



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

EL USO DE SWAPS EN EL MERCADO MEXICANO DE  
DERIVADOS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS

TESIS PROFESIONAL  
para obtener el título de  
LICENCIADO EN ECONOMÍA

PRESENTA:  
JESÚS ALAIN CUEVAS LARIOS

DIRECTOR DE TESIS  
M. PIZARRO MORALES ARMANDO



Nezahualcóyotl, Estado de México , a 10 de Febrero de 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

# Índice

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I. Orígenes y Antecedentes de los Derivados Financieros	
1.1 El origen de los derivados en la antigüedad .....	6
1.2 El desarrollo de los derivados financieros desde la creación del Chicago Board of Trade hasta la actualidad .....	15
1.3 La evolución de los derivados en México .....	21
1.4 La aparición de los swaps en el mercado de derivados .....	24
CAPÍTULO 2. La estructura de un swap y su fundamento teórico	
2.1 El papel de la teoría matemática y económica en los derivados .....	30
2.2 Definición y terminología de los swaps .....	38
2.3 La teoría del arbitraje y los supuestos financieros necesarios en el manejo de los derivados financieros .....	42
2.4 La valuación de un swap .....	46
CAPÍTULO 3. Funcionamiento de los swaps en el mercado de derivados	
3.1 Mercados organizados y mercados OTC .....	52
3.2 Estructura del Mercado de Derivados Mexicano .....	54
3.3 Regulación del Mercado de Derivados .....	56
3.4 Condiciones generales de Contratación .....	60
CAPÍTULO 4. Modelo de valuación (caso con un swap de tasas de interés)	
4.1 Especificación del modelo .....	63

4.2 Estimación	67
4.3 Análisis de resultados	73
CONCLUSIONES	77
ANEXOS	80
BIBLIOGRAFÍA	91

## Índice de Figuras, Tablas y Diagramas

<i>Figura 1.</i> Desempeño de las Acciones de la Compañía de los mares del Sur -----	13
<i>Figura 2.</i> Valor global derivados OTC (USD billones) -----	21
<i>Figura 3.</i> Volumen operado de futuros MexDer -----	24
<i>Figura 4.</i> Monto nocional de swaps de tasas de interés y swaps de divisas -----	28
<i>Figura 5.</i> Representación de un movimiento Browniano -----	31
<i>Figura 6.</i> Valor global de derivados OTC en billones de USD -----	53
<i>Tabla 1.</i> Perdidas en Derivados y Gestión de riesgos en el año 1994 -----	20
<i>Tabla 2.</i> Tipo de Cambio peso dólar -----	22
<i>Tabla 3.</i> Swaps representación clave en pizarra (9/10/2013) -----	60
<i>Tabla 4.</i> Valor de contrato swap de TIIE a 2 años -----	73
<i>Diagrama 1.</i> Swap de tasas de interés. -----	40
<i>Diagrama 2.</i> Clasificación de Modelos de Mercados financieros -----	45
<i>Diagrama 3.</i> Diagrama de árbol con un solo factor -----	47
<i>Diagrama 4.</i> Estructura del Mercado Mexicano de Derivados (MexDer) -----	55

## **Introducción**

En los últimos años, la introducción y el desarrollo de nuevos productos en los mercados de financieros tales como los derivados, representan una respuesta lógica a la creciente necesidad de reducir la exposición al riesgo que representa la volatilidad del sistema económico desde movimientos en acciones, materias primas, índices, tasas de interés entre otros.

En los últimos 30 años los derivados han tenido una creciente importancia en el sistema financiero. The Bank for International Settlements por sus siglas en inglés (BIS) quien empezó la recolección de datos estadísticos del mercado de derivados en 1986, muestra que para el 2012 el estimado del total de activos subyacentes tenía un valor de USD 633 billones lo que significa que el mercado de derivados mueve casi 10 veces el PIB mundial.

Los mercados de contratos de derivados se establecen con el fin de coadyuvar al fortalecimiento del sistema financiero, incrementando la competitividad de los participantes al ofrecer contratos de derivados que faciliten la medición y control de riesgos, así como la diversificación de posiciones y estrategias de inversión.

Un derivado se puede definir como un instrumento financiero cuyo valor depende (o deriva de) otros valores, los activos subyacentes. Muy a menudo los activos que subyacen a los derivados son los precios de los activos negociados. Una opción, por ejemplo, es un derivado cuyo valor puede depender del precio de una acción. Sin embargo, los derivados pueden ser dependientes en casi cualquier variable, desde el precio del petróleo a la cantidad de nieve que cae en una ciudad.

La presente investigación analiza un derivado en particular el swap que desde principios de 1980, se han convertido en uno de los instrumentos más utilizados por muchas compañías e instituciones financieras para protegerse contra los riesgos de tasa de interés. A finales de 1994, el importe notional de los swaps de tasas de interés en

circulación fue de más de USD 8,800 millones y a finales de 2012, este fue de USD 347,401 millones, con tasas de crecimiento promedio anual del 22%.

En su forma más simple un swap consiste en un intercambio de un acuerdo entre dos entidades (contrapartes) para intercambiar en el futuro dos corrientes de flujos de efectivo. En el swap de tasa de interés se intercambian intereses de un tipo (fijo o flotante) para el intercambio de flujos de pagos de intereses de otro tipo en la misma moneda.

La importancia económica de las transacciones de intercambio es el hecho de que se puede combinar con las emisiones de deuda para cambiar la naturaleza de la responsabilidad derivada del prestatario. La suma de una emisión de bonos y de un swap de divisas ofrece un flujo de pasivo neto, lo que equivale a la transformación de la responsabilidad de bonos en una moneda o tasa diferente. Una nota de tasa flotante combinado con un de swap de tasas de interés es equivalente a la deuda a tasa fija. Cooper A. Ian, Mello S. Antonio (1991).

Las razones que motivaron la elección del swap sobre otros instrumentos radican en el hecho de que es un instrumento flexible lo que permite que su uso se adapte a las necesidades de cada inversionista, también se eligió porque en el momento de iniciar la investigación este instrumento aun no se comerciaba en el MexDer lo que motiva el análisis de porque la ausencia de swaps en la bolsa de derivados, y por ultimo su elección se debe al hecho de que este instrumento es el mejor para cubrir riesgos en las tasas de interés como se observa a lo largo de la investigación.

El objetivo de la investigación será el análisis del instrumento swap para conocer los beneficios que se desprenden de su uso en el mercado mexicano, cuáles son sus ventajas y cuáles son los posibles riesgos que conlleva, todo lo anterior en el marco de la ciencia económica y la teoría neoclásica que concibe a las finanzas como una rama aplicada de la microeconomía, que permite la elaboración de un modelo de valuación de un swap de tasas de interés.

La investigación se estructura en cuatro capítulos en el primero *Orígenes y antecedentes* se expone el desarrollo histórico de los derivados desde sus inicios, los

registros más antiguos se tienen de hace 4000 años antes de Cristo en la antigua ciudad de Mesopotamia es ese momento y lugar el punto de partida de la investigación. A lo largo del capítulo se analizan los eventos más importantes en la historia que influyeron en el desarrollo de los derivados como la crisis de Holanda a partir de especulaciones con tulipanes en el siglo XVII, la creación del Chicago Board of Trade (CBT) en 1848 que fue el primer mercado organizado de derivados. Se finaliza con un análisis del desarrollo que vivió México con los derivados y en particular el swap.

En el capítulo dos *La estructura de un swap y su fundamento teórico*, se analiza con mayor detalle el swap, comenzando por el papel de la teoría matemática y económica en los derivados, se elabora un recuento de las teorías económicas y matemáticas que hicieron posible la evolución actual de estos instrumentos desde Bachelier con la teoría de la especulación y Robert Brown con el proceso de Weiner hasta el modelo Black and Sholes y las teorías modernas en la valuación de los derivados.

En el subapartado, la teoría del arbitraje y los supuestos financieros necesarios en manejo de derivados, se centra el análisis en la teoría financiera y los supuestos de ausencia de arbitraje, mercados completos, la ley de un solo precio entre otros, todos estos supuestos que son necesarios para valorar de forma correcta un swap. En el último punto del capítulo dos, *La valuación de un swap* se elabora un análisis de los métodos más representativos en la valuación de los derivados financieros y se expone detalladamente el método que sirve en esta investigación para la elaboración del modelo de valuación.

Cabe mencionar que en este capítulo se expande la idea principal de la investigación que es analizar las ventajas y desventajas del swap, no obstante se desprende el estudio de los modelos de valuación de derivados financieros, estudio que profundiza el análisis del instrumento.

El capítulo tres *Funcionamiento de los swaps en el mercado de derivados*, se pretende mostrar el funcionamiento del instrumento en el contexto del mercado bursátil mexicano, describiendo de forma detallada la estructura del mercado de derivados, se exponen las instituciones que intervienen de manera reguladora en el momento de comerciar con estos instrumentos, se habla de la Secretaria de Hacienda y Crédito Público

SHCP, del papel del Banco de México, de la Comisión Nacional Bancaria de Valores y de la Cámara de Compensación Asigna.

Por último el capítulo cuatro se elabora un Modelo de valuación para un swap de tasas de interés, se elije este tipo de swap porque constituye la mayor parte de contratos en los mercados de derivados además de que su uso en el MexDer es reciente y representa una oportunidad para proponer alternativas a su valuación. Se trata de un ejemplo cuantitativo que permita visualizar el funcionamiento de un swap obtener resultados que determinen sus beneficios y los posibles riesgos que pueda presentar.

Para la elaboración del modelo previamente se analizan otros métodos de valuación y se elige el que mejor se adapte a las condiciones del mercado, después se elije el método de Heath Jarrow Morton (HJM), un modelo que reconoce que las tendencias en la evolución de ciertas variables se pueden expresar como funciones de sus volatilidades y la correlación entre las mismas, permitiendo la introducción de mas variables en este caso otras tasas de interés que puedan incidir en el desempeño del swap.

En el desarrollo del capítulo además de especificar el modelo se hace necesario el proceso de discretización ya que el método HJM no produce soluciones cerradas para la valuación y medida de riesgo de instrumentos, es por eso que se hace necesario discretizar para su uso en un árbol binomial obteniendo la ecuación de Grant and Vora que puede ser computada desde la covarianza de una matriz de tasas forward y que es calculada con el software especializado en matrices Matlab.

Para la elaboración del modelo fue necesaria la recolección de datos estadísticos que muestran el valor del contrato swap esto para poder comparar los resultados que el modelo arrojó con los que se manejan en el mercado de derivados. A su vez existe un problema con la recolección de datos ya que no se encuentran disponibles para el público en general y su costo es muy elevado, fue necesario acudir a la bolsa mexicana de valores al área de valuación del MexDer para obtener la información.

El estudio del entorno financiero en particular de instrumentos financieros, es un tema que ha tenido y tiene un papel vital en la economía, prueba de ello es el reconocimiento que

concede la Real Academia de las Ciencias de Suecia, otorgando el premio Nobel de economía a los mas destacados investigadores, desde Harry Markowitz, Merton Miller, William Sharpe, ganadores del premio por su trabajo en la teoría de la economía financiera, Robert C. Merton y Myron Scholes por la elaboración de un nuevo método para valorar derivados financieros, y finalmente el mas reciente otorgado en octubre de 2013 a Eugene F. Fama, Lars Peter Hansen y Robert J. Shiller por sus análisis en la valuación de activos financieros, tema en el que versa la presente tesis.

## **Capítulo 1. Orígenes y Antecedentes de los Derivados Financieros**

### **1.1 Los orígenes de los Derivados de la Antigüedad**

Hablar de la historia de los swaps es hablar de la historia de los derivados financieros en su conjunto. Aunque generalmente son considerados una herramienta de alta ingeniería financiera, los derivados han estado presentes desde tiempos muy antiguos, no obstante su nombre no siempre ha sido el mismo (contratos de entrega futura, cartas de crédito, promesas de comercio, entre otros) cabe notar que esta historia en sus inicios es muy controversial pues no se tiene un consenso de la fecha exacta en la que iniciaron ya que los contratos de derivados surgieron tan pronto como los seres humanos fueron capaces de hacer promesas creíbles.

Es esencial para una promesa de este tipo un entorno comercial, que de algún modo esté registrado. La escritura se inventó en Mesopotamia en el cuarto milenio antes de Cristo. La invención de la escritura satisface las necesidades administrativas y comerciales de la primera sociedad urbana en la historia. Los contratos de derivados primero fueron en escritura cuneiforme en tablillas de arcilla, las cuales, son extremadamente durables (William N. Goetzmann 2005).

Algunos tipos de contratos son acuerdos sobre la futura entrega de grano que se estipula, por ejemplo, antes de la siembra que un vendedor entregará una cantidad determinada de grano por un precio pagado en el momento de la contratación. Estos tipos de contratos no sólo se ocupaban de cereales, sino también de todo tipo de mercancías. Van de Mieroop (2005) reproduce una tablilla en la que un proveedor de madera, que se llamaba Akshak-Shemi, se comprometió a entregar 30 tablones de madera en una fecha futura. El

contrato fue escrito en el siglo diecinueve AC<sup>1</sup>.

Los derivados jugaron un importante papel en el comienzo del “comercio a larga distancia” Zohary and Hopf (2000), hablan de un contrato con plantas de sésamo que fueron cultivadas en el Valle del Indo entre 2250 y 1750 AC. Un contrato del año 1809 AC, muestra que un comerciante de Mesopotamia pidió prestado plata, con la promesa de devolverla con semillas de sésamo después de seis meses.<sup>2</sup>

Él pudo haber usado la plata para financiar una misión comercial en el Valle del Indo hasta obtener semillas de sésamo. Este tipo de contratos combinaban un préstamo de plata con una venta a plazo de las semillas de sésamo.

El ascenso de la civilización griega comenzó alrededor del año 1000 antes de Cristo. Es más difícil de documentar el uso de derivados para el comercio griego que el de Mesopotamia. Filósofos e historiadores griegos, cuyos escritos influyeron profundamente en la civilización occidental, no estaban interesados en el comercio. Los griegos no utilizaban un medio de contratos comerciales que fuera tan duraderos como tablillas de arcilla, y las leyes que han sobrevivido como inscripciones en murales y las columnas eran generalmente hostiles a los contratos de entrega futura de bienes.

Es difícil suponer que los agricultores pudieron financiar completamente el ciclo de cultivo, y los comerciantes tenían suficiente capital para financiar arriesgadas expediciones comerciales, mientras que los individuos ricos no encontraban manera de invertir su riqueza en actividades comerciales que prometían una rentabilidad en el futuro (Swan J. Edward 2000).

El hecho de que la legislación griega favoreció las operaciones al contado no prueba

---

<sup>1</sup> “Treinta tablonces de madera, diez de 3.5 metros cada uno, veinte de cuatro metros cada uno, en el mes Magrattum Akshak-shemi serán entregados a Damqanum. Ante los seis testigos [...] En el año en que el trono de oro Warhum fue hecho.” William N. Goetzmann (2005).

<sup>2</sup> Cerca de medio millón de tabletas de arcilla se han encontrado, en la región conocida como Oriente próximo, con más de 200,000 en posesión de el Museo Británico. El Museo de Berlín Vorderasiatisches, el Instituto Max Planck para la Historia de la Ciencia y la Universidad de California en Los Angeles, ha digitalizado alrededor de 225.000 tabletas, poniéndolas a disposición de investigadores, en sus respectivas paginas web.

que no hubo contratos para entrega futura, porque la historia comercial está llena de leyes y mandatos en contra de los derivados que fueron ignorados por el público. De hecho, los griegos eran muy prácticos en los asuntos comerciales. De acuerdo a Swan (2000) Atenas permitió los contratos para entrega futura en el comercio marítimo ya que la ciudad dependía de la importación de grano de Egipto.

Aristóteles cuenta la historia de Tales de Mileto, un filósofo y matemático, que vivió cerca de 625 a 550 AC en la costa occidental de Anatolia (en la actual provincia de Aydin de Turquía), que fue una de las principales ciudades de la Grecia Antigua. Durante el invierno, Tales predijo una cosecha de olivo extraordinariamente grande. Aprovechó la oportunidad para negociar con los propietarios de olivos el derecho, pero no la obligación, de contratar a todos los molinos de aceite de la región para el otoño siguiente. Para garantizar este derecho, Tales hizo un depósito en efectivo.

El siguiente año la predicción de Tales se cumplió y se elevó la demanda para el uso de prensas de oliva. Tales fue capaz de alquilar las prensas con una prima sustancial e hizo una fortuna. Aristóteles trató de demostrar lo fácil que era para los filósofos hacerse ricos, si así lo deseaban, a pesar de que no fuera su objetivo final (Geoffrey Poitras 2000).

Los romanos, que copiaron mucho de la cultura griega, en un principio adoptaron las restricciones en los contratos para entrega futura. Sin embargo, estas restricciones se enfrentaron con la realidad comercial del vasto Imperio Romano, que se extendía desde Mesopotamia a Britania en su apogeo.

Las mercancías se movían a lo largo de una red de nuevas carreteras y las naves de mercaderes romanos atravesaban el Mediterráneo. La ciudad de Roma, cuya población creció a un millón de personas, dependía del comercio con las provincias, en particular la importación de trigo del norte de África.

Pompeyo, líder militar y político de la República Romana, se dio cuenta de que la planificación a largo plazo era necesaria con el fin de garantizar el suministro de alimentos para la creciente ciudad de Roma, y permitió a los comerciantes privados de grano el uso de contratos con una entrega futura.

Los romanos también organizaron mercados de mercancías con ubicaciones específicas y tiempos fijos para facilitar el comercio a través de su territorio. Durante el siglo tres AC, el derecho romano se encontró con la práctica comercial, que prevé contratos para entrega futura de bienes. Sextus Pomponio, un abogado que escribió en el siglo dos DC, distingue entre dos tipos de contratos.

El primero, *vendito re speratae*, este contrato se anulaba si el vendedor no tenía la mercancía en la fecha de entrega, proveía un seguro contra la pérdida de los cultivos y los riesgos del comercio a larga distancia, incluyendo la pérdida de los buques en el comercio marítimo. El segundo, *vendito spei*, era un contrato directo por adelantado que no preveía ningún indulto al vendedor en caso de que él no pudiera entregar la mercancía (Swan J. Edward 2000).

Las tribus bárbaras que invadieron el Imperio romano carecía de códigos comerciales, en cambio, organizaciones eclesiásticas, que había asumido cada vez más las funciones administrativas en el Imperio Romano, siguieron aplicando el derecho mercantil romano durante la Edad Media. Por lo tanto, el marco jurídico de los contratos para entrega futura se mantuvo durante la Edad Media.

En la Edad Media, los derivados sigue siendo un instrumento para facilitar el comercio. Uno de los primeros ejemplos de derivados es una forma de *Commanda*<sup>3</sup> que fue utilizado por los comerciantes italianos del siglo diez DC. Muchos de estos contratos podrían ser considerados como contratos de mercancía a plazo, ya que a cambio del capital invertido, el "expedicionario", acordaba la entrega de productos específicos.

En el año 1,100 DC los comerciantes europeos desarrollaron la *fair latter* que actuaba como una carta de crédito entre el comprador y el vendedor. Estas cartas luego se asentaron en las ferias regionales, tales como las ferias de Champagne, un ciclo anual de ferias comerciales, celebradas en la ciudad ubicada en la región de Champagne y Brie de Francia, que fueron los principales mercados de Europa del Norte. El vendedor tenía la mercancía lista para ser recogida en una feria, y el comprador le daría una *fair latter* para el pago.

---

<sup>3</sup> Eran contratos de colaboración comercial para expediciones por mar o por tierra. Un socio ponía el dinero, mientras que el otro realizaba el viaje.

Las ferias de Champagne comenzaron como eventos principalmente agrícolas, pero se convirtieron en los mercados comerciales más importantes de muchos productos básicos y con el tiempo en cámaras de compensación internacionales para deuda y el crédito (Steve, Kummer. Pauletto, Christian 2012).

Como era difícil y costoso encontrar compradores y vendedores para transacciones específicas, los mercados centralizados evolucionaron, ellos facilitaron las transacciones en efectivo y también eran lugares en los que contratos para la entrega futura eran una práctica común. En la época medieval el comercio sobre la base de muestras de mercancías en las plazas comerciales, era común, aliviaba a los mercaderes de la necesidad de transportar grandes cantidades de mercancías peligrosas por carreteras y sin ninguna garantía de poder venderlas. Acuerdos comerciales para entrega futura a menudo contenían características similares a opciones. Por ejemplo, si la mercancía entregada no era de la misma calidad que el original de la muestra, el comprador tiene el derecho de rechazar la entrega.

Los centros comerciales más importantes del norte de Europa estaban en Brujas desde el siglo XII hasta el siglo XV, Amberes en el siglo XVI, y en Ámsterdam en el siglo XVII. Brujas fue un centro para el comercio de la lana, tela y otros productos básicos. Alrededor de 1540, Amberes legalizó la negociabilidad de las letras de cambio y un decreto real se expidió para contratos para entrega futura transferible a terceros. Casi al mismo tiempo, una innovación importante se produjo en los mercados de derivados, los comerciantes descubrieron que no hay necesidad de resolver los contratos a plazo mediante la entrega del activo subyacente, ya que es suficiente si la parte perdedora compensa a la parte ganadora la diferencia entre el precio y el precio al contado en el momento de la liquidación (Swan J. Edward 2000).

En 1585, tras el saqueo de Amberes por las tropas españolas, el comercio internacional se trasladó a Ámsterdam. Uno de los desarrollos más significativos de los derivados que se pueden acreditar a Ámsterdam fue la aparición en el siglo XVII del almacén de comercio de derivados. Las necesidades financieras del comercio marítimo crearon una oferta de contratos a plazo y valores, incluyendo las letras de cambio y las acciones de las sociedades anónimas. La Compañía de las Indias Orientales Holandesas y el

holandés West India Company, que se fundó en 1602 y 1621, fueron las primeras empresas de gran tamaño que emitieron de acciones como fuente de fondos.

En un ensayo sobre las actividades especulativas de Isaac Le Maire, Van Dillen (2006) señalan que las acciones se negocian "en plazo" (para entrega futura), acciones vendidas no sólo por dinero. Esto no era nada nuevo en Ámsterdam, ya que las ventas a largo plazo habían sido la costumbre en el comercio de trigo y arenque. Ámsterdam fue la primera ciudad donde los derivados que se basan en valores fueron utilizados libremente durante un largo período de tiempo (Jürg Weber, Ernst 2008).

Los tulipanes provienen de Asia Central en las cadenas montañosas cerca de Islamabad actual capital de Pakistán, fueron introducidos a Europa en el año 1500 por los turcos durante el gran Imperio Otomano. Se sabe que los turcos estaban cultivando tulipanes desde el año 1000 DC. En 1593 Conrad Guestner trajo los primeros bulbos de tulipán de Constantinopla a Holanda y Alemania, la gente se enamoró de ellos.

El cultivo de los tulipanes holandeses comenzó, poco a poco, en terrenos privados muy pequeños. Al principio, el tulipán era tan raro y tan hermoso que eran los ricos los que clamaban tenerlos. Se convirtió en un símbolo de estatus y deseo para los aristócratas.

En 1624 las cosas habían progresado a tal grado que un tulipán, el renombrado blanco y marrón "Semper Augustus"<sup>4</sup>, podría haber tenido un precio de hasta 3,000 florines el equivalente de USD 1,500 de hoy. Poco tiempo después, un bulbo parecido se vendió por la cantidad de 4,500 florines (USD 2,250), (A. Kotzé 2011).

En 1636 se creó un mercado de futuros, a partir de bulbos aún no recolectados. Ese fenómeno fue conocido como *windhandel*, "negocio de aire", y se popularizó sobre todo en las tabernas de las pequeñas ciudades, a pesar de que un edicto estatal de 1610 había prohibido el negocio por las dificultades de ejecución contractual que generaba. Pese a la prohibición, los negocios de este tipo continuaron entre particulares.

---

<sup>4</sup> Un rico mercader había pagado 3.000 florines por un raro tulipán Semper Augustus, y éste desapareció de su depósito. Tras buscarlo vio a un marinero (que había confundido el bulbo con una cebolla) comiéndose el tulipán. El marinero fue detenido de inmediato y condenado a seis meses de prisión. Charles Mackay (1852) *Memoirs of Extraordinary Popular Delusions and the Madness of Crowds*. London: Office of the National Illustrated Library.

Los compradores se endeudaban y se hipotecaban para adquirir las flores, y llegó un momento en que ya no se intercambiaban bulbos sino que se efectuaba una auténtica especulación financiera mediante notas de crédito<sup>5</sup>. Se publicaron extensos y bellos catálogos de ventas, y los tulipanes entraron en la bolsa de valores. Todas las clases sociales, desde la alta burguesía hasta los artesanos, se vieron implicados en el fenómeno (Garber, Peter M. 1989).

Cuando los precios comenzaron a caer el gobierno holandés trató de intervenir en vano. Las bancarrotas se sucedieron y golpearon a todas las clases sociales. La falta de garantías de ese mercado financiero, la imposibilidad de hacer frente a los contratos y el pánico llevaron a la economía holandesa a la quiebra. Por otra parte Jürg Weber, Ernst (2008) argumenta lo contrario, la falta de aplicación de la ley de contratos de derivados también puede explicar por qué la crisis de los tulipanes no se ha traducido en una fuerte recesión económica. Dado que los titulares de contratos a largo a plazo tenía el derecho de repudiar, no hubo quiebras generalizadas, cuando el precio de los tulipanes se derrumbó en 1637. La historia de esta crisis sugiere que en los mercados de derivados una moratoria es preferible a hacer cumplir los contratos pues estos causarían la ruina generalizada y una recesión.

A mediados del siglo XVII, Ámsterdam participó en las guerras con Francia e Inglaterra, la peste diezmó la población de la ciudad. Hacia el final del siglo, una nueva afluencia de fugitivos religiosos contribuyó a la recuperación de la ciudad. Un gran número de protestantes franceses se trasladó a Holanda y Suiza tras el Edicto de Fontainebleau en 1685. Se estima que a finales de siglo, representaron el 20 al 25 por ciento de la población de Ámsterdam. Los servicios financieros han contribuido mucho a la reactivación de la ciudad en el siglo XVII. Sin embargo el comercio de productos básicos, se trasladó a Londres, porque Inglaterra ya dominaba el comercio marítimo.

En el Reino Unido durante el siglo XVIII, ocurrieron tres acontecimientos importantes que impactaron en el desarrollo de los derivados. El primero fue el ascenso de

---

<sup>5</sup> Una nota de crédito es un instrumento monetario que le permite a la persona que la tenga cambiarla por bienes de igual valor de la persona u organización que haya emitido la nota de crédito.

Inglaterra, que empezó a dominar el comercio marítimo. Londres se convirtió en el centro comercial más importante de commodities<sup>6</sup> financieros, que había seguido a Guillermo III de Orange a Inglaterra transfiriendo su conocimiento que constituyó la base de los derivados de negociación en la ciudad.

El segundo fue el reconocimiento en virtud del derecho inglés de la transferibilidad y negociabilidad de las letras de cambio. El tercero, y probablemente el evento más importante de este período, fue la Burbuja del Mar del Sur. La combinación de un monopolio de comercio colonial con las finanzas públicas resultó en un desastre.

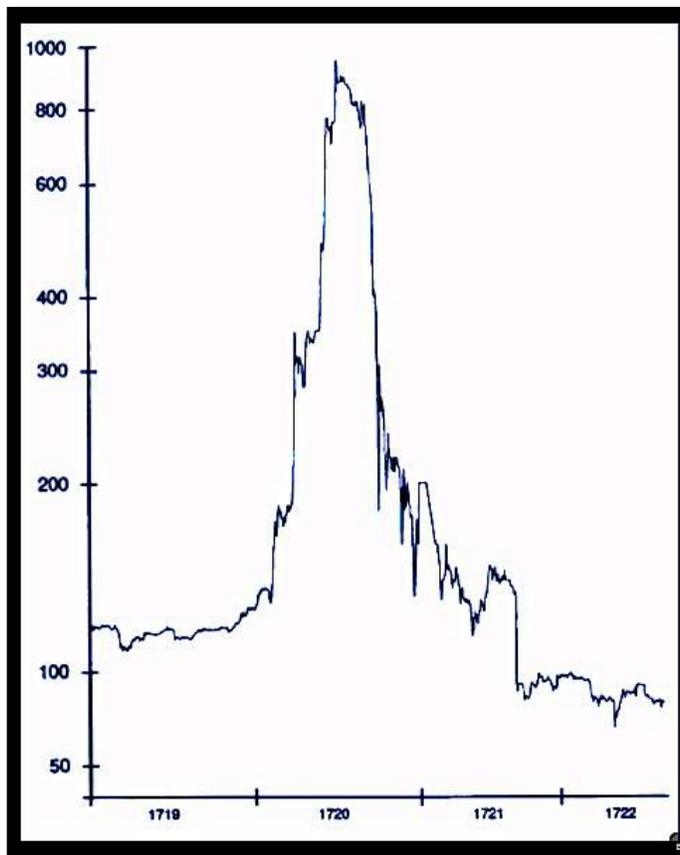


Figura 1. Desempeño de las Acciones de la Compañía de los mares del Sur en el periodo de crisis de 1720.

Fuente: Dale Richard S. (2005) Financial Markets can go Mad, Evidence of Irrational Behaviour During South Sea Bubble.

---

<sup>6</sup> Del inglés (commodity), materias primas. Se trata de productos cuyo valor viene dado por el derecho del propietario a comerciar con ellos, no por el derecho a usarlos. Un ejemplo serían el petróleo, el maíz, el cobre, el trigo, etc.

Expectativas exageradas de los rendimientos futuros del comercio con América del Sur llevó a los precios de las acciones muy por encima del valor de los bonos gubernamentales en poder de la Compañía de los Mares del Sur. Las acciones de la compañía empezaron con un valor promedio de 100 £ elevando su valor a 1000 £ en solo un año para caer a 33 £ por acción y mantener el valor en un promedio de 55 £ (figura 1). Dale et al. (2005) encuentran evidencia de un comportamiento irracional. Parecía que la compañía había logrado lo imposible, el financiamiento de la deuda pública a largo plazo y, al mismo tiempo, enriquecer a los accionistas mediante la emisión de acciones cuyo valor se elevó por encima de la deuda pública financiada.

El éxito de la Compañía del Mar del Sur llevó a una ola de nuevas sociedades anónimas con planes de negocios dudosos, que trataron de sacar provecho del apetito aparentemente insaciable de acciones. En abril de 1720, poco antes del estallido de la burbuja del Mar del Sur, el gobierno restringió el establecimiento de nuevas sociedades anónimas.

La limitación de las nuevas sociedades anónimas, que se mantuvo en vigor hasta 1825, fue un intento inútil de mantener el precio de las acciones de la Compañía del Mar del Sur mediante la reducción de la oferta global de acciones.

Durante la burbuja del Mar del Sur, existieron herramientas de especulación contratos llamados “negativas”, lo que actualmente serian derivados llamados opciones (un contrato derivado que le da al tenedor el derecho pero no la obligación de ejercer la compra del bien subyacente), estos a su vez condujeron a una innovación, un instrumento de orden similar, acciones de la compañía de los mares del sur parcialmente pagadas que los suscriptores pueden comprar al hacer varios pagos a plazos. Shea (2007) sostiene que estas acciones eran opciones compuestas<sup>7</sup> debido a que el pago de una cuota le daba al suscriptor el derecho a pagar la próxima cuota lo que mantiene viva la opción de poseer eventualmente la acción. Si el precio de las acciones caía por debajo de un determinado valor, el suscriptor puede negarse a efectuar el pago siguiente, renunciando a la opción de poseer las acciones.

---

<sup>7</sup> Es una opción cuyo subyacente es otro contrato de opción, suponiendo, de este modo, dos fechas de ejercicio y modalidades distintas.

En 1734, el Parlamento británico aprobó la Ley de Sir John Barnard, que declaró los contratos de entrega futura de los valores como "nulos y sin efecto". Las multas ascendieron a £ 500 para opciones de compra o "negativas" y opciones de venta. La multa fue de £ 100 para las ventas en corto<sup>8</sup>.

La ley se aplicaba solamente a los contratos sobre valores porque, como fue debatido en el Parlamento, se temía que los mercados de productos básicos se trasladarían de vuelta a Ámsterdam si los contratos de entrega futura fueran prohibidos en Londres. Adam Smith (1766) se dio cuenta de que la Ley de Sir John Barnard no impidió el comercio de derivados en los mercados de valores.<sup>9</sup>

Al final del siglo XVII en Gran Bretaña, los contratos sobre un bien subyacente continuaron siendo objeto de comercio informal fuera de las instalaciones centrales, basados en la reputación, sin recurrir al sistema judicial, esto hizo que los inversionistas fueran más cautelosos, esto evitaría la propagación de las quiebras cuando hubo excesos especulativos. En los siglos XVIII y XIX a pesar de las restricciones, los gobiernos europeos carecían de la voluntad y el poder político para reprimir las transacciones financieras entre las personas emprendedoras.

## **1.2. El desarrollo de los derivados financieros desde la creación del Chicago Board of Trade hasta la actualidad**

La primer casa de bolsa especializada en el comercio de commodities fue el Chicago Board of Trade (CBOT), que se formó en 1848 en los EUA para hacer frente al problema del riesgo de crédito y para proporcionar una ubicación centralizada para negociar contratos de futuros.

---

<sup>8</sup> La venta en corto ("short selling"), es una operación especulativa que permite a los operadores vender títulos que pidieron prestado o que aún no poseen con la esperanza de volver a comprarlos más adelante a un precio menor y obtener una ganancia.

<sup>9</sup> Esta práctica de la compra de acciones por el tiempo esta prohibida por el gobierno y, en consecuencia, no se deben entregar las acciones que se han involucrado. No hay ninguna razón física por qué 1.000 £ en acciones no deban ser entregadas o hacerse cumplir por el valor de 1.000 £ en mercancías, pero después de el esquema de la Compañía de los Mares de Sur esto se piensa como un recurso para evitar este tipo de prácticas, aunque resultó ineficaz. (Adam Smith 1766)

Chicago fue un importante centro para el almacenamiento, venta y distribución de granos. Debido a la estacionalidad, las instalaciones de almacenamiento de Chicago en ocasiones o estaban demasiado llenas o vacías. Un grupo de comerciantes de cereales creó un contrato que permitía a los agricultores fijar el precio y entregar el grano después, así el agricultor podía almacenar el grano, ya sea en la granja o en una instalación de almacenamiento cercana para su entrega futura.

Para los agricultores, estos contratos llamados “to-arrive” eran un instrumento útil para la cobertura de las variaciones de precios. Esto permitió a los agricultores y comerciantes transferir el riesgo de precio de los granos. El grano siempre se podía vender y entregar en cualquier lugar en cualquier momento. En 1865, el CBOT lista los primeros contratos de derivados negociados en bolsa, conocidos como los contratos de futuros y en 1925 la primer cámara de compensación de futuros se formó (Santos, Joseph. 2010).

En 1872 Russell Sage comenzó a crear préstamos sintéticos usando el principio de paridad put-call<sup>10</sup>, él iba a comprar acciones y una opción de venta de su cliente para después venderle una opción de compra. Al fijar la opción de venta, y el precio de ejercicio, Sage estaba creando un préstamo sintético con una tasa de interés significativamente más alta de lo que las leyes de préstamo permitían.

En otro ejemplo de innovación financiera el gobierno de los Estados Confederados de América<sup>11</sup>, emitió un bono en moneda dual opcional. Esto permitió al gobierno pedir un préstamo en libras esterlinas con la opción de pagar en francos franceses. El tenedor del bono tenía la opción de convertir el crédito en algodón, principal cultivo comercial.

En 1922 el gobierno de los EUA promulgó la Ley de Granos de Futuros en un intento por regular los mercados de futuros. En 1936, se emite un estatuto (Commodity Exchange

---

<sup>10</sup> Es la relación que debe existir entre los precios de una opción put y call europea, cuando ambas tienen el mismo subyacente, el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento. (no se aplica a las opciones americanas, ya que pueden ser ejercidas antes de su vencimiento.) Esta relación es ilustrada con los principios de arbitraje que muestran que ciertas combinaciones de opciones pueden crear posiciones que son equivalentes a la posesión del activo en sí. Estas posiciones y la posesión del activo deben tener el mismo rendimiento, de lo contrario, una oportunidad de arbitraje estará disponible.

<sup>11</sup> El Estado no reconocido creado desde 1861 hasta 1865 por once Estados esclavistas del sur de los EUA que habían declarado su secesión del resto del país.

Act) ley de intercambio de mercancías, que regulo todo lo relacionado a los mercados de futuros y opciones de EUA y a su vez creó la Commodity Exchange Authority, agencia a la cual se le atribuyeron las facultades de vigilar e investigar las actividades del comercio de futuros y perseguir la manipulación de precios como delito (Santos, Joseph. 2010).

Este estatuto fue aplicado por casi cuarenta años por la Commodity Exchange Authority hasta que en 1974 el Congreso al darse cuenta de la importancia de los mercados de futuros para el manejo institucional de los riesgos y la economía nacional modificó el CEA y creó un cuerpo gubernamental independiente responsable de vigilar las operaciones de futuros. Así apareció la Commodity Futures Trading Commission (CFTC) a la cual se otorgó una amplia autoridad regulatoria para que se encargue del mantenimiento de la integridad de todos los mercados de futuros y algunos mercados de opciones de EUA (Sol, María. 2000)

La década de 1970 es cuando los derivados ganaron un uso generalizado. Varios factores impulsaron los mercados de derivados. En primer lugar, muchos gobiernos comenzaron a desregular los precios y los controles en los mercados dando lugar a una mayor volatilidad. Se requirieron cálculos avanzados utilizando la teoría de la probabilidad para calcular movimientos en el precio de futuros.

En 1972, el Chicago Mercantile Exchange (CME), en respuesta a la fluctuación de las divisas, ahora internacionales, creó el Mercado Monetario Internacional, lo que permitió la negociación de futuros de divisas. Estos instrumentos fueron los primeros que carecían de un activo subyacente en materia física. En 1975, el Chicago Board of Trade (CBOT), creó el primer derivado futuro de tasas de interés, que se basa en Ginnie Mae (GNMA) valores respaldados por hipotecas. Si bien el contrato tuvo un éxito inicial, el índice cambio y al igual que la tendencia cambio a la tasa de interés de la Federal Reserve System FED.

El año de 1973 fue decisivo para la industria de derivados. A principios de año, la Junta de Comercio de Chicago creó la primera bolsa de opciones, fue nombrada el Chicago Board Options Exchange (CBOE). Antes de este tiempo, las opciones se habían

comercializado sólo en un mercado over-the-counter<sup>12</sup> llevadas a cabo por pocas empresas de distribución. El CBOE proporcionó el primer mercado organizado de opciones. Se creó un conjunto de opciones estandarizadas en 16 acciones individuales que se ofrecían por un grupo de distribuidores que harían los mercados de estas opciones. Por lo tanto, los inversionistas podrían comprar y vender opciones tan fácilmente como comprar y vender acciones (Chance Don M. 2008).

En ese mismo año, el Journal of Political Economy publicó un artículo escrito por los economistas del Instituto Tecnológico de Massachusetts (en inglés Massachusetts Institute of Technology o MIT) Fischer Black y Myron Scholes, que contenía una fórmula para la valoración de una opción. Casi al mismo tiempo, el Diario de Bell de Economía y Gestión de la Ciencia publicó un artículo de Robert Merton que contenía la misma fórmula.

El modelo inicialmente se conoció como el modelo Black-Scholes, pero dada la importancia de la contribución de Merton, también es conocido como el modelo Black-Scholes-Merton. En el momento de su publicación, el modelo parecía una contribución relativamente menor a las discusiones académicas. Sin embargo pronto quedó claro que el modelo sería útil para los que negocian con opciones. En particular, los creadores de mercado CBOE podría utilizar el modelo no sólo a las opciones de precios, sino también para cubrir las transacciones que fueron obligados a hacer como proveedores de liquidez.

La década de 1980 vio el comienzo del desarrollo de los swaps (un acuerdo contractual entre dos partes que acuerdan intercambiar ciertos flujos de efectivo durante un período de tiempo definido) y otros derivados over-the-counter OTC. Opciones y forwards existían anteriormente en el mercado OTC. Pronto casi todas las grandes corporaciones, e incluso algunas que no eran tan grandes, estaban usando derivados para cubrir y, en algunos casos, especular sobre la tasa de interés, tipo de cambio y el riesgo de los productos básicos. Los nuevos productos se crearon rápidamente para cubrir toda la gama de riesgos, a menudo con la creación de estructuras extremadamente complejas.

---

<sup>12</sup> El término de negociación o mercado OTC (Over The Counter) se puede utilizar para contratos sobre instrumentos financieros realizados directamente entre dos partes y también para la negociación sobre instrumentos financieros derivados que se comercializan a través de un intermediario financiero y no a través de un mercado centralizado.

A partir de 1994, el mercado de los derivados fue golpeado con una serie de grandes pérdidas en el comercio de derivados anunciadas por algunas empresas de renombre y con gran experiencia, como Procter & Gamble y Metallgesellschaft (ver tabla 1). En diciembre de 1994, William J. McDonough, presidente del Banco de la Reserva Federal, advirtió a los principales directores de las empresas financieras y no financieras que tienen la responsabilidad de entender monitorear constantemente los mercados de derivados cuando sus empresas están implicadas en ellos. Al año siguiente Barings un banco de referencia de Inglaterra se declaró en bancarrota debido a la especulación en los contratos de futuros, con pérdidas estimadas en £ 900 millones.

Empresa	Tamaño de pérdidas (millones)	Contratos involucrados
Air products and Chemicals	\$113	Swaps de tasas de interés y divisas
Arco Money Market Plus Fund	\$22	Varios tipos de derivados
Askin Capital Management	\$600	Ventas en corto y derivados sobre hipotecas.
Bank of Montreal's Harris Trust and Savings Bank	\$51.3	Derivados sobre hipotecas.
Cargill Minnetonka fund	\$100	Derivados sobre hipotecas.
Caterpillar Financial	\$13.2	Swaps de tasas de interés, swaptions y caps.
Chemical Bank	\$70	Swaps de divisas
Codelco	\$207	Futuros sobre el cobre
Community A Management	\$44	Notas estructuradas.
CS First Boston Investment Management	\$ 40	Varios tipos de derivados
Dell Computer	\$34.6	Opciones y Swaps
Federal Paper	\$19	Swaps de divisas
Gibson Greetings	\$20	Swaps de tasas de interés
Glaxo	£115	Derivados sobre hipotecas
International Family Entertainment	\$2	Varios tipos de derivados
Investors Equity Life Insurance Co. of Hawaii	\$90	Futuros sobre bonos.
Kashima Oil	\$1.5	Derivados sobre divisas
Mead	\$12.1	Swaps de tasas de interés
Odessa College	\$11	Derivados sobre hipotecas
Paine Webber Bond Mutual Fund	\$33	Derivados sobre hipotecas
Piper Jaffray Cos.	\$700	Derivados sobre hipotecas

Portage County, Ohio	\$8	Derivados sobre hipotecas y notas estructuradas
Procter & Gamble	\$157	Swaps de tasas de interés y divisas
Sandoz	\$78.5	Varios tipos de derivados
Sears	\$237	Swaps
Shoshone Indian Tribe	\$5	Derivados sobre hipotecas
Three Farm Credit System Banks	\$23	Notas estructuradas
Barings PLC	£900	Futuros y opciones sobre el IPC

Tabla 1. Perdidas en Derivados y Gestión de riesgos en el año 1994 by Don M. Chance

El año 1998 fue muy difícil para los mercados financieros. Una crisis financiera en relación con Rusia y varios países asiáticos condujeron al incumplimiento en los fondos de cobertura a largo plazo, Long Term Capital Management (LTCM) perdió USD 4.6 mil millones en sólo cuatro meses, que había sido iniciado por Myron S. Scholes y Robert C. Merton.

LTCM era un gran usuario de los derivados, y su caída dejó a todos preguntándose una vez más, si los derivados son instrumentos que pueden ser objeto de abuso en perjuicio de más que sólo el usuario. Otras grandes pérdidas en instrumentos derivados se produjeron en 2002 con el Banco Nacional de Australia, en el año 2004 con la compañía China Aviation Oil, y en 2008 con Société Générale. Pero en comparación con los problemas de la década de 1990, las pérdidas eran mucho menos comunes.

Si bien el riesgo en el manejo de derivados ha producido pérdidas y desconfianza en el uso de estos instrumentos su uso ha ido en aumento constante solo interrumpido en la crisis suprime de 2008 (ver figura 2), en los primeros 6 meses de 2011 según *The bank for international settlements* por sus siglas en inglés (*BIS*), el valor total de los derivados a nivel global aumentó de USD 601 mil millones al 31 de diciembre de 2010, a USD 708 billones al 30 de junio de 2011. Un aumento de USD 107 billones en nocional en medio año.

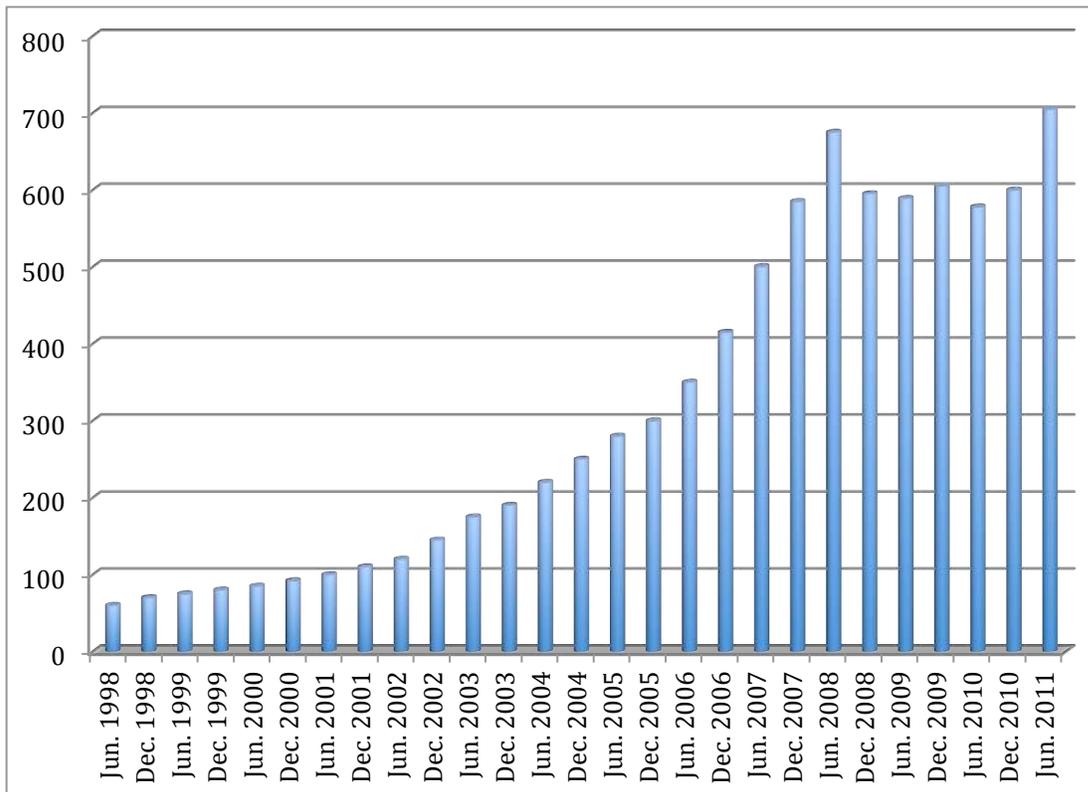


Figura 2. Valor global derivados OTC (USD billones)  
Fuente: The bank for international settlements 2011

### 1.3 La evolución de los derivados en México

El primer antecedente de derivados en México fue el petrobono, en 1977, cuyo precio se encontraba ligado a los precios del petróleo y a los tipos de cambio del dólar. Sin embargo, sus resultados no fueron satisfactorios debido al contexto económico de aquel entonces, un descenso en las exportaciones petroleras que conllevó a un déficit en cuenta corriente que pasó de USD 2.7 mil millones en 1978 a USD 11.7 mil millones en 1981, el desequilibrio externo fue financiado con deuda externa, principalmente pública cuyo monto se elevó de 35 mil millones USD en 1978 a 77 mil millones en 1981.

Entre 1978 y 1982 se listaron en el *Chicago Mercantile Exchange* (CME) futuros del peso, pero a causa de la alta volatilidad de nuestra paridad se suspendió su cotización.

<b>Indicadores del mercado accionario 1977-1982</b>						
	<i>1977</i>	<i>1978</i>	<i>1979</i>	<i>1980</i>	<i>1981</i>	<i>1982</i>
<b>Índice de precios y cotizaciones del mercado accionario</b>	388.40	889.10	1347.10	1432.20	956.60	755.90
<b>Tipo de cambio<sup>(1)</sup></b>	22.56	22.73	22.75	22.93	24.48	149.25

Tabla 2. Tipo de Cambio peso dólar

Fuente: López González, Teresa. *Fragilidad Financiera y Crecimiento Económico en México* (2001)

Entre 1983 y 1987 se listaron futuros sobre acciones en la Bolsa Mexicana de Valores pero por su bajo volumen no fue posible continuar con su negociación<sup>13</sup>.

En 1987, se introdujeron instrumentos de cobertura de divisas peso/dólar denominados “Contratos de Coberturas Cambiarias”, un instrumento operado no en la Bolsa sino en forma extrabursátil pero con una regulación estandarizada por el Banco de México, un instrumento que permitía protección de los riesgos que implican las fluctuaciones cambiarias, al otorgar a los inversores la certeza de un tipo de cambio frente al dólar de Estados Unidos para realizar sus operaciones en el futuro<sup>14</sup>.

En 1990, los bonos Brady, producto de la renegociación de la deuda externa, se emitieron con “Derechos de Recuperación de Valor (Value Recovery Rights VRR) sobre las exportaciones de petróleo, que prevén pagos trimestrales entre junio de 1996 y diciembre del 2019, y que se entiende como una opción (Díaz de León, Alejandro 1997).

En 1992, la Comisión Nacional de Valores autorizó a las empresas inscritas en Bolsa y a los intermediarios financieros la emisión y negociación, en la BMV, de “Warrants” o

<sup>13</sup> Boletín 20, Instituto Mexicano de Ejecutivos de Finanzas, 1997, pp.9-10.

<sup>14</sup> Banco de México, Circular 2008/94, actualmente abrogada.

“títulos opcionales”. En el mismo año, la casa de bolsa Acciones y Valores de México (Accival), emitió los primeros warrants, siendo la acción de TELMEX el subyacente. (Solorza Luna, Marcia Luz 2008)

En 1996, se empezaron a operar derivados de tasas en el CME (opciones sobre futuros) del IPC y de Bonos Brady y, en 1997 sobre Cetes a 91 días y TIIE (Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio) a 28 días, se emiten regulaciones para realizar operaciones a futuro por parte de bancos y casas de bolsa en mercados extrabursátiles OTC (G. Güemez 2008).

La creación del Mercado Mexicano de Derivados (MexDer) inicio en 1994, financiado por la Bolsa Mexicana de Valores BMV, junto con la cámara de compensación con el nombre de Asigna, Compensación y Liquidación, bajo la responsabilidad del Indeval. Inicio sus operaciones el 15 de Diciembre de 1998 listando contratos futuros sobre subyacentes financieros.

Los primeros contratos de futuros se hicieron sobre el dólar de EUA. El 15 de abril de 1999 inicia la cotización de contratos de futuros sobre el Índice de Precios y Cotizaciones de la Bolsa IPC. Más tarde, el 26 de mayo de ese mismo año son listados contratos de futuros sobre Cetes a 91 días y de TIIE a 28 días. El 29 de julio son listados contratos de futuros sobre acciones como Banacce O, Cemex CPO, FEMSA UDB, Gcarso A1, GFB y TELMEX.

El desarrollo del MexDer no solo abarca el volumen operado en los instrumentos como se puede apreciar en la (figura 3). También abarca la creación de nuevos mercados, el 24 de octubre de 2012 se presentó un instrumento derivado de futuro sobre maíz, con el cual busca ofrecer una cobertura de precios más adecuada a los productores mexicanos y se abre la posibilidad de una bolsa de derivados agropecuaria, señal de que los derivados en México no solo van en aumento si no también se diversifican.

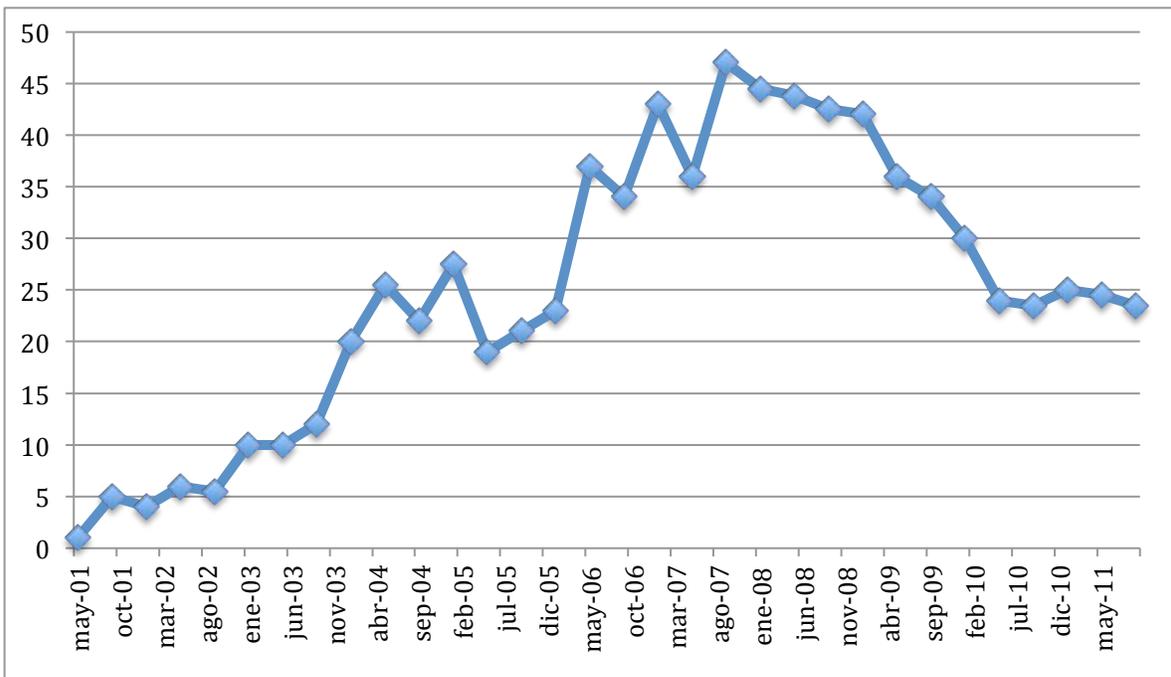


Figura 3. Volumen operado de futuros MexDer (cifras en millones de contratos)

Fuente: MexDer informe anual

#### 1.4 La aparición de los swaps en el mercado de derivados

El mercado de swaps ha crecido rápidamente desde sus inicios en 1979, el valor del mercado se ha incrementado a una tasa anual del 30%, esto es debido a la eficacia y flexibilidad del instrumento, además del siempre creciente interés de los directores financieros en relación con la importancia de la administración del riesgo financiero en un entorno de tasas de interés volátiles, de tipos de cambios fluctuantes y de los precios de materias primas.

El uso de los swaps se ha extendido ampliamente en el sistema financiero y económico por mencionar algunos es utilizado en corporaciones industriales financieras, bancos, compañías de seguros, fondos de pensiones, gobiernos entre otros. Compiten y se

complementan con otros instrumentos para la administración de riesgo, tales como futuros, forwards y opciones.

El incremento en las volatilidades del tipo de cambio creó un ambiente ideal para la proliferación de los swaps un instrumento que sirvió a multinacionales para cubrir operaciones de divisas a largo plazo. Sin embargo, los primeros swaps se crearon con un objetivo por completo distinto, y solo después fue que se reconoció el aspecto de reducción de costos y de manejo de riesgos que estos instrumentos podían ofrecer. (Robert H. Litzenberger 1992)

Los swaps eran una extensión natural de los préstamos paralelos llamados back-to-back, que tuvieron su origen en el Reino Unido como medios para evitar la rigidez del cambio de divisas, que buscaba, a su vez, prevenir una salida de capital británico.<sup>15</sup>

El préstamo paralelo llegó a ser un vehículo ampliamente aceptado por medio del cual se puede evitar estos impuestos. El préstamo back-to-back era una modificación sencilla de préstamo paralelo, y el swap de divisas fue una extensión del mismo.

Los préstamos back-to-back involucran dos corporaciones domiciliadas en dos diferentes países. Una firma acuerda solicitar fondos mercado doméstico y prestarlos a la otra firma. La segunda firma, a cambio, solicita fondos en su mercado doméstico y los presta en la primera. Mediante este sencillo acuerdo, cada firma está en posibilidad de tener acceso a mercados de capital en un país extranjero sin algún intercambio en los mercados de divisas.

Existen dos problemas con los préstamos back-to-back que limitan su utilización como herramientas financieras. En primer lugar, una parte que utilice este tipo de financiamiento debe localizar otra parte que se encuentre en condiciones de requerimientos financieros exactamente iguales: a esto se llama necesidades concordadas. Estos requisitos

---

<sup>15</sup> El gobierno británico, durante los años setenta, gravó con impuestos las transacciones en divisas, incluyendo a su propia moneda, encareciendo así la salida de capital, suponiendo que alentaría la inversión doméstica en detrimento de la inversión en el exterior, quitándole cierto atractivo.

incluyen el capital del préstamo, el tipo de interés que se va aplicar fijo flotante, la frecuencia de los pagos y el plazo término de préstamo. Los costos de búsqueda asociados al encuentro de esa parte que se requiere pueden ser considerables: asumiendo que pueda ser posible que haya una parte exactamente igual a la otra. En segundo lugar es un préstamo que involucra acuerdos separados y que existen independientemente del otro. Por lo tanto si la primera firma no cumple sus obligaciones con la segunda, esta no queda relevada de las obligaciones contraídas con la primera (Richard Flavell 2002).

Los flujos de efectivo de los swaps iniciales de divisas eran auténticos aquellos asociados con los préstamos back-to-back. Por esta razón los swaps iniciales de divisas a menudo fueron llamados intercambios de préstamos. Sin embargo, y contrario a lo que sucede con los acuerdos que caracteriza los préstamos back-to-back, los swaps involucran un acuerdo sencillo que especifica todos los flujos efectivo y estipula que la primera contraparte puede quedar relevada de sus obligaciones con la segunda, si esta no cumple con sus obligaciones con la primera. Por lo tanto, los swaps proporciona la solución al problema de los derechos de establecimiento (Richard Flavell 2002).

Otro problema asociado con los préstamos paralelos era encontrar una parte con requisitos de financiamiento concordantes exactamente iguales, se solucionó a través de la intervención de corredores que swaps y de generadores de mercado que vieron el potencial esta nueva técnica de financiamiento.

El primer swap de divisas se cree que fue suscrito en Londres en 1979. Sin embargo el verdadero swap de divisas, el que llegó al naciente mercado de swaps, involucró al Banco Mundial y a IBM como contrapartes. El swap lo realizó Salomon Brothers y permitió al Banco Mundial obtener francos suizos y marcos alemanes para financiar sus operaciones en Suiza y Alemania del Oeste, sin necesidad de acudir directamente a los mercados suizos y alemanes de capital, de este modo lograron ventajas netas sobre el financiamiento deseado de 10 y 15 puntos base respectivamente. El tamaño de las partes involucradas en esta operación le confirió credibilidad de largo plazo a los swaps de divisas. A partir de ese momento, el mercado creció rápidamente.

De los swaps de divisas a los de tasa de interés no existió más que un corto paso. Si los swaps se podían utilizar para convertir cualquier tipo de obligación en moneda extranjera, en otra obligación a una tasa aplicable de interés en cada divisa, también se podría utilizar un tipo similar de contrato para convertir un tipo de préstamo (con tasa fija) en otro (con tasa flotante). El primer swap de tasa de interés se introdujo en los Estados Unidos poco tiempo después cuando en 1982 la Student Loan Marketing Association (Sallie Mae) realizó un swap de tasa de interés de tasa fija a tasa flotante (Douglas Skarr 2004).

El concepto de swap se difundió en 1986, cuando el Chase Manhattan Bank introdujo el swap de materias primas. Inmediatamente después de la introducción de los swaps de materias primas, la Commodity Futures Trading Commission (CFTC) cuestionó la legalidad de los contratos. El resultado de esto fue que la actividad de los swaps de materias primas se trasladara a ultramar, pero, inclusive así, la actividad con los swaps de materias primas permaneció a un nivel mínimo.

En 1989 la CFTC rectificó y otorgó contratos para este tipo de instrumento. La actividad con los swaps de materias primas creció rápidamente a partir de entonces. También en 1989, Bankers Trust introdujo el primer swap conocido y denominado como de acciones y valores, fue un éxito inmediato y muy pronto se copió.

La figura 4. Muestra el crecimiento de los swaps durante sus 10 primeros años en el mercado a una tasa promedio del 40% para los swaps de tasas de interés, crecimiento que evidencia el éxito del instrumento desde sus inicios. El monto notional a enero de 2010 fue de 347,508 billones USD, aumentando a 441,201 billones USD en solo un año los datos disponibles a enero de 2012 registran una caída a 347,401 billones USD debido a la desaceleración global de la economía.

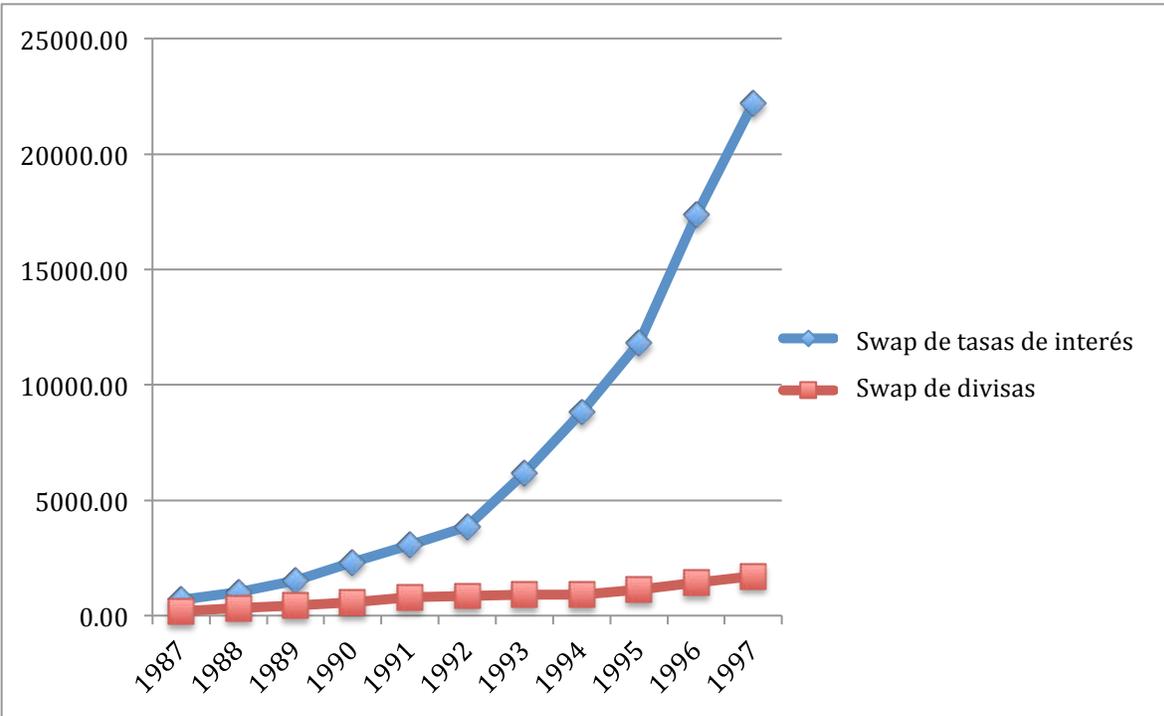


Figura 4. Monto nominal de swaps de tasas de interés y swaps de divisas (USD millones)  
Fuente: International Swaps and Derivatives Association.

En el mercado OTC, las operaciones más comunes son las de swaps de tasas de interés, que son instrumentos de cobertura utilizados ante la incertidumbre de movimientos en las tasas. En México, los swaps de tasas cotizan de manera estándar en el mercado OTC de acuerdo a la cantidad de cupones o revisiones de la tasa de cada 28 días con plazos a partir de 3 meses hasta 30 años, concentrándose la liquidez de este tipo de instrumentos en los 10 primeros años.

En México, las operaciones más comunes de swaps de tasas consisten en el intercambio del pago de una tasa a un nivel fijo, por otro que se determina de manera variable de acuerdo a la tasa de interés interbancaria de equilibrio de 28 días (TIIE 28)<sup>16</sup>, sin embargo también existen cotizaciones y operaciones sobre tasas y monedas extranjeras.

<sup>16</sup> La TIIE (Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio) es una tasa representativa de las operaciones de crédito entre bancos. La TIIE es calculada diariamente (para plazos 28, 91 y 182 días) por el Banco de México con base en cotizaciones presentadas por las instituciones bancarias mediante un mecanismo diseñado para reflejar las condiciones del mercado de dinero en moneda nacional

Al cierre de 2005 se registró un volumen promedio diario de operación de swaps de TIIE OTC de todos los plazos que ascendió a un monto de 8,764 millones de pesos, incrementándose de manera importante a casi el triple al cierre de octubre de 2006, el cual registró un monto promedio diario de 24,041 millones de pesos.

Como parte de la estrategia de la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) para traer instrumentos del OTC a mercados organizados, muy en línea con lo que está pasando en EUA y Europa, para otorgar transparencia y seguridad a los mercados de derivados, siendo listados en una bolsa y liquidados en una cámara de compensación para reducir riesgos, el MexDer lanzó el primer swap de tasas de interés de TIIE a 28 días en el mes de mayo del 2013.

En parte porque no había un registro de qué tan grande era el riesgo sistémico que generaban los swaps, por lo que, entre los compromisos del G-20, se acordó llevarlos a mercados establecidos. Con esto, México se suma a mercados como el de EUA y Europa, donde la regulación para derivados ya está en vigor.

## **Capítulo 2 La estructura de un swap y su fundamento teórico.**

### **2.1 El papel de la teoría matemática y económica en los derivados.**

La búsqueda por un entendimiento matemático del comportamiento del mercado y valuación de activos financieros comenzó en 1900 con la tesis doctoral de Louis Bachelier, pero las bases las puso Robert Brown en el siglo XVII.

En 1827, el médico y botánico escocés Robert Brown mientras examinaba partículas de polen en el microscopio, observó que cuando estas se encontraban suspendidas en agua y en otros líquidos se movían sin cesar en forma errática. En un principio, Brown pensó que las partículas tenían movimiento propio e incluso vida, posteriormente el fenómeno se asoció no solo con partículas de polen, sino también con partículas de materia inorgánica como polvo fino de algunos minerales (vidrio, carbón, roca, etc.) su investigación “A Brief Account on the Particles Contained in the Pollen of Plants; and on the General Existence of Active Molecules in Organic and Inorganic Bodies” fue publicada en Edimburgo en 1828.

Durante casi dos siglos no se produjo una explicación satisfactoria de lo que causaba el movimiento de las partículas, no fue sino hasta principios del siglo XX, cuando se demostró que el movimiento irregular de las partículas de polen se debía al golpeteo constante de las moléculas invisibles de agua sobre las moléculas visibles de las partículas de polen (Venegas Martínez, Francisco 2006).

En 1905, el físico alemán Albert Einstein escribe tres artículos seminales en física sobre el efecto fotoeléctrico, la relatividad especial, y la mecánica cuántica. Por el primero, la Academia Sueca le otorgó el premio Nobel en 1921, por el segundo obtuvo el reconocimiento de unificar la mecánica clásica con la electrodinámica y por el tercero la satisfacción de haber resuelto un problema que llevaba casi dos siglos sin respuesta, el

movimiento Browniano<sup>17</sup>.

Einstein proporcionó la explicación y formulación matemática del movimiento Browniano, de la cual se deriva que la desviación estándar del desplazamiento de una partícula suspendida en un líquido, en un tiempo dado, es proporcional a la raíz cuadrada de dicho tiempo. La difusión de las partículas puede verse como un proceso probabilístico de su desplazamiento, con esta teoría calcula, de manera explícita, el desplazamiento promedio  $\lambda$  de las partículas suspendidas, en términos del coeficiente de difusión  $D$  y del tiempo  $t$  de observación,  $\lambda = \sqrt{6Dt}$ .

En 1900, el matemático francés Louis Bachelier (1870-1946) en su tesis “Theorie de la speculation” sobre el modelado del comportamiento aleatorio de los precios de las acciones de la bolsa de Paris, se anticipó a Einstein con la formulación matemática del movimiento Browniano, abordando un problema completamente diferente al de la mecánica cuántica o al del movimiento errático de partículas de polen suspendidas en agua, sin embargo, su trabajo no fue reconocido como una contribución relevante por sus profesores y compañeros en la “Sorbonne” de Paris.

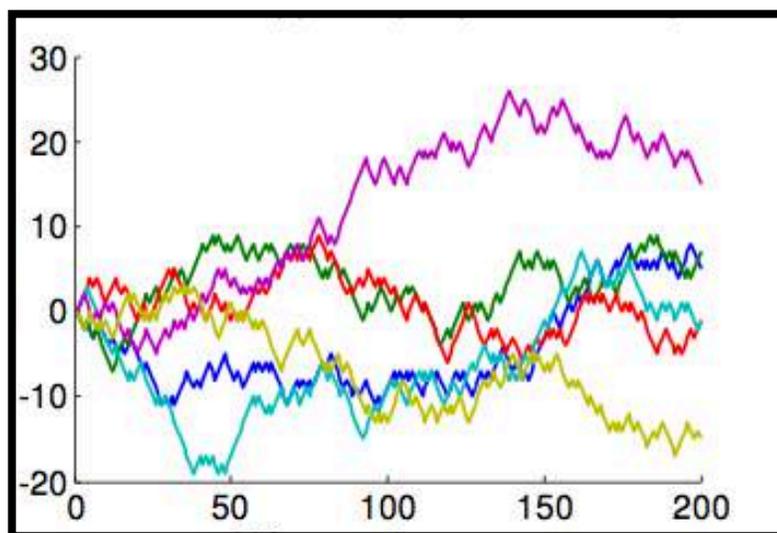


Figura 5. Representación de un movimiento Browniano

<sup>17</sup> En un principio el movimiento Browniano es consecuencia directa de las observaciones de un fenómeno físico, pero ello no garantiza que tal objeto matemático exista. En 1923 el matemático norteamericano Norbert Wiener demostró la existencia de un proceso con tales condiciones. Es por esta razón que a menudo a este proceso también se le llama proceso de Wiener.

El movimiento Browniano geométrico (anexo 1), (figura 5) describe la distribución de probabilidad de los precios futuros de un activo; en otras palabras, es un modelo matemático de la relación entre el precio actual de un activo y sus posibles precios futuros, establece que los pagos futuros de un activo están normalmente distribuidos y que la desviación típica de esta distribución puede estimarse con los datos del pasado.

Muy frecuentemente, cuando se trabaja con procesos estocásticos, es necesario especificar el tipo de información que está disponible en cada punto en el tiempo, Por ejemplo, si se quiere calcular la esperanza, condicional a la información disponible, de valores futuros de un proceso, entonces es necesario especificar de manera precisa la información que se utiliza en los cálculos. Usualmente, en los modelos financieros se requiere que los precios, presentes y pasados, de los activos sean conocidos para producir un pronóstico. Esta idea es formalizada con el concepto de filtración.

Una filtración es una familia  $\mathbb{F} = (\mathcal{F}_t)_{t \in T}$  de  $\sigma$ -álgebras tales que  $\mathcal{F}_t \subset \mathcal{F}$  para toda  $t \in T$ . La familia  $\mathbb{F}$  es creciente en el sentido de que  $\mathcal{F}_s \subset \mathcal{F}_t$  cuando  $s, t \in T$  y  $s \leq t$ . Una filtración puede ser pensada como una estructura de información dinámica. La interpretación es que  $\mathcal{F}_t$  representa la información disponible al tiempo  $t$ . El hecho de que la filtración este aumentando significa que hay más y más información conocida conforme el tiempo transcurre y que la información pasada no se olvida (Silah N. Neftci 1999).

Es importante resaltar que entre las contribuciones de la tesis de Bachelier a las matemáticas financieras, también destacan: el modelado de la dinámica de los precios de acciones de la bolsa de Paris a través del movimiento Browniano, la primera representación gráfica del precio de un contrato de opción, la formulación de mercados eficientes, la primera fórmula de valuación de un contrato de opción y la primera definición cuantitativa de riesgo de mercado.

La relevancia del trabajo de Bachelier fue reconocida hasta 1960, después de su muerte. El movimiento Browniano, así como sus aspectos teóricos y prácticos, es objeto de numerosos estudios en muchas y muy diversas áreas de las finanzas. Sin lugar a dudas, el movimiento Browniano se encuentra implícita o explícitamente en casi toda la teoría

financiera en tiempo continuo en ambientes estocásticos, para ser más precisos el movimiento Browniano ocupa el 99% en la teoría de valuación de portafolios y productos derivados en tiempo continuo (Venegas Martínez, Francisco 2006).

Una de las limitaciones más importantes del trabajo de Bachelier es que los precios de los activos pueden tomar valores negativos. Este inconveniente es enmendado por Paul Samuelson hasta 1965. De hecho, Paul Samuelson a través de su trabajo sobre la valuación de warrants da a conocer la investigación de Bachelier. Alrededor de 1960, Samuelson, en una visita a las Sorbonne, lee la tesis de Bachelier y este acontecimiento influye de manera fundamental en su trabajo posterior sobre precios de opciones.

En 1965, Paul Samuelson publica su artículo "Rational Theory of Warrant Prices", en donde se introduce el concepto de movimiento económico Browniano. Cuando Samuelson resuelve el problema de Bachelier, eliminando la posibilidad de que un activo tenga precios negativos, se crean nuevos inconvenientes con la aparición de parámetros desconocidos (L.M. Dieng 2009).

En el artículo de Samuelson en donde el precio del activo subyacente es conducido por el movimiento geométrico browniano y el precio de la opción se calcula como el valor presente de la esperanza del pago al vencimiento, el valor de la opción depende de dos parámetros desconocidos. El primer parámetro es el rendimiento medio esperado del subyacente, el cual es un parámetro de tendencia relacionado con las preferencias al riesgo de los agentes. El segundo, es el rendimiento que pagan las opciones que se utiliza para traer a valor presente el pago esperado de la opción al vencimiento (Venegas Martínez, Francisco 2006).

En 1973, Fischer Black y Myron Scholes publican su artículo "The Pricing of Options and Corporate Liabilities" en el "Journal of Political Economy". La investigación estuvo en proceso de dictaminación por dicho "Journal" durante casi dos años.

Robert Merton, Eugene Fama y Merton Miller ya habían revisado el trabajo de Black y Scholes y amparaban la relevancia del mismo bajo el supuesto de equilibrio general. Black y Scholes obtuvieron una fórmula para validar una opción europea sobre una acción

que no paga dividendos, y cuyo precio es conducido por un movimiento geométrico Browniano.

Los inconvenientes del artículo de Samuelson fueron entonces corregidos ya no hay parámetros desconocidos en el precio de la opción y, más importante aún, no surgieron limitaciones adicionales. La fórmula para la valuación de derivados financieros se había encontrado. En el mismo artículo Black y Scholes proporcionan una derivación alternativa de su fórmula de valuación empleando el CAPM (Capital Asset Pricing Model).

En su artículo Black y Scholes obtienen una ecuación diferencial parcial de segundo orden, parabólica y lineal, cuya solución es el precio de una opción europea cuando la condición final es el valor intrínseco de la opción. En la investigación de Black & Scholes, esta ecuación diferencial parcial es transformada en la ecuación de difusión de calor, la cual tiene soluciones explícitas. Desde entonces. La ecuación diferencial parcial de Black y Scholes ha sido muy popular, pues sus soluciones representan los precios de muchos productos derivados disponibles en el mercado.

El modelo Black y Scholes permite la valuación de una opción, bajo el supuesto de que el activo subyacente sigue un movimiento browniano. El valor de una opción depende de determinadas variables (inventario, el tiempo, volatilidades en la tasa de interés). De hecho dicho precio se puede escribir como una función que depende de  $S$  y  $t$  teniendo en cuenta que también es una función de los parámetros de interés.

$$c(S, X, T - t, \sigma_s, r) = c(S, t)$$

Para hacer una valuación (utilizando el principio de no arbitraje) se utiliza la propiedad de que el cambio en el valor de la opción esta total y perfectamente correlacionada con el cambio en el valor de activo subyacente. Esto es quizás el punto más importante a la hora de valuar una opción pues se puede construir un portafolio que consista de una cantidad de opciones y una cantidad del inventario a modo de eliminar totalmente la incertidumbre de ese portafolio (UTDT Riesgo Incertidumbre y Finanzas 2002).

Sabiendo esto se forma un portafolio que tenga una posición larga en la opción y una posición corta<sup>18</sup> en una cantidad delta:  $\Delta$  en el subyacente. Denotando a  $H$  como el valor del portafolio.

$$H = c(S, t) - \Delta S.$$

Si el activo subyacente sigue un movimiento browniano.

$$\frac{dS}{S} = \mu_s dt + \sigma_s dz,$$

El cambio en el valor del portafolio

$$dH = dc(S, t) - \Delta dS$$

Utilizando el Lemma de Ito<sup>19</sup> sabemos que si el activo subyacente sigue un movimiento browniano el derivado también lo sigue y por lo tanto el cambio en el valor del call puede escribirse como.

$$\begin{aligned} ds(S, t) &= c_t dt + c_s dS + \frac{1}{2} c_{ss} (dS)^2 \\ &= c_t dt + c_s S (\mu_s dt + \sigma_s dz) + \frac{1}{2} c_{ss} S^2 \sigma_s^2 dt \\ &= \left( c_t + c_s S \mu_s + \frac{1}{2} c_{ss} S^2 \sigma_s^2 \right) dt + c_s S \sigma_s dz \end{aligned}$$

Lo que implica que el cambio en el portafolio sigue la siguiente Movimiento Browniano (UTDT Riesgo Incertidumbre y Finanzas 2002).

---

<sup>18</sup> Posición corta, la posición del vendedor de la opción, que representa la obligación por su parte de cumplir las condiciones de la opción si su comprador las ejercita. Posición larga, es la que tiene un inversionista que ha comprado un activo, o que ha asumido un compromiso de compra.

<sup>19</sup> Lema de Ito, se utiliza en finanzas para derivar el proceso estocástico seguido por el precio de un título derivado. Por ejemplo, si el activo subyacente sigue la moción geométrica browniana, entonces el lema de Ito demuestra que un título derivado cuyo precio es una función del precio del activo subyacente y del tiempo también sigue la moción geométrica browniana. De hecho, los dos valores presentarán la misma fuente de riesgo, dando así a entender que una combinación apropiada de los dos valores puede eliminar el riesgo.

$$\begin{aligned}
dH &= c_t dt + c_s S (\mu_s dt + \sigma_s dz) + \frac{1}{2} \sigma_s^2 S^2 c_{ss} dt - \Delta S (\mu_s dt + \sigma_s dz) \\
&= \left( c_t + c_s S \mu_s + \frac{1}{2} \sigma_s^2 S^2 c_{ss} - \Delta S \mu_s \right) dt + (c_s S \sigma_s - \Delta S \sigma_s) dz
\end{aligned}$$

Para obtener el precio de una opción call se elige  $\Delta$  tal que elimina el riesgo del portafolio es decir,

$$\Delta = c_s$$

Una vez eliminado el riesgo, el valor del portafolio en el tiempo debe ser igual, por el principio de no arbitraje, a colocar la misma cantidad de dinero en un instrumento con tasa libre de riesgo. (UTDT Riesgo Incertidumbre y Finanzas 2002)



$$\begin{array}{cc}
\text{-----} & \text{-----} \\
| & | \\
dH & H
\end{array}$$

$$c_t dt + \frac{1}{2} \sigma_s^2 S^2 c_{ss} dt = r(c(S, t) - c_s S) dt$$

Si el retorno del portafolio fuese mayor, entonces todos los individuos pedirían préstamos al banco, y re-invertirían en este portafolio. Estos movimientos de capitales explotan la oportunidad de arbitraje, haciendo que finalmente los precios se ajusten eliminando la oportunidad de arbitraje. Si el retorno del portafolio fuese menor el razonamiento es análogo.

Re escribiendo la ecuación anterior se obtiene la ecuación diferencial parcial que una vez resuelta calcula el valor del derivado a tiempo  $t$ ,

$$c_t + \frac{1}{2} \sigma_s^2 S^2 c_{ss} + r S c_s - r c = 0$$

Cuando se habla de valuar un activo financiero usando la solución de Black y Scholes se hace referencia a dos cosas. La ecuación diferencial parcial, la fórmula de Black y Scholes.

La ecuación diferencial parcial se puede usar con cualquier condición terminal para encontrar “numéricamente” el precio de cualquier derivado mientras que la fórmula es la solución dada unas condiciones terminales particulares.

La fórmula Black y Scholes es la solución a la ecuación diferencial, dadas las condiciones terminales de un call europeo, sin embargo solo se utiliza el hecho de que sea un call en las condiciones terminales por lo tanto dicho procedimiento es válido para cualquier tipo de opción. Para encontrar el precio de un call o un put hay que establecer distintas condiciones terminales. Las condiciones no son más que los distintos pagos de cada contrato. (UTDT Riesgo Incertidumbre y Finanzas 2002)

Para el caso de un call

$$\text{Max}(S - X, 0)$$

Y de un Put

$$\text{Max}(X - S, 0)$$

El resultado del valor de un call una vez resuelta la ecuación diferencial parcial es

$$C(S, T - t) = SN(d_1) - Xe^{-r(T-t)}N(d_2)$$

Donde

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

$$d_2 = d_1 - \sigma(\sqrt{T - t})$$

Y el resultado para una opción put es

$$P(S, T - t) = -SN(-d_1) + Xe^{-r(T-t)}N(-d_2)$$

Sin duda, es también importante destacar el artículo de Robert Merton, "Theory of Rational Option Pricing" publicado en 1973 en el "Bell Journal of Economics and Management Science", en donde se obtienen resultados similares a los de Black y Scholes y varias extensiones. Merton continuó su trabajo sobre valuación de opciones en una serie de artículos verdaderamente impresionantes. (UTDT Riesgo Incertidumbre y Finanzas 2002)

Por sus excepcionales contribuciones a lo que hoy se conoce como matemáticas financieras en tiempo continuo Robert Merton y Myron Scholes se hicieron acreedores al premio Nobel en 1997. Para entonces Fischer Black tenía dos años de fallecido. En consideración a las contribuciones de Merton, el modelo Black y Scholes, bien podría llamarse de Black, Merton y Scholes. Es también justo mencionar que Robert Merton y Fischer Black se han distinguido por la cantidad y calidad de sus contribuciones tanto a las finanzas como a la economía (Venegas Martínez, Francisco. 2006).

## **2.2 Definición y terminología de los swaps**

Un derivado swap es un acuerdo contractual entre dos partes que acuerdan intercambiar ciertos flujos de efectivo durante un período de tiempo definido. En general, los flujos de efectivo a ser intercambiados se relacionan con el interés a ser pagado o recibido con respecto a un activo o pasivo, en este caso llamado bien subyacente. En consecuencia, el intercambio está diseñado para generar un cambio neto en el flujo de efectivo a una tasa de interés relacionado con ese activo o pasivo (en general, valores de inversión o endeudamiento de bonos, respectivamente), pero no afecta al capital de ese activo o responsabilidad ni da lugar a la creación de un nuevo principal.

Como resultado, el tamaño de un swap con el fin de describir la base de cálculo en la cual los pagos serán intercambiados, se conoce como el "monto nocional." Como parte de cualquier swap, ambas partes acuerdan (i) el importe nocional, (ii) la tasa que cada parte utilizará para calcular las cantidades a pagar a la otra sobre dicho importe teórico, (iii) las fechas en las que los flujos de efectivo, se cambiará, y (iv) el término del swap (Riger L.

Davis, Stephen A. Spitz, et al 2004).

El tipo más común de intercambio es el swap de tasas de interés. Por lo general, un swap de tasa de interés implica una serie de pagos que se efectúan a una tasa de interés flotante, tales como la tasa (LIBOR)<sup>20</sup>, mientras que el otro se fija a una tasa convenida. Este instrumento se suele llamar vanilla<sup>21</sup> swap. Otros tipos de arreglos son posibles: algunos swaps de tasa de interés tienen ambos tipos de pagos a un tipo variable, a menudo se usa la tasa LIBOR y la tasa de los bonos “treasure bills” este instrumento es llamado a “basis swap”.

Hay varios otros tipos de swaps. Los swaps de monedas, o “currency swaps” involucran una parte que hace los pagos en una divisa y otra realiza los pagos en otra moneda. El monto nominal se intercambia generalmente al comienzo y al final de un swap de divisas. Al principio, las dos partes están intercambiando valores equivalentes en diferentes monedas. Al final de la transacción ocurre lo contrario. También existen swaps de acciones, que implican una parte a pagar a la otra una tasa basada en la tasa de rendimiento de un índice de acciones como el S& P 500 o el DAX. La otra parte hace un pago basado en otra tasa, por ejemplo la tasa LIBOR, una tasa fija u otro índice de renta variable.

Aunque equity swaps se utilizan mucho menos que los swaps de tasas de interés o de divisas, equity swaps tienen un potencial de crecimiento considerable, ya que hacen que sea muy sencillo, fácil y de bajo costo para reasignar una cartera de inversiones a un sector del capital diferente (Chance Don M 2008).

Otro tipo de swap es el “Commodity swap”, donde una parte efectúa un pago basado en el precio de un commodity y la otra parte típicamente hace un pago fijo, pero las

---

<sup>20</sup> Libor son las siglas de London Interbank Offered Rate, una tasa diaria de referencia basada en los tipos de interés interbancarios a los cuáles los bancos realizan préstamos entre sí en el mercado interbancario de Londres. El LIBOR es fijado y publicado diariamente a las 11:45(hora inglesa) por la Asociación de Banqueros Británicos (BBA, de sus siglas en inglés, British Bankers Association).

<sup>21</sup> Vanilla es un adjetivo que describe la versión más simple de algo, sin incluir nada más, por analogía con el helado de vainilla, el sabor defecto. Algunos instrumentos financieros como los swaps o las opciones, de venta o de compra a menudo se describen como swaps plain vanilla. Lo contrario de swaps plain vanilla son swaps exóticos.

estructuras de otras formas de pago son posibles. En este intercambio, el usuario de un producto básico aseguraría un precio máximo y se compromete a pagar a una institución financiera un precio fijo. Luego, el usuario recibiría pagos basados en el precio de mercado para el producto en cuestión. El petróleo es un buen ejemplo de un producto en el que se lleva a cabo una gran cantidad de swaps.

Cada transacción de intercambio tiene sus propias condiciones y características, pero el swap de tasa de interés típica plain vanilla establece que los pagos de una parte se calculan utilizando un tipo de interés fijo the "fixed leg" mientras que los pagos de la otra parte se calculan utilizando un tipo de interés variable (the "floating leg"), los elementos necesarios son: el conjunto de la tasa fija, el índice específico de tipo de interés variable, el nocional (incluidos los aumentos previstos, disminuciones o amortización), las fechas de intercambio de flujos de efectivo, la fecha programada de terminación, que define el término (a veces referido como el "tenor o fecha de maduración"), y las condiciones de cancelación opcional y obligatorias.

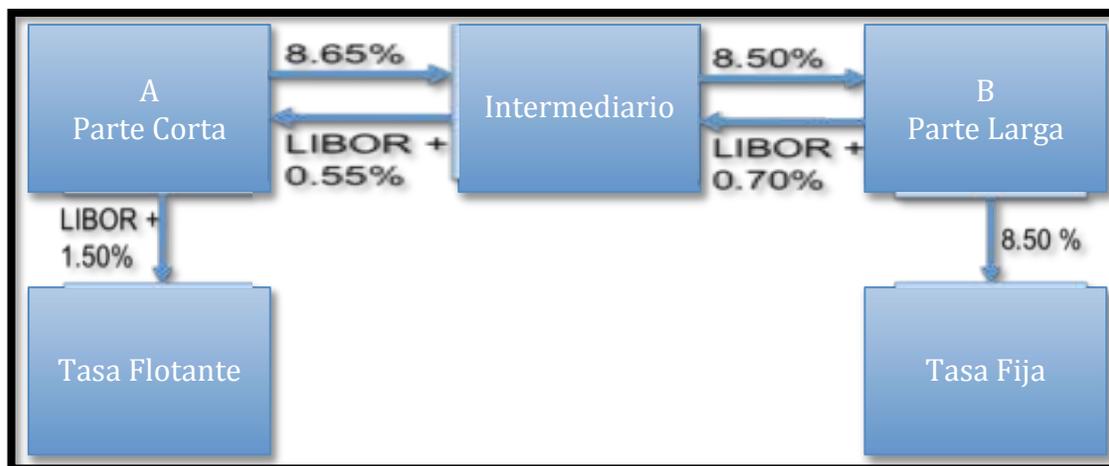


Diagrama 1. Swap de tasas de interés.

Como se observa en el Diagrama 1, por convención, en el swap de tipo vanilla a la contraparte que paga la tasa fija y recibe tasas flotantes se denomina como la parte “corta ” o como el vendedor, por el contrario la parte “larga” en un swap es la parte que compra el contrato aceptando pagar una tasa flotante a cambio de recibir una tasa fija. Con respecto al principal, en contadas ocasiones éste se intercambia al concluir el contrato, por eso dicho

principal se denomina “nocional”. Esta denominación sirve para denotar la noción o idea de un “intercambio hipotético”.

Una de las principales ventajas de los swaps de tasas de interés deriva del hecho de que permiten “diseñar a la medida” esquemas de financiamiento para los contratantes. Transforman los esquemas originales de pago en otros esquemas similares con distintas características de plazo o tasas. De forma tal que un swap de tasas de interés hace posible que las contrapartes modifiquen los esquemas originales de pago y diseñen esquemas más adecuados a sus necesidades (James Bicksler 1985).

La capacidad de aprovechar la presencia de *ventajas comparativas*<sup>22</sup> constituye uno de los aspectos más importantes a tomar en consideración en el diseño de cualquier swap. Esto es, dos instituciones pueden alcanzar beneficios económicos mutuos intercambiando flujos entre ellos a costos relativamente menores.

En los mercados de renta fija es común observar que el spread de crédito entre las instituciones de mejor y las de menor calidad crediticia es más amplio en sus emisiones de tasa fija que el spread<sup>23</sup> correspondiente en emisiones de tasas flotantes. Por lo cual, se considera que los acreditados de menor calidad crediticia generalmente tienen una *ventaja relativa o comparativa* frente a los acreditados mejor calificados en el mercado de tasas flotantes.

En resumen, con la celebración de un swap todos los participantes en principio pueden resultar beneficiados. Sin importar que alguna contraparte tenga ventajas absolutas sobre la otra, los swaps son estructuras tan eficientes en su construcción que son capaces de reflejar en una tasa de interés las condiciones crediticias representativas de las dos contrapartes involucradas en el contrato. A esta tasa se le denomina “tasa swap” y se

---

<sup>22</sup> Desarrollado por primera vez por David Ricardo en el siglo XIX para explicar el comercio entre naciones. La teoría mantiene que, suponiendo un tipo de cambio apropiado, ambas naciones se beneficiarán del comercio si cada una centra la producción en aquel producto en el que cuenta con una ventaja comparativa y luego intercambia una porción de su producción por una porción de la producción de la otra nación. El concepto es igualmente aplicable para explicar el comercio financiero la noción de que una parte puede tener una ventaja de endeudamiento en un mercado con relación a otra parte.

<sup>23</sup> La diferencia entre los dos precios. Por ejemplo, si se vende un activo a un precio más alto del que se compró, este beneficio se denomina spread.

considera de gran utilidad como indicador del desempeño del mercado de crédito interbancario (Richard Flavell 2002).

### **2.3 La teoría del arbitraje y los supuestos financieros necesarios en el manejo de derivados**

Se concibe a las finanzas como una rama aplicada de la microeconomía, cuyo estudio se centra en el análisis del *homo economicus*<sup>24</sup> de racionalidad perfecta individual y colectiva, omnisciente, donde el cálculo y el propio interés son elementos dominantes.

Las principales teorías en el campo de la economía financiera que enmarcan la toma de decisiones económicas de los individuos y que servirán de base para el análisis de los derivados financieros inician desde el estudio del riesgo.

Los avances en álgebra y en cálculo diferencial e integral que se dieron en los siglos XVII y XVIII propiciaron múltiples aplicaciones en teoría de probabilidad, desde la medición de riesgos en seguros e inversiones, hasta temas relacionados con medicina, física y pronóstico de las condiciones del tiempo.

En el año de 1730, Abraham de Moivre propuso la estructura de la distribución de probabilidad normal (conocida como distribución de campana) y propuso el concepto de desviación estándar. En la misma época Daniel Bernoulli venía trabajando en la definición de un proceso sistemático para la toma de decisiones, basado en probabilidades, situación que dio lugar a lo que hoy se conoce como teoría de juegos e investigación de operaciones.

Por tal motivo la literatura de riesgo hace especial énfasis en la obra "Exposición de una Nueva Teoría en la Medición del Riesgo" publicada por Bernoulli hacia el año de 1730. Esta nueva teoría se fundamenta en el concepto de valor esperado. Una vez identificada esta regla, según Bernoulli, se debe proceder a enumerar las diferentes alternativas que surgen de ella, examinar ciertas inconsistencias y finalmente proponer algunas

---

<sup>24</sup> Del latín, *Homo economicus* (*Hombre económico*) es el concepto utilizado en la escuela neoclásica de economía para modelizar el comportamiento humano, fue utilizado por primera vez en el siglo XIX por los críticos de la obra de John Stuart Mill sobre economía política.

clasificaciones para la teoría del riesgo. (Sarmiento Lotero, Rafael 2007)

Propiamente hablando el estudio de riesgo enfocado en el sistema financiero se inició con la teoría del riesgo de Frank Knight (1921), que efectuó los primeros aportes significativos en el área estableciendo la distinción entre riesgo e incertidumbre. La aportación fundamental de Knight es la consideración de la incertidumbre como elemento esencial de la actividad empresarial.

Para Knight, cuando se presenta una situación en la cual existe, se conoce y se puede calcular probabilidades sobre un evento bajo una distribución de probabilidad (probabilidad objetiva), se presenta lo que se denomina riesgo; en cambio cuando no se puede calcular las probabilidades numéricas existe incertidumbre. Sin embargo para ambos casos Knight, concluyó que el individuo siempre tendrá unas probabilidades subjetivas o personales, que están en función de sus expectativas racionales. Por lo tanto el problema de una economía en incertidumbre será el conocer la distribución de probabilidades de un hecho para que la incertidumbre se le convierta en riesgo (Frank H. Knight 1921).

Del análisis del riesgo se desprende el desarrollo de las teorías y supuestos necesarios a la hora de valorar un activo financiero en este caso derivados ya que su valor depende de este de manera crucial, el inversionista suelen exigir más beneficios para soportar más la incertidumbre.

Para valorar activos, los valores esperados deben ajustarse a las preferencias de riesgo del inversionista. Desafortunadamente, la tasa de descuento varían entre los inversionistas y la preferencia de un individuo de riesgo es difícil de cuantificar.

Resulta que en un mercado completo sin oportunidades de arbitraje hay una manera alternativa de hacer este cálculo: en lugar de tomar las expectativas y luego ajustarlas a la preferencia de riesgo del inversionista, se puede ajustar incorporando las primas de todos los inversionistas y luego tomar la expectativa en esta nueva distribución de probabilidad, la medida neutral al riesgo, este concepto se conoce como probabilidades neutrales al riesgo.

El principal beneficio proviene del hecho de que una vez que las probabilidades neutrales al riesgo se encuentran, cada activo puede valuarse simplemente tomando su pago esperado.

La ausencia de arbitraje es fundamental para la existencia de una medida neutral al riesgo. De hecho, por el teorema fundamental de valoración de activos, la condición de no arbitraje es equivalente a la existencia de una medida neutral al riesgo. Integridad del mercado también es importante porque en un mercado incompleto hay una multitud de posibles precios de un activo correspondientes a diferentes medidas neutrales al riesgo. Se suele argumentar que la eficiencia del mercado implica que hay un solo precio (la "ley de un solo precio" de la cual se hablara más adelante), la correcta medida neutral al riesgo en el momento de evaluar un activo debe seleccionarse mediante argumentos económicos, más que puramente matemáticos.

Todos los actuales métodos de valuación de derivados utilizan la notación de arbitraje. El precio de los activos son obtenidos por condiciones que excluyen oportunidades de arbitraje. En métodos de valuación de equilibrio, la falta de oportunidades de arbitraje es parte de las condiciones de equilibrio general. (Frank H. Knight 1921).

En su forma simple, arbitraje significa tomar posiciones simultáneas de diferentes activos para garantizar una ganancia sin ningún riesgo mayor que la obtenida por los bonos del tesoro. Si tales beneficios existen, se dice que se está en oportunidades de arbitraje.

En la práctica las oportunidades de arbitraje existen. Sin embargo esto no reduce el interés en el estudio del tema, de hecho determinar precios de activos libres de oportunidades de arbitraje es el centro de la valuación de derivados financieros. (Salih N. Neftci 1999).

Después del desarrollo matemático de la teoría del arbitraje (anexo 2) se concluyen las siguientes restricciones que son esenciales a la hora de valuar activos financieros las cuales son:

*Existe una medida de valuación lineal si y solo si no existen estrategias dominantes.*

*Si existen estrategias de comercio dominantes, entonces la ley de un solo precio se mantiene. Sin embargo el inverso no es necesariamente verdadero.*

*Si existen estrategias de comercio dominantes, entonces existe una oportunidad de arbitraje, el inverso no es necesariamente verdadero. (Stanley R. Pliska 1998)*

Lo cual puede ser resumido en el siguiente diagrama.

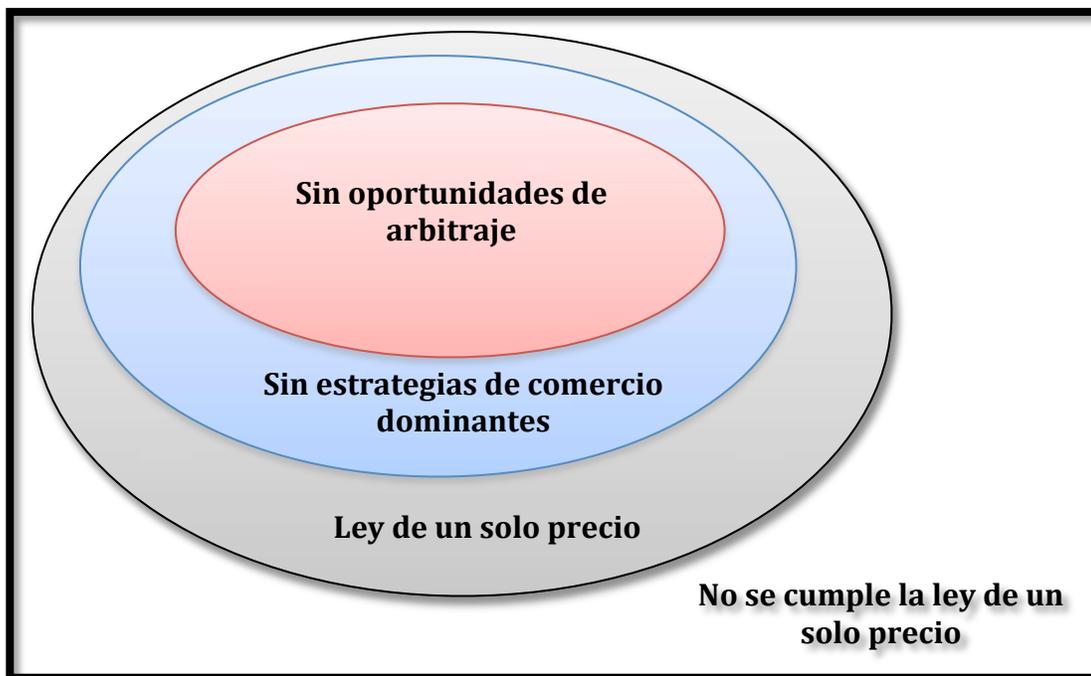


Diagrama 2. Clasificación de Modelos de Mercados financieros  
Fuente: Stanley R. Pliska *Introduction to mathematical finance*

Existe una condición importante y necesaria en la teoría del arbitraje, las probabilidades neutrales al riesgo. (Anexo 3)

$$E_Q[\Delta S_n^*] = E_Q[S_n^*(1) - S_n^*(0)] = E_Q[S_n^*(1)] - S_n^*(0),$$

$$E_Q[\Delta S_n^*] = 0 \text{ es equivalente a}$$

$$E_Q[S_n^*(1)] = S_n^*(0), \quad n = 1, 2, \dots, N$$

Esto significa que bajo la medida de probabilidad indicada en el periodo  $t = 1$  el valor descontado de cada activo es igual a su valor inicial. Por lo tanto una medida de

probabilidad neutral al riesgo es una medida de valuación lineal estrictamente positiva para todo  $\omega \in \Omega$  (Stanley R. Pliska 1997).

*No hay oportunidades de arbitraje si y solo si existe una probabilidad neutral al riesgo  $Q$ .*

## 2.4 La valuación de un swap

Antes de abordar la forma específica como se valúa un swap de tasas de interés es necesario analizar los modelos de valuación de los derivados financieros en general y como estas técnicas se aplican en lo particular a las condiciones específicas que requiere la valuación del derivado swap en esta investigación.

Los modelos utilizados para valorar derivados pueden dividirse en dos grandes categorías: modelos numéricos y modelos analíticos. F. Marshall (2009) cada modelo posee ciertas características que le proporcionan ventajas y desventajas sobre otro, a continuación se expone una síntesis de cada uno empezando por los modelos numéricos y al final del capítulo se expondrá el modelo que sea mejor para los propósitos de esta investigación.

En general para determinar el valor de un producto derivado se necesita construir un portafolio que elimine los riesgos que presenta el producto derivado en cuestión. En particular, se requiere que el portafolio de cobertura replique el mismo patrón de rendimiento del producto derivado, de tal suerte que desde el punto de vista del inversionista, las dos alternativas sean exactamente las mismas (Salih N. Neftci 1999).

Por este motivo es de suma importancia el concepto de arbitraje revisado con amplitud en el subinciso anterior, para una correcta valuación del derivado es necesaria la condición de no arbitraje expresada como,

$$n_0(0)B(0) + \sum_{j=1}^K n_j(0)P(0, \tau_j) = 0 \quad K = 1, 2, \dots, \tau$$

Donde  $n(0)$  es el número de unidades de una cuenta bancaria B que se posee en el

tiempo  $t$ ,  $\sum_{j=1}^K n_j(0)$  es el número de unidades de  $j$ th bonos cupón cero comprados en el tiempo  $t$  y donde  $P(0, \tau_j)$  es el valor de un bono cupón cero.

Otra condición necesaria para este método es una curva estocástica de la tasas de interés, en donde la curva empieza en  $r(0)$ , y se mueve hacia “arriba”  $r(1;u)$  en el tiempo 1 con probabilidad  $q_0 > 0$  y hacia “abajo”  $r(1;d)$  con probabilidad  $1 - q_0 > 0$ , se define genéricamente el estado del tiempo  $s_t$  así  $s_1 \in \{u, d\}$ . El proceso de tasa de interés continúa de esta manera y se representa en el siguiente diagrama

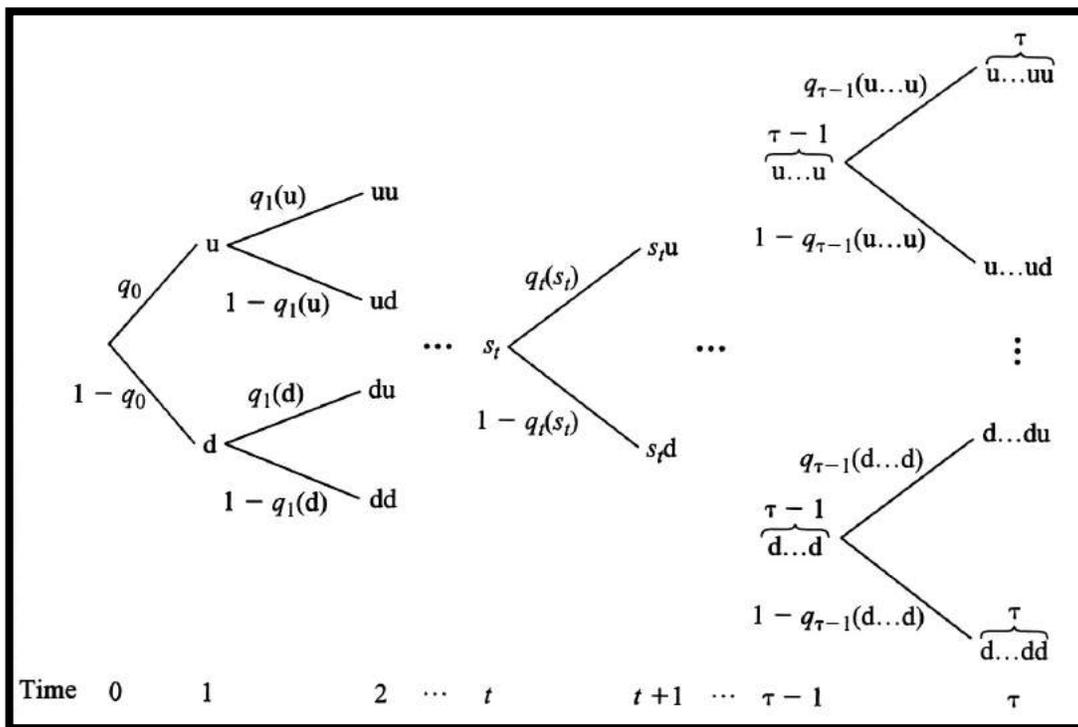


Diagrama 3. Diagrama de árbol con un solo factor

Fuente: Jarrow A. Robert. Modelling Fixed Income Securities and Interest Rate Options

La curva estocástica de tasas de interés se puede resumir de la siguiente forma,

$$r(t + 1; s_t + 1) = \begin{cases} u(t + 1, t + 2; s_t u) & \text{con probabilidad } q_t(s_t) > 0 \\ d(t + 1, t + 2; s_t d) & \text{con probabilidad } 1 - q_t(s_t) > 0 \end{cases}$$

Con estos elementos y retomando el concepto de una probabilidad neutral al riesgo  $E_Q[\Delta S_n^*]$ , se puede realizar la valuación neutral al riesgo de un activo contingente  $x(\tau_1 - 1; s_{\tau-1})$  con fecha de vencimiento  $\tau - 1$ . En la forma libre de arbitraje.

$$x(0) = n_0 + n_1(0)P(0, \tau_1)$$

Usando las probabilidades neutrales al riesgo, se puede reescribir esta expresión en una forma alternativa pero equivalente.

$$x(0) = E_0^* \left( \frac{x(\tau_1 - 1; s_{\tau-1})}{B(\tau_1 - 1; s_{\tau-1})} \right)$$

La ecuación muestra el valor de un activo contingente en el tiempo  $\tau - 1$ .

Sin embargo para valuar un derivado y en particular un swap es necesario el desarrollo del proceso de valuación de un bono cuponado.

Se define un bono cuponado como una secuencia de flujos de efectivo  $C_1, C_2, \dots, C_T$  en el tiempo  $0 \leq 1 \leq 2 \leq \dots \leq T \leq \tau$ . Usualmente, el momento  $T - 1$  representa el primer cupón, y el último pago, en el tiempo  $T$ , representa el pago del último cupón más el principal (Robert A. Jarrow 1996).

Usando la valuación neutral al riesgo, y el supuesto de no arbitraje en este bono en el tiempo  $t$  del estado  $s_t$ , indicado por  $\mathfrak{B}(t; s_t)$  es.

$$\mathfrak{B}(t; s_t) = \sum_{i=t+1}^T E_t^* \left( \frac{C_i}{B(i, s_{i-1})} \right) B(t; s_{t-1})$$

La sumatoria inicia en  $t + 1$ , que es el primer pago de cupón que ocurre después del tiempo  $t$ . Por construcción, el precio del bono cuponado,  $\mathfrak{B}(t; s_t)$  representa el valor presente de todos los flujos de efectivo.

Para valuar un swap de tasas de interés, se definen primero los flujos de efectivo que son pagados por ambas partes, la parte corta pagando una tasa flotante y la parte larga una tasa fija más el pago de una prima. Se definen los flujos a tasa flotante por la expresión

$V_r(t; s_t)$ , cuyo valor es expresado.

$$V_r(t; s_t) = E_t^* \left( \sum_{j=1}^{T-1} \frac{r(j; s_j) - 1}{B(j+1; s_t)} \right) B(t; s_t) + E_t^* \left( \frac{1}{B(T; s_{T-1})} \right) B(t; s_t)$$

En el caso de un préstamo a tasa fija es equivalente a el préstamo de bono cuponado  $\mathfrak{B}(0)$ , en donde el ultimo pago  $C_t$ , representa un pago de intereses  $C$  más el principal  $L$ , se representa el valor del préstamo a tasa fija en el tiempo  $t$  dado el estado  $s_t$  por  $V_c(t; s_t)$ , usando la valuación neutral al riesgo se tiene,

$$V_c(t; s_t) = E_t^* \left( \sum_{j=1}^{T-1} \frac{C}{B(j+1; s_j)} \right) B(t; s_{t-1}) + E_t^* \left( \frac{L}{B(T; s_{T-1})} \right) B(t; s_{t-1})$$

La diferencia entre préstamos a tasa fija y a tasa flotante es que el primero tiene un valor de mercado unitario en cada fecha, pero con pagos de intereses aleatorios  $r(t; s_t)-1$ . En contraste, el préstamo a tasa fija tiene un valor de mercado cambiante, pero pagos de tasas de interés fijos  $C$ . Así estos dos tipos de préstamos muestran riesgos opuestos y simétricos (Robert A. Jarrow 1996).

Con todos los elementos ya reunidos se puede definir la valuación de un swap de tasas de interés. Si se considera a un inversionista que tiene un préstamo a tasa fija con un principal de  $L$  dólares y una fecha de maduración  $T$ . El pago de efectivo a cada fecha intermedia  $t$  es  $C$ . El monto nominal es pagado en el tiempo  $T$  y es  $L$  dólares. El inversionista quiere intercambiar este préstamo por uno a tasa flotante con el mismo monto nominal  $L$ , y misma fecha de maduración  $T$  pero con pagos en la tasa de interés de  $L(r(t-1; s_{t-1}) - 1)$ . El valor del swap en el periodo  $t$  es  $S(t; s_t)$  calculado a valor presente usando las probabilidades neutrales al riesgo.

$$S(t; s_t) = E_t^* \left( \sum_{j=t}^{T-1} \frac{C - (r(j; s_j) - 1)L}{B(j+1; s_j)} \right) B(t; s_{t-1})$$

La ecuación muestra que el valor del swap en el tiempo 0 es igual al valor esperado

de los flujos descontados de los pagos de la tasa fija y variable.

En el caso de los métodos de valuación analíticos, se puede expresar el valor libre de arbitraje de un derivado como una función de algún seguro “base”, y obtener un conjunto de fórmulas que pueden ser usadas para valorar el activo sin tener en consideración alguna relación con alguna otra variable.

Primero se construye un portafolio libre de arbitraje, y después se obtiene una ecuación diferencial parcial (PDE), el problema de esta ecuación es encontrar una función  $F(S_t, t)$  que relacione el precio del derivado  $S_t$ , con el del activo subyacente y con la posibilidad de algún otro factor de riesgo en el mercado.

El ejemplo clásico de un modelo de valuación analítico es la ecuación diferencial de Black y Scholes usada para valorar opciones. El desarrollo de esta ecuación se vio en el apartado anterior llegando a una serie de ecuaciones cuyo resultado es el precio de una opción.  $C(S, T - t) = SN(d_1) - Xe^{-r(T-t)}N(d_2)$  (Silah N. Neftci 1999).

Entre las ventajas de este modelo es que permiten una rápida y precisa valuación del derivado. Sin embargo entre sus desventajas esta la inflexibilidad esto es que, solo pueden ser aplicados en situaciones donde los supuestos usados para construir el modelo se mantengan.

Otro problema que representa este método en esta investigación se debe a que la función  $F(S_t, t)$  requiere una dependencia entre el precio del derivado y el activo subyacente es decir que el valor del derivado se vea afectado por el movimiento en el precio del subyacente. En el caso particular de los swaps el valor no se ve afectado por movimientos en el principal ya que se mantiene invariable a lo largo de la vida del derivado.

Por tal motivo en esta investigación se hace uso de un método analítico, entre los métodos disponibles que se ajustan a la valuación de derivados de tasas de interés se encuentran los modelos; Cox-Ingersoll-Ross, Vasicek, de mercado Libor, Heath Jarrow Morton (HJM), Hull-White, entre otros.

Se puede aseverar que tanto el modelo Cox Ingersoll Ross y el modelo Vasicek describen la evolución de las tasas de interés guiados por una sola fuente de riesgo de mercado es decir por un solo factor, mientras que el modelo de mercado libor y el modelo HJM, permiten la introducción de mas factores. En el caso del modelo de mercado Libor las cantidades que se modelan, son un conjunto de tasas a plazo, que tienen la ventaja de estar directamente relacionadas a las de mercado, y cuyas volatilidades están naturalmente vinculadas a los contratos negociados, cada tasa se modela mediante un proceso de distribución normal (Nekrasov, Vasily 2010).

Por otro lado el modelo HJM describe un marco alternativo para el modelado de la estructura temporal de tasas de interés, bajo el supuesto de una medida neutral al riesgo, se deriva una fórmula generalizada para la tendencia de los tipos de tasas futuras en términos de sus volatilidades. Uno de las ventajas fundamentales de este marco es que el modelo HJM está completamente definido, especificando las volatilidades de tipos forwards (Frey, Roman 2008), por tal motivo se hace uso de este modelo y se desarrolla en el capítulo cuatro.

## **CAPÍTULO 3. Funcionamiento de los swaps en el mercado de derivados**

### **3.1 Mercados organizados y mercados OTC**

Los derivados se negocian tanto en mercados organizados o en mercados extrabursátiles (OTC), por sus siglas en inglés *over the counter*. Las diferencias entre mercados organizados y mercados OTC no se limitan a donde se negocian, sino también cómo.

En los mercados organizados, los contratos de derivados están estandarizados con entrega o términos específicos. En los mercados regulados se informan públicamente de las operaciones y se cuenta con una cámara de compensación. La cámara de compensación<sup>25</sup> estará obligada a cumplir el contrato en caso de insolvencia del vendedor. La solvencia de la cámara de compensación está protegida por todas las posiciones que marca para comercializar todos los días a través de un sistema de márgenes.

Por el contrario, operaciones de derivados en mercados no organizados OTC son de naturaleza bilateral. Todos los términos del contrato, tales como la cantidad, lugar, fecha de entrega y los precios son negociables entre las dos partes. Las transacciones se pueden arreglar por diversos medios de comunicación. Los precios no son reportados públicamente.

Las diferentes características de los dos tipos de mercados significan que se complementan entre sí para proporcionar una plataforma de comercio para adaptarse a diferentes necesidades de negocio (Nystedt 2004). Por una parte, los mercados de derivados negociados en bolsa tienen una mejor transparencia de los precios que los mercados OTC. Los riesgos de las contrapartes también son más pequeños en los mercados organizados, ya que cuentan con la cámara de compensación. Por otro lado, la flexibilidad de los mercados

---

<sup>25</sup> Asigna, es la Cámara de Compensación y Liquidación del Mercado Mexicano de Derivados (MexDer), su función central es ser la contraparte y por tanto garante de todas las obligaciones financieras que se derivan de la operación de los contratos negociados.

OTC significa que se adaptan mejor a las necesidades del inversionista. En este contexto, los mercados OTC desempeñan el papel como incubadora de nuevos productos financieros.

El tamaño de ambos mercados, organizados y OTC ha crecido considerablemente desde el año 2000. La tendencia fue interrumpida brevemente por la crisis financiera supprime. Sin embargo, los importes nominales en circulación en los mercados han vuelto a incrementarse (figura 6). Operaciones en América del Norte y Europa siguen siendo dominantes, representan el 90% del total del mercado. El total del importe nominal de los mercados OTC es mayor que en los mercados organizados, en ambos mercados los contratos sobre tasas de interés son los instrumentos más comunes.

Cabe señalar que la cantidad nominal es sólo una medida imperfecta del tamaño de los mercados derivados (ISDA 2008). El nominal es el valor del subyacente en torno al cual la transacción se estructura. Es fácil de obtener y entender. Sin embargo, no representa la cantidad real intercambiada en operaciones de derivados. Esto significa que el monto nominal sobrepasa por un amplio margen el nivel de actividad del mercado.

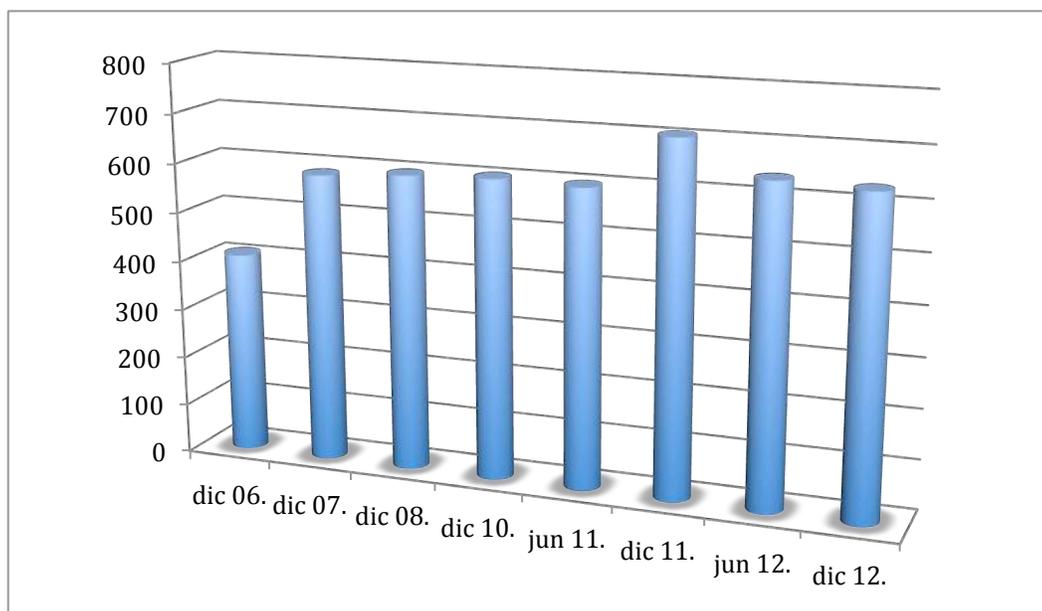


Figura 6. Valor global de derivados OTC en billones de USD

Fuente. Bank for International Settlements

### **3.2 Estructura del Mercado de Derivados Mexicano**

Los mercados de contratos de derivados se establecen con el fin de coadyuvar al fortalecimiento del sistema financiero, incrementando la competitividad de los participantes al ofrecer contratos de derivados que faciliten la medición y control de riesgos, así como la diversificación de posiciones y estrategias de participación.

El MexDer es una institución autorregulada que funciona bajo la supervisión del Banco de México (BANXICO), la Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV) y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).

El MexDer, surge como respuesta a la necesidad de contar con un mercado organizado que administre riesgos financieros tales como acciones, tipos de cambio, tasas de interés, de intercambio o de equilibrio entre otros. La estructura y funciones de la Bolsa de Derivados, su Cámara de Compensación (Asigna), los Socios Liquidadores Operadores y Formadores que participan en la negociación de contratos de futuros y opciones están definidas en las reglas y en las disposiciones de carácter prudencial emitidas por las autoridades financieras para regular la organización y actividades de los participantes en el mercado de derivados.

El MexDer está integrado por los participantes que son: personas físicas nacionales o extranjeras, personas morales nacionales o extranjeras. Quienes requieren: asegurar precios de sus activos financieros, neutralizar riesgos, protegerse contra fluctuaciones de mercado.

Quienes forman el mercado de derivados son: la bolsa de derivados financieros MexDer, que es donde se realizan las operaciones, la cámara de compensación (ASIGNA) que es el fideicomiso de administración y pago, los socios liquidadores fideicomisos que participan como accionistas del MexDer y también aportan el patrimonio de ASIGNA. Tienen como objetivo liquidar y en su caso celebrar por cuenta de clientes contratos de futuros y de opciones. Un ejemplo de esto son fideicomisos de casas de bolsas e instituciones bancarias por último los operadores, que son personas morales y físicas facultadas para operar contratos en calidad de comisionistas de uno o más socios liquidadores. (ASIGNA, compensación y liquidación)

El MexDer está encargado de vigilar y regular a sus operadores y a ASIGNA, los operadores tendrán a sus operadores de mesa (ejecutivos que acuerdan las operaciones) como empleados mientras que ASIGNA está encargada de vigilar y regular a sus socios liquidadores (encargados de pagar y cobrar las diferencias de precio).

Entre las autoridades esta la Comisión Nacional Bancaria y de Valores que supervisa al MexDer y aprueba las reglas que emita, contando con la facultad discrecional de regular e inspeccionar todo el mercado. También el Banco de México y la Secretaria de Hacienda y Crédito Público, son autoridades financieras.

A continuación se esquematiza la estructura del MexDer.

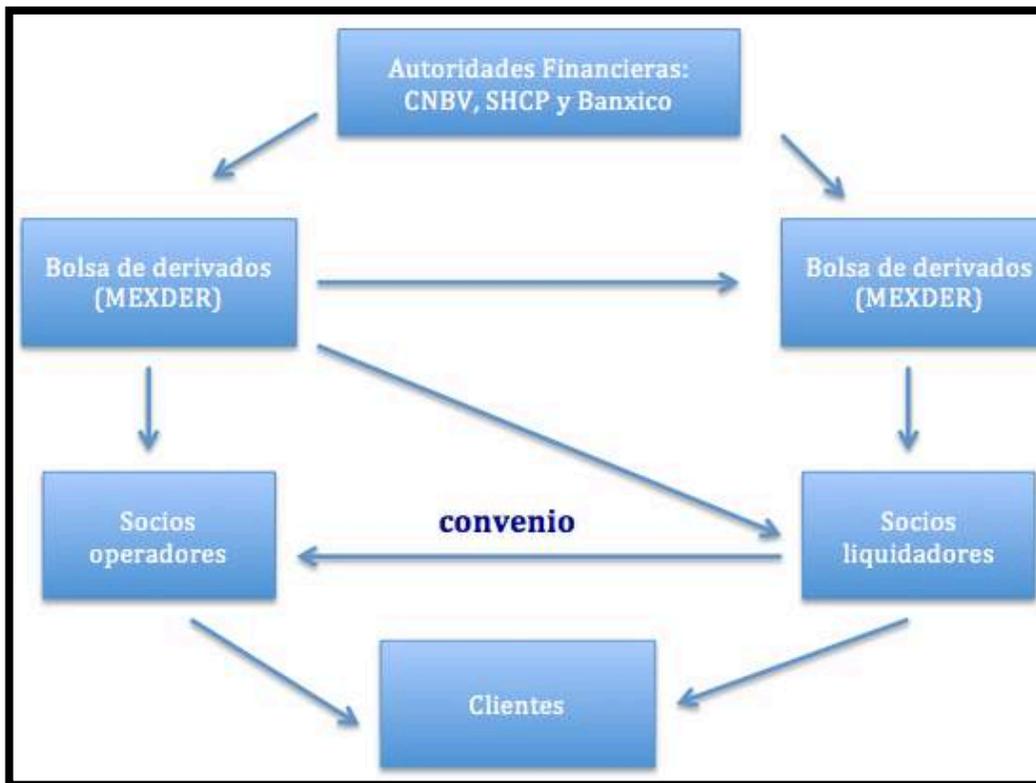


Diagrama 4. Estructura del Mercado Mexicano de Derivados (MexDer)

Respecto a los intermediarios existe un socio operador y un socio liquidador por cuenta de terceros, es decir con alguno de los intermediarios acreditados, estos se encargan de proporcionar información acerca de lo que son los productos derivados, así como

propuestas de negociaciones claras y con niveles de riesgo tolerables con base a las condiciones, necesidades y expectativas que se requieren.

En el mercado mexicano de derivados se encuentran listados contratos de futuros sobre los siguientes instrumentos:

Nombre	Símbolo o clave de pizarra
DIVISAS	Dólar de los Estados Unidos de América (DEUA) y EURO
ÍNDICES	Índice de Precios y Cotizaciones de la BMV (IPC)
DEUDA	Cetes a 91 días (CE91), TIIE a 28 días (TE28), Swap de TIIE a 10 y 2 años (SW10 y SW02), Swaps de TIIE a 10 y 2 años (Liquidación en Especie), Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal a 3,5,10,20 Y 30 años (M3, M5, M10, M20 y M30), UDI.
ACCIONES	América Móvil L, Cemex CPO, Femsa UBD, GCarso A1, Telmex L y WALMEX V, BRTRAC 10 (BRT), ILCTRAC ISHRS (ILC), MEXTRAC (MEXT)

Adicionalmente, MexDer ofrece los contratos de Opción:

Nombre	Símbolo o clave de pizarra
DIVISAS	Dólar de los Estados Unidos de América
INDICES	Opciones sobre Futuros del Índice de Precios y Cotizaciones de la BMV (IPC)
ACCIONES	América Móvil (AX), Cemex CPO (CX), Televisa CPO (TV), GMéxico B (GM), Telmex L (TX), Walmex V (WA) y Nafrac 02 (NA), BRTRAC 10 (BR)

Fuente: MexDer

### 3.3 Regulación del mercado de derivados

El marco regulatorio en el mercado de derivados es motivado a partir de las siguientes necesidades:

Cobertura de riesgos que es el mecanismo que permiten al mercado de derivados segmentar el riesgo, reduciendo los eventos de crisis que puedan ocurrir en el sistema económico. Libre formación de precios, es un sistema económico donde los precios son establecidos por el intercambio de la oferta y la demanda, en donde los precios que resultan

pueden ser entendidos como señales de comunicación entre productores y consumidores, que sirven para orientar el mercado. Evitar monopolios este fenómeno merma la competitividad del mercado por lo cual evitar este tipo de prácticas es una condición necesaria para el mercado libre. Ninguna persona o intermediario financiero podrá negociar contratos que rebasen los límites autorizados que fijen las autoridades financieras. Información completa, todos los inversionistas se supone deben disponer de la misma información sobre los precios y las cantidades ofertadas y comerciadas, condición necesaria para una mayor transparencia del mercado. (Baldwing y Cave, 1999)

Las autoridades financieras encargadas de expedir reglamentos para el mercado de derivados organizado en México son: La Secretaria de Hacienda y Crédito Público, La Comisión Nacional Bancaria y de Valores, El Banco de México.

El 31 de diciembre de 1996, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, la Comisión Nacional Bancaria y de Valores y el Banco de México emitieron el "Reglamento para las sociedades y fideicomisos participantes del mercado de contratos de derivados listados en bolsa." En resumen, establecen:

Los requisitos y procedimientos de constitución de la bolsa de derivados, cámara de compensación, socios liquidadores y operadores. Dependiendo del intermediario financiero que pretende constituirse, los requisitos de constitución pueden ser: Proyectos de reglamentos; proyectos de contratos con otros intermediarios; programas de auditoría y supervisión; red de seguridad; manuales de políticas y procedimientos, entre otros requisitos.

El capital o patrimonio mínimo. Integración del capital social de la Bolsa de Derivados o del patrimonio de la cámara de compensación y socios liquidadores, así como, el capital de los operadores.

Los criterios para la negociación de contratos de derivados en bolsas de mercados de derivados del exterior. Procedimiento para reconocer mercados que no sean miembros de OISCO [Organización Internacional de Comisiones de Valores].

Las obligaciones de la bolsa de derivados, cámara de compensación, socios liquidadores y operadores, sistemas electrónicos, contables u otros mecanismos de seguridad. Las clases de socios liquidadores y operadores. Las reglas clasifican a los socios liquidadores y operadores en relación al patrimonio o capital y, las actividades desempeñadas.

También incluya las aportaciones por posiciones abiertas. Aportaciones y liquidaciones que deben trasladar los clientes a los socios liquidadores y operadores además de las facultades de las autoridades del sistema financiero.

El 31 de mayo de 1997, con el fin de preservar la liquidez, solvencia y estabilidad del mercado de futuros y opciones, la Comisión Nacional Bancaria y de Valores emitió las "Disposiciones de carácter prudencial a las que se sujetaran en sus operaciones los participantes del mercado de contratos de derivados listados en bolsa". En resumen, establecen:

Las funciones de autorregulación de la bolsa de derivados y cámara de compensación. Por funciones se entiende la función de: normar, supervisar y sancionar incluye al gobierno corporativo órganos o comités de la bolsa y cámara de compensación.

Integra a los órganos corporativos. Composición del consejo de administración de la bolsa, comité técnico de la cámara de compensación y demás comités operativos o autorregulación. Así como, los requisitos que deben satisfacer los integrantes de éstos y el contralor normativo.

Establece las funciones de los órganos corporativos. Funciones asignadas al consejo de administración, comité técnico y contralor normativo. En cuanto a los sistemas electrónicos de negociación y, compensación y liquidación observa las características mínimas de los sistemas de negociación, compensación y liquidación, de acuerdo a la finalidad del intermediario.

Implanta los sistemas de supervisión y las características mínimas que deben cumplir los Sistemas de información, monitoreo o revisión de actividades, valuación de liquidez,

red de seguridad y administración de riesgos.

Las disposiciones de carácter prudencial han sido modificadas por resoluciones de fecha 31 de diciembre del 2000, 13 de diciembre de 2001, 22 de noviembre de 2001 y 4 de enero de 2005.

Estas reglas fueron elaboradas por el Banxico, aunque, la CNBV las publicó en el Diario Oficial de la Federación el 14 de abril de 1999, donde Banxico extienden los activos subyacentes de los contratos de derivados que pueden ofrecer las casas de bolsa y, simplifican la autorización de Banxico para que estas puedan ofrecer los contratos de derivados, en resumen:

Extienden la gama de operaciones de derivados que pueden ofrecer las casas de bolsa, reconoce a mercados extranjeros para efectuar negociaciones análogas, autorización de Banxico y la CNBV para celebrar contratos y autorizar la negociación de activos subyacentes.

Las Reglas de Banxico han sido modificadas en múltiples ocasiones. La última modificación se realizó mediante la circular 32/2010 publicada el 21 de octubre de 2010 en el diario oficial de la federación. Esta última circular de Banxico extiende los activos subyacentes listados a materias primas como el oro, plata, maíz amarillo, trigo, soya, azúcar, carne de puerco, gas natural, etc.

El régimen jurídico aplicable al mercado de derivados tiene dos propósitos sustanciales: La protección del inversionista. El marco regulatorio asegura que los contratos se negocien limpia, equitativa, efectiva y ordenadamente, con la finalidad de que ningún factor ajeno al mercado afecte el precio y cumplimiento de los contratos; fondos y aportaciones.

Protección del mercado de derivados. La principal ventaja de la autorregulación sería poner las decisiones de regulación del mercado de capitales en las manos de quienes mejor conocen su funcionamiento, sus necesidades, fortalezas y debilidades no obstante pueden surgir excesos o abusos ante esto, surge la necesidad de reforzar el mercado con un marco

regulatorio cuya finalidad sea evitar que el mercado sea dañado. De esta forma, la regulación es partícipe de la “eficiencia” del mercado, complementa aquello en que los mecanismos naturales del mercado son insuficientes.

### 3.4 Condiciones Generales de Contratación.

En este subinciso se muestra la forma en como el MexDer negocia un swap de tasas de interés cuyo activo subyacente es el intercambio de flujos de dinero provenientes de la comparación entre la tasa de interés nominal fija a 28 días a la que se celebran las operaciones en el mercado (tasa fija) y las tasas de interés nominales variables a 28 días (TIIE28), calculadas por el Banxico (tasa variable), cada contrato de swap de TIIE ampara un valor nominal de Un millón de pesos MXN.

Para los contratos swaps no existen series y son identificados con un símbolo o clave de pizarra que se integra por hasta tres caracteres numéricos que indican la cantidad de liquidaciones periódicas que tiene el contrato swap (cupones), seguidos por los caracteres X1 como lo muestra la siguiente figura.

Clave de Pizarra	Plazo al vencimiento (días)	Interés abierto
<b>3X1</b>	[ 1 , 84 ]	–
<b>6X1</b>	[85, 168]	–
<b>9X1</b>	[ 169,252]	–
<b>13X1</b>	[ 253 , 364 ]	–
<b>26X1</b>	[ 365 , 728 ]	3,844
<b>39X1</b>	[729, 1092]	–
<b>52X1</b>	[193,1456]	–
<b>65X1</b>	[1457,1820]	–
<b>91X1</b>	[1821 ,2548]	–
<b>130X1</b>	[ 2549 , 3640 ]	3,324
<b>195X1</b>	[ 3641 , 5460 ]	–
<b>260X1</b>	[ 5461 , 7280]	–
<b>Total</b>		7,168

Figura 7. Swaps representación clave en pizarra (9/10/2013)  
Fuente: MexDer

La celebración de contratos de swap de TIIIE en MexDer tiene como unidad de cotización la tasa de interés nominal fija expresada en puntos porcentuales con dos decimales, con base en la cual, se calculan las liquidaciones periódicas.

*Puja por contrato de swap.* La presentación de posturas para la celebración de contratos de swap de TIIIE tiene como fluctuación mínima de la tasa un valor de un punto base (0.01), para el cálculo del valor de la puja se utiliza la siguiente fórmula,

$$Vp = VN \left( .0001 * \frac{28}{360} \right) * \left[ \frac{1 - \left( 1 + r * \frac{28}{360} \right)^{-n}}{r * \frac{28}{360}} \right]$$

En donde:

Vp = valor de la puja, VN = valor nominal, r = tasa de interés nominal fija, n = número de liquidaciones periódicas

Medios de negociación. La celebración del contrato de Swap de TIIIE será mediante procedimientos electrónicos a través del sistema electrónico de negociación de MexDer, de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos en su reglamento, sin perjuicio de la facultad de MexDer de establecer alguna mecánica distinta.

Las instituciones de crédito y casas de bolsa que operen como formadores de mercado o al amparo de los términos y condiciones de liquidez pueden solicitar el servicio de operación vía telefónica, a través del cual pueden dictar instrucciones al personal del área de operaciones de MexDer para introducir, retirar, modificar y cerrar posturas.

El horario de negociación de los Contratos de Swap de TIIIE será de las 7:30 horas a las 14:00 horas tiempo de la Ciudad de México, Distrito Federal. La tasa de valuación a mercado es publicada por MexDer al cierre de cada sesión de negociación y permite la negociación de Swaps, mediante la presentación de posturas en firme a la tasa de valuación a mercado por parte de los socios liquidadores y operadores de MexDer. El periodo en el que MexDer recibe posturas en firme para negociar a la tasa de valuación a mercado es de 14:45 a las 15:15horas.

En cada fecha de liquidación periódica los socios liquidadores y operadores, a cupón

vencido, efectúan la liquidación a favor o en contra que resulte de comparar la tasa fija y la tasa variable que Banxico publique en el diario oficial de la federación en la fecha efectiva en caso de ser el primer cupón y en la fecha de liquidación periódica anterior en caso de los cupones subsecuentes conforme a la siguiente fórmula:

Liquidación Periódica =  $VN (if - iv) * d / 360$  para la posición Larga

Liquidación Periódica =  $VN (iv - if) * d / 360$  para la posición Corta

Dónde: VN = Valor Nominal, if = Tasa de Interés Nominal Fija., iv = Tasa de Interés Nominal Variable. d = días del cupón

Los socios liquidadores y asigna realizan diariamente la liquidación de sus obligaciones conforme lo establece el reglamento interior de asigna.

## CAPÍTULO 4. Modelo de valuación (swap de tasas de interés)

### 4.1 Especificación del modelo

En este capítulo se desarrolla un modelo de valuación para un swap de tasas de interés mediante el modelo HJM (Heath–Jarrow–Morton)<sup>26</sup>, con múltiples estructuras de tasas de interés y con una resolución mediante un programa de computación especializado en matrices Matlab.

A diferencia de la metodología utilizada en el MexDer que usa un solo factor de descuento y una sola curva de tasas futuras (ver anexo 4). El modelo HJM es un marco general que usa técnicas del cálculo estocástico para modelar la evolución de la curva de tipos de interés (forward rates), la clave de esta técnica es el reconocimiento de que las tendencias en la evolución de ciertas variables se pueden expresar como funciones de sus volatilidades y la correlación entre las mismas (Kwon, Kang, Chiarella, Carl 2007).

La elección de este modelo se debe a que en contraste con la mayoría de otras técnicas basadas en spot interés rates, el modelo HJM es condicionado por movimientos en tasas de interés futuras además del hecho de que admite estructuras flexibles de volatilidad en las tasas de interés,

Como ya se mencionó el modelo HJM caracteriza la dinámica entera de la curva futura de tasas de interés  $f(t, T)$ , donde  $0 \leq t \leq T \leq \tau$ . El origen de una aplicación correcta es la curva de rendimiento, la cual está basada en los datos de mercado. Esta curva se puede describir ya sea por un conjunto de bonos descontados  $P(0, T)$  o por las tasas de interés futuras  $f(t, T)$ . La tasa forward en el tiempo  $t$  es definida por,

---

<sup>26</sup> El modelo HJM procede de la obra de David Heath, Robert A. Jarrow y Andrew Morton en la década de 1980, en el artículo de investigación *precios de bonos y la estructura temporal de tasas de interés: una nueva metodología (1987)* documento de trabajo de la Universidad de Cornell.

$$f(t, T) = -\frac{\partial \ln P(t, T)}{\partial T} \quad (4.1)$$

Resolviendo esta ecuación diferencial, la relación entre tasas futuras, tasas spot y precio de bonos se vuelve evidente, la tasa spot  $r(t, T)$  y el precio de los bonos  $P(t, T)$ , es escrito en términos de las tasas futuras,  $f(t, T)$  como.

$$r(t, T) = \frac{1}{T-t} \int_t^T f(t, s) ds \quad (4.2)$$

y

$$P(t, T) = \exp\left(-\int_t^T f(t, s) ds\right) \quad (4.3)$$

Para todo  $T \in [0, \tau], t \in [0, T]$

Es importante destacar que la tasa spot en el tiempo  $t$ ,  $r(t)$ , es exactamente la misma que la tasa forward instantánea en el tiempo  $t$ , es decir  $r(t) = f(t, t)$ .

En el modelo HJM, la dinámica de la curva de tipos de interés futuros se especifica, conforme a una medida determinada, a través de una ecuación diferencial estocástica.

$$df(t, T) = \alpha(t, T, w)dt + \sigma(t, T, w)dW(t) \quad (4.4)$$

Donde  $w$  es un vector que contiene el valor pasado y presente de las tasas de interés así como los precios de los bonos en el tiempo  $t$  en el espacio muestral  $\Omega$ . El proceso  $W$  es un movimiento Browniano, donde  $d$  es el número de factores o curvas de volatilidad que describen las tasas futuras. Así el HJM puede ser construido como un modelo de un solo factor o multifactorial (Frey, Roman 2008).

Debido a la condición de no arbitraje, el precio de los activos debe ser una martingala<sup>27</sup> cuando se divide por el numerario, que en este caso es  $\exp\left(\int_0^t r(s)ds\right)$ . Sin embargo las tasas futuras y el precio de los activos no son lo mismo. Por lo tanto, las restricciones impuestas en la ecuación anterior, con el propósito de evitar cualquier oportunidad de arbitraje son diferentes. No obstante, el precio de los activos, particularmente bonos, sirve como punto de partida para esta restricción. Para asegurar que el valor descontado de un bono es una martingala positiva,  $P(t, T) \exp\left(-\int_0^t r(s)ds\right)$  se deriva de la forma,

$$\frac{dP(t, T)}{P(t, T)} = r(t)dt + v(t, T, w)dW(t) \quad (4.5)$$

donde  $0 \leq t \leq T \leq \tau$ . (Frey, Roman. 2008).

La volatilidad de los bonos  $v(t, T, w)$  también puede ser función del precio de los bonos o equivalente del precio de la tasa futura, la ecuación (4.1) indica que no hay correlación entre ambos. Aplicando el Lemma de Ito las volatilidades de tasas futuras pueden ser derivadas desde las volatilidades de los bonos por lo tanto se tiene,

$$\sigma(t, T, w) = \frac{\partial}{\partial T} v(t, T, w) \quad (4.6)$$

y

$$v(t, T, w) = -\int_t^T \sigma(t, s)ds + constante \quad (4.7)$$

Sin embargo  $P(t, T)$  se aproxima a 1 como  $t \rightarrow T$  y por lo tanto se tiene  $v(T, T, w) = 0$  porque la volatilidad del precio de los bonos declina a cero en el tiempo de maduración, así la ecuación (4.7) es cero lo que permite reescribir la expresión para  $\alpha$  como,

---

<sup>27</sup> Una martingala es un proceso estocástico para el cual un momento particular de una secuencia en la expectativa del siguiente valor es igual al valor presente observado incluso teniendo en cuenta el conocimiento de todos los valores anteriores.

$$\alpha(t, T, w) = \sigma(t, T, w) \int_t^T \sigma(t, s) ds = \sum_{i=1}^N \sigma_i(t, T, w) \int_t^T \sigma_i(t, s) ds. \quad (4.8)$$

Esta expresión representa la tendencia de probabilidad neutral al riesgo impuesta por la condición de no arbitraje. Esto conduce a una relación específica entre la volatilidad y la tendencia, llamada the drift of the dynamics (4.4) es completamente determinada por la estructura de la volatilidad de las tasas futuras. Así se conoce que el modelo HJM tiende a sí mismo en una función de volatilidades o bien tasas futuras

Sustituyendo la ecuación 4.8 en 4.4 se tiene.

$$df(t, T) = \left( \sigma(t, T, w) \int_t^T \sigma(t, s) ds \right) dt + \sigma(t, T, w) dW(t) \quad (4.9)$$

Esta ecuación diferencial estocástica define la dinámica de no arbitraje de la curva forward, bajo probabilidades neutras al riesgo. Derivando esta ecuación se obtiene la dinámica de la tasa futura o tasa forward  $f(t, T)$

$$f(t, T) = f(0, T) + \int_0^t \sigma(u, T, w) \int_u^T \sigma(u, s) ds du + \int_0^t \sigma(s, T, w) dW(s) \quad (4.10)$$

La cual está completamente determinada una vez que el vector volatilidad en la función  $\sigma$  es especificado. Desarrollando ahora la dinámica del precio de un bono cuponado se tiene  $P(t, T)$ ,

$$dP(t, T) = P(t, T) \left[ r(t) dt - \left( \int_t^T \sigma(t, s) ds \right) dW(t) \right] \quad (4.11)$$

Donde  $r(t)$  determina la tasa de interés spot en el tiempo  $t$ . La dinámica de esta tasa está dada por,

$$r(t) = f(t, t) = f(0, t) + \int_0^t \sigma(u, t, w) \int_u^t \sigma(u, s) ds du + \int_0^t \sigma(s, t, w) dW(s). \quad (4.12)$$

(Frey, Roman 2008).

Las tres últimas ecuaciones permiten determinar la tasa forward, el precio de un bono cuponado y la tasa spot, derivadas de la ecuación (4.4) la cual será adaptada a un swap de tasas de interés.

#### Discretización del modelo HJM

Con la excepción de unas pocas estructuras de volatilidad, el HJM modelo no produce soluciones cerradas para la valuación y medida de riesgo de instrumentos. Por lo tanto, los métodos numéricos son normalmente requeridos. Aquí es donde se hace necesaria la discretización del modelo para su uso en un árbol binomial. A este nivel es necesario enfocarse exclusivamente en la versión de un solo factor, por lo tanto, se tiene el proceso estocástico de una tasa futura.

$$df(t, T) = \alpha(t, T)dt + \sigma(t, T)dW(t)$$

Donde la restricción de arbitraje es

$$\alpha(t, T) = \sigma(t, T) \int_t^T \sigma(t, T)dv$$

A partir de esta ecuación se elabora el proceso de discretización del modelo (ver anexo 5) que resulta en la ecuación,

$$\alpha(t, T) = \sigma(t, T) \sum_{i=t+1}^T \sigma(t, i) - \sigma^2(t, T)/2$$

(Grant, D. And G. Vora. 1999)

Este valor puede ser computado desde la covarianza de una matriz de tasas forward.

#### 4.2 Estimación del modelo de un swap de tasas de interés.

En la estimación de un swap de tasas de interés se hace uso del modelo HJM y es computado con ayuda del software de análisis matemático especializado en matrices MATLAB, las variables necesarias para la valuación del instrumento son; el monto nominal de 1,000,000 MXN, el periodo  $t = 2$  años, la tasa de interés  $r = 4\%$ , la tasa de la

parte flotante es la tasa TIIIE, la parte fija tiene que pagar la tasa de interés  $r$  más un spread de 20 puntos base.

Para el cálculo de las volatilidades se toman como tasas de referencia la tasa TIIIE y la tasa de los CETES, para el periodo se hace el cálculo de las volatilidades y se obtiene el valor de 0.2405 para la tasa TIIIE y de 0.2316 para la tasa de los CETES.

El modelo HJM hace necesaria la creación de un árbol binomial que represente las probabilidades en los movimientos de las tasas de interés, para la formación de esta estructura por medio del software se introduce la siguiente sintaxis.

`HJMTree = hjmtree (VolSpec, RateSpec, TimeSpec)`

Donde los parámetros, VolSpec, RateSpec, TimeSpec representan la volatilidad, la estructura de las tasas de interés y la estructura temporal, cada una de ellas teniendo que ser estructurada por separado.

Empezando por la especificación de las volatilidades se tiene,

`Sigma_0 = 0.240568238`

`Lambda = 1`

`VolSpec = hjmvolspec('Exponential', Sigma_0, Lambda, 'Constant', 0.2316)`

Por medio de esta expresión se especifica una volatilidad de 2 factores, lo que el software expresa como,

Field	Value	Min	Max
FinObj	'HJMVolSpec'		
FactorModels	<1x2 cell>		
FactorArgs	<1x2 cell>		
SigmaShift	0	0	0
NumFactors	2	2	2
NumBranch	3	3	3
PBranch	[0.2500 0.2500 0.5000]	0.2500	0.5000
Fact2Branch	[-1 -1 1;-1.4142 1.4142 0]	-1.4142	1.4142

El siguiente paso es la creación de la estructura de las tasas de interés,

```

Rates = [.04; .04;.04;.04]
Compounding = 2
StartDates = '01-Jan-2013'
EndDates = ['01-Jun-2013';'01-Jan-2014';'01-Jun-2014';'01-Jan-2015']
ValuationDate = '01-Jan-2013'
RateSpec = intenvset('Compounding',1,'Rates', Rates, 'StartDates', StartDates, 'EndDates',
EndDates, 'ValuationDate', ValuationDate)

```

Con estos comandos lo que se especifica son los tiempos en los que se pagan los cupones en este caso es dos veces por año, con una fecha de inicio para el primero de enero del 2013 y una fecha de maduración en Enero del 2015, y a una tasa del 6% lo que el software expresa como,

Field	Value	Min	Max
FinObj	'RateSpec'		
Compounding	2	2	2
Disc	[0.9758;0.9426;0.9198;0.8885]	0.8885	0.9758
Rates	[0.0600;0.0600;0.0600;0.0600]	0.0600	0.0600
EndTimes	[0.8297;2;2.8297;4]	0.8297	4
StartTimes	[0;0;0;0]	0	0
EndDates	[735386;735600;735751;735...]	735386	735965
StartDates	735235	735235	735235
ValuationDate	735235	735235	735235
Basis	0	0	0
EndMonthRule	1	1	1

Para finalizar la formación del árbol binomial se crea una estructura temporal (Term Structure) que especifica el inicio y final del periodo del contrato y el los lapsos de los cupones.

```

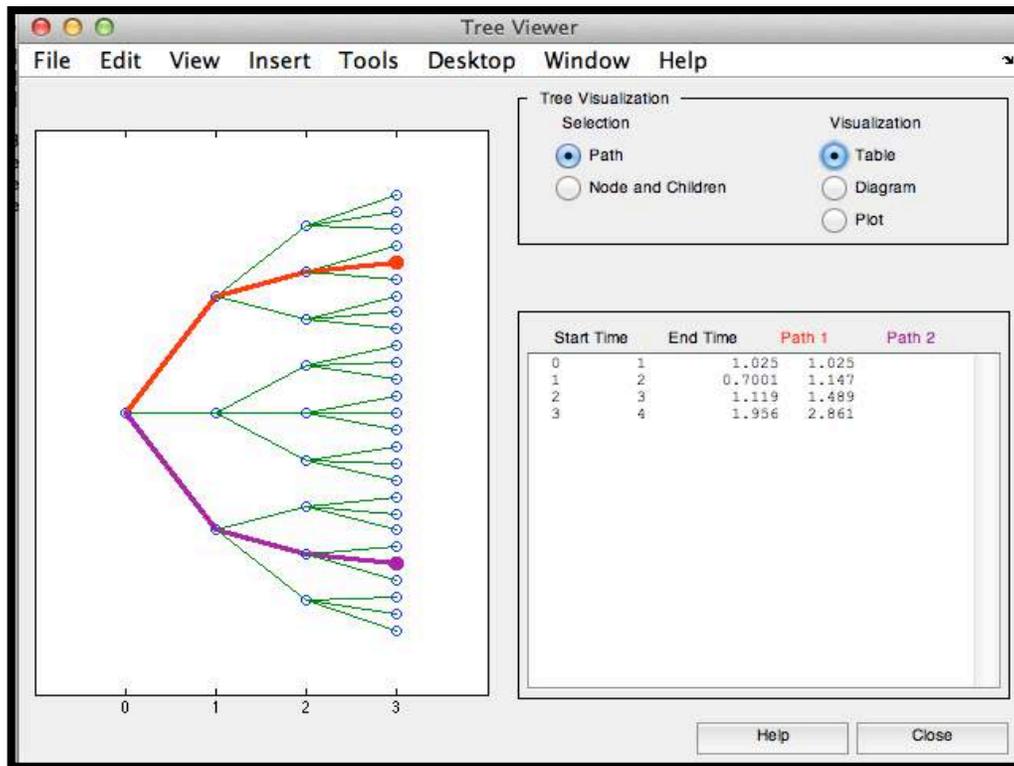
Maturity = EndDates
TimeSpec = hjmtimespec(ValuationDate, Maturity, Compounding)

```

Field	Value	Min	Max
FinObj	'HJMTimeSpec'		
ValuationDate	735235	735235	735235
Maturity	[735386;735600;735...]	735386	735965
Compounding	2	2	2
Basis	0	0	0
EndMonthRule	1	1	1

Con todas estas variables ya especificadas se crea el árbol binomial (HJM Tree), con el comando, `HJMTree = hjmtree(VolSpec, RateSpec, TimeSpec)`

En este árbol binomial podemos ver la probabilidad de ocurrencia en cada periodo de la vida del swap.

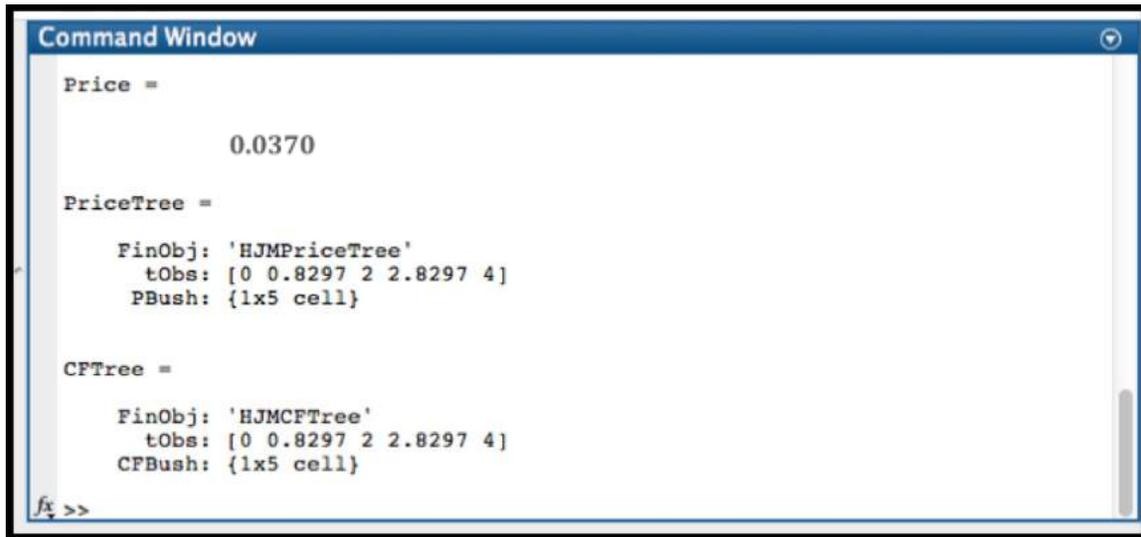


Ahora queda calcular el valor del swap el cual sería especificado de la siguiente manera,

```
Settle = '01-Jan-2013'
Maturity = '01-Jan-2015'
Basis = 0
Principal = 100
LegRate = [0.06 20]
LegType = [1 0]
LegReset = [1 2]
[Price, PriceTree, CFTree] = swapbyhjm(HJMTree, LegRate,...
Settle, Maturity, LegReset, Basis, Principal, LegType)
```

Donde `LegRate = [0.06 20]` expresa el valor de la tasa fija más el spread, `LegType = [1 0]` expresa los pagos fijos y flotantes y `LegReset = [1 2]` hace referencia a la frecuencia de los cupones en términos anuales.

El resultado que nos arroja el modelo es



```
Command Window

Price =

    0.0370

PriceTree =

    FinObj: 'HJMPriceTree'
    tObs: [0 0.8297 2 2.8297 4]
    PBush: {1x5 cell}

CFTree =

    FinObj: 'HJMCFTree'
    tObs: [0 0.8297 2 2.8297 4]
    CFBush: {1x5 cell}

fx >>
```

Price = 0.0370

Lo que significa que el valor del swap al final del periodo tiene un intercambio de flujos de efectivo que resulta en una ganancia del 3.7%, el software también nos muestra el árbol binomial del swap con el valor del contrato en cada rama.

Ahora se puede calcular el valor de la tasa swap, la cual es el cupón que tendría que pagar la parte fija para que el valor del swap al final del periodo sea cero, se especifica de la siguiente forma,

```
LegRate = [NaN 20]
[Price, PriceTree, CFTree, SwapRate] = swapbyhjm(HJMTree,...
LegRate, Settle, Maturity, LegReset, Basis, Principal, LegType)
treeviewer(CFTree)
```

```

Command Window

Price =

    0

PriceTree =

    FinObj: 'HJMPriceTree'
    tObs: [0 0.8297 2 2.8297 4]
    PBush: {[0] [1x1x3 double] [1x3x3 double] [1x9x3 double] [1x27 double]}

CFTree =

    FinObj: 'HJMCFTree'
    tObs: [0 0.8297 2 2.8297 4]
    CFBush: {[0] [1x1x3 double] [1x3x3 double] [1x9x3 double] [1x27 double]}

SwapRate =

    0.0620

```

El resultado que nos arroja es un valor de 6.2% que es el valor del cupón para que el swap al final del periodo sea cero.

Ahora en la comparación del resultado obtenido del modelo con los datos que se manejan en el mercado, tenemos que el precio<sup>28</sup> para un swap de tasas de interés de 2 años con las mismas características tiene un valor de,

swap de TIE a 2 años	
02-sep-13	4.4
03-sep-13	4.37
04-sep-13	4.34
05-sep-13	4.32
06-sep-13	4.01
09-sep-13	3.39
10-sep-13	3.96
11-sep-13	3.94
12-sep-13	3.94
13-sep-13	3.92
17-sep-13	4.02
18-sep-13	3.9

<sup>28</sup> La ganancia en la transferencia de flujos de efectivo del contrato swap, a valor presente.

<b>19-sep-13</b>	3.87
<b>20-sep-13</b>	3.9
<b>23-sep-13</b>	3.91
<b>24-sep-13</b>	3.91
<b>25-sep-13</b>	3.9
<b>26-sep-13</b>	3.91
<b>27-sep-13</b>	3.91
<b>30-sep-13</b>	3.9
<b>Valor promedio</b>	3.988

Tabla 2. Valor de contrato swap de TIE a 2 años

Fuente: Elaboración propia con datos del MexDer<sup>29</sup>

Se puede observar una diferencia de .20 puntos por debajo en el valor estimado 3.70 y el valor promedio de mercado 3.98, debido a variaciones en las diversas tasas del mercado en este caso la TIE y la tasa cetes.

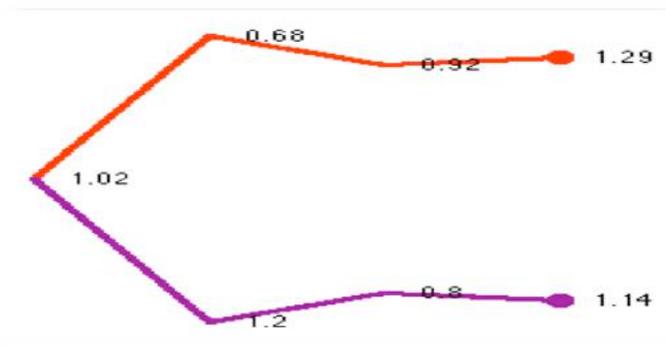
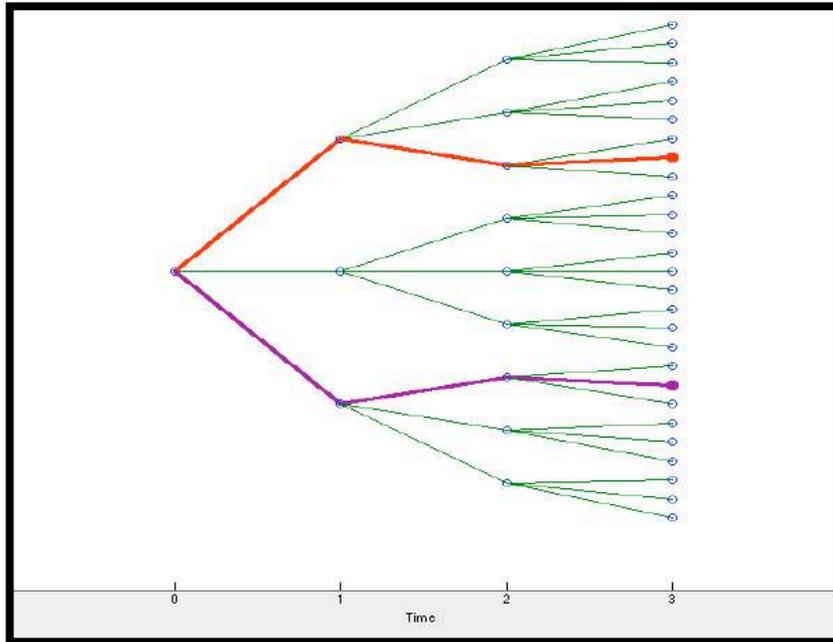
### 4.3 Análisis de resultados

Los resultados de este modelo pueden ser analizados de manera meticulosa en cada periodo de la vida del swap así como su probabilidad de ocurrencia, esto es gracias a la generación de árboles binomiales (HJM trees) creados a partir del software de computación Matlab, empezando con las probabilidades tenemos el primer árbol binomial que nos describe de manera visual y en lista de datos los posibles resultados en cada periodo, para

---

<sup>29</sup> Indicadores del mercado de productos derivados, boletín diario de transacciones

ejemplificar tenemos dos posibles trayectorias (paths) representadas en la siguiente grafica por una línea roja y morada,

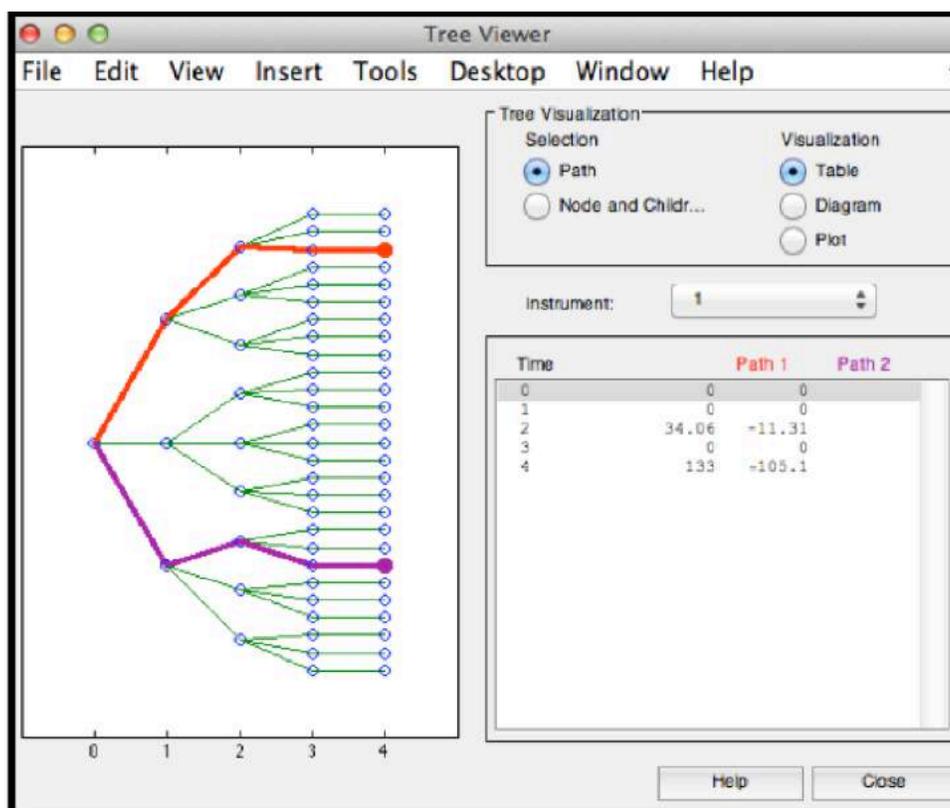


Start Time	End Time	Path 1	Path 2
0	1	1.024	1.024
1	2	0.6791	1.204
2	3	0.9164	0.8037
3	4	1.287	1.144

Lo que se expresa es la probabilidad de cada trayectoria en cada periodo del tiempo, si se tiene que  $q - 1 = a$  un desplazamiento hacia abajo y  $q =$  un desplazamiento hacia arriba, la línea roja en el primer periodo tiene un resultado en  $q = .68$  mientras que la línea morada tiene una mayor probabilidad con un desplazamiento  $q - 1 = 1.2$  así se pueden

analizar los movimientos a lo largo de la vida del contrato swap, lo que evidencia una estructura temporal sin grandes variaciones y con una tendencia positiva.

Aunque el punto fuerte de este modelo es hacer una valuación que refleje los movimientos de las tasas de interés también se pueden analizar los flujos de efectivo del contrato swap flujos que están condicionados por las probabilidades de ocurrencia de cada trayectoria y que se representan de la siguiente forma,



Al igual que el análisis anterior se toman en cuenta dos trayectorias la primera nos muestra el final del periodo un flujo de efectivo de 133, añadiendo un cero representa un monto de 1,330 pesos que recibe la parte flotante en el periodo 4, ahora que si se analiza la segunda trayectoria se tiene un movimiento a la baja en las probabilidades que resulta en un flujo de efectivo de -1,050 que representa una pérdida para la parte flotante, esto para las dos trayectorias representadas en el ejemplo.

El modelo de valuación para un swap de tasas de interés a dos años arrojó un resultado de 3.70 en términos porcentuales, este valor nos indica que además de protegernos contra el riesgo en las posibles variaciones en las tasas de interés se obtuvo una ganancia de los flujos de efectivo realizados que beneficia a la parte que tomo el riesgo asumiendo la tasa flotante en el contrato.

Además de que este valor se ubica por debajo del precio de mercado de 3.98 resultado que va muy acorde con la idea del modelo HJM de sensibilizar más ante las posibles variaciones de las tasas de interés en este caso la tasa TIIE y la tasa cetes ambas a 28 días.

## Conclusiones

En este trabajo de investigación se analiza de forma importante el contrato derivado swap, desde sus orígenes, la base teórica que lo sustenta, su estructura y su desempeño en el mercado por lo que se pueden llegar a varias conclusiones, primero la historia de los derivados muestra que, no solo son elementos esenciales en el desarrollo de cualquier sistema financiero, sino que su evolución obedece a las necesidades que el mercado requiere como lo fue en su momento el swap, que de iniciar como un contrato entre IBM y el Banco Mundial se convirtió en un derivado que crecía en un 40% tan solo en su primera década y para registrar en 2012 un valor en monto nocional de USD 347,401 billones.

En México la demanda de estos instrumentos financieros para controlar riesgos y administrar portafolios resultó en la creación del MexDer, organismo que proporciona una mayor competitividad financiera internacional, diversifica y flexibiliza los derivados en el sector financiero mexicano, además de estimular e incrementar la oferta de estos productos tal y como se puede observar con la emisión de dos nuevos instrumentos en menos de un año por parte del MexDer.

El primero es un derivado de futuro sobre maíz que inicia operaciones el 24 de octubre de 2012, con el cual se busca ofrecer una cobertura de precios más adecuada a los productores mexicanos y se abre la posibilidad de una bolsa de derivados agropecuaria, el otro instrumento un swap de tasas de interés de TIIE a 28 días que inició operaciones en el mes de mayo del 2013, un instrumento que era mayormente manejado en mercados OTC se estandariza y se trae a un mercado organizado muy acorde con lo que sucede en mercados más desarrollados como EUA y Europa.

El hecho de que el mercado de derivados mexicano se vea atrasado en comparación con los más desarrollados se debe en primera instancia a su reciente creación el MexDer inició operaciones en 1994, en contraste el CME que se fundó en 1898, además de lo anterior un estudio de la Deutsche Börse (2009) menciona que, el mercado de derivados debe cumplir tres requisitos: la bolsa de derivados y la cámara de compensación deben ser seguros, el mercado ha de ser innovador y eficiente.

Los participantes del mercado, los responsables políticos y los reguladores deberían apoyar a los proveedores en el mercado de derivados para asegurar que estos requisitos se cumplan, en el caso del Mexder vemos que aunque hay avances en el desarrollo y en la introducción de nuevos productos, aun queda mucho trabajo en cuanto a la innovación del mercado.

Otro aspecto que se concluye es la forma en cómo se maneja un derivado financiero, entrar en un swap de tasa de interés puede ser apropiado para un inversionista en ciertas situaciones; cuando se busca cobertura contra riesgos en las tasas de interés, cuando se tienen ventajas comparativas con respecto a la contraparte resulta un instrumento muy ventajoso, sin embargo se debe considerar cuidadosamente los riesgos y beneficios inherentes a dicho acuerdo.

Los derivados en general son a menudo más volátiles que el instrumento subyacente esto significa que, a medida que los mercados de activos subyacentes se mueven, los derivados pueden moverse en mayor medida aún, lo que da por resultado grande fluctuaciones en las ganancias y pérdidas.

El papel que juega la teoría en los derivados financieros quedo clara en esta investigación, sin una base económica y financiera que sustente a estos instrumentos se corre el riesgo de perder la dirección a la hora de comerciar con ellos, la importancia que tiene el movimiento browniano, la teoría del arbitraje, el trabajo seminal de Black y Sholes entre otros es indiscutible y necesaria para un correcto uso del instrumento.

Para el riesgo de un activo que paga intereses, como un préstamo o un bono, debido a la posibilidad de un cambio en el valor del activo resultando en una variación de las tasas de interés. La gestión del riesgo se ha convertido en algo muy importante, y una variedad de instrumentos se han desarrollado para hacerle frente, como se analiza en la investigación existen, swaps, forward rate agreements (FRAs), futuros, opciones, caps, floors entre otros. Sin embargo entre la variedad de instrumentos se eligió el swap ya que de acuerdo al análisis realizado se puede afirmar que es el mejor instrumento para cubrir el riesgo en tasas de interés.

Entre las razones por las que se afirma lo anterior están, la flexibilidad del derivado, ya que se puede adaptar a la estructura de las obligaciones (amortización, estructura de pagos, tipo de interés, tipo de monedas entre otros), otorga un alto grado de certeza sobre los pagos de intereses, asimismo no hay intercambio en el monto nocional del capital y por lo tanto el riesgo se limita a la diferencia entre las tasas de interés. No obstante como cualquier cobertura se aporta o se renuncia a algo, ya sea de capital (primas pagadas por los contratos) o el costo de oportunidad, el beneficio que se habría realizado sin cobertura en caso de que los movimientos en las tasas resultaran favorables.

Como evidencia de la ventaja que representa el swap en las operaciones de cobertura en las tasas de interés en el mercado mexicano se tienen los datos que maneja Banxico donde muestra que, las operaciones realizadas por derivados sobre tasas de interés en moneda nacional, en el mes de septiembre de 2013 los swap representaron un 98% en el total de contratos derivados, posicionándose muy por encima de otros derivados como forwards y futuros.

Por último un aspecto en el que se hace especial énfasis en esta investigación fue el relacionado a la valuación del instrumento, en el marco conceptual de ausencia de arbitraje y probabilidades neutrales al riesgo se desarrolló el modelo HJM para valuar un swap de tasas de interés.

En virtud de los resultados de esta investigación ampliamente analizados en el subinciso 4.3 se puede afirmar que: la utilidad del modelo HJM, al ser una herramienta de gran flexibilidad que permite la incorporación de múltiples volatilidades que sensibilizan al instrumento ante posibles riesgos en las tasas de interés, proveyendo una valoración más cautelosa a la que se manejan oficialmente, pero que proyecta el comportamiento de más variables en el mercado. En segundo lugar queda demostrada la importancia del swap al no solo proporcionar cobertura sobre posibles variaciones en las tasas de interés si no que en un mercado como el mexicano proporciona ganancias derivadas del pago que hace la contraparte de la tasa fija con el pago de la prima a la parte que asume el riesgo.

## Anexo 1. Movimiento browniano

Una breve explicación de un movimiento browniano comienza con la definición de un *proceso estocástico*.

Un proceso estocástico es un método matemático del comportamiento en el tiempo de un fenómeno aleatorio. La aleatoriedad del fenómeno se captura a través de un espacio medible  $(\Omega, \mathcal{F})$ , es decir un espacio muestral, o conjunto de posibles resultados, y una  $\sigma$  – *algebra* del espacio muestral, o conjunto de eventos o sucesos relevantes.

En este contexto, un proceso estocástico es un conjunto de variables aleatorias  $\{X_t\}_{t \in \mathcal{T}}$  donde  $\mathcal{T}$  es un conjunto, finito o infinito, de tiempos. Cada una de estas variables aleatorias  $X_t$  esta definida sobre un espacio medible  $(\Omega, \mathcal{F})$  (Venegas Martínez, Francisco 2006).

Sea  $(\Omega, \mathcal{F}, \mathcal{P})$  un espacio de probabilidad, es decir,  $\Omega$  es un espacio muestral,  $\mathcal{F}$  una  $\sigma$  – *algebra* sobre  $\Omega$  y  $\mathcal{P} : \mathcal{F} \rightarrow [0,1]$  es una medida de probabilidad. Sea  $\mathcal{T} = [0, \infty)$  Un proceso estocástico es un mapeo  $X: \Omega \times \mathcal{T} \rightarrow \mathbb{R}$ , tal que para cada  $t \in \mathcal{T}$  la función,

$$X_t: \omega \rightarrow X(\omega, t) \equiv X_t(\omega): \Omega \rightarrow \mathbb{R}$$

Satisface  $X_t((-\infty, x)) \in \mathcal{F}$  para toda  $x \in \mathbb{R}$ , es decir,  $X_t$  es un proceso estocástico, entonces para cada  $\omega \in \Omega$  la función  $t \rightarrow X(\omega, t): \mathcal{T} \rightarrow \mathbb{R}$ , es llamada una trayectoria del proceso. Por ultimo, se dice que un proceso es continuo si cada trayectoria es continua en cada punto de  $\mathcal{T}$ .

En el caso del *movimiento browniano* sea  $(\Omega, \mathcal{F}, \mathbb{P})$  un espacio de probabilidad fijo, es una función  $W: [0, \infty) \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ , tal que para cada  $t \geq 0$ , la función  $W: (t, \cdot): \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ , es una variable aleatoria definida en  $(\Omega, \mathcal{F})$ . Mientras que para cada  $\omega \in \Omega$  la función  $W: (t, \cdot): \Omega \rightarrow \mathbb{R}$ , es continua en  $[0, \infty)$ . La familia de variables aleatorias  $W(t, \cdot)$  es denotada, cuando no exista confusión, en forma breve como  $\{W_t\}_{t \geq 0}$ . Las funciones

$W(\cdot, \omega)$  son llamadas trayectorias y se denotan por  $\omega(t)$ . La familia  $\{W_t\}_{t \geq 0}$  satisface adicionalmente las siguientes condiciones: (i)  $W_0 = 0$  casi dondequiera (o casi en todas partes) es decir,

$$\mathbb{P}\{\omega \in \Omega \mid W_0(\omega) = 0\} = 1$$

En palabras más simples, el proceso empieza en  $t = 0$  con probabilidad uno;

(ii) Para cualquier conjunto de tiempos  $0 \leq t_1 < t_2 < \dots < t_n$ , los incrementos

$$W_{t_1} - W_{t_0}, W_{t_2} - W_{t_1}, \dots, W_{t_n} - W_{t_{n-1}}$$

son estocásticamente independientes;

(iii) Para cualquier par de tiempos  $t$  y  $s$  con  $0 \leq s < t$ ,  $W_t - W_s \sim N(0, t - s)$ . (Venegas Martínez, Francisco 2006).

## Anexo 2. Ausencia de arbitraje

Para derivar la ausencia de arbitraje tenemos que:

Una estrategia de comercio  $\hat{H}$  es dominante si existe otra estrategia  $\tilde{H}$ , tal que  $\hat{V}_0 = \tilde{V}_0$  y  $\hat{V}_1(\omega) > \tilde{V}_1(\omega)$  para todo  $\omega \in \Omega$ .

$H$  representa una estrategia de comercio describe el portafolio en unidades de activo que se mantiene entre  $t = 0$  y  $t = 1$

$$H = (H_0, H_1, H_2, \dots, H_n)$$

En  $n$  acciones en una cuenta bancaria, en un bono entre otros.

$S$  constituye un proceso de precio.

$S = \{S_t: t = 0,1\}$ , donde  $S_t = (S_1(t), S_2(t) \dots S_N(t))$ ,  $N < \infty$ , y  $S_n(t)$  es el precio del activo  $n$  en el periodo  $t$ .

$V$  representa el valor del portafolio

$V_t: t = 0,1$  es el valor del portafolio en cada punto del tiempo, en forma extendida se tiene,

$$V_t \equiv H_0 B_t + \sum_{n=1}^N H_n S_n(t), \quad t = 0,1$$

(Stanley R. Pliska 1998)

Ambas estrategias empiezan con la misma cantidad de dinero pero la dominante al final obtiene una mayor ganancia.

Si  $H$  satisface  $V_0 = 0$  y  $V_1(\omega) > 0$  para todo  $\omega \in \Omega$ , entonces  $H$  es dominante;

Existe una estrategia de comercio dominante si y solo si se satisface  $V_0 = 0$  y  $V_1(\omega) > 0$  para todo  $\omega \in \Omega$ .

La existencia de una estrategia dominante es insatisfactoria desde el punto de vista económico; un inversionista que inicia con cero dinero no debería tener ninguna garantía de finalizar con una cantidad positiva de dinero, sin embargo existen este tipo de estrategias que pueden transformar una inversión negativa en una ganancia al final del periodo de inversión.

También una estrategia dominante conduce a una valuación de activos ilógica; con frecuencia es útil interpretar  $V_1(\omega)$  como el periodo  $t = 1$ , en cual caso  $V_0$  puede ser interpretado como  $t = 0$  pero si la estrategia de comercio  $\hat{H}$  domina  $\tilde{H}$ , entonces los derechos contingentes  $\hat{V}$  y  $\tilde{V}$  tienen el mismo precio aunque la afirmación anterior tenga un pago mayor en cada estado de  $(\omega)$ .

La valuación de estos derechos será lógicamente consistente si hay una medida de valuación lineal, que es un, vector positivo  $\pi = (\pi(\omega_1), \dots, \pi(\omega_K))$  tal que para cada estrategia de comercio  $H$  se tenga,

$$V_0^* = \sum_{\omega} \pi(\omega) V_1^*(\omega) = \sum_{\omega} \pi(\omega) V_1(\omega) / B_1(\omega)$$

Ahora la valuación ilógica asociada con la estrategia dominante no existe más; cada derecho tiene un único precio, y un derecho que pega más que otro en cada estado del mundo tendrá un precio en el periodo  $t = 0$  más elevado. (Stanley R. Pliska 1998)

Si hay una medida de valuación lineal  $\pi$  se tiene.

$$H_0 + \sum_{n=1}^N H_n S_n^*(0) = \sum_{\omega} \pi(\omega) \left[ H_0 + \sum_{n=1}^N H_n S_n^*(1)(\omega) \right]$$

Donde  $H_1 =, \dots = H_N = 0$ , esto puede ser visto como una medida de valuación linear donde se satisface  $\pi(\omega_1) +, \dots + \pi(\omega_K) = 1$ ; así se puede interpretar  $\pi$  como una medida de probabilidad en el espacio muestral  $\Omega$ .

El vector  $\pi$  es una medida de valuación lineal si y solo si es una medida de probabilidad en  $\Omega$  que satisface,

$$S_n^*(0) = \sum_{\omega} \pi(\omega) S_n^*(1)(\omega), \quad n = 1, \dots, N$$

El valor inicial  $V_0$  de cualquier portafolio es igual al valor esperado de  $\pi$  bajo el valor final descontado del portafolio. Resulta que existe una estrecha relación entre el concepto de estrategias dominantes y medidas de valuación lineal.

*Existe una medida de valuación lineal si y solo si no existen estrategias dominantes.*  
(Stanley R. Pliska 1998)

Ahora es necesario el uso del supuesto de “la ley de un solo precio”<sup>30</sup> esta ley se mantiene en un mercado donde no existen dos estrategias de comercio  $\hat{H}$  y  $\tilde{H}$  tales que  $\hat{v}_1(\omega) = \tilde{v}_1(\omega)$  para todo  $\omega \in \Omega$  pero  $\hat{v}_0 > \tilde{v}_0$  por otra parte la ley de un solo precio no se cumple si hay dos estrategias de comercio diferentes que den el mismo beneficio en el periodo  $t = 1$  pero el valor inicial corresponda a portafolios diferentes. Se ha de notar que si no existen dos estrategias de comercio que den el mismo beneficio en el periodo  $t=1$  automáticamente la ley de un solo precio se cumple.

---

<sup>30</sup> La ley establece que los precios del mismo producto ofrecidos en dos mercados diferentes nunca deben diferir en más que el coste de transportar el producto entre los dos mercados (después de ajustar el tipo de cambio entre los dos mercados, si los precios están determinados en distintas divisas).

### **Anexo 3. Probabilidades neutras al riesgo.**

Una medida de probabilidad  $Q$  en  $\Omega$  es una probabilidad neutral al riesgo si.

(a)  $Q(\omega) > 0$ , para todo  $\omega \in \Omega$  y

(b)  $E_Q[\Delta S_n^*] = 0, n = 1, 2, \dots, N$

$E_Q[\Delta S_n^*]$  representa el valor esperado de una variable aleatoria  $X$  bajo la medida de probabilidad  $Q$  nótese que

$$E_Q[\Delta S_n^*] = E_Q[S_n^*(1) - S_n^*(0)] = E_Q[S_n^*(1)] - S_n^*(0),$$

$E_Q[\Delta S_n^*] = 0$  es equivalente a

$$E_Q[S_n^*(1)] = S_n^*(0), \quad n = 1, 2, \dots, N$$

Bajo la medida de probabilidad indicada en el periodo  $t = 1$  el valor descontado de cada activo es igual a su valor inicial.

#### **Anexo 4. Valuación swap metodología MexDer**

A continuación se describe la valuación de un Asset Swap:

Pagos Fijos en el Asset Swap

Los pagos fijos en el Asset Swap van a estar dados por:

$$P_{fix} = \sum_{i=1}^n F_{fix} * B(0, T_i)$$

Dónde:  $P_{fix}$  = Pagos a tasa fija en el Asset Swap (valor de la pata fija del Asset Swap).

$F_{fix}$  = Ingresos fijos provenientes de los flujos del activo, determinados por la siguiente expresión:

$$F_{fix} = N * R_{fix} * Base_i$$

$N$  = Monto Nocional del Swap = Monto Nominal del Activo.  $R_{fix}$  = Tasa Fija pagada en el swap.

$Base_i$  = Cociente que determina el número de días del flujo  $i$  con respecto al año. La base puede ser:

a) ACT/360, b) 30/360, c) E30/360, d) ACT/ACT, e) ACT/365

$$ACT = T_i - T_{i-1}$$

Pagos Flotantes en el Asset Swap

Los pagos flotantes en el Asset Swap van a estar dados por,

$$P_{float} = \sum_{i=1}^n F_{float}(T_{i-1}, T_i) * B(0, T_i)$$

Dónde:  $P_{float}$  = Pagos a tasa flotante en el Asset Swap (valor de la pata flotante del swap)

$F_{float}$  = Flujos flotantes en el Asset Swap determinados por la siguiente expresión:

$$F_{float} = N * [R_{float}(T_{i-1}, T_i) + S_{AS}] * Base_i$$

$N$  = Monto Nocional del Swap = Monto Nominal del Activo.

$R_{float}(T_{i-1}, T_i)$  = Tasa Flotante pagada en el Swap.

La tasa  $R_{float}(T_{i-1}, T_i)$  va a estar dada por:

Para  $i=1$   $R_{float}(T_{i-1}, T_i) = R_{Market}(T_0, T_1)$

Para  $i=2, \dots, n$   $R_{float}(T_{i-1}, T_i) = R_{forward}(T_{i-1}, T_i)$

$R_{Market}(T_0, T_1)$  = Tasa de mercado establecida en el contrato, la cual es conocida para el primer flujo.

$R_{float}(T_{i-1}, T_i)$  = Tasa Forward para el periodo entre  $T_{i-1}$  y  $T_i$ .

$S_{AS}$  = Asset Swap Par Spread.

$Base_i$  = Cociente que determina el número de días del flujo  $i$  con respecto al año. La base puede ser:

a) ACT/360 b. 30/360 c. E30/360 d. ACT/ACT e. ACT/365

$$ACT = T_i - T_{i-1}$$

$B(0, T_i)$  = Factor de descuento entre 0 y  $T_i$ . Por tanto, el valor del Asset Swap estará dado por el Asset Swap Par Spread ( $S_{AS}$ ) de tal manera que el valor presente de los

Flujos flotantes iguale el valor presente de los flujos a tasa fija del IRS.

$$0 = P_{float} - P_{fix}$$

## Anexo 5. Discretización del modelo HJM

Para generar una versión binomial del modelo, se debe considerar la información que se tiene. Es necesario el precio de un número de bonos con maduración en los puntos, 1,2,3, ...T-1, T. Si T es la fecha de maduración más larga disponible eso significa que tenemos T tasas futuras disponibles,  $f(0,0)$ ,  $f(0,1)$ , ...,  $f(0,T-1)$ . Entonces es necesario las volatilidades de 1,2, ..., T-1. Este conjunto de información debería ser suficiente para construir un árbol binomial de T-1 lapsos (Chance Don M. 2008).

Se escribe primero un proceso estocástico para una tasa futura en una forma discreta como

$$\Delta f(t, t) = \alpha(t, T)\Delta t + \sigma(t, T)\Delta W(t)$$

Para construir el árbol binomial solo se convierte en una variable aleatoria con valor de +1 o -1 en cada tiempo y se asumen probabilidades martingalas de  $\frac{1}{2}$ . También se asume que en cada periodo tiene una rama definida. Por lo tanto, el proceso estocástico se convierte en

$$\Delta f(t, T) = \alpha(t, T) \pm \sigma(t, T)$$

Así en el momento dado, para una tasa futura  $f(t,T)$  se mueve un paso adelante al siguiente tiempo de la siguiente manera.

$$f(t + 1, T)^+ = f(t, T) + \alpha(t, T) + \sigma(t, T)$$

$$f(t + 1, T)^- = f(t, T) + \alpha(t, T) - \sigma(t, T)$$

Para prevenir arbitraje en el modelo, se debe mantener el supuesto de que el retorno esperado de cualquier instrumento financiero sobre un periodo corto de tiempo debe tener la tasa de riesgo más baja, donde las expectativas son tomadas usando una medida especial de martingala, esto es

$$P(t, T) = P(t, t + h)E^Q[P(t + h, T)]$$

Donde el exponente  $Q$  significa que las expectativas son tomadas usando una medida de probabilidad martingala. El primer término  $P(t, t+h)$ , es el precio del bono con la fecha de maduración más corta. El segundo término  $E^Q[P(t+h, T)]$  es la expectativa del precio del bono en el tiempo  $t+h$ . Descontando las expectativas de la tasa con menos riesgo se obtiene el precio del bono como,

$$\frac{P(t, T)}{P(t, t+h)} E^Q[P(t+h, T)]$$

y usando el hecho de que

$$P(t, T) = \exp \left[ - \int_t^T f(t, v) dv \right]$$

se sustituye y obtiene

$$\exp \left[ - \int_t^T f(t, v) dv \right] \exp \left[ - \int_t^{t+h} f(t, v) dv \right] = \exp \left[ - \int_{t+h}^T f(t, v) dv \right]$$

Para que esta expectativa refleje las probabilidades binomiales y por medio de integrales se obtenga el valor descontado de una secuencia de tasas futuras se tiene,

$$\left( \frac{1}{2} \right) \exp \left[ - \int_{t+h}^T (f(t, v) + \alpha(t, v) + \sigma(t, v)) dv \right] + \left( \frac{1}{2} \right) \exp \left[ - \int_{t+h}^T (f(t, v) + \alpha(t, v) - \sigma(t, v)) dv \right]$$

(Chance Don M. 2008)

Esta expectativa refleja la probabilidad binomial de  $\frac{1}{2}$  y la integral representa la tasa de descuento de la secuencia de la tasa forward. En otras palabras, los dos términos que son multiplicados por  $\frac{1}{2}$  son los posibles precios del bono. Después de un despeje se tiene.

$$\alpha(t, T) = \sigma(t, T) \int_t^T \sigma(t, v) dv$$

Para trabajar con el modelo HJM en tiempo discreto sin embargo, se requiere que se obtenga la versión discreta de la restricción. Grant and Vora (1999) empiezan con una variación de la expresión antes mencionada,

$$P(t, T) = E^Q[P(t + h, T)]P(t, t + h)$$

Se hace uso del hecho de que un proceso de Wiener es normalmente distribuido. La interacción de las volatilidades y la correlación entre todas las tasas futuras es 1. Después de una manipulación algebraica se encuentran una simple expresión de la tendencia.

$$\alpha(t, T) = \sigma(t, T) \sum_{i=t+1}^T \sigma(t, i) - \sigma^2(t, T)/2$$

(Grant, D. And G. Vora. 1999)

## **Bibliografía**

A. Kotzé. (2011, March) Foreign Exchange: Effective Theoretical and Practical Techniques for Trading, Hedging and Managing South Africa.

Bicksler James; Chen H. Andrew (1985, December) An Economic Analysis of Interest Rate swaps. The Journal of Finance, Volume 41, No 3. Issue 4 Papers and Proceedings of the fifty-sixth Annual Meeting of the American Finance Association. New York.

Dale, Richard S., Johannie E.V. Johnson and Leilei Tang (2005) Financial Markets Can Go Mad: Evidence of Irrational Behaviour During the South Sea Bubble, Economic History Review.

Das Wiley. (1994) Swaps and Financial Derivatives: Products, Pricing, Applications and Risk Management. Second Edition.

Díaz de León, Alejandro. (1997) Descripción y Valuación de los “Value Recovery Rights” de los Bonos Brady a la par y a descuento” Banxico, documento de investigación No 9703. México DF.

Don M. Chance. (2008) Essays in Derivatives. John Wiley & Sons, Inc. Louisiana State University

Ernst Jürg Weber (2008) A Short History of Derivatives Security Markets (University of Western Australia)

Frey, Roman. (2008, july) Monte Carlo methods: with application to the Pricing of interest rate derivatives. University of St. Gallen, Switzerland.

G. Güemez, (2008) The development of local financial Markets: The Mexican Experience, MexDer México.

Grant, D. And G. Vora. (1999) Extending the Universality of the Heath Jarrow Morton Model. Working paper, University of New Mexico.

Geoffrey Poitras, *The Early History of Financial Economics, 1478-1776* (Edward Elgar Publishing Ltd: Cheltenham, 2000) 340.

Hull C. John. (2009) *Options, Futures and Other Derivatives*. 7<sup>a</sup> Edición. EUA. Pearson Education International.

Ian A. Cooper; Mello S. Antonio (1991, June). *The Default Risk of Swaps*. *The Journal of Finance*. Vol. XLVI, No 2.

International Bank for Reconstruction and Development (2006, November). *México Technical note on Derivatives Market: Overview and Potential Vulnerabilities*.

Jarrow A, Robert. (1996) *Modelling Fixed Income Securities and Interest Rate Options*. The McGraw-Hill. Stanford California.

Knight, F. (1964) *Risk, Uncertainty & Profit*. NY Century Press Originally published 1921.

Lara Haro, Alfonso de. (2005) *Productos derivados financieros (Instrumentos, valuación y cobertura de riesgos)*. México. Editorial Limusa.

Lara Haro, Alfonso de. (2008) *Medición y Control de Riesgos Financieros*. 3<sup>a</sup> Edición. México. Ed. Limusa.

López González, Teresa. (2001) *Fragilidad Financiera y Crecimiento Económico en México*. UNAM, México

Marshall John, F. (1996) *Monte Carlo Simulation in the Pricing of Derivatives*, Fordham University. New York

Nekrasov, Vasily (2010). *Vasicek and HJM Models and a gentle introduction to the multivariate Libor Market Model*. Colonge University. Germany.

Nystedt, Jhon. (2004) *Derivative market competition: OTC markets versus organised derivative exchanges*, IMF working paper

Richard Flavell (2002) *Swaps and other Derivatives*. Ed. John Wiley & Sons, United

Kingdom.

Riger L. Davis, Stephen A. Spitz (2004). Interest Rate Swaps Application to Tax-Exempt Financing. Bond Logistic LLC.

Robert A. Jarrow; Stuart M. Turnbull (1995, March). Pricing Derivatives on Financial Securities Subject to Credit Risk. The Journal of Finance, Vol. 50, No. 1.

Robert H. Litzenberger (1992, January). Swaps: Plain and Fanciful. Journal of Finance, Volume 47, Issue 3, Papers and Proceedings of the Fifty-Second Annual Meeting of the American Finance Association, New Orleans, Louisiana .

Salih N, Neftci. (1999). An Introduction to the Mathematics of Financial Derivatives. (2da Ed.) Academic Press Advanced Finance.

Santos, Joseph. (1996). A History of Futures Trading in the United States. South Dakota State University.

Sarmiento Lotero, Rafael. (2007) Teoría del riesgo en mercados financieros: una visión teórica. Cuadernos latinoamericanos de Administracion Vol. II No 4. Colombia.

Shea, G.S. (2007). Understanding financial derivatives during the South Sea Bubble: The case of the South Sea subscription shares. Oxford Economic Papers, vol.59

Sherre Decovny. (1996). Bolsa Mexicana de Valores. SWAPS. Mexico. Ed. Limusa.

Solorza Luna, Marcia Luz (2008) Nueva banca en México, Incorporación de sectores populares al financiamiento. Revista investigación económica UNAM, México

Stanley R. Pliska. (1997) Introduction to Mathematical Finance. Blackwell Publisher.

Steve, Kummer. Pauletto, Christian. (2012, April) The History of Derivatives: A Few Milestones. Seminar on Regulation of Derivatives Markets, Zurich,

Swan, Edward. (2000) Building the Global Market: A 4000 Year History of Derivatives. London. Kluwer Law International

Garber, Peter M. (1989), "Tulipmania", Journal of Political Economy, Vol. 97, No. 3 The University of Chicago Press.

Van Dillen, J, G Poitras and A Majithia (2006) Issac Le maire and the early trading in dutch East India Company shares. Chapter 2 Ed. Pioneers of Financial Economics, UK.

Venegas Martínez, Francisco. (2006) Riesgos financieros y económicos, productos derivados y decisiones financieras bajo incertidumbre. Ed Thomson. México

Wiley E. Robert (2006, October) Derivatives: Markets, Valuation, and Risk Management, Ed. John wiley & Sons, Inc. New Jersey

W. Markham, Jerry (2002) A Financial History of the United States From Christopher Columbus to the Robber Barons (1492-1900) Vol 1. Library of congresse. United States of America.