de los precios de mercado y los estados financieros resultan en una estimación más certera en el cálculo de la probabilidad de incumplimiento de una empresa, a diferencia de los modelos mencionados en el apartado anterior que se basan en la información histórica o en los sistemas de calificación. Por ejemplo, el modelo CreditMetrics considera que la probabilidad de quiebra es constante para cada *rating*, aspecto que es muy teórico y es poco aplicable a la realidad.

Al respecto, en mayo de 1974, Robert C. Merton publicó una metodología para valorar bonos corporativos basándose en la teoría de opciones; su propuesta resultó innovadora para la gestión del riesgo de crédito dado que estableció una relación entre el mercado de capitales y el mercado de deuda. La tesis general del modelo es determinar el riesgo de incumplimiento de una empresa con base en el precio de sus acciones y tomando como referencia el valor de su deuda.

El modelo general de precios de derivados de Merton fue el origen de la comprensión del vínculo entre el valor de mercado de los activos y el valor de mercado de su capital. Para conocer la intuición económica detrás del modelo de Merton, es importante exponer los resultados del trabajo de Black y Scholes (BS) en donde se presenta la teoría de valuación de opciones más aceptada en el medio financiero. Es importante mencionar que el modelo de BS es restrictivo para su uso en la práctica, no obstante que proporciona un marco teórico aceptable para la problemática que se expone en el presente trabajo.

3.4.1 El modelo de Black y Scholes

Una opción es un instrumento financiero que le da a su poseedor el derecho sobre el activo subyacente, una vez que ha pagado el precio de ejercicio de la opción. Una opción *call* será ejercida por su dueño cuando el precio del bien subyacente (precio de mercado de la acción) sea mayor que el precio de ejercicio (precio fijado con el propietario de la opción); el valor intrínseco⁹ de la opción será la diferencia entre ambos precios. Algebraicamente:

$$VI \text{ call} = \text{Máx}(S - X, 0) \dots\dots\dots 23$$

Por el contrario, una opción *put* será efectuada si el precio de ejercicio es mayor que el precio de mercado:

$$VI \text{ put} = \text{Máx}(X - S, 0) \dots\dots\dots 24$$

Dónde:
 S = Precio del activo subyacente.
 X = Precio de ejercicio.

⁹ En ambas notaciones se observa que el valor intrínseco de las opciones solo puede ser un número positivo o cero, no puede ser negativo dado el supuesto de racionalidad, el cual indica que un individuo racional no ejercería una acción que le cause pérdidas.

En 1973, Fisher Black y Myron Scholes desarrollaron un modelo para valorar opciones europeas¹⁰ sobre acciones que no pagan dividendos, tomando como referencia trabajos anteriores publicados por autores como Paul Samuelson. Los matemáticos se basaron en la teoría de procesos estocásticos y en particular en el concepto del Movimiento Geométrico Browniano¹¹.

Las condiciones ideales en el modelo son las siguientes:

- El precio de la acción sigue una distribución normal logarítmica con media y varianza constantes.
- El rendimiento del precio se distribuye normalmente.
- La tasa de interés libre de riesgo es conocida y constante.
- Las opciones son de tipo europeo.¹²
- La acción subyacente no paga dividendos durante la vida de la opción.
- No hay costos de transacción al comprar o vender las acciones o la opción.
- No hay opciones de arbitraje, por lo que se sostiene la teoría de los mercados eficientes.

Bajo estos supuestos, el valor de la opción depende solamente del precio de la acción subyacente, del tiempo y de las variables conocidas que se toman como constantes (Black & Scholes, 1973, pág. 641).

El análisis propuesto por BS parte del principio de *valoración neutral al riesgo* el cual considera que cualquier activo financiero dependiente de otros activos financieros puede evaluarse bajo este supuesto, (Hull, 2002, pág. 267). Los precios de la acción y del derivado tienen la misma fuente de riesgo, por lo que una combinación apropiada de ambos valores puede contrarrestarlo; en este enunciado está implícito el concepto del Lema de Ito¹³. Un inversionista puede cubrirse combinando una posición larga en el bien subyacente y corta en opciones. El significado económico de este principio es que las preferencias de los inversionistas no influyen sobre el precio del derivado ya que está

¹⁰ Una opción europea solo puede ser ejercida en el momento de su vencimiento. A diferencia de una opción americana que se puede efectuar en cualquier momento de la vida del activo.

¹¹ El Movimiento Geométrico Browniano (MGB) es el desplazamiento aleatorio que se observa en pequeñas partículas que se hayan en un fluido. Fue realizado por el biólogo Robert Brown en 1827 cuyo descubrimiento vino de observar una partícula de polen en un medio líquido. El movimiento aleatorio de estas partículas en el fluido se debe al bombardeo continuo de las moléculas de este; dicho bombardeo no es completamente uniforme y esto es lo que genera el movimiento observado.

El modelo deriva que los desplazamientos de las partículas a lo largo del tiempo deben estar distribuidos normalmente y la media y desviación estándar dependen solo del tiempo transcurrido.

En finanzas, el MGB describe la distribución del precio futuro de una acción, partiendo del supuesto básico que dice que el retorno sobre el precio de un activo a través de un periodo corto de tiempo está distribuido normalmente, con una media igual a μ veces la cantidad de tiempo y cuya desviación estándar es igual a σ veces la raíz cuadrada de la cantidad del tiempo.

¹² Para Black y Scholes un inversor racional nunca ejercería una opción de compra antes de su fecha de vencimiento, por lo tanto, el valor de la opción de compra americana coincidiría con la de la europea.

¹³ El concepto de Lema de Ito se remonta a 1951 cuando el matemático japonés Kiyosi Ito expresó la cadena de cálculo utilizada en finanzas para derivar el proceso estocástico seguido por el precio de un derivado. Es decir, si el activo subyacente sigue el movimiento browniano, el Lema de Ito demuestra que el derivado también sigue la moción geométrica browniana.

expresado en función del bien subyacente; con base en lo anterior, el valor de una opción es independiente del rendimiento esperado del bien subyacente, razón por la cual, en las fórmulas para calcular el precio de un *call* y de un *put* no se incluye el rendimiento esperado μ .

A partir del planteamiento anterior, la metodología de Black y Scholes solucionó el problema de valoración de opciones, en donde, dado el tiempo hasta el vencimiento, a una tasa libre de riesgo y en función del precio de mercado, se puede obtener el precio teórico de una opción de compra europea cuya acción no paga dividendos y, mediante la paridad *put – call* es posible calcular el valor de una opción de venta. Las ecuaciones del modelo son las siguientes¹⁴:

Precio de una opción de compra europea:

$$C = S_0N(d_1) - Ke^{-rt}N(d_2) \dots\dots\dots 25$$

Precio de una opción de venta europea:

$$P = Ke^{-rt}N(-d_2) - S_0N(-d_1)\dots\dots\dots 26$$

Dónde:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)T}{\sigma\sqrt{T}} \dots\dots\dots 27$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

C = Precio de la opción de compra en t.

P = Precio de la opción de venta en t.

T = $t^* - t$

t^* = Vencimiento de la opción

t = Fecha en que se está haciendo la valoración

S = Precio de la acción en t.

r = Tasa de interés libre de riesgo

K = Precio de ejercicio de la opción.

σ = Volatilidad del precio de la acción.

$N(d_{1,2})$ = Función de distribución normal estándar.

El supuesto de normalidad, implica que el precio de la acción sigue una distribución lognormal en el momento t . Dado el precio de la acción, S sigue el comportamiento lognormal con media y varianza:

$$\log S_T \sim N\left(\log S + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t, \sigma^2 t\right) \dots\dots\dots 28$$

14 Para una explicación más desarrollada del modelo, se sugiere consultar el trabajo de Black y Scholes (1973).

Dónde:

μ y σ^2 son constantes.

Los factores determinantes en la fórmula de BS son i) el precio de la acción, ii) el precio de ejercicio y, iii) las funciones de probabilidad acumulativas.

De las variables que componen la ecuación, los conceptos de $N(d_1)$ y $N(d_2)$ resultan los más complejos de definir, adicional que en el artículo publicado por BS no se ofrece una interpretación de dichas variables. Por lo tanto, las siguientes líneas tienen como propósito entender el significado conceptual de la fórmula de BS y de las funciones de distribución acumulativas, así como su implicación en el modelo.

Lars T. Nielsen proporciona una interpretación de $N(d_1)$ y $N(d_2)$ empleando el concepto de probabilidades ajustadas al riesgo. El ajuste consiste en utilizar una tasa libre de riesgo en lugar de un rendimiento esperado, de esta manera, la distribución de probabilidad ajustada al riesgo es tal que S sigue una distribución lognormal con media y varianza (Nielsen, 1992):

$$\log S_T \sim N\left(\log S + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t, \sigma^2 t\right) \dots \dots \dots 29$$

reemplazando de la ecuación (28) el valor de μ por r .

El concepto de probabilidad ajustada permite expresar el valor presente del precio de la acción igual a su valor futuro esperado descontado a la tasa libre de riesgo r . Este supuesto conduce a la comprensión conceptual del modelo.

La ecuación BS se compone de dos elementos y la diferencia entre ambos da como resultado el valor actual de la opción. Tomando como referencia la ecuación de un *call*, la explicación inicia con el segundo elemento $-Ke^{-rt}N(d_2)$, el cual expresa el pago del precio de ejercicio, multiplicado por el factor $N(d_2)$, dónde e^{-rt} es el coeficiente de valor presente descontado a la tasa libre de riesgo. El pago de la opción de compra cuando $S \geq K$ es:

$$C = \begin{cases} -K \\ 0 \end{cases}$$

Aplicando el concepto de distribución de probabilidad ajustada al riesgo, el valor actual del pago del precio de ejercicio será igual a su valor futuro esperado descontando a la tasa libre de riesgo. El pago esperado de este componente se define como el precio de ejercicio multiplicado por la probabilidad de que se ejerza la opción, es decir, que el precio de la acción exceda el precio de ejercicio, matemáticamente:

$$EC_T^2 = -KP\{S_T > K\} \dots \dots \dots 30$$

En dónde, $P\{S_T > K\}$ es la probabilidad ajustada al riesgo.

El valor presente del pago esperado del precio de ejercicio se obtiene descontando a la tasa r durante el tiempo restante al vencimiento de la opción:

$$-e^{-rT}KP\{S_T > K\}.....31$$

La probabilidad ajustada al riesgo de que la opción se ejerza es $P\{S_T > K\} = N(d_2)$; por lo tanto, el pago esperado se expresa como $-KN(d_2)$ obteniendo el segundo componente de la fórmula BS, y el pago actual de ejercicio de la opción se obtiene de:

$$-e^{-rT}KN(d_2)32$$

$N(d_2)$ es la probabilidad neutral al riesgo de que $S_T > K$. Este es uno de los resultados más interesantes del modelo de fijación de precios de BS, ya que permite conocer la probabilidad de incumplimiento neutral al riesgo del ejercicio de la opción. El concepto de neutralidad se debe a que se considera una tasa de descuento libre de riesgo r , en vez de una tasa de rendimiento esperado μ .

La probabilidad de que la opción sea ejercida está dada por $N(d_2)$, y recíprocamente $1 - N(d_2)$ es la probabilidad de la que la opción no sea ejercida, es decir, la probabilidad de incumplimiento.

Por su parte, el primer componente $S_0N(d_1)$ representa el precio actual de las acciones multiplicado por el factor de probabilidad $N(d_1)$; en otras palabras, es el pago por la recepción de las acciones y está en función de que la opción sea ejercida. El pago de la acción cuando $S \geq K$ es:

$$C = \begin{cases} S_T \\ 0 \end{cases}$$

Siguiendo con las probabilidades ajustadas al riesgo, el valor esperado de recibir la acción al vencimiento de la opción, dado que el ejercicio ha ocurrido, es el precio esperado de las acciones multiplicado por la probabilidad de ejercicio, es decir, condicionado a que $S > K$:

$$EC_T^1 = E(S_T|S_T > K)P\{S_T > K\}.....33$$

Lo cual, también se puede expresar de la siguiente manera:

$$E(S_T|S_T > K)P\{S_T > K\} = e^{rT}SN(d_1)34$$

El valor presente del precio de las acciones es:

$$SN(d_1)35$$

Por lo tanto, se puede definir a $N(d_1)$ como el factor por el cual el valor esperado descontado del precio de la acción, excede el valor actual de la acción. Al unir los dos valores presentes de ambos componentes, ecuaciones (32) y (35), se obtiene la fórmula Black – Scholes (ecuación 25).

Al reescribir el valor esperado del precio de las acciones y pasar a la ecuación (34), se observa que la probabilidad de ejercicio $P\{S_T > K\}$ se expresa como $N(d_1)$ y no como $N(d_2)$, lo cual merece una explicación adicional.

El primer término de la ecuación (33) es una expectativa condicional: es el valor esperado de S_T considerando únicamente sus valores futuros que excedan el precio de ejercicio K . Si no se considerara dicha restricción, el valor presente de recibir el pago de la acción en el momento T sería S y la expectativa incondicional estaría dada por $e^{rT}S$. Dado lo anterior, la expectativa condicional del precio de la acción siempre será mayor que la incondicional¹⁵, matemáticamente:

$$E(S_T | S_T > K) > E(S_T) \dots \dots \dots 36$$

En contraste, si el precio de la acción está condicionado y se considera la probabilidad de ejercicio $P\{S_T > K\} = N(d_2)$, el valor esperado estaría dado por

$$e^{rT}SN(d_2) \dots \dots \dots 37$$

y el valor presente por

$$SN(d_2) \dots \dots \dots 38$$

En estricto sentido, el valor futuro esperado del pago de las acciones sería:

$$E(S_T | S_T > K)P\{S_T > K\} = E(S_T | S_T > K)N(d_2) \dots \dots \dots 39$$

En ese caso, el valor de la opción de compra no estaría dado por la ecuación (25), sino por: $(S_0 - Ke^{-rt})N(d_2)$. Esto sería negativo cuando la opción no es ejercible y $S_T < K$, lo cual no puede ser el caso¹⁶.

El valor presente del pago de la acción no puede ser $SN(d_2)$ porque la decisión del ejercicio de la opción no es aleatorio, sino que depende del precio futuro de las acciones: se dará solamente cuando $S_T > K$. Los precios de las acciones que son mayores que el precio de ejercicio, se toman como una condición dada al calcular el valor futuro de las acciones en la fecha de vencimiento (Nielsen, 1992).

Si el precio de la acción y el ejercicio no estuvieran correlacionados, estaría dado por la ecuación (38). Consecuentemente, el valor presente del pago de las acciones es estrictamente mayor que (38) y la ecuación (37) subestima su valor esperado: dado que $d_1 > d_2$, debe de ser que $SN(d_1) > SN(d_2)$. Por lo tanto, partiendo de la desigualdad (36), se tiene que:

¹⁵ Considere el juego de azar de lanzar el dado; la probabilidad de lanzarlo y sacar el número 5 es de 1/6. Suponga que goza de información adicional que dice que el dado está preparado de tal manera que al lanzarlo salgan los números mayores a 3. Dado que, existe la restricción de que sólo saldrán los valores 4, 5 y 6, la probabilidad de que salga el número 5 ahora es 1/3. Es por tanto, que el valor esperado de una condicional es mayor al valor esperado incondicional.

¹⁶ Cuando una opción está *out the money*, el precio de la acción es menor al precio de la opción, no tiene valor intrínseco debido a que la opción no será ejercida.

$$E(S_T | S_T > K) > E(S_T)$$

$$E(S_T | S_T > K)P\{S_T > K\} > E(S_T)P\{S_T > K\}$$

$$E(S_T | S_T > K)N(d_2) > E(S_T)N(d_2)$$

$$SN(d_1) = E(S_T | S_T > K)N(d_2) > E(S_T)N(d_2) = SN(d_2) \dots\dots\dots 40$$

El factor $N(d_1)$ asegura que el valor esperado descontado de la recepción de la acción recibido en el ejercicio sea mayor que el valor actual de la acción. $N(d_1)$ Siempre será mayor que $N(d_2)$ porque no sólo debe de tener en cuenta la probabilidad de ejercicio $P\{S_T > K\} = N(d_2)$, sino que debe de considerar el hecho de que la recepción de las acciones en el ejercicio depende del valor futuro que el precio de la acción toma en el vencimiento¹⁷.

De las conclusiones importantes del modelo de Black – Scholes, se encuentra que el valor de la opción es independiente del rendimiento esperado de la acción bajo el supuesto de neutralidad al riesgo. Como se observa, la relación entre el precio de la acción y el de la opción es positiva y cuanto más rápido aumente el precio de la primera, más rápido aumentará el otro. Asimismo, el precio de la opción se incrementará a medida que suban t^* , r o σ , aproximándose a un valor máximo igual al precio del activo subyacente. La varianza σ guarda una correlación inversa con el plazo T, ya que a mayor plazo, menor varianza y a menor plazo, mayor varianza. La opción siempre será más volátil que la acción (Black & Scholes, 1973, pág. 644).

3.4.1.1 Modelo Black – Scholes con pago de dividendos

El modelo Black – Scholes original fue diseñado para opciones cuyo activo subyacente no paga dividendos, sin embargo, en la práctica las empresas suele retribuir a los accionistas una parte de sus ganancias. En el presente apartado se explica la variante del modelo BS para una opción de compra cuya acción subyacente paga dividendos durante la vida de la opción.

El pago de un dividendo reduce el precio de las acciones, debido a que se produce una salida de dinero y, en teoría, se reduce el valor de la empresa; otros interpretan la disminución en el precio como un tipo de descuento de la acción por el pago del dividendo. Por tanto, las opciones de compra son menos valiosas a medida que se acerca el pago de dividendos y, viceversa, las opciones *put* aumentan su valor.

Damodaran (2012) enlista dos formas de introducir el concepto de pago de dividendos en el modelo de Black y Scholes dependiendo del plazo de vencimiento de la opción. En el caso de una opción de corto plazo, se puede estimar el valor presente de los dividendos esperados que pagará la acción subyacente y restarlo del valor actual de la acción, matemáticamente:

¹⁷ Nielsen (1992) ofrece una explicación de las probabilidades ajustadas al riesgo $N(d_1)$ y $N(d_2)$ adaptadas al Modelo Binomial de Opciones, llegando a la misma conclusión que en el modelo Black – Scholes; en caso de requerir mayor información, se recomienda consultar dicho documento.

$$S^D = S_0 - \frac{D}{(1+r)^{t_d/365}} \dots\dots\dots 41$$

Dónde:

S^D = Precio de la acción con pago de dividendo.

D = Dividendo por acción.

t_d = Días para el pago del dividendo.

El valor de la opción *call* de corto plazo cuya acción paga dividendos, se obtiene reemplazando el valor de S por S^D en la fórmula (25). En el caso del largo plazo, se complica estimar el valor presente de los dividendos cuanto más larga sea la vida de la opción.

Para el largo plazo, se supone que el rendimiento de los dividendos de la acción es constante durante la vida de la opción, por lo que se puede estimar el valor de la opción que paga dividendos descontando el precio de la acción a la tasa de retorno del dividendo; matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$y = \frac{D}{S_0} \dots\dots\dots 42$$

$$C^D = S_0^{-yt} N(d_1) - K e^{-rt} N(d_2) \dots\dots\dots 43$$

Dónde:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + (r - y + \frac{1}{2}\sigma^2)T}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

y = Rendimiento del dividendo

C^D = Precio de la opción de compra cuyo activo subyacente paga dividendo.

Del planteamiento anterior se resaltan dos cuestiones. La primera es que al descontar el valor presente de la acción a la tasa de rendimiento del dividendo, se está considerando la caída esperada en el valor de la acción por el pago del dividendo. La segunda consideración es que en el cálculo de d_1 se resta de la tasa de interés el rendimiento del dividendo para reflejar el menor costo de la acción. El efecto de ambas consideraciones será una disminución en el precio de la opción de compra (Damodaran, 2012).

3.4.1.2 Modelo Black – Scholes con opción no europea.

Una de las limitantes importantes del modelo BS es que el modelo funciona para valorar opciones que solo pueden ejercerse al vencimiento. En la práctica, la mayoría son opciones americanas que ofrecen el derecho de ser ejercidas en cualquier momento hasta su vencimiento.

La alternativa que se ofrece para ajustar el valor de opciones no europeas con el modelo BS es valorar la opción para cada fecha potencial de ejercicio. En el caso de las opciones cuyo subyacente pague dividendos, se tienen que valorar la opción cada que se vaya a hacer el pago de dividendos y elegir el máximo de los valores estimados de compra.

En general, las opciones negociadas se venden a otro inversionista en lugar de ejercer la opción de manera temprana. Esto es debido a que las opciones tienen una prima de tiempo, es decir, se venden por más de su valor de ejercicio. Es por tanto, que al evaluar las opciones para el ejercicio, se busca el máximo de los valores estimados de compra.

3.4.2 El modelo de Merton

Merton basa su trabajo en el modelo de Black y Scholes ya que considera que dichos autores desarrollaron una teoría general de la fijación de precios de opciones financieras, cuya fórmula se encuentra en función de variables observables en el mercado. Merton extiende este modelo y lo adapta de manera que sea aplicable a la valuación de pasivos corporativos.

La metodología de Merton permite determinar el riesgo de incumplimiento tomando como principal insumo el precio de las acciones de la compañía y el valor de sus pasivos. El modelo considera las acciones como una opción de compra en la que el activo subyacente son los activos de la firma y su precio de ejercicio es igual al monto de la deuda (Merton, 1974).

Los supuestos del modelo, aunados a los propuestos por Black y Sholes en la teoría de valuación de opciones, son:

- Una empresa tiene dos tipos de demandas: i) una deuda simple y homogénea y ii) los derechos residuales, que son las acciones.
- El bono será emitido por la corporación bajo las siguientes especificaciones:
 1. La empresa se compromete a pagar el total de la deuda a los tenedores de bonos en la fecha de vencimiento establecida (T).
 2. Si el pago de la deuda no se efectúa, la compañía pasará a manos de los tenedores de bonos y los accionistas no recibirán nada, por lo que no hay posibilidad de reestructura ni de negociación de la deuda.
 3. Durante el periodo de vida del bono, la empresa no puede adquirir ninguna otra deuda con mejores o similares condiciones a las anteriores, no podrá pagar dividendos en efectivo ni recomprar acciones.

El modelo calcula la probabilidad de incumplimiento, partiendo de la identidad contable donde los activos deben de ser iguales a los pasivos más el patrimonio neto de la firma y, que una empresa está en quiebra cuando el valor de sus pasivos excede el de sus activos. En este caso, se supone a una firma de responsabilidad limitada cuyo valor total

V_A está compuesto por acciones y por un bono a descuento emitido a un periodo con un valor al nominal igual a K y con vencimiento en T , es decir:

$$\text{Activos} = \text{Pasivos} + \text{Patrimonio Neto}$$

$$V_T = B_T + S_T \dots\dots\dots 44$$

Dónde:

V_T = Valor total de la firma en el tiempo T .

B_T = Valor del bono al vencimiento T .

S_T = Valor de la acción en el tiempo T .

El capital cuenta con dos particularidades, i) derecho residual sobre los activos de la firma una vez que se hayan cumplido todas las obligaciones de la misma y ii) responsabilidad limitada. La característica de responsabilidad limitada del capital significa que los accionistas tienen el derecho pero no la obligación de pagar a los tenedores de deuda; es decir, en el caso de que los socios no puedan pagar a sus acreedores, no responden con su patrimonio personal, sino que su responsabilidad se limita a la aportación en capital de la empresa. De esta manera, los tenedores de los pasivos son esencialmente los dueños de la firma hasta que los accionistas paguen la deuda en su totalidad.

Por lo tanto, en el caso más simple, el patrimonio es lo mismo que una opción de compra sobre los activos de la empresa con un precio de ejercicio igual al valor en libros de sus pasivos. Si el valor de la empresa excede el valor de la deuda, $V_T > K$, el bono será reembolsado en su totalidad y los accionistas recibirán el residual. Por el contrario, si el valor de los activos es insuficiente para cumplir con los pasivos de la firma ($V_T < K$), los accionistas, los tenedores de la opción de compra, no ejercerán la opción y dejarán la firma a sus acreedores. Lo anterior, implica que el valor de las acciones al vencimiento será de la siguiente manera:

$$S_T = \text{Máx}(V_T - K, 0) \dots\dots\dots 45$$

Como se observa, la ecuación (23) y (45) son muy similares, por lo que se puede deducir que hay un isomorfismo entre el valor de una acción y la prima de una opción *call*. De las ecuaciones (44) y (45) se puede determinar el valor del bono:

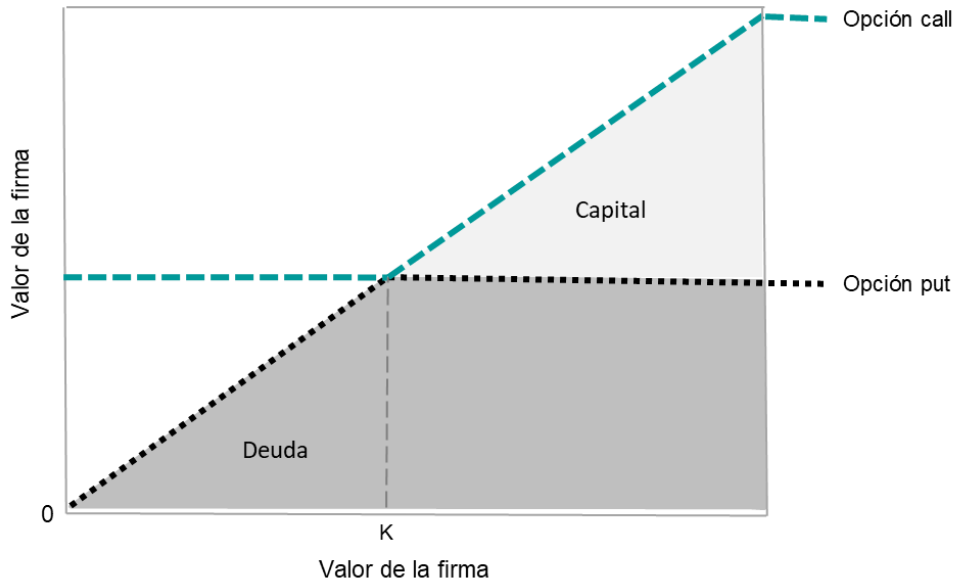
$$B_T = V_T - S_T = V_T - \text{Máx}(V_T - K, 0) = \text{Min}(V_T, K) \dots\dots\dots 46$$

$$B_T = K - \text{Máx}(K - V_T, 0) \dots\dots\dots 47$$

El primer componente de la ecuación (47) representa la ganancia de invertir en un bono cupón libre de riesgo con vencimiento en T y cuyo valor nominal es K . El segundo, $-\text{Máx}(K - V_T, 0)$ es el negativo del valor intrínseco de una opción de venta (24); es decir, que la deuda corporativa tiene un rendimiento similar a una posición en corto de una opción de venta, lo cual explica la asimetría de la izquierda que caracteriza a las pérdidas crediticias, tal como se expuso en el capítulo anterior.

En la Figura 3.21, se muestra gráficamente el valor de la firma conformado por el valor del bono y el de las acciones; ambos guardan relación con las gráficas de las opciones financieras. En el caso de una opción *call* (línea azul) los inversionistas obtendrán rendimientos una vez que el diferencial entre el precio de ejercicio y el precio de mercado haya superado el valor de la prima; los accionistas, obtendrán utilidades cuando el valor de la empresa sea mayor que el de la deuda (parte sombreada del capital). En el caso contrario, las ganancias del emisor están limitadas al precio que cobró por la opción, de la misma manera que el acreedor solo podrá exigir hasta K.

Figura 3.21 Componentes del valor de la firma



Fuente: Elaboración propia con base en (Jorion, 2007, pág. 462).

En resumen, el modelo propuesto por Merton considera a las acciones como una opción de compra sobre el valor de los activos cuyo precio de ejercicio equivale al valor nominal de la deuda. Mientras que la deuda es vista como un bono libre de riesgo menos una opción *put* sobre el valor de los activos. En el modelo de Black y Scholes se valúan opciones de compra y venta, Merton hace lo propio con acciones y bonos.

Siguiendo con BS, se asume que el valor de la firma sigue un proceso estocástico descrito como:

$$dV_A = \mu V_A dt + \sigma_A V_A dz \dots \dots \dots 48$$

Dónde:

V_A = Valor de los activos

dV_A = Cambio en el valor de los activos.

μ = tasa de cambio de los activos de la empresa.

σ_A = volatilidad de los activos.

dz = movimiento Browniano.

El capital y la deuda de la firma seguirán una ecuación diferencial parcial con las siguientes condiciones: i) la deuda y los activos solo pueden tener valores no negativos y, ii) el límite del valor de la firma debe de encontrarse en el subconjunto ($0 \leq V \leq \infty$). Por tanto, el valor del bono se obtiene de:

$$B = F(V, t), \quad F(V, T) = \text{Min}[V, B_F] \dots\dots\dots 49$$

Dónde:

$B_F = K$, el valor nominal del bono a ser repagado al vencimiento, es decir el precio de ejercicio.

El valor del bono está en función del valor de la empresa (V) y del tiempo (t), y su valor, el cobro que recibirán los acreedores, será su nominal B_F o el equivalente al valor de la empresa, de estos dos valores tomará el que sea menor.

Análogamente, el valor de las acciones viene determinado a partir de:

$$S = f(V, t), \quad f(V, T) = \text{Max}[V - B_F, 0] \dots\dots\dots 50$$

La acción también está en función de V y t , su valor estará determinado por la diferencia entre el valor de la empresa y el valor nominal del bono, si no, su valor será nulo debido a que las acciones carecerían de valor, de estos dos valores tomará el que sea mayor.

El valor de una acción que no paga dividendos se puede deducir de la fórmula de Black y Scholes para una opción *call* (25):

$$S = VN(d_1) - Ke^{-r\tau}N(d_2) \dots\dots\dots 51$$

Dónde:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{V}{Ke^{-r\tau}}\right) + \frac{\sigma_A \sqrt{\tau}}{2}}{\sigma_A \sqrt{\tau}} \dots\dots\dots 52$$

$$d_2 = d_1 - \sigma_A \sqrt{\tau}$$

$\tau = T - t$ = tiempo que falta para el vencimiento.

σ_A = volatilidad de los activos de la firma.

r = tasa libre de riesgo

En la práctica, el modelo de Black y Scholes y el de Merton tienen aplicaciones diferentes. Mientras que en el primero el problema es resolver el valor de la opción y su volatilidad, en el de Merton, dicha información está dada por el mercado, por lo que las incógnitas de la ecuación (51) son el valor de los activos de la empresa y su volatilidad. Dado que estos datos no son observables, pueden inferirse a partir de la relación que existe entre la volatilidad de las acciones y la de los activos; si se considera a Δ como la relación de cobertura, se tiene:

$$dS = \frac{\partial S}{\partial V} dV = \Delta dV \dots\dots\dots 53$$

Definiendo a σ_S como la volatilidad de las acciones (dS/S), y a σ_A como la volatilidad de los activos (dV/V), entonces $\sigma_S S = \Delta(\sigma_A V)$ y la incógnita se resuelve por¹⁸:

$$\sigma_A = \Delta\sigma_S(S/V) \dots\dots\dots 54$$

La relación entre la volatilidad de las acciones de la empresa y de sus activos también se puede expresar por la fórmula¹⁹:

$$\sigma_S = \frac{V}{S} N(d_1) \sigma_A \dots\dots\dots 55$$

Una vez que se tiene una tasa de interés libre de riesgo y el horizonte temporal de la deuda, es posible resolver las ecuaciones S y la volatilidad simultáneamente para determinar el valor y la volatilidad de los activos de la empresa.

El siguiente punto a resolver en el modelo de Merton es determinar el valor de la deuda. Retomando la ecuación (44), se tiene que $B = V - S$, reemplazando a S por su valor, se determina:

$$B = V - [VN(d_1) - Ke^{-r\tau}N(d_2)] \dots\dots\dots 56$$

$$B = Ke^{-r\tau}N(d_2) + V[1 - N(d_1)] \dots\dots\dots 57$$

$$\frac{B}{Ke^{-r\tau}} = [N(d_2) + \left(\frac{V}{Ke^{-r\tau}}\right)N(-d_1)] \dots\dots\dots 58$$

El valor de la opción *put* determina el diferencial del precio entre el riesgo del bono y uno libre de riesgo, es decir, un valor más alto de B determina una mayor distancia entre el precio de los bonos riesgosos y los libres de riesgo, lo que aumenta el margen de la tasa de interés. En la teoría de opciones, $N(d_2)$ es la probabilidad de que la opción *call* sea ejercida por su poseedor; en este caso, es la probabilidad de que el bono no caiga en *default*. Recíprocamente, $1 - N(d_2) = N(-d_2)$ es la probabilidad de incumplimiento.

Las fórmulas de valuación pueden ser utilizadas para determinar el valor de una empresa y su probabilidad de *default* conociendo el precio de las acciones, el monto de las obligaciones y sus vencimientos. En el modelo, el *default* se produce si el valor de la empresa cae por debajo de las obligaciones, tal como se observa en la Figura 3.22, la cual muestra el valor estimado de los activos, su distribución de probabilidad, el valor de los pasivos y la probabilidad de incumplimiento en el horizonte deseado, T .

¹⁸ Dado que $\sigma_S S = dS$ y $\sigma_V V = dV$, retomando:

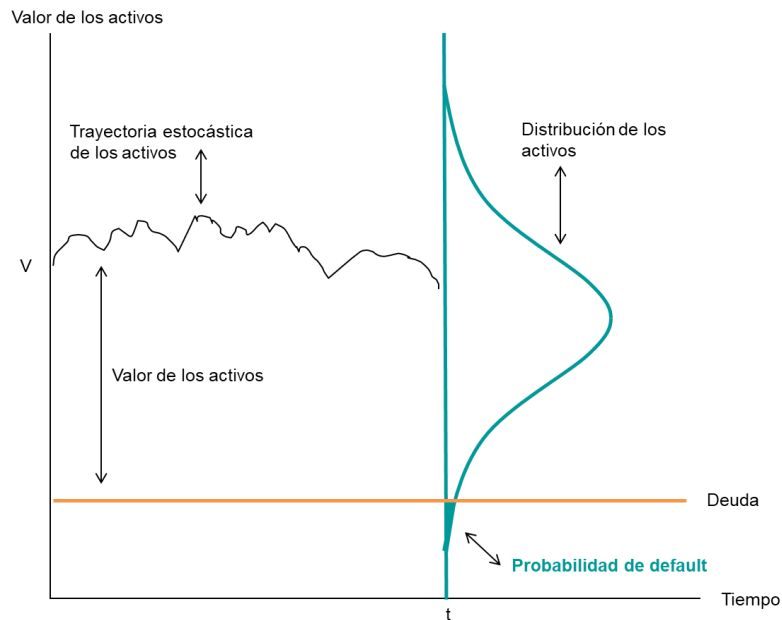
$$dS = \frac{\partial S}{\partial V} dV = \Delta dV$$

Sustituyendo dS y dV , resulta en:

$$\sigma_S S = \Delta\sigma_V V$$

¹⁹ Esta ecuación se deriva mediante el Lema de Ito. Para una explicación detallada consultar Hull, 1997.

Figura 3.22 Incumplimiento en el modelo de Merton



Fuente: Elaboración propia con base en (Jorion, 2007, pág. 466).

En el mundo real, estimar la probabilidad de incumplimiento no es tan sencillo debido a que las empresas tienen estructuras de deuda más complejas, con más de un pasivo y a diferentes plazos de vencimiento. No obstante, el trabajo de Black y Scholes y el de Merton causaron un gran impacto en el medio financiero al desarrollar una forma novedosa de evaluar el riesgo de crédito, aunque se reconozca que el modelo presenta deficiencias importantes como el hecho de que sea aplicable sólo en bonos a descuento.

La probabilidad de que el incumplimiento se de en una fecha no especifica se puede medir como una función de la distancia en relación con un piso móvil que representa a los pasivos; este es el núcleo del modelo de KMV que estima las frecuencias estimadas de *default*.

A continuación, se explicarán las especificaciones que derivan del modelo KMV de Moody's, para posteriormente aplicarlo en un caso práctico y analizar su eficiencia en la vida real.

3.4.3 El modelo KMV de Moody's

Después del trabajo de Merton, los matemáticos y economistas Oldřich Vašíček y Stephen Kealhofer partieron del marco conceptual elaborado por BS y Merton, para desarrollar el modelo conocido como Vašíček – Kealhofer (VK) enfocado a medir el riesgo de crédito de una empresa. Posteriormente, dicho modelo sería implementado por KMV para calcular una medida de crédito llamada Frecuencia Esperada de Incumplimiento

(EDF, por sus siglas en ingles), la cual es el elemento principal en el modelo de riesgo de crédito actual de Moody²⁰.

La EDF es la probabilidad de incumplimiento en un horizonte de tiempo determinado, generalmente un año, para empresas con capital que cotiza en bolsa. El modelo KMV asume el incumplimiento como la falta a cualquier pago programado, ya sea interés o capital (Crosbie & Bohn, 2002).

En la práctica, la EDF es el resultado de una serie de cálculos realizados por un *software* llamado Credit Monitor que contiene una extensa base de evidencias empíricas de quebrantos, en la que se relaciona la distancia al *default* con una determinada probabilidad de incumplimiento. Dicha base de datos, y su mapeo sofisticado para estimar la probabilidad de *default*, es la principal característica del modelo de Moody's, por lo que la información es privada y forma parte del secreto comercial de la calificadora.

El procedimiento para determinar la probabilidad de *default* de una empresa pública según el modelo, se deriva en tres pasos: i) estimar el valor de los activos de la empresa y su volatilidad, ii) calcular la distancia al *default* y, iii) calcular la probabilidad de incumplimiento. El resto del capítulo tiene como objeto desarrollar los tres puntos esenciales antes señalados.

3.4.3.1 Estimación del valor de los activos de la firma y su volatilidad.

El valor de mercado de los activos y su volatilidad se puede obtener para las empresas públicas por medio del enfoque basado en la fijación de precios de opciones²¹. En los apartados anteriores se explicó la teoría de opciones de Black y Scholes y su aplicación en el modelo de Merton, por lo cual se partirá de lo ya comentado.

KMV retoma esta metodología para derivar el valor de los activos subyacentes y su volatilidad implícita a partir del precio de las acciones y el valor en libros de los pasivos de la firma. De esta manera, el valor de mercado del patrimonio y el valor de mercado de los activos se relacionan con la siguiente expresión:

$$S = VN(d_1) - Ke^{-r\tau}N(d_2) \dots\dots\dots 59$$

Dónde:

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{V}{Ke^{-r\tau}}\right)}{\sigma_A \sqrt{\tau}} + \frac{\sigma_A \sqrt{\tau}}{2} \dots\dots\dots 60$$

$$d_2 = d_1 - \sigma_A \sqrt{\tau}$$

$\tau = T - t$ = tiempo que falta para el vencimiento.

σ_A = volatilidad de los activos de la firma.

r = tasa libre de riesgo

²⁰ En 1989, Stephen Kealhofer, John McQuown y Oldřich Vašíček fundaron la compañía KMV especializada en modelos estructurales para el riesgo de crédito. En 2002, dicha empresa fue adquirida por la calificadora Moody's y en 2007 su nombre cambió a Moody's KMV.

²¹ El modelo se puede extender a empresas que no cotizan en bolsa, sin embargo no es objeto de estudio en el presente trabajo.

La relación de la volatilidad de las acciones y la de los activos se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma_A = \Delta\sigma_S(S/V) \dots\dots\dots 61$$

Sin embargo, el vínculo de la volatilidad de las acciones y la volatilidad de los activos por medio de la ecuación (61) se mantiene solo instantáneamente; en la práctica, el mercado se mueve demasiado rápido como para que dicha ecuación pueda dar resultados razonables (Crosbie & Bohn, 2002, pág. 15). En consecuencia, KMV utiliza un procedimiento iterativo más complejo para resolver la volatilidad de los activos de la firma en lugar de utilizar la relación anterior, dicho proceso es la llamada Frecuencia Esperada de Incumplimiento.

El proceso iterativo comienza a partir de una volatilidad inicial de las acciones para determinar la volatilidad de los rendimientos de los activos. La volatilidad resultante se utiliza como punto de partida para la siguiente iteración la cual deriva en una nueva serie de rendimientos; el procedimiento continúa hasta que converge. Adicionalmente, KMV combina la volatilidad obtenida junto con los rendimientos promedio del país, industria y tamaño de empresa con el fin de obtener una estimación más certera (Crosbie & Bohn, 2002, pág. 16). No obstante, este procedimiento forma parte del procedimiento que Moody's guarda del KMV; para fines prácticos, la volatilidad se calculará a partir del modelo de Merton.

3.4.3.2 Distancia al *Default*

El cálculo de la distancia al *default* es considerado uno de los principales aportes realizado por el modelo de Moody's. Los modelos de crédito suelen seguir el supuesto de normalidad, no obstante, en la práctica, los activos de la firma no suelen distribuirse de tal manera. Además, se deben de considerar los cambios adversos en la relación del valor del activo con el punto de *default*, los cuales suelen resultar de variaciones en el activo o en el apalancamiento de la empresa (Crosbie & Bohn, 2002, pág. 12). En consecuencia, KMV primero mide la distancia al *default* en términos de desviaciones estándar, posteriormente, compara dicho resultado con su base de datos y les asigna una determinada probabilidad de incumplimiento.

Los factores críticos que influyen en el incumplimiento de una empresa son el valor de sus activos y su apalancamiento; por tanto, la medida de distancia al *default* está determinada por las mismas variables, además de que permite analizar los cambios en la relación de estos indicadores:

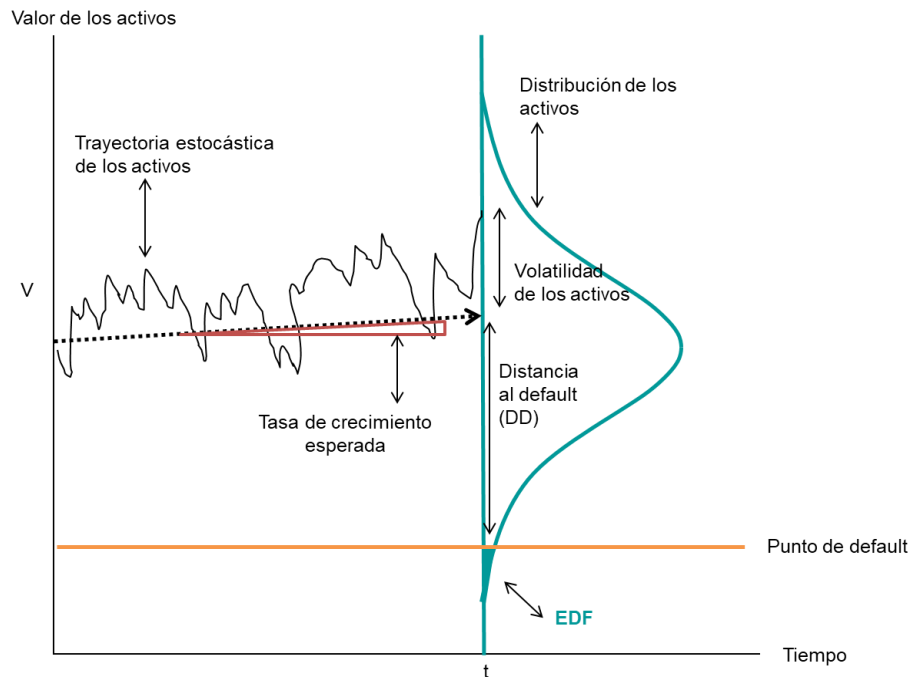
$$Distancia\ al\ defaultl = \frac{V_A - Punto\ de\ default}{V_A * \sigma_A} \dots\dots\dots 62$$

$$Punto\ de\ default = Deuda\ de\ corto\ plazo + 0.5\ Deuda\ de\ largo\ plazo$$

Una de las diferencias que el modelo guarda con Merton, se refiere a la definición del punto de *default*. Merton supone que una empresa incumple cuando el valor de sus pasivos totales excede el de sus activos. KMV considera que el punto de *default* se

encuentra entre los pasivos de corto plazo y la mitad de la deuda a largo plazo; el *default* ocurre cuando los activos caen por debajo de dicho umbral (Figura 3.23).

Figura 3.23 Incumplimiento en el modelo KMV



Fuente: Elaboración propia con base en (Crosbie & Bohn, 2002, pág. 11).

La determinación del punto de *default* se dio a partir de un estudio realizado por KMV para un grupo de empresas que cayeron en incumplimiento. Los resultados indicaron que estas no incumplen cuando el valor de sus activos alcanza el valor en libros de sus pasivos totales, si no, que el umbral de incumplimiento se da en algún punto entre los pasivos de corto plazo y los pasivos totales. Si bien es cierto que algunas empresas siguen el supuesto de Merton, muchas continúan negociando y reestructurando sus deudas a largo plazo antes de declararse en *default*. Lo anterior, permite que el modelo sea capaz de examinar cualquier reestructuración de deuda propuesta (Crosbie & Bohn, 2002).

En este contexto, la distancia al *default* mide la distancia al incumplimiento como el número de desviaciones estándar del valor del activo con respecto al punto de *default*; es decir, determina qué tan lejos está la empresa del incumplimiento. A diferencia de otros modelos de riesgo de crédito, el KMV predice el incumplimiento de la empresa a partir de su estructura económica y financiera comparada con otras empresas que cayeron en *default* en condiciones similares.

3.4.3.3 Probabilidad de incumplimiento

En el KMV la probabilidad de incumplimiento, también se denomina como la Frecuencia Esperada de Incumplimiento. Como ya se mencionó anteriormente, dicha probabilidad resulta del Credit Monitor, el cual está compuesto por una extensa base de datos empíricos que relaciona medidas de Distancia al *Default* con determinadas probabilidades de incumplimiento. El Credit Monitor, además, contempla otras características como

tamaño e industria, según los estudios realizados por Moody's, dichos resultados son invariables en cuanto a la ubicación geográfica de las empresas (Crosbie & Bohn, 2002, pág. 13)

La probabilidad de incumplimiento es la probabilidad de que el valor de mercado de los activos de la empresa sea menor que el punto de *default* en el momento en que la deuda vence (t), es decir:

$$p_t = P_r[V_A^t \leq K_t | V_A^0 = V_A] = P_r[\ln V_A^t \leq \ln K_t | V_A^0 = V_A] \dots\dots\dots 63$$

Dónde:

p_t = probabilidad de incumplimiento en el tiempo t .

V_A^t = valor de mercado de los activos de la firma en el tiempo t .

K_t = valor en libros de los pasivos de la firma en el tiempo t .

El cambio en el valor de los activos esta descrito por la ecuación (26), partiendo de esta, se puede explicar la evolución del valor de los activos en el tiempo t , V_A^t , suponiendo que el valor en el momento 0 es V_A :

$$\ln V_A^t = \ln V_A + \left(\mu - \frac{\sigma_A^2}{2}\right)t + \sigma_A \sqrt{t} \varepsilon \dots\dots\dots 64$$

Dónde:

μ = rendimiento esperado de los activos de la empresa.

ε = componente aleatorio del rendimiento de los activos de la empresa.

Combinando las ecuaciones (63) y (64) se puede escribir la probabilidad de incumplimiento como:

$$p_t = P_r \left[\ln V_A + \left(\mu - \frac{\sigma_A^2}{2}\right)t + \sigma_A \sqrt{t} \varepsilon \leq K_t \right] \dots\dots\dots 65$$

$$p_t = P_r \left[-\frac{\ln \frac{V_A}{K_t} + \left(\mu - \frac{\sigma_A^2}{2}\right)t}{\sigma_A \sqrt{t}} \geq \varepsilon \right] \dots\dots\dots 66$$

El modelo de Merton y el modelo BS suponen que el componente aleatorio de los rendimientos de los activos de la firma se distribuye normalmente, $\varepsilon \sim N(0,1)$, por lo que se puede reescribir la probabilidad de incumplimiento en términos de la distribución normal, es decir:

$$p_t = N \left[-\frac{\ln \frac{V_A}{K_t} + \left(\mu - \frac{\sigma_A^2}{2}\right)t}{\sigma_A \sqrt{t}} \right] \dots\dots\dots 67$$

Dado que la distancia al *default* se define como el número de desviaciones estándar que separan a la empresa del incumplimiento, se puede sustituir a la distribución normal de la siguiente manera:

$$DD = \frac{\ln \frac{V_A}{K_t} + \left(\mu - \frac{\sigma_A^2}{2} \right) t}{\sigma_A \sqrt{t}} \dots\dots\dots 68$$

Una vez estimado el número de desviaciones estándar que existen entre el valor del activo y el punto de *default*, es posible calcular la probabilidad de *default* con la siguiente expresión.

$$PD = N(-DD) \dots\dots\dots 69$$

Es importante reiterar que, la distribución normal es ineficiente para describir la probabilidad de incumplimiento. La explicación más obvia es que el punto de *default* es una variable aleatoria y la distribución normal describe variables continuas, es una duda razonable el hecho de que las empresas anoten en el calendario la fecha en que caerá en *default*. Además, la distribución normal no asimila el posible cambio en los pasivos, ya que las empresas suelen reestructurarlos a medida que se acercan al incumplimiento.

Para mitigar lo anterior, Moody's ajusta el modelo considerando la incertidumbre del cambio en la estructura de los pasivos en el mapeo de la distancia al *default* al EDF. Según el estudio de KMV, la distribución obtenida tiene colas más amplias que la distribución normal y sus probabilidades presentan diferencias con la tabla de la distribución normal. Por ejemplo, una distancia al valor de incumplimiento de cuatro desviaciones estándar, corresponde a una tasa de *default* de alrededor de 100 puntos base, mientras que la probabilidad equivalente de la distribución normal es prácticamente cero.

Para calcular la EDF, se considera el número de empresas con determinada Distancia al *default* que quebraron en el horizonte de tiempo estudiado. Supongamos que el universo de empresas con una DD de 4 puntos es de 10,000, de las cuales 50 incumplieron al siguiente año. La EDF de que una empresa con la misma distancia al *default* quiebre en el mismo periodo es:

$$EDF_{1y} = \frac{50}{10,000} = 0.005 = 0.5\% \dots\dots\dots 70$$

No obstante, la información anterior no es pública, por lo que no se puede hacer uso de ella. Por lo cual, el alcance del presente trabajo será hasta el cálculo de la probabilidad de *default* de acuerdo a la metodología KMV.

En el largo plazo, se utiliza la probabilidad de incumplimiento acumulada del horizonte de inversión planeado, para lo cual, se debe de obtener el valor de los activos de la firma para los mismos periodos. Lo anterior, se explica en principio porque la probabilidad de incumplimiento de largo plazo disminuye a medida que los pasivos de largo plazo son

amortizados; sin embargo, el modelo considera que la deuda no disminuye debido a que se refinancia o se adquiere nueva.

En la siguiente figura, se resumen las variables que determinan la probabilidad de incumplimiento de una empresa, según el modelo KMV.

Figura 3.24 Variables determinantes KMV.

Variable	Cálculo
Valor de mercado de las acciones	(Precio por acción) x (Número de acciones)
Pasivos	Valor en libros de los pasivos
Valor de mercado de los activos	Modelo Black y Scholes
Volatilidad de los activos	Modelo Black y Scholes
Punto de <i>default</i>	(Pasivos CP) + (0.5 Pasivos LP)
Distancia al <i>Default</i>	$DD = \frac{\ln \frac{V_A}{K_t} + \left(\mu - \frac{\sigma_A^2}{2} \right) t}{\sigma_A \sqrt{t}}$
EDF	Mapeo entre DTD y la frecuencia de incumplimiento.

Fuente: Elaboración propia con base en (Crosbie & Bohn, 2002).

IV. APLICACIÓN DEL MODELO KMV

Los indicadores de riesgo de crédito intuidos mediante el modelo KMV de Merton se calcularon para empresas mexicanas y estadounidenses en tres periodos diferentes con un horizonte de inversión a un año. Los indicadores calculados son punto de *default* (PDD), probabilidad de incumplimiento esperada (EDP), distancia al *default* (DD) y el *equity value* (EV).

Con el objetivo de aplicar el modelo en distintos contextos de la economía, se analizan grupos de cinco empresas de múltiples sectores en tres diferentes periodos:

Figura 4.1 Periodos de aplicación del modelo



Fuente: Elaboración propia

En primera instancia, se analizarán algunos de los casos más sonados de empresas que cayeron en *default* durante la crisis económica de 2008, con el propósito de analizar la aplicabilidad del modelo en el pronóstico de la EDP.

El segundo momento consta del periodo post crisis 2008, en el cual se revisan empresas que incumplieron con su compromiso de deuda financiera de acuerdo a los reportes elaborados por la calificadora S&P, en dónde se mencionan los principales incumplimientos de cada año.

Por último, se seleccionan un grupo de cinco empresas en sectores susceptibles de la economía que derivado de la coyuntura generada por el COVID-19, están viendo afectada su operación y en consecuencia su solidez financiera. Se estima la probabilidad de incumplimiento de dichas empresas para el tercer trimestre del 2020.

Es importante mencionar que se consideraron empresas de distintos sectores y que cotizan en bolsas de México y Estados Unidos. De acuerdo con Moody's, el modelo no debería mostrar discrepancias ni discriminar por ubicación geográfica o sector económico.

4.1 Insumos del modelo

Se consultaron páginas oficiales para extraer los precios históricos de las acciones con un periodo de un año. Es decir, para conocer la probabilidad de incumplimiento a agosto 2008, se consideró la información a partir de agosto 2007.

El número de acciones en circulación y los pasivos financieros se consultaron en los Estados Financieros con cifras consolidadas al cierre del trimestre para cada periodo de estudio, disponibles en la Bolsa Mexicana de Valores y en la U.S. Securities and Exchange Commission (SEC).

4.2 Proceso y aplicación

La herramienta de cálculo utilizada fue Excel, tanto para la estimación de los parámetros como para resolver las ecuaciones simultaneas del valor de los activos y su volatilidad. El desarrollo del modelo se realizó acorde a lo explicado en Capítulo 3; la secuencia seguida fue la siguiente:

Volatilidad de las acciones

La volatilidad de las acciones es calculada por medio de los retornos históricos de las mismas. Siguiendo el supuesto de que las acciones siguen el Movimiento Geométrico Browniano, podemos calcular su rendimiento de la siguiente manera:

$$\mu = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}}$$

Para el cálculo de la volatilidad de las acciones en un horizonte a un año, se utilizó la fórmula predeterminada de Excel de desviación estándar con una muestra promedio de 250 días hábiles por año.

Tasa de interés libre de riesgo

En el caso de las empresas que cotizaban en bolsas de Estados Unidos, se consideró un promedio mensual de la tasa de referencia de los *TNote* a 10 años publicada por el U.S. Department of the Treasury. Por su parte, en las empresas mexicanas se utilizó el mismo criterio en la TIIE emitida por Banco de México.

Horizonte de inversión

Se considera el supuesto de que los pasivos financieros de la empresa tienen vencimiento a un año. Lo anterior, derivado de las complejas estructuras de deudas con las que generalmente cuentan las empresas.

Pasivos financieros

Se calculó el punto de *default* como los pasivos de corto plazo más la mitad de los pasivos de largo plazo.

Rendimiento esperado

Para su cálculo de la rentabilidad, se empleó el Modelo de Valoración de Activos Financieros (CAPM), considerando como *benchmarks* los principales índices de las bolsas de valores: S&P 500 para el caso de Estados Unidos y el IPC para México.

Valor y volatilidad de los activos de la empresa

El valor de los activos está dado por la suma y su volatilidad se calcula a partir de las ecuaciones explicadas en el capítulo anterior. Para resolver la iteración simultánea de

volatilidad de los activos, se calculó el error de los datos obtenidos en el modelo y los del mercado, empleando la siguiente fórmula:

$$\varepsilon^2 = \left(\frac{S}{V}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_V}{\sigma_S}\right)^2$$

Posteriormente, se utilizó la función *Solver* de Excel para encontrar los valores óptimos que minimizaran el error; el programa resolvió los valores en cinco iteraciones en promedio por operación. De esta manera, se calcula el conjunto de solución único para encontrar el valor y la volatilidad de los activos mediante el modelo KMV.

Distancia al default y probabilidad de incumplimiento

La DD se calculó como el número de desviaciones estándar que la empresa está lejos del incumplimiento, considerando el valor de los activos, volatilidad, valor de los pasivos y el rendimiento esperado. La EDP es la distribución normal estándar del valor negativo de la DD.

4.3 Resultados Crisis económica 2008

La crisis de los créditos *subprime* se propagó en los mercados financieros del mundo a partir de 2007 generando problemas de liquidez en intermediarios financieros bancarios y no bancarios. La mayoría de estas instituciones resultaron afectas y varias de ellas se declararon en quiebra solicitando el apoyo de los bancos centrales quienes tuvieron que realizar fuertes inyecciones de liquidez para contener la crisis.

En el análisis de indicadores de riesgo de crédito en las empresas que se vieron afectadas en la crisis económica se consideraron cinco de los casos más sonados en Estados Unidos: Fannie Mae, Freddie Mac, Lehman Brothers, Citigroup y AIG, empresas prestadoras de servicios financieros y con calificaciones crediticias en grado de inversión.

El lunes 15 de septiembre de 2008, Lehman Brothers, el cuarto banco de inversión de Estados Unidos con más de 158 años de operación, se declaró oficialmente en bancarrota debido a la arriesgada apuesta que realizó en las hipotecas *subprime* tras perder el 99.7% del valor de sus acciones en un año. Ajeno a lo que se pensaba, la Reserva Federal de Estados Unidos no acudió a su rescate y las negociaciones de compra con Barclays y Bank of America fracasaron.

El derrumbe del banco fue el punto de inflexión de la crisis económica, fue la mayor señal que recibieron las entidades financieras de que las hipotecas basura y los activos financieros que estas conllevaban habían infectado todo el sistema financiero y que las consecuencias eran irreparables.

Hasta inicios de septiembre, las agencias de calificación mantuvieron con calificaciones de alta solvencia a la entidad que presentó una de las mayores suspensiones de pagos de la historia. La última calificación de Lehman Brothers fue A y fue emitida en febrero de 2008.

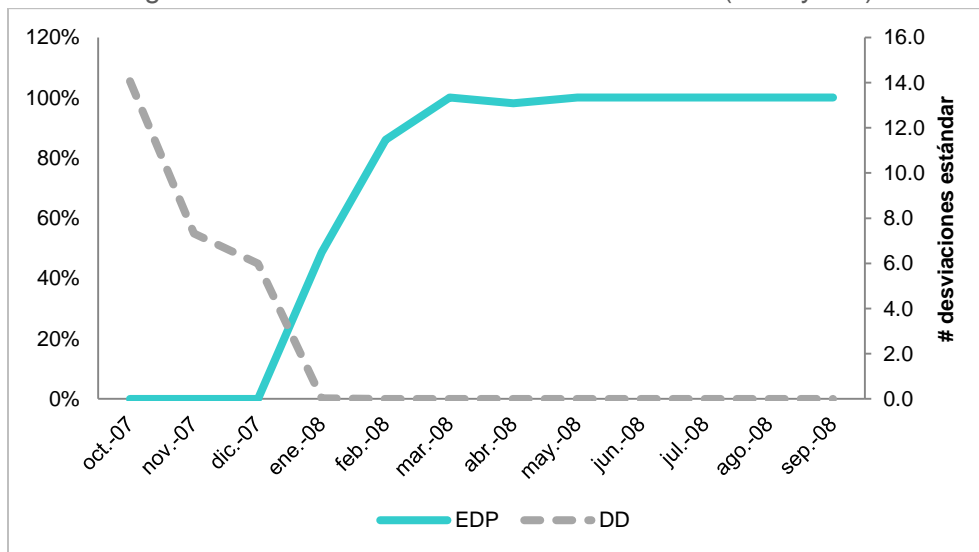
Los resultados del modelo KMV aplicado al caso Lehman Brothers, muestran que la probabilidad de incumplimiento esperada EDP al inicio del periodo de estudio se encontraba en niveles cercanos a cero; a partir de enero 2008 comenzó incrementarse logrando capturar el efecto de la volatilidad del mercado. Cabe recordar que en enero de 2008 se dio un gran desplome en los mercados mundiales como respuesta a la recesión económica estadounidense, el cual se convirtió en la antesala de la crisis 2008. A partir de marzo del mismo año, la empresa registró una EDP del 100%, cuando aún conservaba la calificación crediticia de A.

En el gráfico 4.2 se observa la relación inversa de la EDP y la distancia al *default* medida como el número de desviaciones estándar que la empresa está del incumplimiento; mientras mayor sea la probabilidad de incumplimiento, menor será la DD y viceversa. En el caso de Lehman Brothers, la DD se encontraba a 14 desviaciones estándar del incumplimiento y a medida que la EDP fue aumentando, la DD se acercó a cero.

Derivado de la fuerte caída en el precio de la acción y del elevado índice de volatilidad, el EV estimado mediante el modelo resultó cero a partir de junio 2008, donde el precio fue 46% menor que al cierre de mayo y la volatilidad alcanzó el 84%. Tal como se muestra en el gráfico 4.3, el nivel crítico de endeudamiento se encuentra por encima del valor de los activos en todo el periodo de análisis.

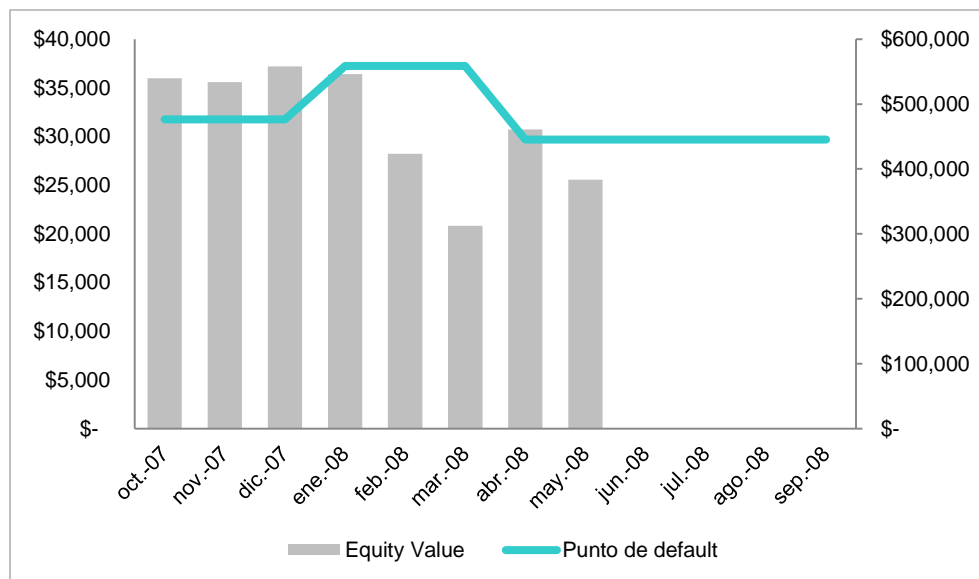
Al cierre de septiembre 2008, cuando la noticia de la quiebra de la empresa ya era pública, el precio de la acción fue de 0.22 centavos de dólar y la volatilidad fue del 361%.

Figura 4.2 Resultados Lehman Brothers 2008 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.3 Resultados Lehman Brothers 2008 (VA y PDD en millones de dólares).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

El análisis de indicadores de riesgo de crédito para el caso de Fannie Mae y Freddie Mac sigue un comportamiento similar al de Lehman Brothers.

La Federal National Mortgage Association (Fannie Mae) y la Federal Home Loan Mortgage Corporation (Freddie Mac) son las principales agencias hipotecarias de Estados Unidos. Ambas compañías tuvieron un papel protagónico en la crisis de 2008 dado que juntas tenían garantizado la mitad de las hipotecas estadounidenses, las cuales ascendían a \$5 billones de dólares. Cuando la burbuja inmobiliaria estalló en 2007, millones de personas comenzaron a demorarse con el pago de las hipotecas y los títulos que las respaldaban comenzaron a caer. Fannie Mae y Freddie Mac estaban incurriendo en pérdidas masivas dado que tenían que hacer frente al pago de las garantías de estas hipotecas “basura” y su balance no soportaba las liquidaciones.

Las empresas requerían fuertes aportaciones de capital y el valor de sus acciones había comenzado a caer drásticamente en los mercados. Los inversores privados no estaban apetentes al riesgo que suponía el mercado inmobiliario por lo que ambas empresas, al borde de la quiebra, tuvieron que ser nacionalizadas por el gobierno americano en noviembre de 2008.

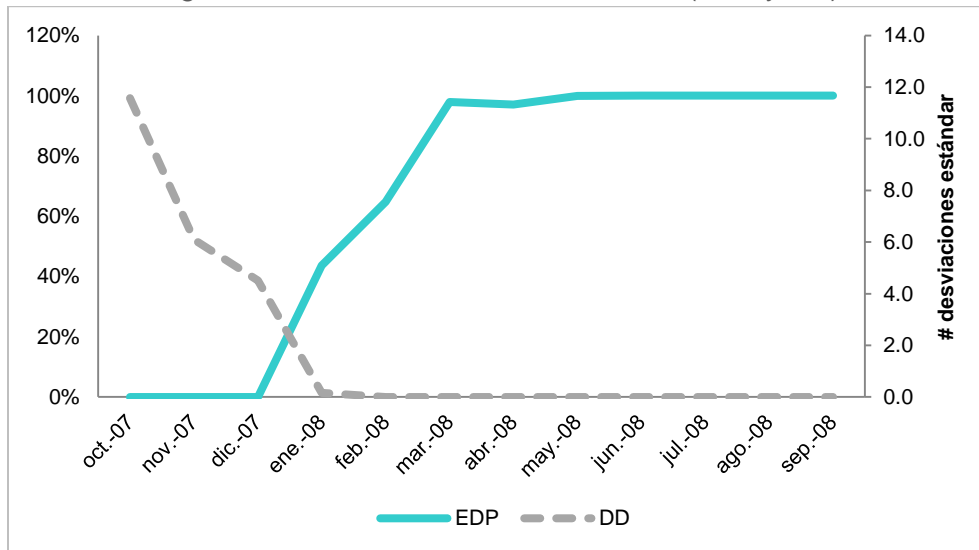
La EDP correspondiente a Fannie Mae se mantenía en niveles cercanos a cero al inicio del periodo de análisis, no obstante, a partir de enero 2008 comenzó a incrementarse justificada por las razones mencionadas anteriormente; mientras que la DD ya era de cero. A partir de mayo del mismo año, la financiera registró una probabilidad de incumplimiento del 100%.

Al inicio del periodo de análisis, las acciones de Fannie Mae cotizaban en bolsa a un valor de 55 dólares, al cierre de septiembre su valor fue de 1.53 dólares. Por su parte, el EV calculado por el modelo resultó igual a cero para tres meses del periodo de estudio;

además de la drástica caída en el precio de las acciones para septiembre 2020, la volatilidad registrada fue del 180% mientras que el rendimiento esperado fue negativo.

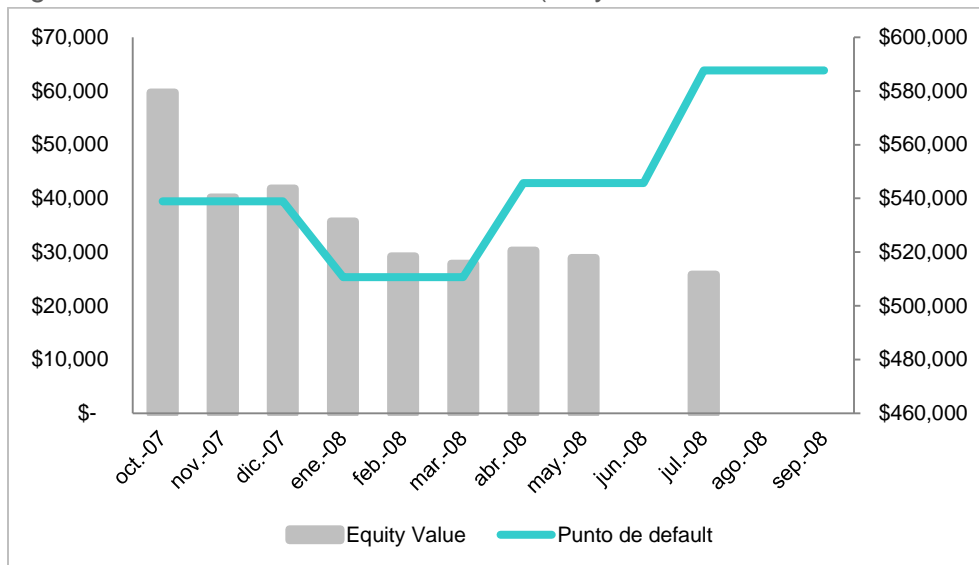
En la Figura 4.5 se observa la caída en el EV al tiempo que el PDD se incrementa el 9%, derivado del aumento en la demanda para el pago de las hipotecas garantizadas.

Figura 4.4 Resultados Fannie Mae 2008 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.5 Resultados Fannie Mae 2008 (VA y PDD en millones de dólares).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

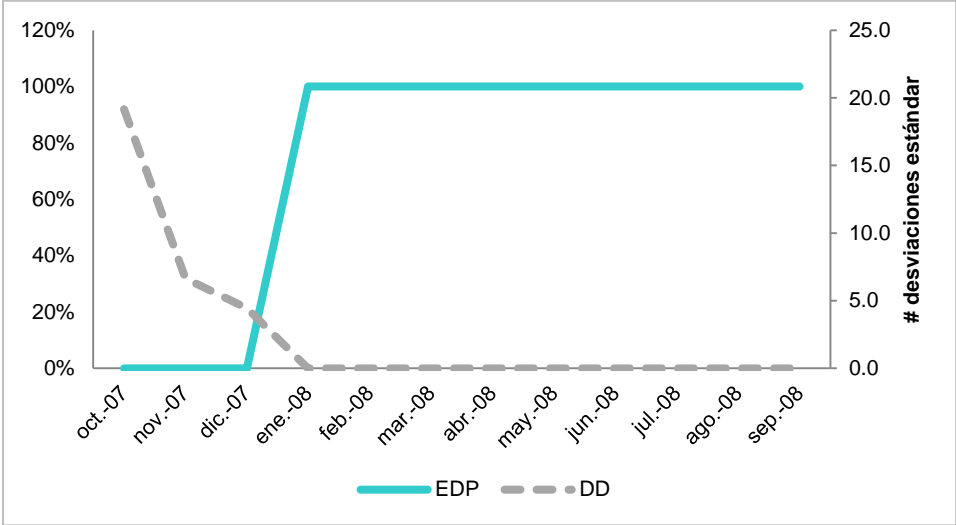
El comportamiento de los indicadores de riesgo para Freddie Mac sigue un camino parecido a Fannie Mae. La Figura 4.6 muestra que hasta diciembre 2007 la EDP se encontraba en niveles cercanos a cero, es a partir de esa fecha que se incrementó y en enero de 2008 la EDP registrada fue del 99.9%. Por su parte, se observa que la DD presenta relación inversa contra la probabilidad de incumplimiento esperada.

El precio de las acciones se vio afectado por una caída del 96% en el periodo, mientras que el EV resultó de cero a partir de noviembre 2007. Contrario al caso anterior, de acuerdo a los Estados Financieros del Periodo, el punto de *default* tuvo una ligera disminución en el último trimestre derivado de una serie de reembolsos realizados por 29 mdd correspondiente a valores respaldados por préstamos *subprime*.

El nivel de volatilidad en el último mes analizado fue de 193%, mientras que el rendimiento esperado fue negativo.

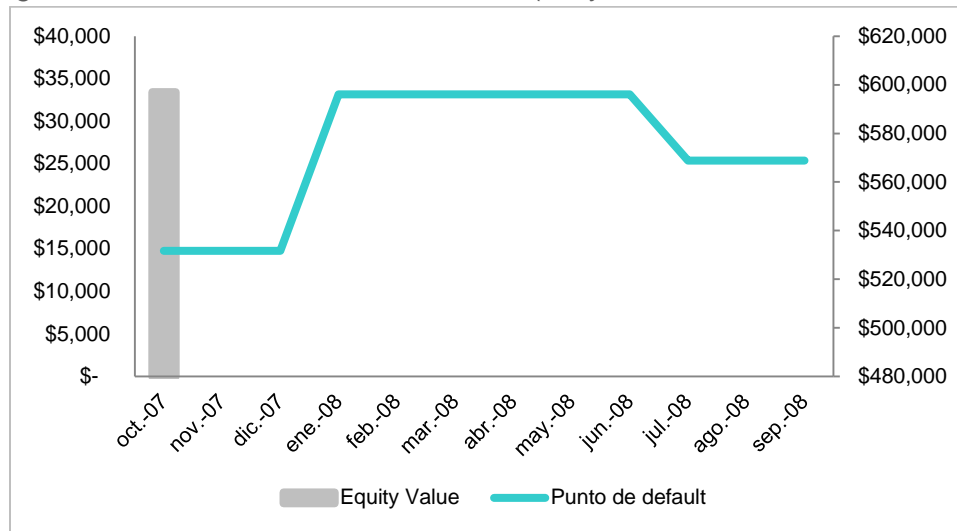
El comportamiento de los valores en el caso de Fannie Mae y Freddie Mac fue bastante similar, sin embargo, resalta que en el segundo caso la EDP se incrementó rápidamente y el EV cayó a niveles de cero desde el segundo mes de estudio. La explicación detrás de esto se encuentra en la capitalización de ambas empresas, mientras que Fannie Mae tenía en circulación más de 2,200 millones acciones en septiembre 2008, Freddie Mac contaba solamente con 647 millones de acciones, lo cual aceleró la caída del EV y el incremento en la EDP.

Figura 4.6 Resultados Freddie Mac 2008 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.7 Resultados Freddie Mac 2008 (VA y PDD en millones de dólares).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

AIG es la mayor aseguradora del mundo, no obstante, su incursión en el mercado de las hipotecas *subprime* casi significó su quiebra. AIG asumió dos tipos de riesgos que lo llevó a la crisis de 2008: el primero fue la venta de seguros contra el impago de miles de millones de dólares invertidos en valores financieros avalados por hipotecas y el segundo fue que la misma compañía compró esos valores financieros como parte de su estrategia de inversión; es decir, AIG cayó en el círculo vicioso de las hipotecas *subprime*.

Con el desplome del valor de las hipotecas, AIG sufrió una descapitalización estimada en 18 mil millones de dólares (El País, 2008). A finales de septiembre 2008, la Reserva Federal de Estados Unidos, anunció el rescate de AIG cuyo monto ascendió a más de los 85 mil millones de dólares, tras lo cual, el gobierno asumió el control de la compañía. De acuerdo al análisis de expertos, el rescate de la compañía evitó que la catástrofe padecida fuera peor que la ocurrida.

Aplicando el modelo KMV a AIG, la siguiente figura muestra la evolución de sus activos en comparación con el punto de *default* y su probabilidad de incumplimiento. Los resultados de su EDP y DD muestran claramente la relación inversa existente entre ambos indicadores, ya que ante un aumento de la probabilidad esperada de incumplimiento la DD cae considerablemente.

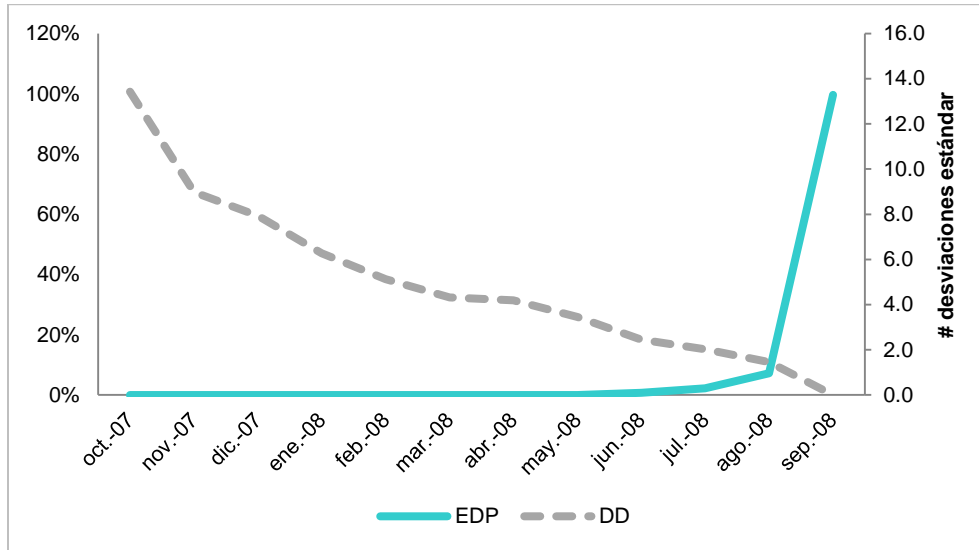
Contrario a los casos anteriores en que la EDP incrementó desde inicios de 2008, en la compañía de seguros se observa que el modelo comenzó a absorber los efectos de la crisis financiera a partir de junio cuando la EDP se ubicó en 0.7% y para septiembre alcanzó el 100%. En el caso de la DD, en octubre de 2008 se encontraba lejos del incumplimiento por 13 desviaciones estándar, indicador que fue disminuyendo gradualmente y en septiembre fue cero.

El precio de las acciones cayeron 95% en el periodo analizado, mientras que el EV disminuyó en 94%, pese a que la empresa emitió más de 196 millones de acciones e

incrementó su circulación en 7%. En la figura 4.9 se observa que el punto de *default* disminuyó 2% con respecto al inicio del periodo.

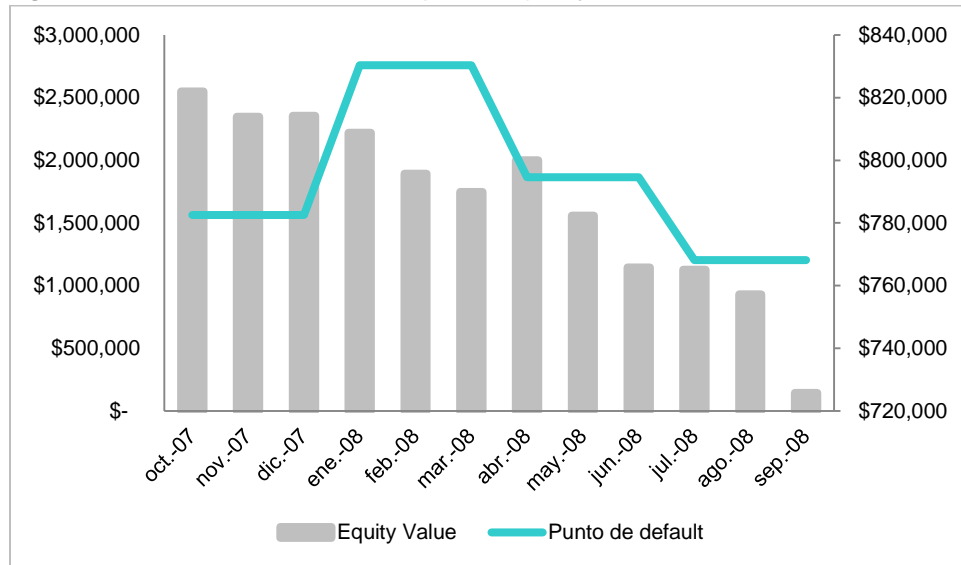
Por su parte, la volatilidad de las acciones alcanzó niveles del 130% mientras que el rendimiento esperado estimado fue negativo.

Figura 4.8 Resultados AIG Group 2008 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.9 Resultados AIG Group 2008 (VA y PDD en millones de dólares).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

A mediados de 2007, cuando la morosidad de las hipotecas *subprime* comenzó a aumentar, Citigroup se dio cuenta de la importancia que éstas inversiones habían tomado en el total de su cartera de activos, los vencimientos comenzaron a llegar y la liquidez del banco escaseó. En noviembre de 2008, el gobierno estadounidense salió al rescate de la entidad financiera asumiendo el 90% de las pérdidas potenciales. Citigroup se hizo cargo

del 10% restante sufriendo pérdidas multimillonarias por la amortización de los activos hipotecarios que tenía en libros.

El análisis de resultados de los indicadores de riesgo de crédito de Citigroup muestra la clara relación entre la DD y la EDP, ya que mientras la probabilidad de incumplimiento se mantuvo en niveles cercanos a cero, la DD estuvo hasta a ocho desviaciones estándar lejos del *default*. En el segundo trimestre de 2008, el riesgo de incumplimiento del banco comenzó a incrementarse, así como la volatilidad de los activos y en consecuencia la EDP. En el tercer trimestre del año, el banco alcanzó el nivel máximo con una probabilidad de *default* del 64%.

Es de comentar que el EV disminuyó su valor hasta un 77% durante el periodo analizado, mientras que el precio de las acciones cayó 48% en el año de estudio. No obstante, las acciones de Citigroup presentaron un nivel de volatilidad de hasta 69% el cual es menor que los casos anteriores, razón relevante para que la EDP no se disparará al 100%.

La Figura 4.11 muestra que el valor del EV y el punto de *default* siguen el comportamiento predicho por el modelo, ya que el EV disminuyó su valor situándose por debajo del punto de *default* debido a una disminución en los pasivos de largo plazo.

Figura 4.10 Resultados Citigroup 2008 (EDP y DD).

Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

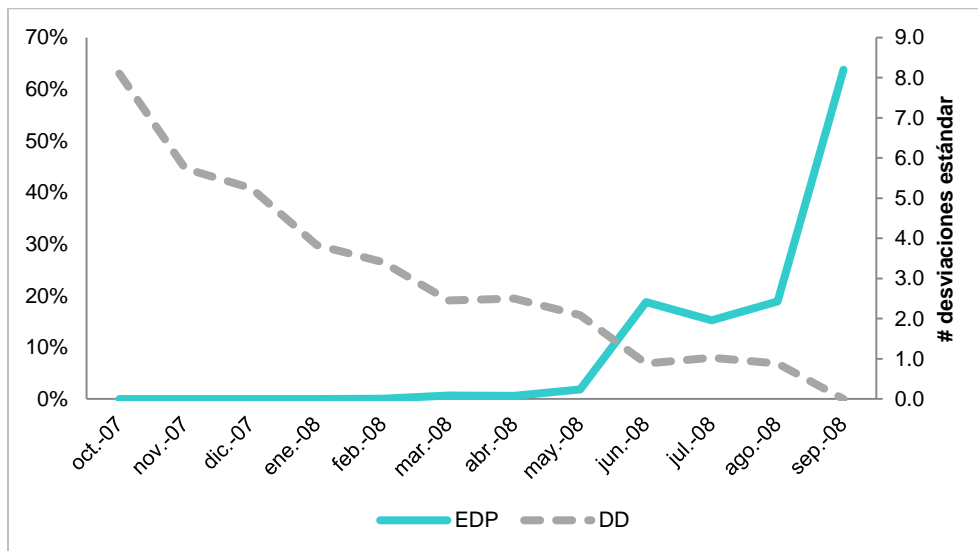
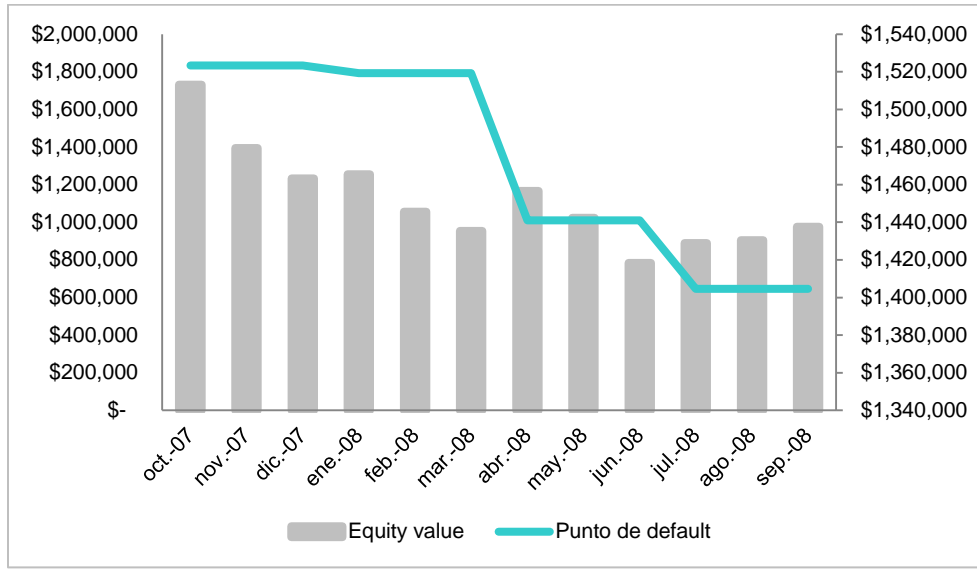


Figura 4.11 Resultados Citigroup 2008 (VA y PDD en millones de dólares).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

En este primer acercamiento se observó que el modelo fue capaz de incorporar los factores de estrés de la situación económica en la determinación del incumplimiento de una compañía. En los casos analizados, a excepción de AIG, el modelo fue capaz de predecir el *default* con más de un periodo de anticipación.

El precio de las acciones así como su capitalización son factores determinantes para el resultado de la EDP, al igual que la volatilidad de los activos y el rendimiento esperado.

4.3 Resultados periodo post crisis

En el presente apartado, se propone aplicar el modelo KMV a empresas que cayeron en incumplimientos en un contexto de estabilidad económica. Las firmas analizadas en el apartado anterior, estaban inmersas en una situación de crisis económica que se traduce en alta volatilidad en los mercados e incertidumbre generalizada, por lo cual el modelo pudo verse alterado. En contraste, las empresas propuestas para este análisis, incumplieron el pago de su deuda por situaciones propias, sin que el contexto económico fuera el factor determinante.

Para el análisis de este apartado, se consideraron los reportes elaborados por S&P Annual Global Corporate Default And Rating Transition Study, en donde se informa de los incumplimientos registrados de cada año. Las empresas analizadas efectuaron un canje de deuda el cual es asimilable a un evento de incumplimiento, dado que conlleva un cambio en las condiciones pactadas originalmente y que en las mayorías de las veces implica que los inversores reciban un monto menor y a mayor vencimiento.

El primer caso corresponde a Axtel, empresa mexicana de telecomunicaciones que se vio imposibilitada a cumplir con sus obligaciones financieras y tuvo la necesidad de llevar a cabo un canje de deuda. El *default* se dio en enero de 2013, por lo cual el periodo de

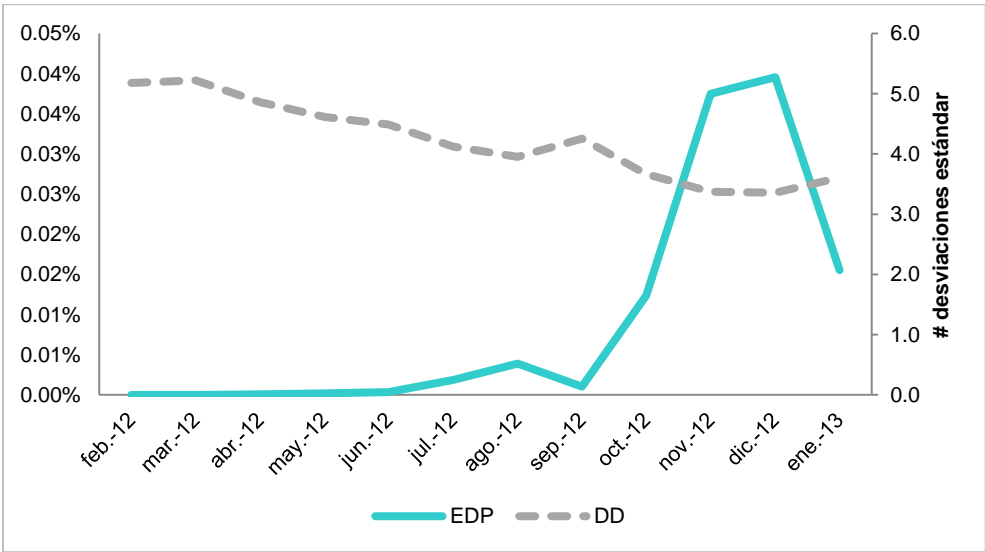
análisis comienza en febrero 2012. La reestructura consistió en intercambiar 116 mdd de sus notas *senior* en circulación de 2017 y 2019 por pagares garantizados con vencimientos hasta 2020, con dicha transacción, el inversor recibiría un monto menor que el prometido en la emisión de deuda original.

El análisis de resultado de los indicadores de riesgo para el caso de Axtel muestra que la probabilidad de incumplimiento esperada es cercana a cero hasta el segundo trimestre del 2012, posterior a eso, la EDP se incrementa ligeramente y llega a un indicador de 0.004% para volver a disminuir en septiembre 2012, periodo a partir del cual aumenta hasta su punto máximo en diciembre, mes en el que se hizo pública la noticia de la reestructura. Por su parte, la DD se mantuvo hasta a 3.6 desviaciones estándar del incumplimiento.

El precio de las acciones y el EV tuvieron una pérdida de valor del 17% en un año, no obstante, contrario a la probabilidad esperada de incumplimiento, el valor menor se registró en julio 2012. Es de mencionar que en el periodo de estudio la empresa no emitió acciones.

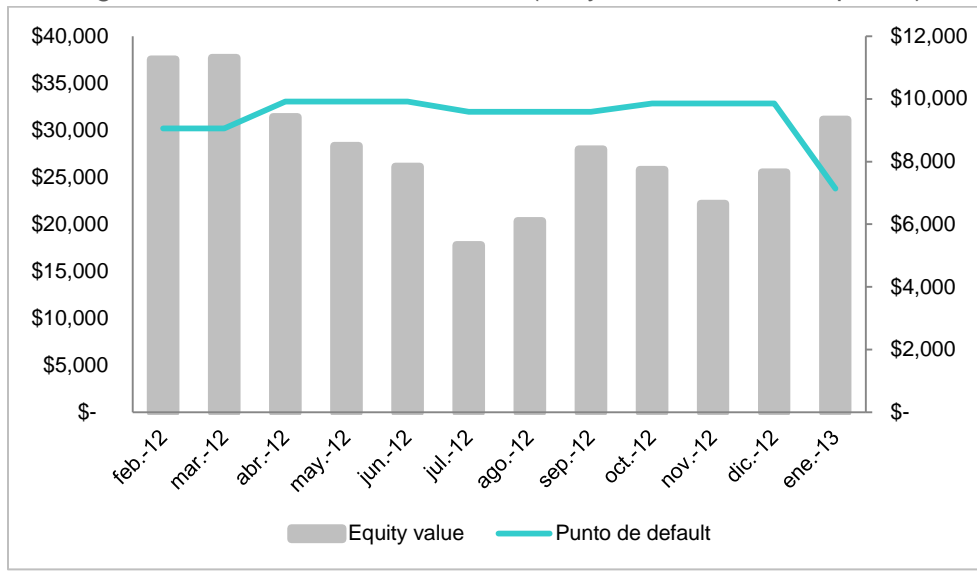
La capitalización de la empresa superó el punto de *default* durante el periodo de estudio. El PDD disminuyó el 21% en el periodo de análisis derivado del intercambio de bonos y un decremento en otros activos como arrendamientos. La volatilidad registrada por las acciones de la firma en el mes del incumplimiento ascendió al 60%, mientras que el rendimiento esperado fue del 20%, lo cual contribuyó a que la EDP no incrementará de manera importante.

Figura 4.12 Resultados Axtel 2013 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.13 Resultados Axtel 2013 (VA y PDD millones de pesos).



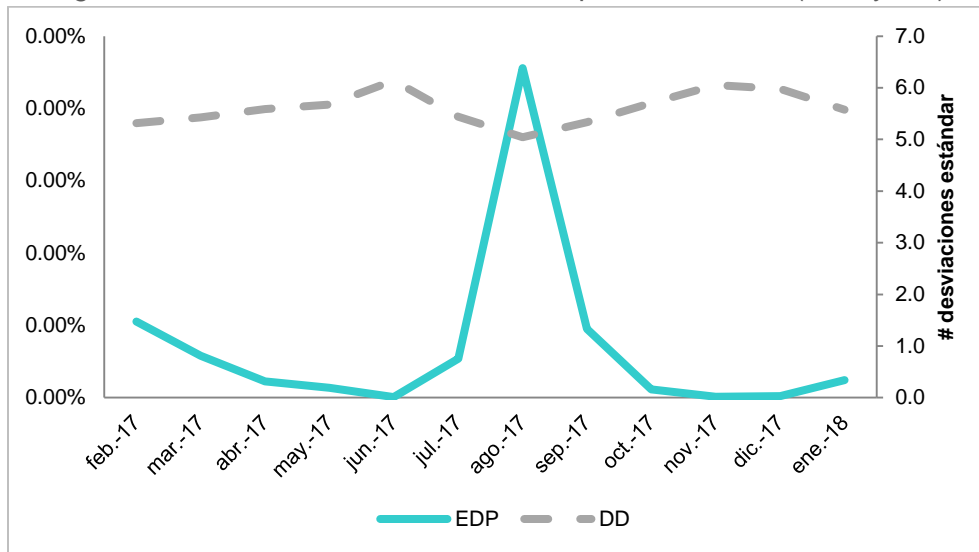
Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Hovnanian Enterprises Inc., constructora estadounidense de viviendas residenciales efectuó un canje de deuda que supuso una pérdida para el inversionista al recibir notas crediticias de menor valor no garantizadas y cuyo vencimiento se estableció hasta 2026.

En lo que respecta a la aplicación del modelo, Hovnanian muestra un periodo constante en la que la EDP está cercana a cero registrando un pequeño repunte en agosto de 2017, mes en el que el precio de las acciones alcanzó una menor cotización en bolsa. En la fecha del *default* se puede observar que la EDP aumentó muy ligeramente, sin embargo, no alcanzó ni un punto porcentual. Por su parte, la DD presenta la relación inversa contra la probabilidad de incumplimiento esperado manteniéndose en promedio del periodo a una distancia de 5.6 desviaciones estándar lejos del incumplimiento.

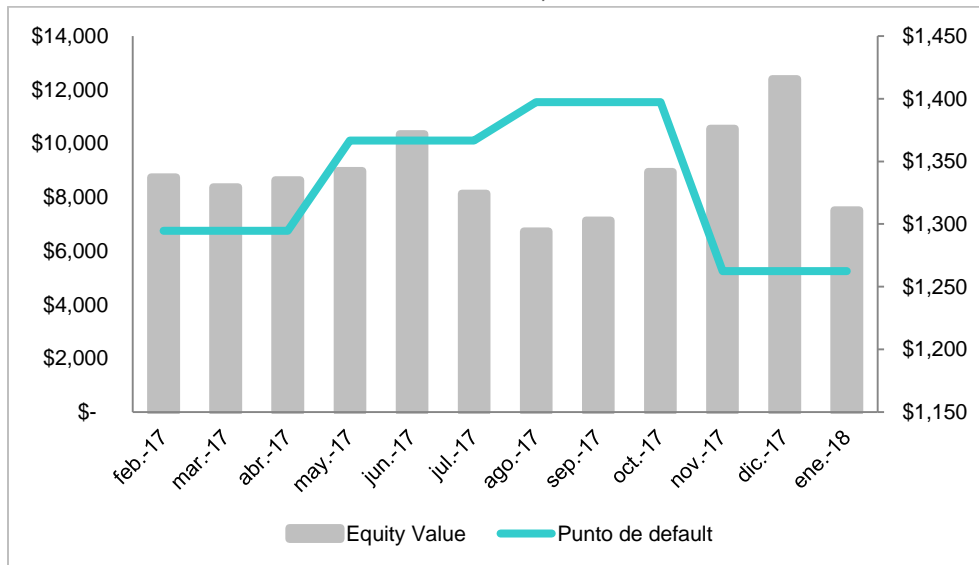
Contrario a otros casos, una de las razones por las que la probabilidad de incumplimiento esperada no aumentó significativamente en el caso de Hovnanian, es porque el precio de las acciones y el EV no disminuyeron drásticamente sino que registraron una caída del 14%. Adicional a lo anterior, el efecto en el modelo de la volatilidad de los activos que ascendió al 47% en enero 2018, fue contrarrestado por un rendimiento esperado del 42%.

Figura 4.14 Resultados Hovnanian Enterprises Inc. 2018 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.15 Resultados Hovnanian Enterprises Inc. 2018 (VA y PDD en millones de dólares).



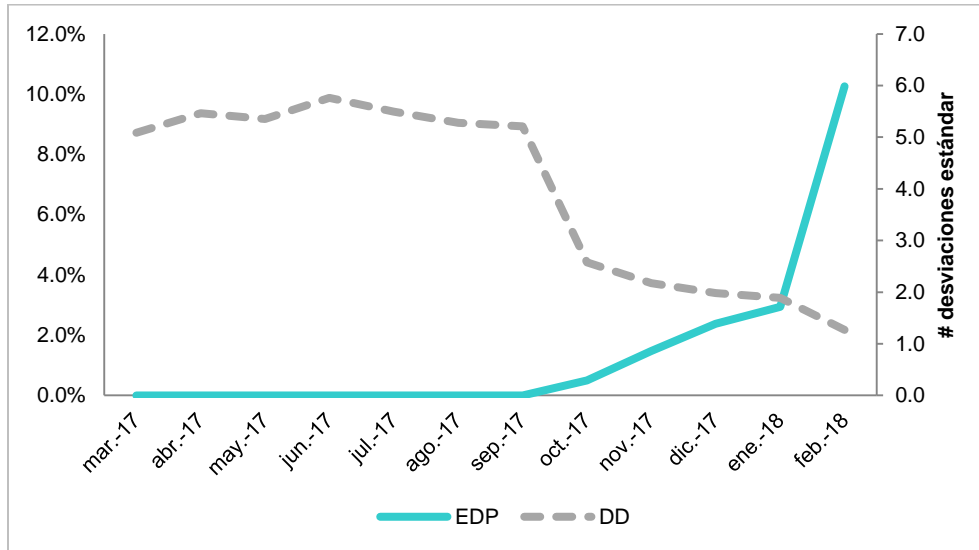
Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

El comportamiento de los indicadores de incumplimiento en Iconix Brand Group, empresa estadounidense de gestión de marcas, muestran un periodo de estabilidad hasta el tercer trimestre de 2017 en el que la empresa mantiene una EDP mínima, es posterior a esa fecha cuando la DD comienza a disminuir considerablemente al tiempo que la EDP se incrementa, alcanzando su punto máximo en febrero 2018, mes en el que se llevó a cabo la reestructura. La probabilidad de incumplimiento esperada fue del 10.2% mientras que la DD cayó hasta una desviación estándar para el *default*.

El precio de las acciones disminuyó el 81% en el periodo analizado y su volatilidad en febrero de 2018 fue del 112%, contribuyendo a que el EV cayera 79% de acuerdo a lo

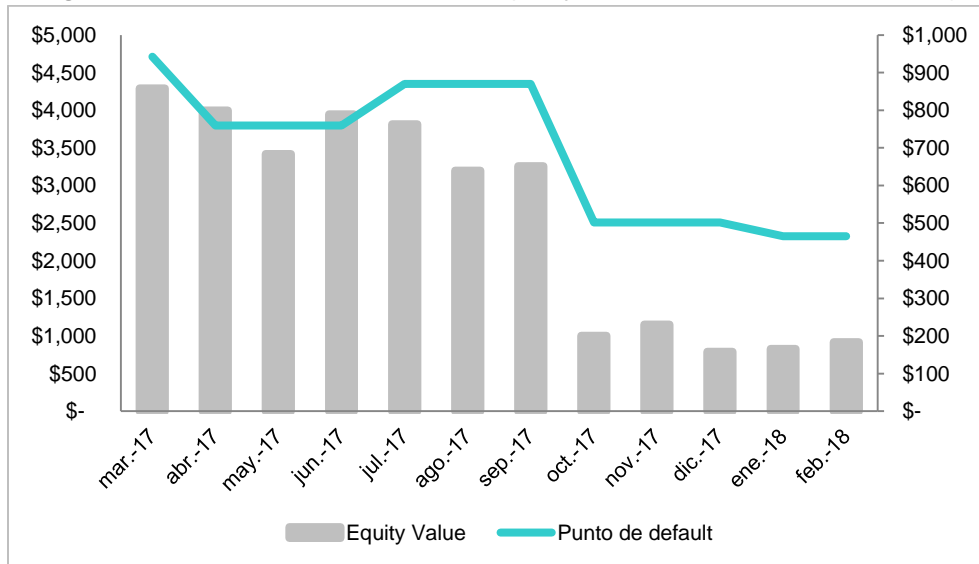
observado en la Figura 4.17 En el caso de Iconix, se observa que el valor de la deuda *senior* disminuyó considerablemente, razón por la cual el punto de *default* resultó del 50% que el valor del inicio del periodo. Por su parte, el rendimiento esperado fue del 25%, valor insuficiente para compensar los efectos anteriores.

Figura 4.16 Resultados Iconix 2018 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.17 Resultados Iconix 2018 (VA y PDD en millones de dólares).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Northern Oil and Gas Inc. es una empresa dedicada a la exploración y producción de petróleo y gas con sede en Estados Unidos. En mayo de 2018, la compañía hizo el anuncio de que completó el canje de deuda que incluía un intercambio de alrededor de 500 mdp.

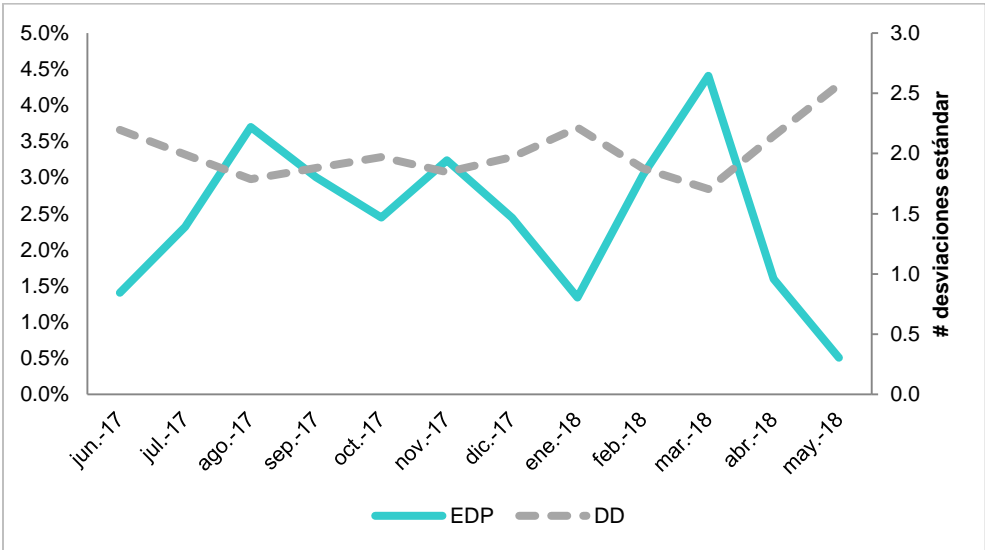
Las estimaciones del modelo resultan en que la EDP tuvo variaciones interesantes durante el periodo de estudio registrando tres picos en agosto y noviembre 2017 cuando alcanzó una probabilidad estimada del 3.7% y 3.2%; sin embargo, la EDP máxima se dio en marzo de 2018 y fue del 4.4%. En el mes del anuncio de la reestructura, la EDP disminuyó hasta el 0.5%, mientras que la DD aumentaba hasta 2.5 desviación estándar.

Es importante destacar que en los meses que se registró una EDP mayor, el precio de la acción registró mayores caídas, además de que las acciones de Northern O&G están estrechamente relacionadas con el precio del petróleo y sus variaciones.

A comienzos de mayo 2018, la empresa emitió sus resultados del primer trimestre, al tiempo que anunciaba su plan de producción del año la cual aumentaba en 35% con respecto del año anterior. Los anuncios anteriores fueron vistos con buenos ojos por los inversionistas, con lo que el precio de la acción se apreció 38% de marzo a mayo 2018, teniendo un efecto positivo en la estimación de la EDP.

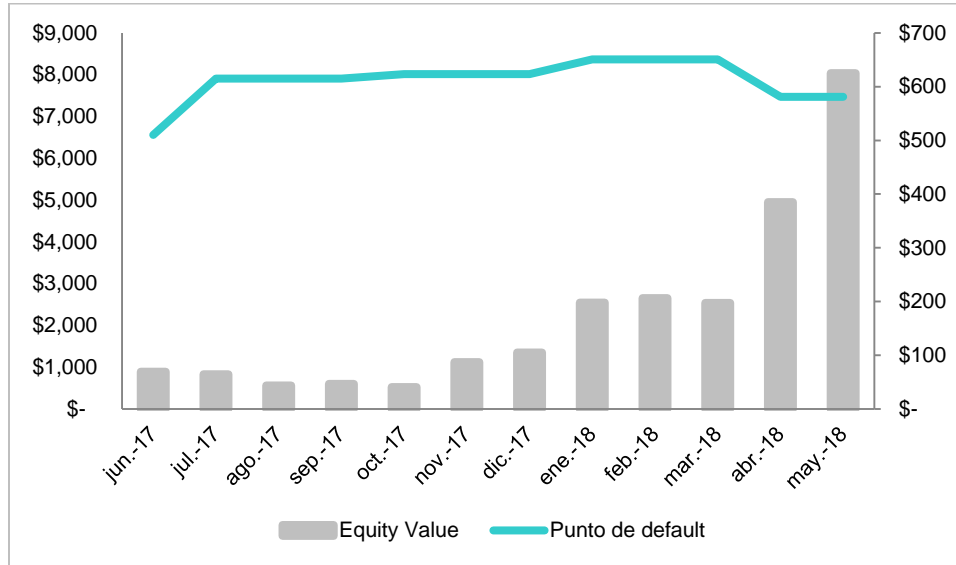
En el gráfico 4.18 es observable que el punto de *default* disminuyó ligeramente como resultado de la reestructura de deuda; en contraste, el EV aumentó casi ocho veces en consecuencia de que la empresa realizó la emisión de 232 millones de acciones, con lo cual el número de acciones en circulación aumentó en 3.6 veces y favoreció la capitalización de la compañía.

Figura 4.18 Resultados Northern Oil and Gas Inc. 2018 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.19 Resultados Northern Oil and Gas Inc 2018 (VA y PDD en millones de dólares).



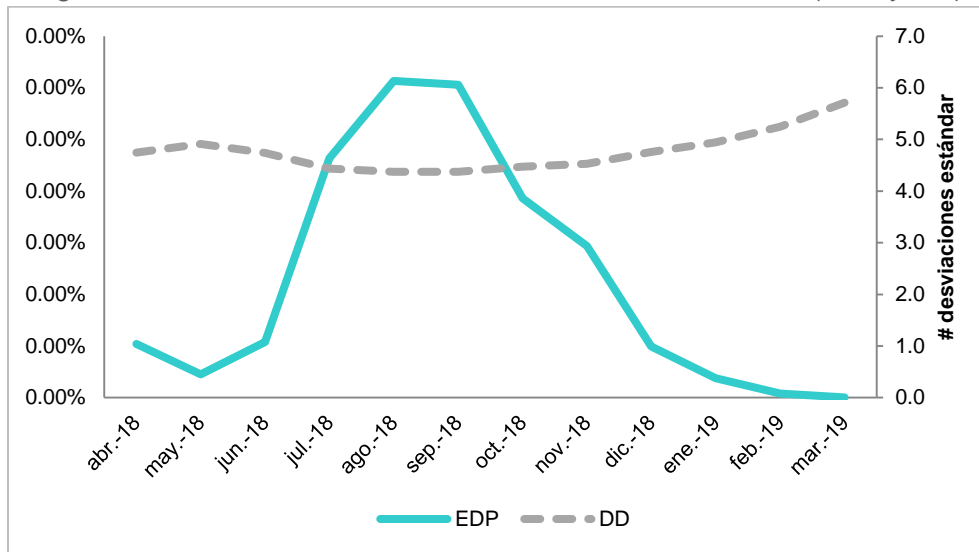
Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Finalmente, el análisis de los indicadores de riesgo de crédito se llevó a cabo para el proveedor de servicios mexicano Maxcom Telecomunicaciones. El primero de abril de 2019, Maxcom ejecutó una recompra de deuda por 9 mdd adicionales a sus notas senior garantizadas cuyos vencimientos vendrían en 2020. Los inversionistas recibieron un pago menor del pactado inicialmente (pago promedio de USD 60 por cada USD 100 de valor nominal), por lo cual la reestructura es considerada como un incumplimiento.

Los indicadores de incumplimiento de Maxcom Telecomunicaciones tienen un comportamiento particular puesto que la EDP alcanzó el nivel máximo en el tercer trimestre del 2018, periodo lejano de la fecha de incumplimiento. Al término del primer trimestre de 2019, la EDP disminuyó a niveles muy cercanos a cero.

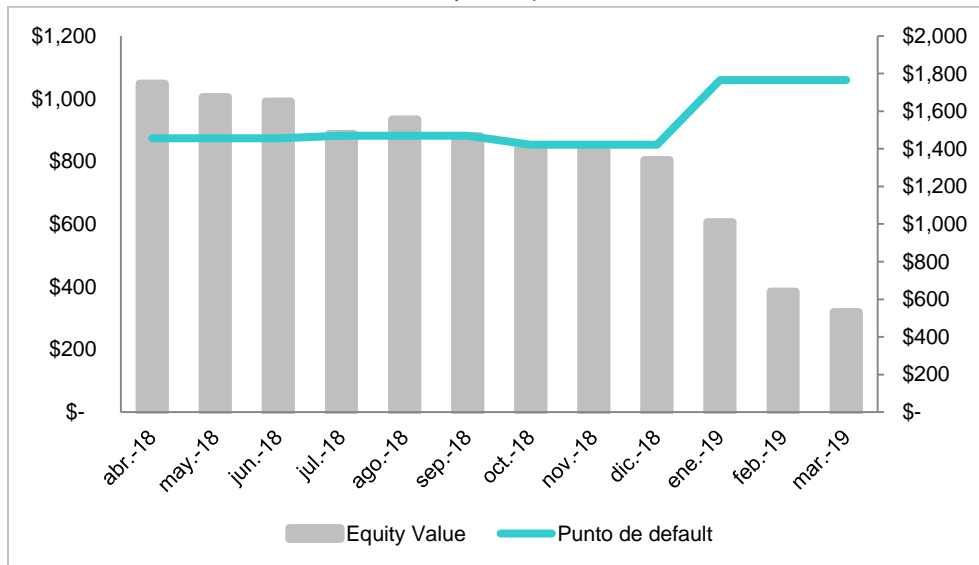
En la Figura 4.21 es posible observar el comportamiento inverso del EV y el PDD, ya que el primero perdió su valor en un 70% mientras que el punto de incumplimiento incrementó el 21%. Es de mencionar que el monto de los bonos a pagar disminuyó derivado de la reestructura, no obstante, el endeudamiento de largo plazo aumentó por concepto de arrendamiento e ingresos diferidos. Por su parte, la volatilidad de las acciones fue de alrededor el 40% mientras que el rendimiento esperado se estimó en 10% para el mes del incumplimiento.

Figura 4.20 Resultados Maxcom Telecomunicaciones 2019 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.21 Resultados Maxcom Telecomunicaciones 2019 (VA y PDD en millones de pesos).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Uno de los aspectos relevantes que se observó en éste ejercicio, fue que en la mayoría de los casos el punto de incumplimiento disminuyó en el último trimestre de estudio, la principal causa es que las reestructuras efectuadas por las compañías conllevaron un monto de deuda menor.

4.3 Resultados 2020

En marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud calificó como una pandemia el brote viral del COVID-19 debido a su rápida expansión a nivel global. La pandemia está

ocasionando una disminución no planeada en la economía mundial originando interrupciones en las cadenas de valor y en la actividad de los consumidores. El propósito del presente apartado es analizar la aplicabilidad del modelo en el pronóstico de la EDP para empresas de diversos sectores que vieron afectadas sus operaciones debido al COVID-19.

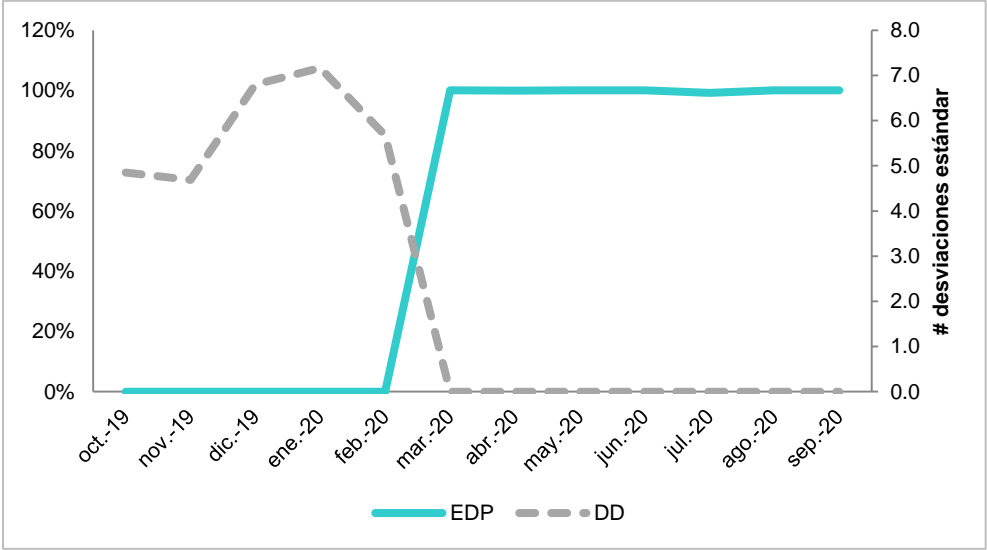
El inicio de la pandemia en México se desató en las últimas semanas del primer trimestre del 2020. La aerolínea mexicana Aeroméxico presentó una baja en la demanda del transporte aéreo de más del 50% además del incremento del segmento de bajo costo, lo cual trajo una difícil situación financiera para la compañía.

El análisis de los indicadores de riesgo para el caso de Aeroméxico muestra que la probabilidad esperada de incumplimiento se encontraba en niveles cercanos a cero hasta marzo 2020 cuando el modelo capturó el efecto de la pandemia en el mercado y la EDP se volvió del 100%, exactamente en el mes que marca el inicio de la pandemia en el país y cuando se estableció el confinamiento general de la población. La DD al inicio del periodo se encontraba hasta siete desviaciones estándar del incumplimiento y a partir de marzo 2020 la empresa ya estaba en el *default*.

El EV estimado para el modelo fue de cero a partir de mayo, derivado principalmente de una caída en el precio de las acciones del 33% con respecto del mes anterior, además, es importante mencionar que la empresa retiró capital del mercado y el número de acciones en circulación disminuyó el 12%. El efecto total en el precio de las acciones fue un desplome del 70% en el periodo, mientras que los niveles de volatilidad se estimaron hasta el 65% y los rendimientos esperados resultaron negativos.

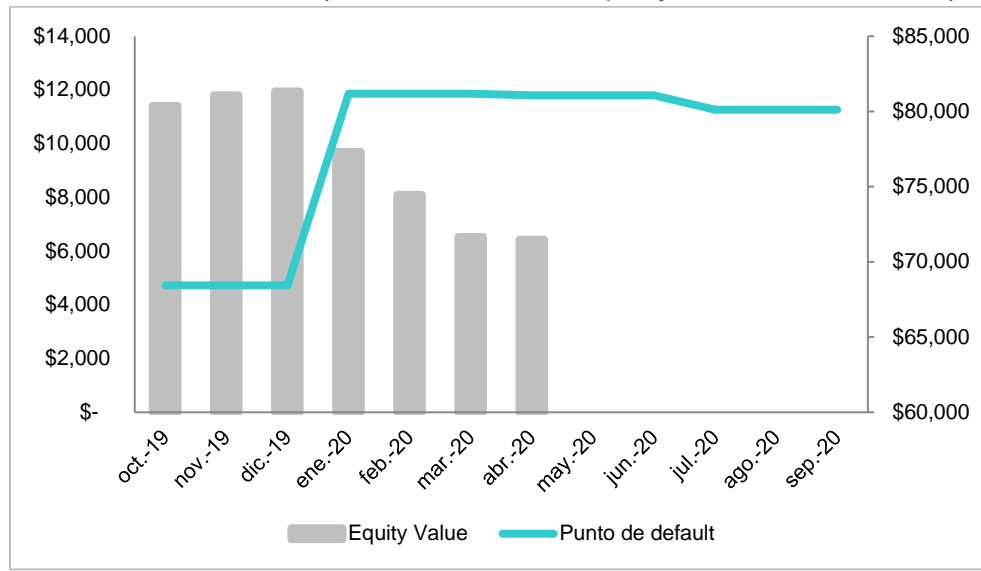
En el mes de julio, Aeroméxico se adhirió al Capítulo 11 de la Ley de Quiebras de Estados Unidos con el objetivo de reestructurar su deuda financiera y continuar con sus operaciones.

Figura 4.22 Resultados Grupo Aeroméxico 2020 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.23 Resultados Grupo Aeroméxico 2020 (VA y PDD en millones de pesos).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

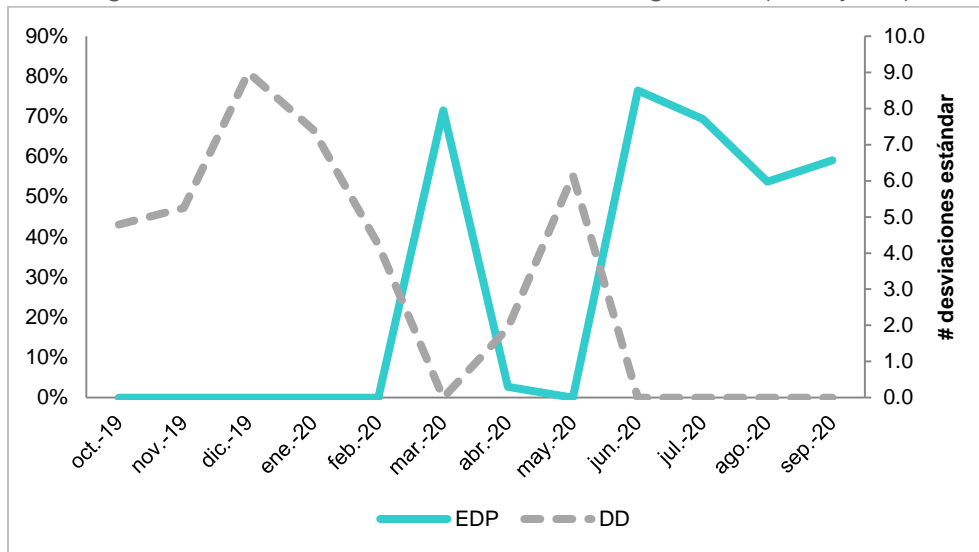
Hertz Global Holdings es una empresa estadounidense de alquiler de automóviles que opera en más de 150 países. A finales de mayo 2020, la empresa se declaró en quiebra luego de que sus operaciones se vieran gravemente afectadas por la pandemia y de que las negociaciones con sus acreedores bancarios no fueran favorables.

La aplicación del modelo KMV en el caso de Hertz permite observar que la EDP resultó de cero a inicios del periodo de análisis hasta marzo cuando alcanzó una probabilidad de incumplimiento esperada del 72%, en abril regresó a niveles cercanos a cero y en junio tuvo un repunte alcanzando una probabilidad del 77%. La DD sigue una relación inversa con la EDP, a inicios del periodo fue de hasta nueve desviaciones estándar y a partir de junio fue de cero.

Es de observar que a pesar de que la noticia de quiebra de Hertz se hizo pública a finales de mayo, el modelo absorbió los efectos hasta junio capturando la creciente volatilidad que aumentó hasta el 260%. No obstante, obtuvo rendimiento esperado positivo del 34% favorecido por la baja en las tasas de referencia del Tesoro.

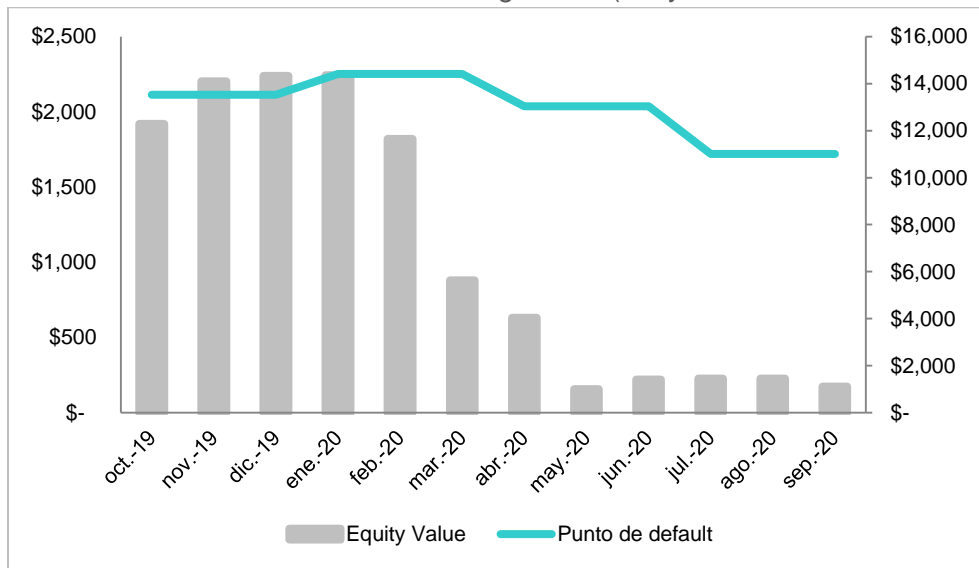
El EV perdió el 90% de su valor en el año analizado derivado principalmente a la drástica caída en el precio de la acción, aún y cuando la compañía emitió más de 14 millones de acciones en el segundo trimestre de 2020 e incrementó 10% su participación en el mercado. En la figura 4.25 es posible observar que el nivel de endeudamiento se mantuvo por arriba del EV durante el periodo aunque registró una ligera disminución comparado con octubre 2020.

Figura 4.24 Resultados Hertz Global Holdings 2020 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.25 Resultados Hertz Global Holdings 2020 (VA y PDD en millones de dólares).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

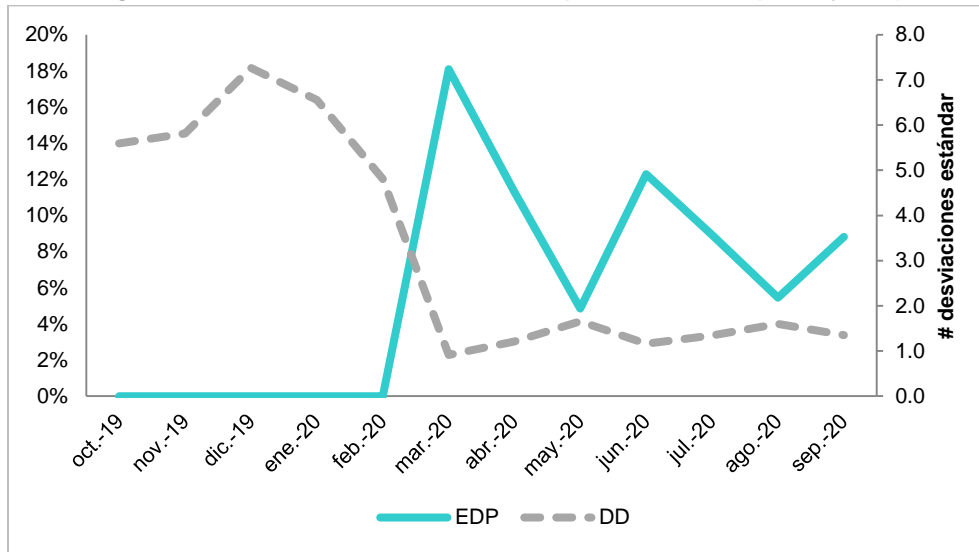
Carnival Corporation es el mayor operador de cruceros a nivel mundial por lo que depende en gran medida del turismo, actividad que fue de las primeras en sentir el impacto de la pandemia y cuya recuperación se estima será lenta.

En lo que respecta a la aplicación del modelo, los resultados de los indicadores EDP y DD muestran una EDP constante cercana a cero para el periodo de octubre 2019 a febrero 2020 y es posterior a esa fecha que la DD comenzó a caer hasta llegar a 0.9 desviaciones estándar del incumplimiento mientras que la EDP alcanzó su punto máximo al situarse en 18%.

La Figura 4.27 muestra la relación inversa entre el punto de incumplimiento y el EV ya que durante el periodo de estudio el PDD registra un incremento del 2%, mientras que el EV cayó 51% siendo el mes de marzo el más pesimista. Es importante mencionar que en el segundo trimestre del año, Carnival obtuvo fondos en el mercado a partir de la emisión de bonos y acciones ordinarias, razón por la cual se observa un incremento en el EV y en el PDD para dicho periodo.

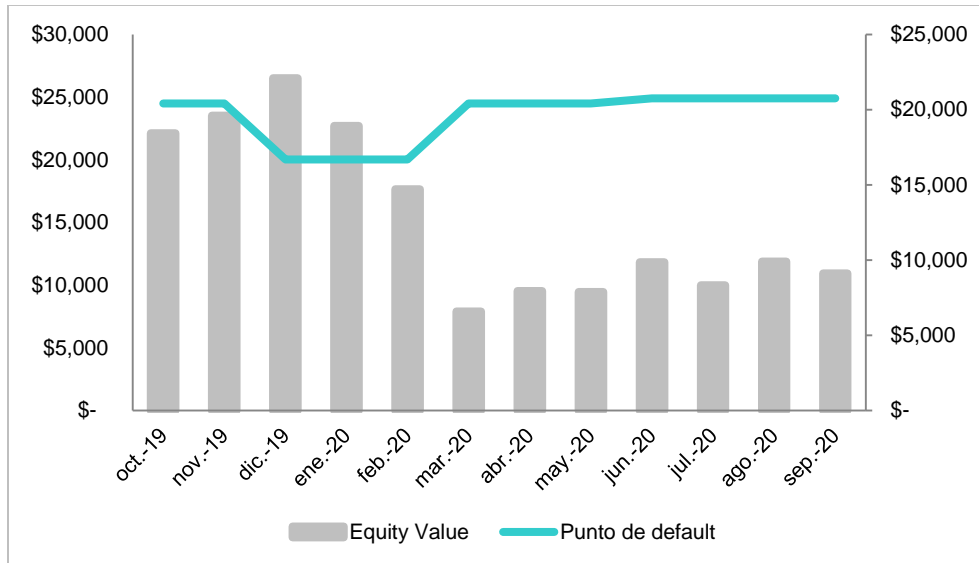
El periodo con mayor volatilidad del 109% fue en septiembre, mes en el que el rendimiento esperado fue del 36%.

Figura 4.26 Resultados Carnival Corporation 2020 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.27 Resultados Carnival Corporation 2020 (VA y PDD en millones de dólares).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

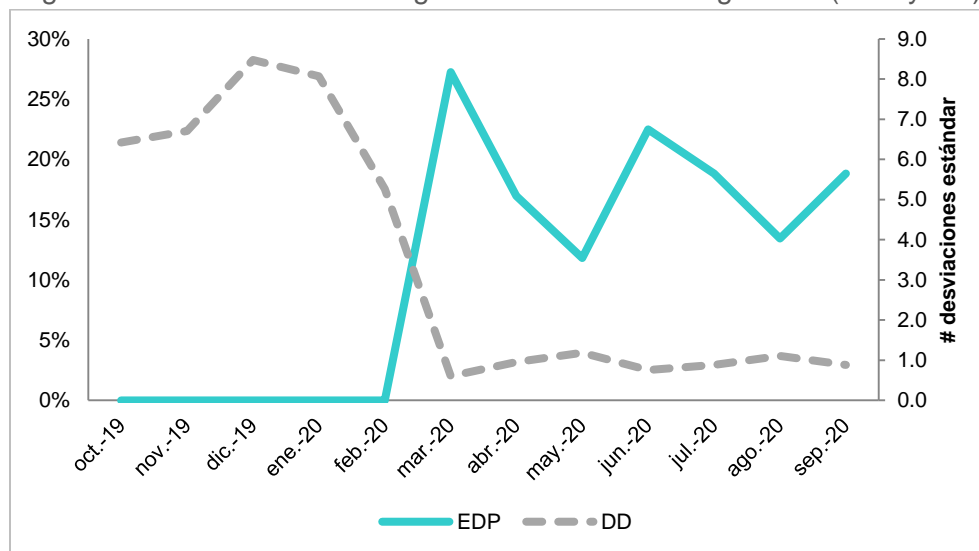
Norwegian Cruise Line Holdings es la tercera naviera más importante del mundo que se dedica a la operación de cruceros. En mayo del 2020, la compañía emitió un comunicado anunciando que sus niveles de deuda estaban siendo insostenibles y que podría adherirse a la Ley de Quiebra de Estados Unidos en caso de que las negociaciones con sus acreedores no fueran favorables.

Al revisar los resultados de los indicadores calculados para Norwegian, destacan tres momentos. El primero es el periodo de estabilidad en el que la EDP es prácticamente del 0% y en donde se tienen los niveles de DD más altos del periodo siendo de 7 desviaciones estándar en promedio lejos del incumplimiento. El segundo momento se registra en marzo de 2020, cuando la probabilidad esperada de incumplimiento del 27% fue la máxima registrada en el año de estudio y la DD disminuyó hasta 0.6 desviaciones estándar. En mayo la EDP cayó al 12% y en junio tuvo un repunte hasta 22%.

Es de observar que en mayo, cuando la compañía anunció su posible quiebra, la EDP disminuyó con respecto de los periodos anteriores. Las acciones cayeron más del 20% con el anuncio, sin embargo se recuperaron rápidamente para el cierre del mes, razón por la cual el modelo se sensibilizó. A finales de octubre 2019, cada acción de la compañía valía 50 dólares y para septiembre se cotizaban alrededor de los 17 dólares, con lo cual registró una pérdida del 66%.

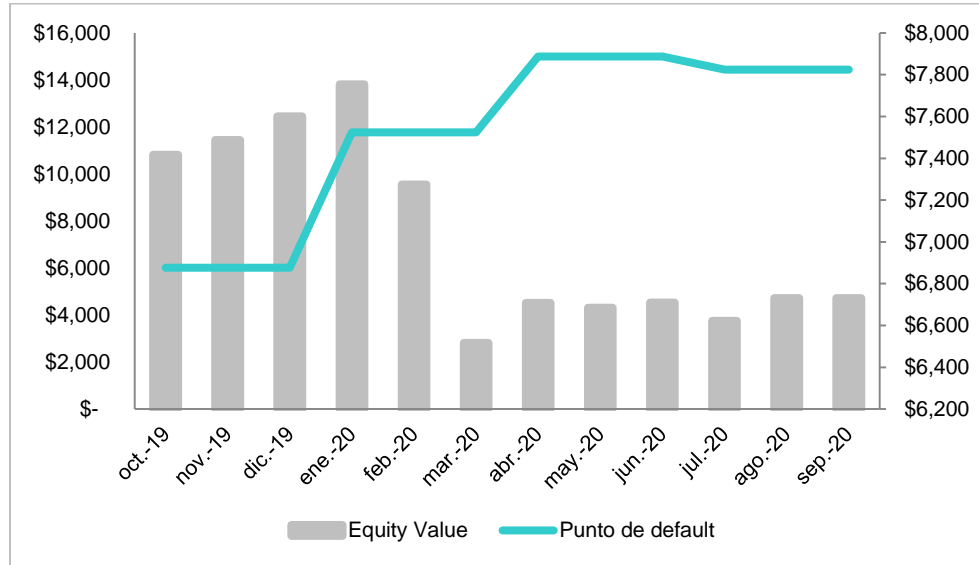
La Figura 4.28 muestra que el EV perdió valor a partir de marzo 2020, mes en el que las acciones perdieron dos terceras partes de su valor comparado con el mes anterior. Por su parte, se observa un incremento del 14% en el nivel de endeudamiento. La volatilidad registrada alcanzó niveles de hasta 125% mientras que el rendimiento esperado resultó positivo favorecido por la disminución en la tasa de referencia.

Figura 4.28 Resultados Norwegian Cruise Line Holdings 2020 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.29 Resultados Norwegian Cruise Line Holdings 2020 (VA y PDD en millones de dólares).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Occidental Petroleum Corporation es una empresa multinacional cuya actividad principal es la explotación de petróleo. La pandemia por COVID-19 obligó a empresas de prácticamente todos los sectores a suspender sus actividades productivas y por tanto interrumpir las cadenas de valor, lo cual generó una disminución en la demanda del petróleo.

En marzo de 2020, la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) celebró una reunión con propósito de acordar reducir la extracción del crudo y aliviar el exceso de oferta, sin embargo, no se llegó a ningún acuerdo y, ante el aumento de producción y disminución del precio por parte de Arabia Saudita, las cotizaciones bursátiles ligadas al precio del petróleo se hundieron a cerca de 20 dólares por barril.

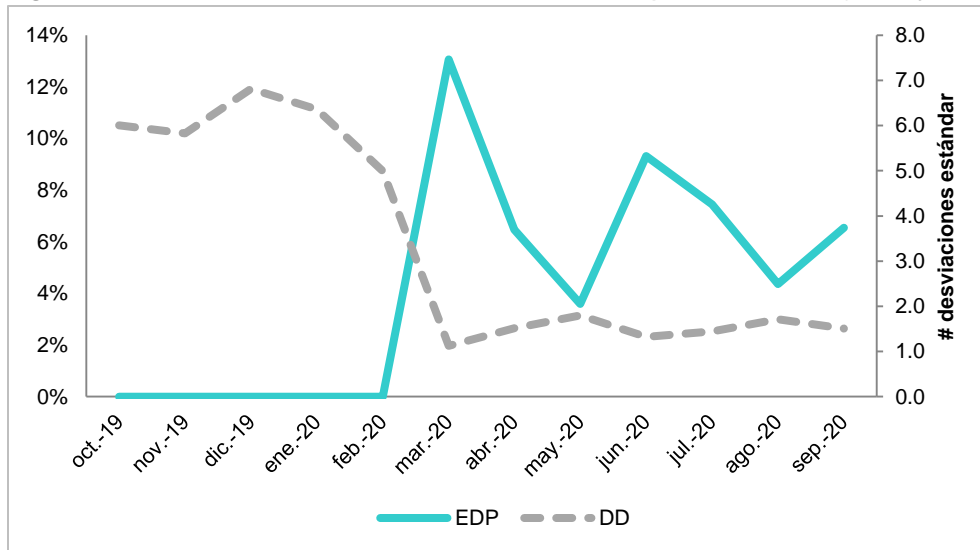
El derrumbe del precio del crudo creó una preocupación generalizada en el que las empresas del sector comenzaron a reestructurar su deuda por miles de millones de dólares. Occidental Petroleum comenzó por reducir su dividendo y recortar gastos.

El análisis de los indicadores de riesgo para el caso de Occidental Petroleum sigue un comportamiento similar a los anteriores. La EDP se mantuvo en niveles cercanos a cero hasta febrero de 2020 y en marzo se registró el nivel de incumplimiento máximo con una probabilidad del 13%. La DD se mantuvo a 6 desviaciones estándar en promedio en los primeros meses y cayó a 1.1 en marzo. Posteriormente, ambos indicadores se alejaron del incumplimiento y presentaron un repunte en junio con la EDP al 9% y la DD de apenas 1.3.

El EV perdió el 74% de su valor en el periodo analizado siendo marzo el mes más pesimista, por su parte, se observa una disminución en el punto de *default* del 22%. La volatilidad registrada alcanzó niveles de hasta 101% en septiembre mientras que el

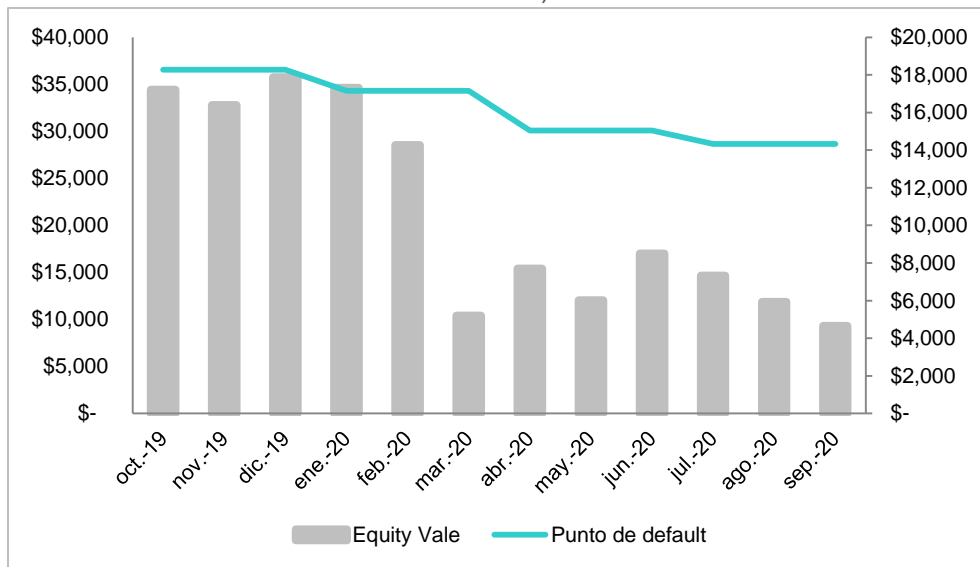
rendimiento esperado resultó positivo favorecido por la disminución en la tasa de referencia del Tesoro.

Figura 4.30 Resultados Occidental Petroleum Corporation 2020 (EDP y DD).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

Figura 4.31 Resultados Occidental Petroleum Corporation 2020 (VA y PDD en millones de dólares).



Fuente: Elaboración propia con metodología KMV

CONCLUSIONES

Los resultados encontrados en la aplicación del modelo KMV son consistentes con el planteamiento metodológico original. Para el conjunto de empresas seleccionadas el modelo KMV nos permitió trasladar la información contenida en el precio de mercado de la empresa y los datos financieros en una medida de riesgo implícito determinado por un proceso de tres etapas: la primera que nos permitió derivar una estimación de la volatilidad de los activos con los datos públicos del mercado; la segunda bajo el cálculo de la distancia al incumplimiento como medida indizada al riesgo de incumplimiento y finalmente en la tercera, escalando la distancia al incumplimiento con las probabilidades de incumplimiento usando datos observados de mercado para las empresas objeto de análisis.

En la medida en que el sistema financiero evoluciona, obliga a los agentes económicos a adaptarse en todos los aspectos, siendo un pilar importante la gestión del riesgo que comprenda las diversas figuras de los instrumentos financieros y que responda a las necesidades de los inversores. No se omite mencionar que, la metodología que se decida aplicar deberá de corresponder a las necesidades y los alcances de cada gestor, ya que no se puede considerar que haya una metodología universal.

Derivado de lo anterior, en el presente trabajo se ha resaltado el razonamiento del concepto de riesgo, así como su importancia en el sistema financiero. El marco general de los riesgos financieros permitió remarcar la trascendencia del riesgo de crédito en el contexto particular del agente financiero y en el general de una economía, con la finalidad de presentar diferentes metodologías y destacar el modelo KMV para la estimación de la probabilidad de incumplimiento esperada y su aplicación práctica en empresas que ya se han visto en situación de *default*. El riesgo de crédito va más allá de la posibilidad de que los rendimientos esperados derivados de una inversión no se materialicen, el riesgo de crédito tiene que ver de inicio con “recuperar”. Se puede conceptualizar como la probabilidad de “no retorno” o “retorno parcial”.

La historia económica pone en evidencia que han sido varias las crisis económicas que han surgido por la falta de gestión de los riesgos financieros. El mejor ejemplo es la crisis de 2008 que, como ya se mencionó anteriormente, tuvo su origen en el inadecuado control del riesgo de crédito y riesgo de liquidez de las instituciones financieras que, posteriormente, contagiaron a todo el sistema. La crisis brindó la oportunidad de reforzar la supervisión bancaria, materializándose en los Acuerdos de Basilea que destacan estándares en la gestión del riesgo de crédito, riesgo de liquidez, riesgo de mercado y riesgo operacional.

La creciente regulación de los órganos encargados y la evolución constante de los mercados han obligado a los participantes del sector financiero a desarrollar metodologías y herramientas para la administración del riesgo. No obstante, no hay que perder de vista que el análisis del riesgo de crédito no pretende aminorar la probabilidad de un impago futuro, sino que su objetivo es ser una herramienta en la toma de decisiones oportunas.

Las metodologías actuales descansan en gran medida en métodos estadísticos, sin embargo, se debe de considerar que la economía y el sistema financiero no dejan de ser subjetivos y su medición cuantitativa no es exacta, por lo que es fundamental complementarla con el análisis cualitativo y el conocimiento general de su posición. Asimismo, la administración debe realizarse de manera integral y considerando el conjunto de los riesgos financieros.

A lo largo del presente trabajo, se han revisado algunos de los modelos pioneros empleados en el estudio de la quiebra corporativa, de los cuales se resaltan el Coeficiente de Capital de Basilea I, el Z – Score de Altman, CreditMetrics y el modelo de Merton. Estos modelos han sido la base para el desarrollo de modelos más sofisticados que en la práctica se aplican en la valuación de riesgo de las empresas y su calidad crediticia; el KMV de Moody's tiene su base en el modelo de Merton.

La metodología desarrollada por KMV, permite evaluar el riesgo crediticio a través de la probabilidad esperada de incumplimiento de manera continua, empleando como insumos la información de mercado y los Estados Financieros. Como se analizó en el Capítulo 3, el precio de mercado es prospectivo al incluir la opinión y las expectativas de los inversores, mientras que la información financiera es histórica. La interacción de estas dos clases de información convierte al modelo en una herramienta de análisis que permite una medición del riesgo crediticio íntegra.

Un inversionista suele tener como primera referencia de riesgo las calificaciones crediticias de agencias, no obstante, éstas suelen emitirse cada cierto plazo y la situación de las empresas puede cambiar de un momento a otro. El seguimiento del riesgo crediticio de manera continua mediante el uso del modelo, puede ser beneficioso para conocer el sentir del mercado hacia cierta contraparte, complementando el análisis tradicional.

El modelo KMV hace un análisis global de las características particulares de las compañías considerando información pasada y prospectiva, por lo que una empresa con calificación crediticia favorable puede tener probabilidades de incumplimiento elevadas. Lo anterior fue posible observarlo en las empresas que incumplieron en la crisis financiera de 2008 y que contaban con calificación de agencia positiva, específicamente, el caso de Lehman Brothers quien en febrero de 2008 mantuvo un *rating* de A, mientras que el modelo estimó que la EDP fue del 100% a partir de marzo. Es de destacar que al momento de la crisis ya había gran variedad de metodologías, incluida el KMV, aun así la quiebra del banco ocasionó pérdidas millonarias a los inversionistas y un colapso generalizado en el sistema. La pregunta es, ¿qué fue lo que falló? Si los inversionistas tenedores de acciones y bonos del banco hubieran corrido el modelo, ¿hubiera sido posible detener la crisis financiera?

El enfoque de KMV es claramente un enfoque puntual, en contraste con la perspectiva a más largo plazo adoptada por las agencias calificadoras. A diferencia de las estadísticas históricas de incumplimiento de Moody's y Standard & Poor's, el EDF no está sesgado por períodos de incumplimiento alto o bajo, asimismo, el rezago temporal es menor que en los

modelos que ocupan sistemas de calificación para la determinación del *default*. Se puede observar que la distancia hasta el incumplimiento se acorta durante los períodos de recesión, cuando las tasas de incumplimiento son altas, y aumenta durante los períodos de prosperidad, caracterizados por bajas tasas de incumplimiento (Michel Crouhy, 2014).

Aunado a lo anterior, Moody's en su modelo KMV buscó perfeccionar el modelo de Merton, mediante la incorporación de nuevos conceptos para calcular la probabilidad de incumplimiento, tales como la distancia al *default* y la EDF. Al respecto, en el modelo de Merton, el incumplimiento ocurre cuando el valor de los activos de la empresa se encuentra por debajo del valor de sus pasivos. No obstante, en la práctica, se ha observado que las empresas incumplen en tal momento que, el valor de sus activos alcanza un nivel entre el valor de sus pasivos totales y el valor de la deuda de corto plazo. Por lo tanto, la cola de la distribución de los valores de los activos por debajo del valor total de la deuda, no puede ser considerada como una medida de la probabilidad real de incumplimiento de una empresa. Asimismo, el modelo puede sufrir una pérdida de precisión debido a factores como la no normalidad de la distribución del rendimiento de los activos y a los supuestos prácticos realizados durante la implementación del modelo (Michel Crouhy, 2014).

Por lo anteriormente mencionado, el modelo KMV, a diferencia de Merton, implementa una fase intermedia, previa al cálculo del incumplimiento, misma que consiste en determinar la distancia al *default*, como el número de desviaciones estándar entre el valor del activo y el punto de default. Con dicho indicador, es posible asignar probabilidades reales de incumplimiento para un horizonte de tiempo determinado, es decir, la EDF.

En la práctica financiera, se ha encontrado que la EDF es un indicador útil para alertar acerca del deterioro en la solvencia de los emisores y/o estimar su incumplimiento, puesto que, con al menos un año de anticipación a dicho evento, la pendiente de la EDF refleja un fuerte aumento con respecto a su tendencia presentada (Michel Crouhy, 2014).

Entre las principales diferencias entre ambos modelos, se tiene que las acciones de la firma se comportan como una opción perpetua sobre los activos de la empresa cuyo precio de ejercicio es igual al monto de la deuda y el momento de incumplimiento está determinado por el punto de *default*. Los supuestos permiten modelar múltiples clases de pasivos, tales como: pasivos de corto plazo, pasivos de largo plazo, deuda convertible²², capital preferente y capital común. Esto es una de las principales diferencias que guarda el modelo en comparación de su predecesor, en el cual solo se permitía un tipo clase de deuda simple y homogénea y una sola clase de capital sin ningún pago de dividendos.

Merton consideraba una opción de tipo europeo para modelar el comportamiento de los activos de la firma, dado el supuesto de que la opción sólo se podría ejercer al vencimiento de la misma. El modelo KMV considera la opción como una perpetuidad, es decir, que no tiene fecha de vencimiento y que puede ser ejercida en cualquier momento. Dado este supuesto, el modelo comprende que las empresas pueden reestructurar sus

²² KMV supone que cuando el valor de los activos de la empresa se vuelve muy grande, la deuda convertible se diluye e incorpora en el capital existente

pasivos en medida que se acercan a su vencimiento, lo cual se apega al reperfilamiento de deuda que suelen hacer las compañías.

La hipótesis del modelo KMV como una solución en la medición de riesgo de crédito para los inversores, es aceptable en virtud de los resultados presentados en el presente trabajo, con la consideración de que, el mismo es aplicable bajo los supuestos explicados y su implementación mejora en empresas públicas cuyos datos son observables. No obstante lo anterior, a la fecha no se considera que exista una metodología financiera que determine indudablemente, el comportamiento de los activos financieros en general, y el incumplimiento de un emisor en particular.

El resultado de los indicadores de riesgo a partir de la aplicación del modelo KMV, destaca no solo la importancia, sino la necesidad de contar con una metodología en la gestión del riesgo de crédito que permita tomar decisiones oportunas y, de ésta manera, aminorar posibles pérdidas. Sin embargo, también resalta que no solamente se trata de tener una metodología de cálculo, sino que los agentes financieros deben de tener cultura de prevención al riesgo.

REFERENCIAS

- Altman, E. (1968). Financial Ratios, Discriminant Analysis and the Prediction of Corporate Bankruptcy. *The Journal of Finance*, Vol. 23, No. 4, 589-609.
- Balthazar, L. (2006). *From Basel 1 to Basel 3: The Integration of State of the Art Risk Modeling in Banking Regulation*. Gran Bretaña: Palgrave Mac Millan.
- Banco de México. (2005). *Definiciones básicas de riesgos*. México: Banco de México.
- Banco de México. (2014). *El mercado de valores gubernamentales en México*. México: Banco de México.
- Bernstein, P. L. (1998). *Against The Gods. The Remarkable Story of Risk*. Canadá: John Wiley & Sons, Inc.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy*, Vol. 81, No. 3, 637-654.
- BlackRock. (2019). *¿Qué son las inversiones alternativas?* Recuperado el Septiembre de 2019, de BlackRock: <https://www.blackrock.com/co/recursos/educacion/centro-de-educacion-sobre-inversiones-alternativas/que-son-las-inversiones-alternativas>
- Coates, J. H. (2013). *La biología de la toma de riesgos*. España: Anagrama.
- Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, (2003). *Buenas prácticas para la gestión y supervisión del riesgo operativo*. Suiza: Banco de Pagos Internacionales.
- Comité de Supervisión Bancaria de Basilea, (2010). *Basilea III: Marco Internacional para la medición, normalización y seguimiento del riesgo de liquidez*. Suiza: Banco de Pagos Internacionales.
- Conde, R. C. (2003). La crisis Argentina de 2001-2002. *Cuadernos de Economía*, Año 40, No. 121, 762-767.
- Credit Suisse. First Boston. (1997). *CREDITRISK+ A Credit Risk Management Framework*. Estados Unidos: Credit Suisse.
- Crosbie, P., & Bohn, J. (2002). *Modeling Default Risk*. Estados Unidos: KMV LLC.
- Crouhy M., Galai D., & Mark R. (2014). *The Essentials of Risk Management*, McGraw-Hill Education, Segunda Edición.
- Damodaran, A. (2012). *Investment Valuation. Tools and Techniques for Determining the Value of Any Asset*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- Deloitte . (2016). *Strategic risk. A cornerstone of risk transformation*. Estados Unidos: Deloitte Touche Tohmatsu Limited.

- Economista, E. (24 de 03 de 2017). *El Economista*. Recuperado el 08 de 06 de 2021, de El Economista: <https://www.economista.es/economia/noticias/8244134/03/17/El-tulipan-que-nunca-florece-La-primera-burbuja-especulativa-de-la-historia.html>
- Elizondo, A. (2010). *Medición Integral del Riesgo de Crédito*. México: Limusa.
- El País. (Septiembre de 2008). *El País*. Recuperado el Agosto de 2020, de El País: https://elpais.com/diario/2008/09/17/economia/1221602401_
- Ernest & Young . (2011). *Los 10 principales riesgos de negocios*. México: Mancera, S.C.
- Expansión. (31 de Julio de 2014). *Expansión*. Recuperado el Septiembre de 2019, de Expansión: <https://expansion.mx/economia/2014/07/31/12-puntos-de-la-crisis-argentina-en-2001>
- Fabozzi, F. (2007). *Bond Markets, Analysis, and strategies*. Estados Unidos: Pearson Education.
- Freixas, X., & Rochet, J. C. (1997). *Economía Bancaria*. España: Antonio Bosch Editor.
- Global Association of Risk Professionals. (2016). *Financial Risk Manager. Exam Part I. Foundations of Risk Management*. Estados Unidos: Pearson.
- Hull, J. (1997). *Options Futures and Other Derivatives*. Estados Unidos: Prentice Hall.
- Hull, J. (2002). *Introducción a los mercados de futuros y opciones*. Madrid, España: Prentice Hall, 4ta. Edición.
- Jorion, P. (2007). *Financial Risk Manager Handbook*. Estados Unidos: Editorial John Wiley & Sons, Inc., 4ta. Edición.
- Keynes, J. M. (1945). *Teoría General de la Ocupación, el interés y el dinero*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Lewis, M. (2014). *Flash Boys*. España: Paidós.
- Mántey, G. (1994). *Lecciones de Economía Monetaria*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maubré, J. (2008). La crisis de los créditos subprime. Coqueteando con el riesgo. *Ejecutivos de Finanzas*, 28-40.
- Mercado Mexicano de Derivados. (s.i.). *El Mercado Mexicano de Derivados*. México: Mercado Mexicano de Derivados.
- Merton, R. K. (1974). On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates. *The Journal of Finance*, Vol.29, No. 2, 449 – 470.
- Nielsen, L. T. (1992). *Understanding $N(d1)$ and $N(d2)$: Risk-Adjusted Probabilities in the Black-Scholes Model*. Francia: INSEAD: The Business School for the World.

RiskMetrics Group, Inc. (2007). *CreditMetrics™ Technical Document*. Estados Unidos: J.P. Morgan Corporation.

Securities Industry and Financial Markets Association (SIFMA). Información estadística, disponible en <https://www.sifma.org/>

BIBLIOGRAFÍA

- Banco de México. Mercados y estadísticas, consultados en <https://www.banxico.org.mx/>
- Banco de Pagos Internacionales (BPI). Estadísticas, consultadas en https://www.bis.org/press/p200526a_es.htm
- Banco Mundial. Datos de libre acceso del Banco Mundial, consultados en <https://datos.bancomundial.org/>
- Bolsa Mexicana de Valores. Datos consultados en <https://www.bmv.com.mx/>
- Comisión Nacional Bancaria y de Valores, (s.f.) *Glosario de términos. Portafolio de información*, México: Secretaria de Hacienda y Crédito Público.
- Comité de Supervisión Bancaria de Basilea (2006), *Convergencia internacional de medidas y normas de capital*, Suiza: Banco de Pagos Internacionales..
- Crouhy M., Galai D., & Mark R. (2000). A comparative analysis of current credit risk models. *Journal of Banking & Finance* 24, 59-117.
- Fabozzi F., Martellini L., & Priault P. (2006). *Advanced Bond Portafolio Management*, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- Fishkin, C. (2006). *The shape of risk. A new look at Risk Management*. Estados Unidos: Palgrave Macmillan.
- Foro y Reputación Corporativa & IE Business School (2011), *Reputación Corporativa. Introducción a la gestión de los riesgos reputacionales*, España: Foro y Reputación Corporativa.
- Grupo Bolsa Mexicana de Valores, Estados Financieros, disponibles en <https://www.bmv.com.mx/>
- Saavedra M., & Saavedra M. (2010). Modelos para medir el riesgo de crédito en la banca. *Cuadernos de Administración*, No. 23 (40), 295 – 319.
- S&P Global Ratings. (2008). *Default, Transition, and Recovery: 2008 Annual global corporate default study and rating transitions*. Estados Unidos: S&P Global Ratings.
- S&P Global Ratings (2016). *Definiciones de Calificaciones de S&P Global Ratings*. México: S&P Global Ratings.
- S&P Global Ratings. (2018). *Default, Transition, and Recovery: 2018 Annual global corporate default study and rating transitions*. Estados Unidos: S&P Global Ratings.
- U.S. Securities and Exchange Commission. Datos consultados en <https://www.sec.gov/>