



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
SISTEMAS – OPTIMIZACIÓN FINANCIERA

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE COBERTURA OPTIMIZADO
EMPLEANDO EL FILTRO DE KALMAN.

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ALONSO ISAAC PÉREZ MATAMOROS

M.C. JORGE ELIECER SÁNCHEZ CERÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DR. FEDERICO HERNÁNDEZ ÁLVAREZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DR. EDGAR ORTÍZ CALISTO
FACULTAD DE CIENCIAS POLÍTICAS Y SOCIALES
M.I. JOSÉ DOMINGO FIGUEROA PALACIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
DR. ELIO AGUSTÍN MARTÍNEZ MIRANDA
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. (SEPTIEMBRE) 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	3
INTRODUCCIÓN	12
1 Operación de los Mercados Financieros: Derivados	
1.1 Los mercados Financieros.....	15
1.2 Historia de los Mercados de Derivados.....	19
1.3 MexDer.....	22
1.3.1 La cámara de compensación	24
1.4 Instrumentos derivados.....	26
1.5 Operatividad técnica de los Mercados de Derivados.....	39
2 Administración de Riesgos.	
2.1 Riesgo.....	43
2.2 Administración de Riesgos.....	45
2.3 Cobertura.....	48
2.4 Cobertura con Futuros.....	51
2.5 Políticas de Cobertura en empresas.....	62
3 El Filtro de Kalman	
3.1 La Ingeniería en las Finanzas.....	68
3.2 Modelación Financiera.....	70
3.3 El Filtro de Kalman.....	74
3.4 El Filtro de Kalman como estimador estadístico.....	79
3.5 El Algoritmo.....	83
4 Cálculo del Índice de Cobertura Óptimo	
4.1 Cobertura del Riesgo de Precios.....	87
4.2 El índice de cobertura óptimo.....	89
4.3 Modelo Espacio-Estados de una cobertura de precios.....	92
4.4 El caso de Grupo Peñoles y el riesgo del precio del Oro.....	93
5 Conclusiones	
5.1 Más allá.....	100
6 Bibliografía	102
7 Glosario	104

RESUMEN EJECUTIVO

Una empresa minera mexicana se enfrenta al riesgo de precios en su producción planeada de oro. La dirección financiera debe decidir de qué manera afrontar dicho riesgo, se plantea un método de cobertura del riesgo de precios empleando un estimador puntual de gran fiabilidad proveniente de la ingeniería de control. Este documento propone una manera óptima de cubrir el riesgo de precios operando instrumentos derivados futuros, cubriendo el riesgo de precios utilizando el filtro de Kalman como estimador del índice de cobertura que nos dirá, a su vez, la cantidad de contratos a operar.

La cobertura tiene por objetivo asegurar el valor de una variable financiera, por ejemplo una garantía sobre un precio de algún activo financiero, si el precio varía en una dirección afecta los ingresos de la empresa, si varía en otra dirección los beneficia. Es lógico pensar en que sólo se desee cubrir la exposición al riesgo que afecta a los flujos de efectivo, y no cubrir una exposición que, aunque sea perfectamente medible, beneficia a los flujos.

En los mercados de futuros se podrá hacer una cobertura abriendo una posición contraria a la exposición que se tiene en mercados *spot*. Si una empresa tiene una posición corta en el mercado *spot*, estará interesada en abrir una posición larga en el mercado de futuros y viceversa, para garantizar un precio futuro. Si se tuviera la seguridad de que la fluctuación de la variable beneficiará a la organización no se deberá cubrir la posición y se aumentarían las ganancias; dejando “desnuda” la posición; sin embargo es difícil tener esa certeza.

Las empresas y demás agentes económicos enfrentan constantemente incertidumbre en los ingresos futuros esperados, esta incertidumbre puede ser medida como una diferencia entre lo que se esperaba recibir y lo que realmente se percibe durante un periodo determinado;

esta medición la conocemos como riesgo y es deseable eliminarla para dar certeza a los ingresos que se tendrán en el futuro y poder hacer planeaciones financieras óptimas.

El concepto de riesgo ha existido desde el inicio de la humanidad. Las decisiones que se toman o proyectos que se emprenden, por simples o complejos que sean, implican la posibilidad de ocurrencia de eventos desfavorables. Al día de hoy se tienen detectadas las fuentes de riesgo en casi todas las actividades humanas, a un grado antes no visto. Se han desarrollado las herramientas analíticas en los contextos de administración de riesgo para reducir al máximo los impactos de los posibles resultados desfavorables; desde la menor vicisitud hasta la mayor catástrofe que pueda ocurrir en la realidad. Al riesgo se le debe dar algún tratamiento, no se puede ser indiferente al riesgo. Transferir el riesgo es la estrategia detrás de la cobertura en finanzas.

Las empresas, de algún modo, se han visto obligadas a desarrollar herramientas para prudente manejo del riesgo en un entorno complejo y dinámico cuyo futuro es incierto. Instituciones Financieras tienen departamentos completos dedicados al análisis de riesgo, las direcciones financieras de todo tipo de empresas se interesan en dar certeza a sus ingresos, todos desean ser excelentes administradores de riesgos. Nuestra habilidad para administrar riesgos es la clave de éxito como individuos, corporaciones, gobiernos y sociedad.

La aportación de este trabajo, radica en el proceso de determinación del índice de cobertura, para lo cual se presenta un sistema lineal estocástico de pronóstico cuyos parámetros se modelan como variables en el tiempo, resuelto por un método de filtrado lineal, conocido como el Filtro de Kalman (llamado así en honor a su creador, Rudolph E. Kalman). Para lograr este pronóstico, los datos de entrada del filtro de Kalman, serán variantes en el tiempo

también y el filtro se irá autocorrigiendo, optimizando sus valores de corrección mediante una medida ponderada que también varía en el tiempo. En el capítulo correspondiente se analizará su aplicación y resolución de índice de cobertura, que es un dato de entrada en la toma de decisión sobre cantidad de contratos futuros a operar.

Se presenta el modelo analizado en el artículo (Hatemi-J y El-Khatib, 2010) titulado “*Stochastic Optimal Hedge Ratio: Theory and Evidence*”. Dicho modelo emplea al Filtro de Kalman como estimador del índice de cobertura, que es un dato de entrada para determinar el número de contratos a utilizar para cubrir la totalidad del riesgo de precios del Oro al que se expone una empresa minera mexicana.

El índice de cobertura óptimo se define como la pendiente de la recta que mejor ajusta a la regresión de ΔS , los cambios en los precios spot; contra ΔF , los cambios en los precios de los contratos futuros. Una complicación que encontramos frecuentemente en la cobertura, es determinar la proporción de la exposición al riesgo a cubrir para hacer una cobertura óptima. No siempre es óptimo cubrir todo un portafolio sino solamente parte de él, pues en muchas ocasiones los movimientos del mercado pueden ser benéficos a la posición y además las variaciones de precios en mercados spot y futuros no son exactamente iguales pudiendo cubrir la totalidad del riesgo sin cubrir la totalidad del portafolio expuesto.

En la ecuación $h = \rho * \left(\frac{\sigma_S}{\sigma_F}\right)$, los parámetros σ_S , σ_F y ρ usualmente se estiman de datos históricos de ΔS y ΔF . Se asume implícitamente que el futuro será como el pasado. Se eligen lapsos de tiempo similares que no se empalmen y se observan los valores de las series ΔS y ΔF . Lo ideal sería tomar lapsos de tiempo iguales a la vida de la cobertura. Se toma a

este modelo, Hull (2008), como hipótesis nula H_0 y se plantea el modelo de El-Khatib, Hatemi-J y Youssef (2010) como hipótesis alternativa H_1 .

El número óptimo de contratos futuros a abrir en una posición corta es

$$N = h \left(\frac{V_A}{V_F} \right)$$

Donde V_A es el valor en dólares (o pesos, según sea el caso) del activo a ser cubierto y V_F el valor en dólares (o pesos) de un contrato futuro para hacer la cobertura. Teóricamente, la posición en futuros empleada para la cobertura debe ser ajustada según cambien los precios spot y futuros.

El índice de cobertura estocástico se obtiene modelando en espacio de estados, el sistema que después será calculado por el filtro de Kalman. Las siguientes ecuaciones, El-Khatib, Hatemi-J y Youssef (2010), describen dicho sistema

$$\Delta S_t = h_t \Delta F_t + \varepsilon_t \quad \text{Ec. (1)}$$

$$h_t = h_{t-1} + B_t \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma)$ y $B_t \sim N(0, Q)$. Además, a estos términos de errores se les asume independientes a través de las ecuaciones del sistema, es decir, se cumple lo siguiente

$$E(\varepsilon_t B_t) = 0, \forall t \text{ y } s$$

El filtro de Kalman es un algoritmo que consta de un conjunto de ecuaciones matemáticas que proveen una manera computacionalmente eficiente para estimar el estado de un proceso, al mismo tiempo que minimiza el error cuadrático medio. Posee grandes fortalezas; produce

estimaciones de estados pasados, presentes y futuros y lo puede hacer aún sin conocer con precisión la naturaleza del sistema modelado.

A la ecuación (1) también le llamaremos ecuación de medida u observación y a la (2) ecuación de estado o de transición. El objetivo del modelado en espacio de estados es estimar los parámetros A, P y Q para poder hacer inferencias sobre un vector variante en el tiempo, dadas las observaciones de $(\Delta S_t, \Delta F_t)$ en cada lapso temporal. Para lograrlo se emplea el filtro de Kalman, que es una solución al problema de filtrado lineal óptimo para una modelación como la que se acaba de plantear. El filtro, se describe por, Harvey (1993).

Ecuaciones de actualización temporal

$$h_{t|t-1} = Ah_{t-1} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$P_{t|t-1} = AP_{t-1}A' + Q \quad \text{Ec. (4)}$$

Ecuaciones de actualización de medición

$$\hat{e}_t = (\Delta S_t - h_{t|t-1}\Delta F_t) \quad \text{Ec. (5)}$$

$$f_t = \Delta F_t' P_{t|t-1} \Delta F_t + \sigma \quad \text{Ec. (6)}$$

$$h_t = h_{t|t-1} + \Delta F_t' P_{t|t-1} \Delta F_t \left(\frac{\hat{e}_t}{f_t} \right) \quad \text{Ec. (7)}$$

$$P_t = P_{t|t-1} - P_{t|t-1} \Delta F_t \Delta F_t' P_{t|t-1} \left(\frac{1}{f_t} \right) \quad \text{Ec. (8)}$$

En donde \hat{h}_t , es la estimación óptima del vector de parámetros variantes h_t , con una varianza de P_t en el tiempo t . El error estimado a posteriori se le representa con \hat{e}_t y su varianza se mide con f_t . La expresión $t|t-1$ implica que la estimación óptima del

parámetro en el tiempo t está condicionada a la información disponible hasta el periodo $t - 1$. Para cubrir su exposición al riesgo de precios de oro, una empresa minera necesita abrir posiciones cortas en los mercados de futuros para así compensar sus ganancias o pérdidas en los mercados spot y no exponer a variaciones sus flujos de efectivo esperados en el corto plazo. Si se cubriera toda la exposición a un riesgo se podría estar sobre protegiendo un activo que quizás a la mitad de la cobertura se encuentre totalmente recuperado y entonces la estrategia de cobertura tenga el impacto de disminuir las utilidades a causa de una recuperación no contemplada.

El índice de cobertura modelado como un valor estocástico variante en el tiempo y calculado con el filtro de Kalman resulta ser un valor más cercano a una observación real en comparación con el modelo típico empleado para la cobertura de riesgo de precios en empresas productoras de bienes primarios.

El modelo planteado tiene como entradas los vectores de cambios logarítmicos de dos variables, o series financieras; precios spot y precios de futuros con vencimiento a un mes, sobre 100 onzas de oro en dólares estadounidenses. La información es discreta con un espacio de un mes entre los datos. Las fuentes, Bloomberg y Kitco.

Se hará la cobertura con el contrato del CME, se abren y cierran posiciones una vez cada mes, de acuerdo con el índice de cobertura como la siguiente ecuación

$$N = \frac{h \cdot Q_A}{Q_F} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde

Q_A = Tamaño de la posición a cubrir (Onzas de Oro en nuestro caso)

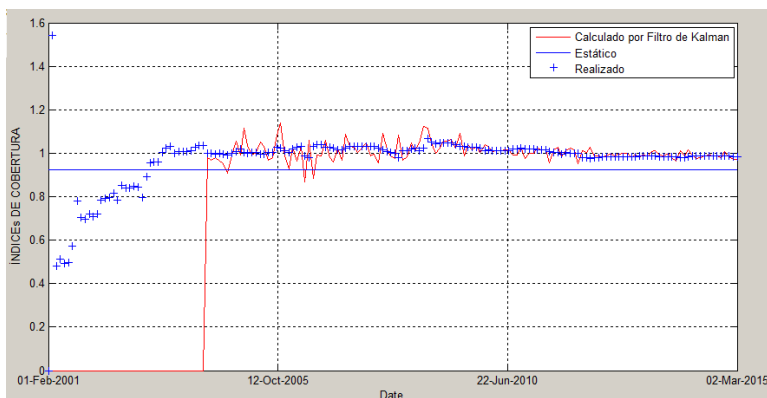
Q_F = Tamaño de un contrato de futuro, del mismo subyacente a la posición a cubrir o aquel con mayor correlación.

h = Índice de cobertura calculado.

N = Número contratos en posición para hacer la cobertura óptima.

Las entradas del modelo son los vectores de cambios ΔS_T y ΔF_T , si imagináramos que estos vectores fueran soportes o elementos verticales de una edificación, podríamos pensar en los términos de las ecuaciones (3) a (8) como otros elementos verticales que se construyen alrededor de estos dos vectores, en una vista de planta de la propia edificación. La edificación tendría como elemento protagónico a h_t de la ecuación (7), sería de hecho el elemento vertical más alto de la edificación y tendría en la parte más alta el pronóstico de la serie que nos interesa, el índice de cobertura óptimo para el siguiente periodo. Podríamos imaginar cómo se construye la edificación piso por piso, es decir cada lapso temporal de las series, mediante el conjunto de ecuaciones que inteligentemente relacionan los errores de las series para minimizar el error del siguiente pronóstico.

El empleo del filtro de Kalman en la obtención un dato de entrada en un proceso de administración de riesgos puede parecer una tarea sobrada dada la naturaleza del origen del propio filtro. Sin embargo, los avances que ha habido en cómputo e informática y la operatividad de los mercados financieros han democratizado este tipo de análisis optimizando los recursos financieros de los entes económicos.



Valores comparados de índices de cobertura. Calculado por el filtro de Kalman, Estático y Realizado

La diferencia entre un modelo y otro se puede observar al ver un cuadro con los valores de los errores cuadráticos de cada modelo.

Error cuadrático		
	Filtro de Kalman	Estático
	0.00458	0.36865
	0.00203	0.36537
	0.02561	0.34958
	0.00165	0.35978
	0.05241	0.38816
	0.09609	0.33692
	0.00851	0.32756
	0.10571	0.36867
	0.00421	0.40272
	0.01478	0.40713
	0.00614	0.40128
	0.00000	0.41105
	0.00299	0.40498
	0.00017	0.40580
	0.00015	0.40508
	0.00312	0.41193
	0.04007	0.40622
	0.00030	0.40573
	0.01369	0.38056
	0.01833	0.38011
Media	0.0200%	0.3844%

Errores cuadráticos de los modelos.

Se concluye que la estrategia planteada optimiza la cobertura del riesgo de precios, asegurando el precio del oro en el futuro y eliminando las fluctuaciones en los flujos de efectivo. La diferencia entre ambos modelos, financieramente se calcula en millones de dólares por periodo, como se verá en el capítulo 4.

Se rechaza H_0 en favor de H_1 , pues el modelo alternativo que emplea al filtro de Kalman como estimador supera mediante comparación de las diferencias cuadradas de los estadísticos del modelo tradicional planteado como hipótesis nula.

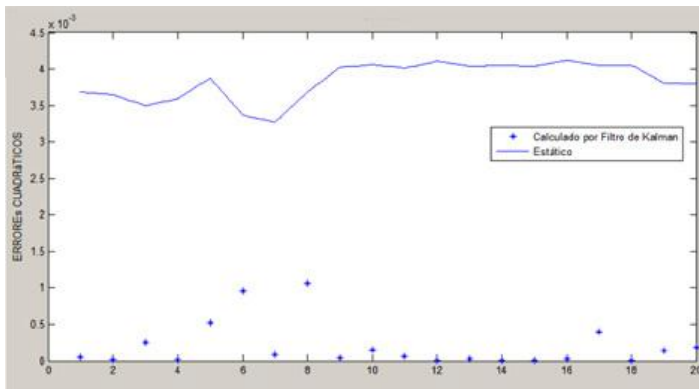


Fig. 4.2 Errores cuadráticos de las series estimadas y realizada.

* Calculada por el filtro de Kalman. ---Estático.

El mismo modelo puede emplearse para cubrir algún otro activo fuertemente correlacionado con el oro. El caso de la propia acción del Grupo Peñoles puede cubrirse con el mismo índice, por ejemplo, pues su correlación con los movimientos del oro es superior al 70%. Este documento presenta el empleo de un método propio de la Ingeniería de Control en la Administración de Riesgos. Así mismo este método puede emplearse en el pronóstico de cualquier variable financiera si se cuenta con una serie completa de la misma; de igual modo se pueden interrelacionar otras variables en un sistema lineal solucionable por el filtro de Kalman y será un estimador de la misma fiabilidad.

INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de obtener el grado de Maestro en Ingeniería, en el área de Sistemas, en la especialidad de Optimización Financiera, se presenta el siguiente trabajo que plantea y resuelve un problema común en la administración de riesgos. Se optimiza la decisión de compra de contratos futuros al determinar el número exacto de contratos a comprar en la cobertura de riesgo de precios para una empresa minera mexicana.

El número de contratos para hacer la cobertura óptima, proviene de la determinación del índice de cobertura, el cual es una proporción o división de los cambios de los precios de contado o spot y los cambios en los precios de los contratos futuros, sobre algún activo financiero, llámese una acción, un índice de acciones, commodities, etc. Este trabajo tiene por ingrediente de innovación el empleo de una técnica propuesta en (Hatemi-J y El-Khatib, 2010) el artículo titulado “*Stochastic Optimal Hedge Ratio: Theory and Evidence*”. Dicha técnica emplea al Filtro de Kalman como estimador del índice de cobertura, que es un indicador del número de contratos a utilizar para cubrir la totalidad de un riesgo en específico al que se expone un ente económico. Este índice de cobertura es modelado como variante en el tiempo y se define como la relación o razón entre los cambios en el precio spot del activo financiero a cubrir y los cambios en el precio del derivado financiero empleado para hacer la cobertura del primer activo.

La aportación de este trabajo, radica en el proceso de determinación del índice de cobertura, para lo cual se presenta un procedimiento de pronóstico de parámetros variables en el tiempo, resuelto por un método de filtrado lineal, el Filtro de Kalman (llamado así en honor a su creador, Rudolph E. Kalman). Para lograr este pronóstico, los datos de entrada del filtro

de Kalman, serán variantes en el tiempo también y el filtro se irá autocorrigiendo, optimizando sus valores de corrección mediante una medida ponderada que también varía en el tiempo. Este procedimiento se explica a detalle en el capítulo correspondiente.

Una estrategia de cobertura es un proceso de toma de decisiones, que las direcciones financieras no encuentran trivial. Es necesario hacer un profundo análisis si se pretende cubrir un riesgo en los mercados de derivados. Se tendrán que responder preguntas como qué derivados se emplearán y de qué manera, para lo cual es indispensable conocer su operación, costos; así como cantidades y tiempos en los que afectarán a los flujos de efectivo correspondientes.

Al verse en tan intrincada situación, los agentes financieros notan que es indispensable llevar a cabo un serio y completo análisis de la situación. Este trabajo propone una manera óptima de tomar esa decisión a la hora de operar instrumentos derivados y hacer una cobertura de un riesgo de mercado, empleando contratos futuros y utilizando el filtro de Kalman como estimador del índice de cobertura que nos dirá, a su vez, la cantidad de contratos de futuros a emplear.

Al enfrentarse al riesgo de precios, una empresa minera se ve expuesta al riesgo de que su producción de metales pierda valor desde su extracción hasta su comercialización física. Si los precios de los metales fluctúan, también los ingresos por las ventas de ellos fluctuarán. Para hacer frente a esta variación, que se entiende como riesgo de precios, se propone una estrategia de cobertura y se plantean los modelos de Hatemi-J (2010) y Hull (2008); como hipótesis alternativa e hipótesis nula, respectivamente.

Se concluye que la estrategia planteada optimiza la cobertura del riesgo de precios, asegurando el precio del oro en el futuro y eliminando las fluctuaciones en los flujos de efectivo que pueden ser del rango de millones de dólares cada mes como se verá en las conclusiones.

El resto del trabajo ha sido organizado en 5 capítulos. En el primero de ellos se hace un estudio de los mercados financieros y sus características principales; se contextualiza al lector en la operatividad de los mercados de derivados. El capítulo segundo comprende a la administración de riesgos vista desde un enfoque meramente financiero y enfoca el análisis hacia la cobertura de riesgos. En el tercer capítulo se hace un estudio del Filtro de Kalman como una herramienta de estimación en series de tiempo, se explica su origen y vinculación a finanzas. Un cuarto capítulo abarca el modelo planteado y su utilización para resolver el caso de una minera mexicana. Por último, un quinto capítulo trata conclusiones y recomendaciones.

Capítulo 1 Operación de los mercados financieros: derivados.

1.1 Los mercados Financieros

Los mercados financieros operan desde hace más de 300 años, la historia de los mercados financieros es parte de la historia del dinero. Los mercados financieros son el conjunto de instituciones públicas y privadas que facilitan la financiación a las economías para desarrollar sus actividades. A lo largo de la historia, ha sido la creación de Bancos Centrales y sus decisiones, las que han ido describiendo a los mercados financieros. Otros participantes que también tienen peso importante en el sistema financiero, son Bancos Privados y Cajas, Compañías Aseguradoras u Operadoras de Fondos.

Los Bancos Centrales, se formaron mucho después que los Bancos Privados, los segundos, tuvieron una gran expansión durante los años 1400 hacia 1700. Expansión causada por el sistema mercantilista y su necesidad de almacenar de forma segura el oro y los metales preciosos que saqueados de todos lugares del mundo iban a parar a Europa. La corriente mercantilista apoyaba fuertemente que la clave de la prosperidad de las naciones radicaba en el atesoramiento de metales preciosos. Nacidos entre el auge del mercantilismo, los Bancos Centrales se crearon como mediadores de los Bancos Privados, aunque fueron adquiriendo mayor autoridad, hasta llegar a ser los organismos responsables de la oferta monetaria y las tasas de interés.

Comencemos hablando de los mercados financieros planteando las diferencias que existen entre los dos tipos de mercados donde se operan los instrumentos financieros, los cuales definiremos posteriormente. Estos dos tipos de mercados se diferencian por la manera en que se negocian los instrumentos financieros. En los mercados bursátiles o bolsas de valores,

como el NYSE (New York Stock Exchange) o la BMV (Bolsa Mexicana de Valores), están listados todos los instrumentos financieros disponibles, es decir se compran y venden instrumentos a precios listados, con condiciones de operatividad perfectamente definidas y bajo preceptos legales propios del lugar donde operan. Por su parte, en los mercados OTC, llamados así por sus siglas en inglés *Over the Counter*, la negociación es muy diferente, pues en estos mercados operan instituciones financieras, empresas e individuos que definen las condiciones de operatividad de los instrumentos financieros de manera muy particular para cada negociación; pudiendo contratar instrumentos financieros con condiciones muy fuera de lo que normalmente se opera en los mercados bursátiles. Los mercados OTC son una gran red de *traders* que trabajan para instituciones financieras, grandes corporativos, o administradoras de fondos.

En estos mercados se comercian diferentes productos, desde bonos hasta derivados, encontrando opciones exóticas o cualquier divisa. Los bancos son participantes importantes en esta operatividad y muchas veces actúan como formadores de mercado, para los instrumentos más comúnmente comerciados. Colocan posturas de precios a la compra y a la venta, y a su vez los formadores de mercado, están dispuestos a comprar y vender a esos precios generando así utilidades mediante el diferencial de los precios de compra-venta. Lo más destacado de los mercados OTC, y que los hace tan solicitados es que los términos de los contratos pueden no ser los mismos a aquellos que especifican las bolsas. De manera que los operadores negocian condiciones que beneficien a ambas partes para posteriormente llegar a un acuerdo; para lo cual también existe todo un código de frases que están claramente definidas para las operaciones que se pueden llevar a cabo en el mercado. Estas operaciones son registradas electrónicamente en robustos y confiables sistemas de

información que controlan las operaciones, la cual es puramente electrónica. En el caso de hacer negociaciones por teléfono los audios son registrados también, evitando así, malentendidos, reclamaciones, aclaraciones o incumplimiento de obligaciones.

Una vez definidos los mercados bursátiles y los OTC, indagemos más en ellos. Dentro de las bolsas de valores podemos diferenciar aquellas bolsas que se dedican mayormente a operar acciones, como la BMV; y aquellas que se dedican mayormente a operar instrumentos derivados, como MexDer (Mercado Mexicano de Derivados) o CBoE (Chicago Board Options Exchange). Aunque las bolsas más grandes ofrecen tanto acciones como derivados y algunos otros instrumentos, como bonos, por ejemplo en el NYSE (New York Stock Exchange).

Los mercados bursátiles tienen por objetivo darle certeza al público inversionista de que se cumplirán a cabalidad las condiciones estipuladas en cada contrato operado, eliminando así el riesgo de crédito o incumplimiento de pago. Esto se logra mediante un sistema de colaboración entre cámaras de compensación y otros entes jurídicos que dan certeza a la operatividad y cumplimiento de obligaciones. A diferencia de los mercados OTC donde existe un riesgo de crédito mayor, pues los contratos se realizan sin la vigilancia de terceras partes, aunque es poco probable el incumplimiento de alguna de las partes dado que a todos los inversionistas individuos, empresas o instituciones cuidan mucho su reputación en el sistema financiero.

Parte importante de la operatividad de los mercados se da gracias a los formadores de mercado. Que son individuos o compañías que tienen por obligación listar precios de

compra y venta, y quienes a su vez, están preparados para comprar y vender a esos precios respectivamente.

El nombre de *Over The Counter*, data de los tiempos en los que los instrumentos financieros se operaban, como su nombre lo dice, sobre el mostrador. Antaño, los instrumentos financieros se comerciaban a través de vendedores que con sus portafolios, personalmente acudían a las oficinas corporativas de las empresas y literalmente ofrecían los instrumentos financieros en forma de papeles o contratos que sobre algún mostrador ofrecían a los inversionistas. Actualmente la operatividad de las bolsas se ha volcado cada vez más y más electrónica, gracias a los avances que ha habido en telecomunicaciones e informática. Aunque en algunas bolsas del mundo aun es práctica las operaciones en piso, donde acaloradamente los inversionistas toman decisiones entre gritos y señales con las que se comunican; esto sin embargo, en bolsas como la de Nueva York es parte más bien de un paseo turístico, la mayor parte de las transacciones ya se operan electrónicamente. Esta tendencia está cambiando la manera de analizar la información y tomar decisiones, hoy en día, hacer un análisis sofisticado y exhaustivo de la información es imprescindible para los inversionistas; con las computadoras comerciales, actualmente es posible hacerlo y mejorar el proceso de toma de decisiones a la hora de comerciar instrumentos financieros.

Ya sea en mercados bursátiles o mercados OTC, es importante mencionar las diferentes partes del mercado que suelen clasificarse por la naturaleza de los instrumentos negociados. Tenemos así, mercado de dinero; donde se operan títulos tasados a descuento. Mercado de capitales, donde operan principalmente acciones. Mercado de derivados; caracterizado por operar instrumentos cuyo valor depende de otro activo financiero. Mercado de divisas, también llamado Forex (por sus siglas en inglés, Foreign Exchange). Mercado de

“*commodities*” es otro de gran relevancia y se refiere a la operatividad de las materias primas.

1.2 Historia de los Mercados de derivados

Entre 1537 y 1539, bajo el gobierno de Carlos V en los Países Bajos, se puso en marcha un marco legislativo que dio apoyo a las transacciones financieras y comerciales en este país.

Entre 1630 y 1637 en Holanda el mercado de tulipanes se transformó de un mercado estacional a un mercado de contratos de futuros y opciones con vencimientos anuales, el sistema colapso debido a una burbuja especulativa.

Fue en Japón donde se abrió el primer mercado organizado de futuros a inicios del siglo XVIII sobre su principal mercancía de comercialización, el arroz, se caracterizó por gran volatilidad, lo que ocasionó que los comerciantes de Osaka diseñaran en 1730 un moderno y estable sistema de mercado a futuro, el primero en el mundo.

Rumbo a 1848, fue fundado el “Chicago Board of Trade” y sirvió para estandarizar las cantidades y calidades de los cereales que se comercializaban. Después de 25 años, se funda el “Chicago Mercantile Exchange”, proporcionando un mercado central para los productos agrícolas perecederos.

El sistema monetario internacional, históricamente se compone por tres periodos: ”la época del patrón-oro” (desde 1870 a 1914), el período entre guerras (de 1918 a 1939) y el período tras la Segunda Guerra Mundial durante el cual los tipos de cambio se fijaron según el acuerdo de Bretton Woods (1945-1973)” (Krugman, 1995)

El patrón oro (1870-1914), se constituyó como institución legal como un patrón internacional donde cada país ata su moneda al oro y esto le permitía sin restricciones, la importación o la exportación de oro. Lo esencial de este tipo de patrón fue que los tipos de cambio eran fijos. El país central dentro de este patrón era Inglaterra ya que era el líder mundial en asuntos comerciales y financieros. Y en realidad en este periodo, el patrón oro no cubrió a todo el mundo, sólo a un grupo de los principales países europeos.

Período entre las dos guerras mundiales (1918-1939), este período se conoce también como la “era oscura del sistema financiero internacional”, ya que se caracterizó por un fuerte exceso de oferta monetaria e inflación. Con el estallido de la primera guerra mundial, las naciones en conflicto suspendieron la convertibilidad de sus monedas al oro decretando un embargo sobre las exportaciones del metal, con el fin de proteger sus reservas. Después, la mayoría de las naciones adoptaron la misma política. Por lo tanto, el financiamiento de los gastos militares fue a través de la impresión de dinero de manera masiva y excesiva.

En julio de 1944, las potencias mundiales se reunieron en el Hotel Mount Washington de Bretton Woods, New Hampshire, para diseñar un nuevo orden financiero internacional. Las principales características del Sistema Bretton Woods, fueron la creación de una agencia internacional con poderes y funciones definidos, se acordó que las tasas de interés deberían ser fijas en el corto plazo pero ajustables de tiempo en tiempo, y que todos los países deberían comercializar sin restricciones como tampoco tener restricciones en la convertibilidad de monedas.

Del Bretton Woods se deriva la creación del FMI (Fondo Monetario Internacional). Organismo encargado de la administración del nuevo sistema financiero internacional. A partir de la década de los 90`s, se dice que vivimos “en un mundo más riesgoso”, ya que con el proceso de globalización que vivimos hoy en día los impactos producidos por un país se expanden al resto del mundo por la interrelación de las economías.

Los instrumentos derivados tomaron mayor importancia con relación a la exposición al riesgo a partir de 1971, con el cambio del patrón oro al dólar, resultado del famoso acuerdo de Bretton Woods.

“A partir de esa fecha el comportamiento del mercado de divisas ha sufrido movimientos que afectan el desempeño de las tasas de interés, en tanto que la inestabilidad generalizada de los mercados se ha reforzado por el fenómeno inflacionario que han tenido que afrontar las economías modernas”. (Baca, 1997).

La volatilidad de los tipos de cambio se originó a partir 1971, y se dio entrada a un sistema de flotaciones entre monedas, dando como resultado la aparición del riesgo de tipo de cambio. En 1979, la Reserva Federal de los EE.UU. abandona la práctica de fijar la tasa de interés y comienza a fijar la de crecimiento de la oferta monetaria, y así apareció el riesgo de tasas de interés. La inestabilidad del petróleo en la década de los 70`s provocó inestabilidad en otros commodities apareciendo el riesgo de precios de los commodities.

No cabe duda, hoy en día, que la bolsa de derivados más importante del globo es el CME Group. Caracterizada por un historial colectivo de innovación, que incluye el nacimiento de la contratación de futuros, CME Group es artífice de importantes avances que han conformado el sector de futuros de hoy día, entre ellos destaca la estandarización de los

contratos de futuros, la formación del proceso de compensación, la creación de futuros financieros, la liquidación en efectivo y la contratación electrónica

1.3 MEXDER, el mercado mexicano de Derivados.

MexDer, Mercado Mexicano de Derivados, S.A. de C.V. es la Bolsa de Derivados de México, inició operaciones el 15 de diciembre de 1998 listando contratos de futuros sobre subyacentes financieros, siendo constituida como una sociedad anónima de capital variable, autorizada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). En ella participan operadores, formadores de mercado y socios liquidadores, cada uno con definidas actividades en el funcionamiento adecuado del sistema.

El mercado mexicano de derivados, MexDer, constituye uno de los avances más significativos en el proceso de desarrollo e internacionalización del Sistema Financiero Mexicano. La incursión de México a los mercados de derivados fue bien visto por organismos internacionales como el FMI (Fondo Monetario Internacional).

México intentó varias veces establecer un mecanismo de mercado sobre instrumentos derivados. A partir de 1978 se comenzaron a cotizar contratos a futuro sobre el tipo de cambio peso / dólar, que se suspendieron a raíz del control de cambios decretado en 1982. En 1983 la BMV listó futuros sobre acciones individuales y petrobonos, los cuales registraron operaciones hasta 1986; sin embargo, estas negociaciones se suspendieron en 1987. El gobierno federal también ha emitido instrumentos híbridos, los cuales han sido de gran importancia en la conformación de carteras de inversión. Por mencionar algunos están los Petrobonos, que se operaron del 1977 al 1991; los Pagafes, operados de 1986 a 1991; o los Tesobonos, operados desde 1989. En 1992 se suspendió la operatividad de forwards

OTC, pues no se contaba con un marco operativo formal. Hasta 1994, el Banco de México emite normas sobre forwards sobre la tasas TIIE y el IPC. Entre 1994 y 1997, se lograron avances para la puesta en marcha del MexDer en cuanto a tecnología a implementar y operatividad jurisdiccional. En 1996 se definen las reglas que definieron la estructura y formas de operación para los participantes del mercado.

Sin embargo, el MexDer se pudo constituir hasta el 11 de diciembre de 1998 con Asigna como la cámara de compensación, iniciando operaciones al 15 de diciembre de 1998, con la participación de cuatro socios liquidadores (Banamex, Bancomer, BBV, Inverlat), e iniciando operación electrónica el día lunes 8 de mayo de 2000, con SENTRA DERIVADOS (sistema desarrollado específicamente para la operación electrónica de operaciones de futuros). El volumen total operado de contratos en 1999 fue de 618,989, marcando los primeros pasos de los mercados financieros del país.

Junto con Chicago Mercantile Exchange (CME), MexDer tiene un acuerdo de ruteo para ampliar la base de distribución de los productos derivados mexicanos en el mundo entero y ofrece productos de CME a los operadores y clientes en México.

Además de ofrecer productos aprobados por la CFTC (Commodity Futures Trading Commission, MexDer está en proceso de recibir la aprobación y clasificación internacional de Foreign Board of Trade, una Bolsa Extranjera Reconocida ante este organismo regulatorio de Estados Unidos. MexDer y su Cámara de Compensación, Asigna, son entidades autorreguladas que funcionan bajo la supervisión de las Autoridades Financieras (SHCP, Banco de México y la Comisión Nacional Bancaria y de Valores- CNBV).

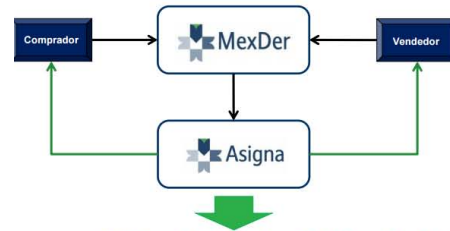
El mercado de derivados es muchas veces más grande que el mercado accionario, los derivados se compran y venden a diario en las bolsas de todo el mundo, así como en mercados OTC. Muchas variantes de forwards, opciones o swaps son introducidos por instituciones financieras para grandes clientes con necesidades muy específicas; el valor total de los subyacentes de los derivados que se comercializan equivale a varias veces el producto interno bruto mundial. Los derivados son importantes herramientas en la transferencia de riesgos, se les puede utilizar con fines de cobertura, especulación o arbitraje.

Dentro del mercado de derivados encontramos también los dos tipos de mercados; los bursátiles y los OTC. El Banco Internacional de Liquidaciones (BIS, por sus siglas en inglés, Bank of International Settlements), comenzó a llevar estadísticas desde 1998, sobre las operaciones con derivados. En diciembre de 2010, en los mercados bursátiles se comerciaban \$67.9 billones de dólares, mientras que en los mercados OTC la cifra era de \$601 billones, he ahí la magnitud de la diferencia, en materia de derivados.

1.3.1 La cámara de compensación

En el sector financiero, se sabe que ha habido a través del tiempo crisis que han hecho tambalear a las economías del mundo. Es por ello que siempre se tienen que instaurar nuevas medidas que eviten catástrofes financieras. Las cámaras de compensación se encargan de dar certeza de cumplimiento a las operaciones de los mercados financieros. Ya sea mediante aportaciones, liquidaciones diarias, garantías o márgenes de algún tipo. Estas cámaras siempre vigilan que las partes tengan en una cuenta de un tercero los montos que han desfavorecido su posición.

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, para ello deberá observar la normatividad emitida por las Autoridades Financieras: Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Comisión Nacional Bancaria y de Valores (CNBV) y Banco de México, así como por las Reglas del propio Mercado Mexicano de Derivados. Cuenta con la más alta calificación crediticia y más altos estándares para la administración de riesgo. Basa, además su funcionamiento en un Reglamento, al que deberán apegarse los participantes para asegurar el cumplimiento de las obligaciones contraídas en el Mercado.

Asigna fue constituido en 1998 en BBVA Bancomer y es un fideicomiso de administración cuyo objetivo es el de compensar y liquidar las operaciones de productos derivados realizadas en MexDer. Sus fideicomitentes son; Banamex Citigroup, BBVA Bancomer, JPMorgan, Santander-Serfin, Scotiabank Inverlat, así como el Instituto para el Depósito de Valores S.D. Indeval.

Asigna, se encuentra regida por las Reglas emitidas por las Autoridades competentes, además, es el organismo que administra las operaciones de las transacciones bursátiles operadas en bolsas, tiene un número de miembros que operan o a través de los cuales se puede operar en los mercados bursátiles. De manera que cuando dos partes hacen una operación a través de un contrato, estas partes rinden cuentas a la cámara de compensación la cual está entre las dos partes; cumpliendo su objetivo de vigilar y garantizar la operación adecuada de los instrumentos.

La ventaja de esta operatividad es que ninguna de las partes tiene porqué preocuparse por el riesgo de incumplimiento de la otra parte. Esto lo logra exigiendo a los operadores mantener valores en una cuenta, dedicada a compensar las pérdidas que puedan tener en derivados, dicha cuenta se debe compensar todos los días, para el caso de operación de futuros. Cuando un operador tiene un riesgo potencial de incurrir en grandes pérdidas, causado por un movimiento adverso a su posición en los mercados, la cámara de compensación le requiere al operador depositar efectivo o papeles comercializables, como garantía del pago, a esta garantía se le llama en los mercados, margen o aportación. Si no se les exigiese este margen a los operadores, la cámara de compensación estaría tomando el riesgo de que el mercado se mueva en contra de un operador estrepitosamente.

La relación entre las cámaras de compensación y las operaciones OTC se hace más estrecha cada vez, más aun con la crisis de 2007 – 2009, los organismos reguladores han requerido el uso de cámaras de compensación para derivados OTC estándar. Esto ha cambiado mucho a partir de dicha crisis, antes de ella, los derivados OTC se liquidaban bilateralmente entre las dos partes que habían hecho el contrato, a partir de la crisis la mayoría de las operaciones OTC son administradas por organismos centrales compensadores, cuya misión es la misma que de las cámaras de compensación.

1.4 Instrumentos derivados

A partir de 1972 comenzaron a desarrollarse los instrumentos derivados financieros en México. Los productos o instrumentos financieros derivados, o simplemente derivados, son instrumentos financieros cuyo valor depende de otro activo más elemental, al que llamamos activo subyacente. Este activo más elemental puede ser el precio de una acción, el precio del

petróleo Brent, la tasa de interés LIBOR, el tipo de cambio peso-dólar, el precio de una materia prima, incluso condiciones climáticas. De hecho, cualquier variable puede ser objeto de creación de un producto derivado, obviamente la demanda determinará qué productos crearán las instituciones financieras. Por ejemplo una opción sobre una acción, es un derivado cuyo valor depende del precio de una acción. Los principales derivados financieros operados son: forwards, futuros, opciones, opciones sobre futuros, warrants y swaps.

Diremos que toma una posición larga quien compra; por el contrario, diremos que está en una posición corta quien vende. Una posición larga en mercados de derivados la tiene quien se verá obligado a comprar un activo subyacente, mientras que una posición corta la tiene quien se verá obligado a vender un activo subyacente.

Contratos adelantados o Forwards

Un contrato forward es un acuerdo para comprar un activo en el futuro a un determinado precio. Este tipo de contratos se comercializa en mercados OTC. En un contrato forward, una de las partes asume la posición larga y acuerda la compra del activo en una fecha futura a un determinado precio. La otra parte asume una posición corta y acuerda la venta del activo en la misma fecha al mismo precio. Los contratos forwards sobre tipos de cambio son muy comunes y se les emplea en muchas ocasiones para asegurar los tipos de cambio, que de otra naturaleza sería una fuente de riesgo para los operadores financieros.

Supongamos, que en Agosto pasado en 2014, un tesorero de una compañía acordó pagar \$1 millón de dólares dentro de un año, Agosto de 2015, y desea asegurar que el tipo de cambio no se mueva. Para lo cual, puede contratar un forward sobre tipo de cambio y así asegurar el tipo de cambio dentro de un año, el cual pensemos que estaba al momento que lo

contrató, en \$13.7520 con alguna institución financiera. Por lo tanto, la compañía que administra el tesoro, ha entrado en una posición larga con un forward de tipo de cambio dólar por \$ 13,752,000 de pesos, al acordar que comprará \$1 millón de dólares en Agosto de 2015. Por su parte, la institución financiera, ha entrado en una posición corta con un forward sobre tipo de cambio a \$13.7520 por dólar por un millón de dólares.

El contrato forward obliga a la compañía a comprar \$1 millón de dólares a un tipo de cambio de \$13.7520, si al final del año, el tipo de cambio ha subido a \$13.85. La compañía compraría los dólares a un precio de \$13.7520, en lugar de \$13.85, dicha operación entonces, tiene un valor $(13.85-13.7520)*\$1\text{millón} = \$98,000$. Por otro lado, pudo ser la situación diferente, y en lugar de que el mercado finalizara en \$13.85, finalizase en \$ 13.52; por debajo de los 13.7520 pactados en el forward. En este caso la compañía tendría que comprar los dólares según el contrato forward a un precio de \$13.7520, en vez de los \$13.52, del mercado *spot*, el contrato tendría un valor de $(13.52-13.7520)*\$1\text{millón} = -\$232,000$. El signo negativo indica pérdidas para la compañía puesto que el activo subyacente resultó más barato en el mercado *spot* que en el contrato forward y por consiguiente se tuvo que comprar más caro. Este ejemplo muestra que en los forwards, una posición larga puede significar ganancias o pérdidas, al igual que a la posición corta, que de hecho es su contraparte. El flujo por operación es igual al precio spot del activo subyacente al forward al vencimiento S_T , menos el precio acordado para la entrega del propio contrato K .

$$S_T - K$$

Esto aplica para la posición larga debido a que el poseedor del contrato está obligado a comprar el activo de un valor S_T a un precio K . Contrario a lo que le sucede a la posición corta en donde la ganancia o pérdida por el contrato se refleja en $K - S_T$

Los diagramas de los flujos de efectivo causados por la operación o mejor conocidos como diagramas *payoff*, se muestran a continuación.

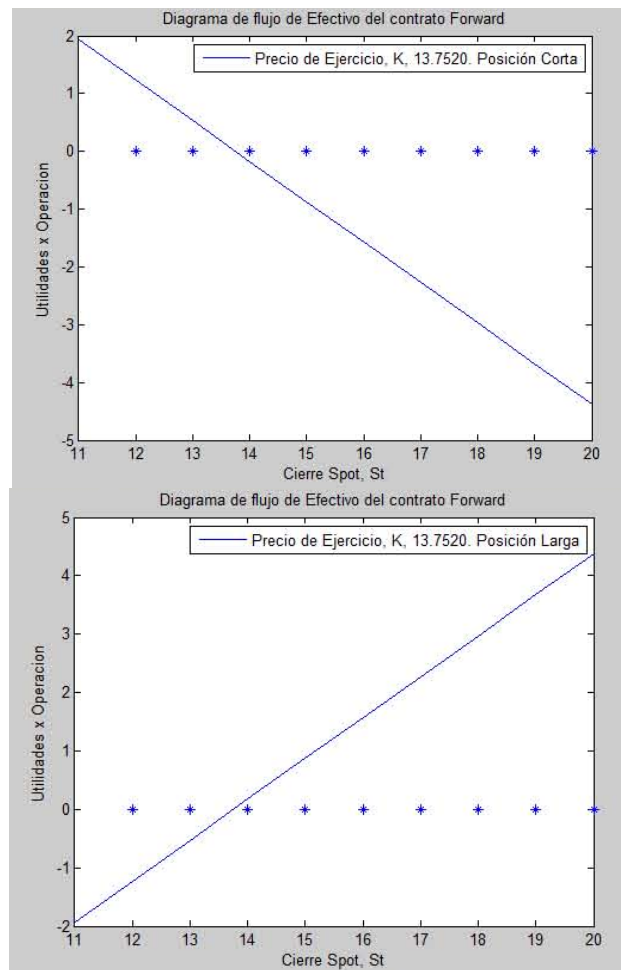


Figura 1.1. Se muestra gráficamente los valores del contrato forward para los diferentes S_T valores spot del subyacente al vencimiento, el cual se adquiere a un precio pactado K . El flujo de efectivo equivale a la distancia entre ambas líneas en un trazo vertical.

Se puede ver que las posiciones son simétricas entre sí, esto significa que cuando una de las partes pierde una cantidad es la misma cantidad que ganará la otra parte, dado que ese es el funcionamiento de este tipo de contratos, lo que un jugador gana otro jugador lo pierde.

Futuros

Los contratos futuros, así como los forwards, son acuerdos para comprar un activo en un tiempo determinado en el futuro a un precio pactado. A diferencia de los forwards, los futuros se comercian en bolsas. Lo que significa que las condiciones del contrato están estandarizadas. Así, las bolsas determinan, por ejemplo, condiciones como las cantidades de activo subyacente a entregar por contrato, las fechas de entrega, los lugares de entrega y las calidades admitidas del activo a entregar, entre otras. Los contratos son nombrados según su mes de entrega. Así, el futuro del Oro a Septiembre 2015, es un futuro que entrega el Oro en Septiembre de 2015. Estos contratos están propiamente especificados en cuanto a lugares y fechas de entrega, tamaño de contrato, calidad y embalaje del activo subyacente y fecha de vencimiento

Los precios con los que se operan los futuros responden a la ley de oferta y demanda. Cuando un futuro sea más demandado y haya muchos compradores, más que vendedores, su precio tiende a subir y cuando es menos demandado su precio baja en consecuencia.

Una de las grandes ventajas cuando se operan futuros es la facilidad para cerrar una posición. Digamos que se compra en el mes de Julio de 2014 un futuro con vencimiento en Diciembre de 2014. Es posible salir del contrato mediante la operación inversa, es decir, abriendo una posición contraria a la que se había tomado previamente, con la misma fecha de vencimiento y del mismo subyacente, claro. A diferencia de los *forwards*, en los futuros

se cierran y abren muchas posiciones y es rara la ocasión en la que se llega hasta la entrega de los activos subyacentes, casi siempre se cierran las posiciones y se evita la entrega, lo cual no se puede hacer con tanta facilidad con los forwards.

El precio de un futuro, generalmente está muy cercano al precio de un forward. Una gran diferencia entre futuros y forwards, es que los futuros se liquidan a diario, mientras que los forwards solo se liquidan a la entrega. De manera que, en los futuros, a diario ocurren flujos de efectivo entre las cuentas de los *traders* según les favorezca o perjudique algún movimiento en los precios spot, a estos flujos, también se les conoce como márgenes o aportaciones.

Supongamos ahora el caso de un productor de petróleo, asumamos que corre el mes de Mayo y el productor de petróleo ha negociado vender un millón de barriles de crudo. Se ha acordado que el precio que aplicará en el contrato de compra-venta será el precio spot a la fecha de vencimiento, que es el día 20 de Agosto. De manera que el productor se encuentra ante la situación de ganar \$10,000 por cada centavo que se incremente el precio spot del crudo y perderá \$10,000 por cada centavo que disminuya en el plazo de los tres meses. Supongamos que al 20 de Mayo el precio spot es de \$80 por barril y los precios de futuros para entrega en Agosto son de \$79.30 por barril. Como cada contrato es para la entrega de mil barriles, la compañía podría vender 1000 contratos; es decir, abrir una posición corta en futuros con 1000 contratos para así cubrir su exposición. Esta cobertura garantiza que el precio al que se venderá el petróleo es de \$79.30 por barril, el siguiente capítulo profundiza el concepto y la estrategia de una cobertura.

Adelantémonos un poco y veamos qué podría pasar en el mes de Agosto, pensemos primero en que el precio spot del petróleo al 20 de Agosto es de \$75 por barril. La compañía tendría \$75 millones por el contrato de compra-venta; y como Agosto es el mes de vencimiento de los futuros, su precio estará cerca del precio spot, los \$75, de manera que en los mercados de futuros la compañía gana $\$79 - \$75 = \$4$ por barril o \$4 millones.

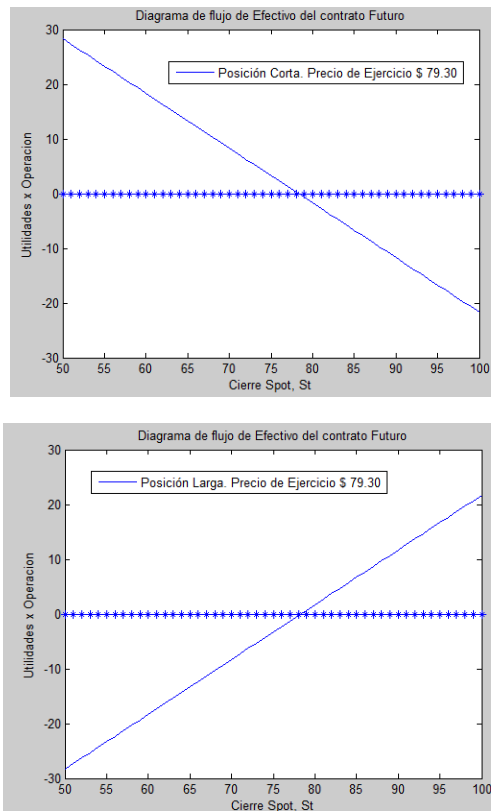


Figura 1.2 Se muestra gráficamente los valores del contrato futuros para los diferentes S_T valores spot del subyacente al vencimiento, el cual se adquiere a un precio pactado K . El flujo de efectivo equivale a la distancia entre ambas líneas en un trazo vertical.

La cantidad total de percepciones, tanto del contrato de compra-venta como de los mercados de futuros es muy cercana a los \$79 por barril. Se puede notar que si el precio spot al vencimiento hubiese sido mayor a el precio del futuro la pérdida, ahora en este caso de la posición corta en los mercados de futuros, hubiese compensado las ganancias del contrato de

compra-venta en Agosto, dando por resultado, nuevamente el haber pactado el precio del petróleo muy cerca de los \$79 por barril.

Swaps

Un swap, es un contrato en el cual dos instituciones financieras acuerdan intercambiar una serie de flujos de efectivo en el futuro. El contrato define las fechas cuando se pagarán los flujos de efectivo y la manera en la cual se calculan. Usualmente, el cálculo de los flujos de efectivo involucra las tasas de interés futuras, tipos de cambio u otras variables de mercado. El primer contrato swap que se comerció data de principios de los 80's. Desde entonces, el mercado ha vivido una crecida impresionante. Hoy en día, los swaps forman una importante parte del mercado de derivados OTC en todo el mundo.

Un forward puede ser ejemplo de un simple swap. Con la diferencia de que en el forward el intercambio de flujos de efectivo solo se lleva a cabo en una sola fecha de entrega en el futuro, mientras que en los swaps tenemos intercambios de flujos de efectivo en más de una sola ocasión.

El swap más empleado, es el swap vainilla de tasas de interés, en el que se intercambia, por ejemplo, una tasa fija por tasa LIBOR (London InterBank Offered Rate, LIBOR por sus siglas en inglés). Ambas tasas, las que se intercambiaron, se aplican al mismo principal nominal. Supongamos que una compañía acuerda a través de un swap el intercambio de tasas para tener como resultado el pago a tasa fija a 5% y a recibir tasa LIBOR.

Los swaps vainilla son bien conocidos, pues se les puede emplear con muchos propósitos. Por ejemplo, un swap de tasa de interés fija por variable pudo emplearlo una compañía para

transformar la tasa a la que paga sus préstamos, LIBOR + 1%, por tasa fija a 6%; mediante la combinación,

1. Pagar sus pasivos a tasa LIBOR + 1%
2. Recibir LIBOR en el swap
3. Pagar 5% en el swap

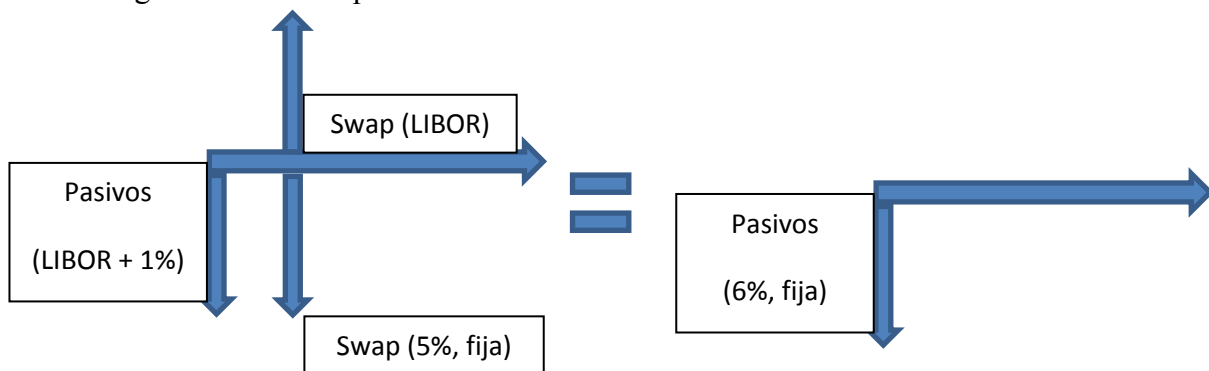


Figura 1.3 Empleo del Swap en cambio de tasa variable a tasa fija.

Esta combinación da como resultado el pago neto de 6%. Veamos como una compañía puede intercambiar una inversión que gana tasa fija de 4.5% a una inversión ganando tasa LIBOR – 0.5%

1. Se reciben 4.5 % de la inversión a tasa fija
2. Se recibe tasa LIBOR en el swap
3. Se paga tasa 5% en el swap
4. Lo cual da como resultado una tasa variable en la inversión a LIBOR – 0.5%

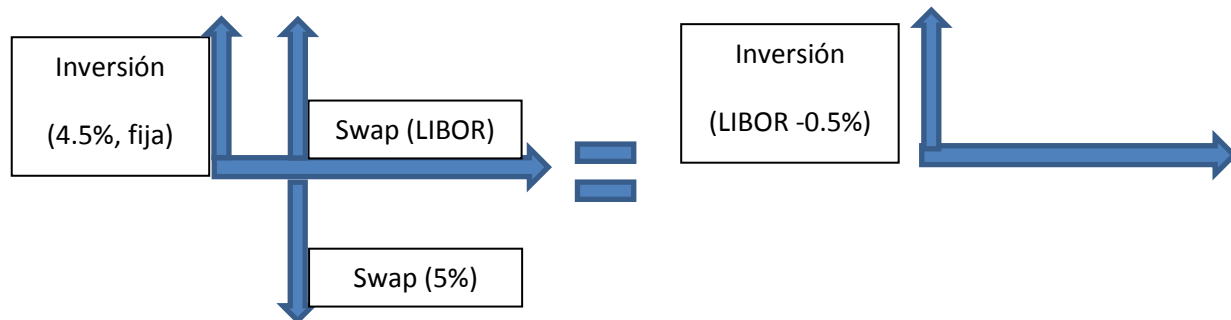


Figura 1.4 Empleo del Swap en cambio de tasa fija a tasa variable.

De esta manera las empresas o instituciones financieras pueden cambiar sus tasas activas y pasivas por tasas variables o tasas fijas siempre y cuando hagan los correctos contratos swaps. Los flujos de efectivo del swap suelen darse con frecuencias distintas, mensualmente, trimestralmente, anualmente.

Muchos bancos actúan como formadores de mercado en swaps, veamos el siguiente cuadro

Vencimiento (años)	Compra	Venta	Tasa Swap
2	6.03	6.06	6.045
3	6.21	6.24	6.225
4	6.35	6.39	6.370
5	6.47	6.51	6.490
7	6.65	6.68	6.665
10	6.83	6.87	6.850

Cuadro 1.1 Cotizaciones de tasa para Swaps. Fuente: Citigroup.

Estas son las cotizaciones para los swaps sobre dólar. El primer renglón, indica que el banco está dispuesto a entrar a un swap de dos años en el que pague una tasa fija a 6.03% y reciba LIBOR. De igual manera el banco está dispuesto a entrar a un swap en el cual reciba 6.06% y pague LIBOR. El diferencial, o spread, de compra venta suele ser de 3 o 4 puntos base. El promedio de las cotizaciones de compra y venta de los swaps se le conoce como tasa swap y se muestra en la última columna.

La operación de swaps y otros instrumentos OTC ha sido facilitada por la Asociación Internacional de Swaps y Derivados, ISDA por sus siglas en inglés (*International Swaps and Derivatives Association*). Este organismo ha creado contratos estándar que se usan globalmente por los participantes del mercado. Los swaps pueden tener como activo subyacente cualquier variable bien definida. Los más empleados son los swaps de tasa de

interés, los de tipo de cambio, *commodities* e índices. La complejidad de los swaps puede ir más allá. En ocasiones puede haber swaps con una opción embebida, es decir, dentro del swap, permitiendo al usuario del swap salir del swap con anticipación o cambiar la metodología de cálculo de los flujos de efectivo.

Opciones

Las opciones se comercian tanto en mercados bursátiles como en mercados OTC. Existen dos tipos elementales de opción, la opción de compra, conocida como opción CALL y la opción de venta, conocida como opción PUT. La opción CALL da al tenedor de la misma, el derecho de comprar el activo subyacente a una fecha futura a un determinado precio. La opción PUT da al tenedor de la misma, el derecho a vender el activo subyacente en una fecha futura a un precio determinado. El precio marcado en el contrato lo conocemos como precio de ejercicio, o *strike*; la fecha que indica el contrato la conocemos como fecha de vencimiento.

Una división más encontramos en las fechas en las cuales se puede ejercer el derecho que otorga una opción; existen opciones americanas y europeas, las primeras se les puede ejercer el cualquier tiempo hasta el día de su vencimiento y las Europeas sólo se pueden ejercer hasta la fecha de vencimiento y no antes. Resultan más sencillas de estudiar, analizar y modelar las opciones europeas, aunque en la operatividad, las americanas son más comunes. Sin embargo, muchas propiedades de modelación de las americanas se heredan del análisis de las europeas.

Decimos que una opción está “justo en dinero” o “*at the money*”, si el precio spot es muy cercano al precio de ejercicio, o sea, cuando la utilidad por ejercerse es nula. Una opción

“fuera del dinero” o “*out of the money*” es aquella situación donde ejercer la opción tendría como resultado una pérdida. Una opción “en dinero” o “*in the money*” es la que, al ejercerse, da por resultado una ganancia.

La principal diferencia entre las opciones y los demás instrumentos financieros es que con las opciones solo se obtienen derechos y no obligaciones, mientras que en los contratos forwards y futuros si se adquirirían obligaciones de compra y de venta de los activos subyacentes. Además, por ese simple hecho, el entrar a un contrato *forward* o futuro no tiene costo, mientras que el contratar una opción tiene un costo. El precio de la opción también es conocido como “premio”.

Supongamos que un inversionista, a través de su bróker, compra opciones de compra europeas, CALL, sobre acciones de AMX (América Móvil) a un precio de \$45 pesos, con un precio de ejercicio de \$25 con vencimiento en Septiembre de 2015. Esta opción es un contrato que da al tenedor el derecho a comprar 100 acciones de AMX por un precio de \$25 cada acción. Supongamos que al vencimiento, la acción de AMX cotiza en \$21. En este caso ejercer la opción implicaría comprar en \$25 algo que vale \$21, por lo tanto no se ejerce y el inversionista habrá perdido \$45, mientras que la institución financiera que vendió la opción habrá ganado los \$45 del inversionista, menos las comisiones del bróker. Si por el contrario, al término del plazo, la acción AMX hubiera cotizado por encima del *strike* de \$25, en este caso al inversionista le convendría ejercer su opción; pensemos que la acción cotiza en \$27.50 al vencimiento de la opción, el inversionista tendrá el derecho a comprar en \$25 algo que vale \$27.50, por lo que tendría una utilidad de $(27.50 - 25) * 100 = \$250$, menos el costo de la opción misma, una utilidad neta de $\$250 - \$45 = \$205$.

Existen 4 tipos de operación en los mercados de opciones. La posición corta en CALL, se refiere al acto de vender un contrato de opción CALL. La posición corta en PUT, se refiere al acto de vender un contrato de opción PUT. La posición larga en CALL, se refiere al acto de comprar un contrato de opción CALL. La posición larga en PUT, se refiere al acto de comprar un contrato de opción PUT.

Los compradores tienen posiciones largas, los vendedores tienen posiciones cortas. Los mercados OTC en opciones son más grandes que los mercados bursátiles, con las ventajas que ya mencionamos propias de los mercados OTC, donde las condiciones de los contratos se pueden ajustar a la medida de cada cliente en particular y no tienen que ser las mismas condiciones que las opciones bursátiles o listadas. La valuación de opciones, así como las estrategias de cobertura que de la operación de ellas deriva, se efectúa con sofisticados modelos matemáticos donde se analizan las diferentes fuentes de riesgo de las opciones como la volatilidad, el tiempo a expirar, las variaciones del precio del subyacente y las tasas de interés.

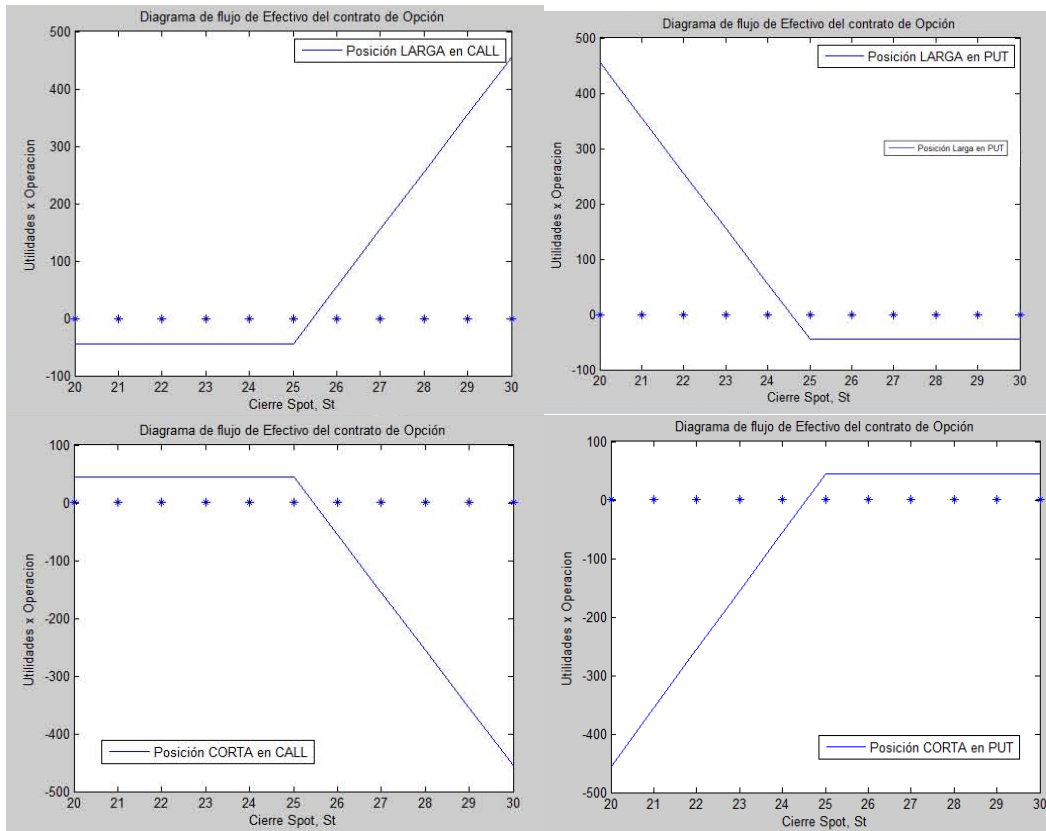


Figura 1.5. Diagramas pay-off de las operaciones más básicas con opciones. Izq Arr: Posición Larga en CALL. Der Arr Posición Larga en PUT. Izq. Aba: Posición Corta en CALL. Der. Aba: Posición Corta en PUT. El flujo de efectivo equivale a la distancia entre ambas líneas en un trazo vertical.

1.5 Operatividad técnica: Mercados de Derivados bursátiles.

Actualmente la operatividad de MexDer se lleva a cabo totalmente de manera electrónica; sin embargo, fue hasta Mayo de 2000 que comenzó a ser así, anteriormente las operaciones eran de viva voz en el piso de remates de MexDer.

Los Operadores ingresan posturas, es decir, compran o venden algún instrumento, y el Sistema (SENTRA) "encripta" el nombre del intermediario al no revelar su identidad. Permitiendo igualdad de oportunidad para todos los participantes. Una vez pactada la operación, MexDer envía a la Cámara de Compensación (Asigna) los datos de la misma,

convirtiéndose en el comprador del vendedor y el vendedor del comprador, asumiendo el riesgo de crédito contraparte. Asigna cuenta con calificación AAAMex de la calificadora Fitch Ratings.

Así es como opera el MexDer, el cual lo podemos representar como un sistema de cómputo de gran capacidad donde se procesan las diferentes órdenes de los participantes del mercado. Todas las operaciones se registran y encriptan, permitiendo equidad de los participantes. De igual manera las operaciones se llevan a cabo, siempre y cuando se garantice que las partes tienen la capacidad y solvencia para participar del mercado, lo cual se determina mediante la exigencia de garantías a los usuarios. El sistema es tan robusto que asegura todo lo necesario previo a una operación y solo hasta que se cumplen todos los requerimientos se envía una orden al mercado y es que las operaciones se llevan a cabo cronológicamente como van llegando a formarse en este complejo sistema que tiene reglas perfectamente definidas.

El mercado OTC (siglas en inglés, *over the counter*), que es una alternativa a las bolsas de valores y los mercados de derivados establecidos, como el CME o el MexDer, se conforma de una red de *traders* que comercian instrumentos derivados con características particulares. Pueden conectar a dos instituciones financieras o a una institución y a un cliente. La institución financiera actúa como formador de mercado y siempre está preparado para dar un precio de compra y venta para las posiciones que sus clientes necesiten satisfacer. Las conversaciones que se llevan a cabo en las transacciones OTC suelen ser grabadas, por si fuera necesario hacer aclaraciones o hubiese malentendidos. Las transacciones OTC son mucho mayores que en los mercados organizados, pues tienen la ventaja de que los contratos se pueden hacer más flexibles que los de los mercados organizados y las partes pueden incluir cláusulas de su mutuo interés. La desventaja de estas operaciones es que existe cierto

riesgo de crédito, a diferencia de los mercados organizados, donde prácticamente se ha eliminado la posibilidad de este riesgo; al existir las cámaras de compensación y otros organismos que vigilan el buen desempeño de las obligaciones de las partes.

La operación más sencilla en mercados financieros es la compra de un activo con dinero, o la venta de un activo que se posee por dinero. Este tipo de compra venta de pago y entrega se le suele llamar venta o compra (según sea el caso) en el mercado de contado también llamado mercado spot, dado a que se hace una entrega inmediata de los activos operados.

Venta en Corto

Una venta corta es una venta de un activo que no se tiene, con la intención de comprarlo posteriormente para reemplazarlo. Por ejemplo, supongamos que un inversionista ordena a un bróker que le venda cortas 500 acciones de alguna empresa. El bróker tomará prestadas las acciones de algún otro cliente, operación que puede conllevar algunos cargos, con la intención de recomprar las acciones en un momento futuro, por lo tanto la operación la lleva a cabo un individuo que tiene la percepción de que el activo vendido corto bajará de precio, para así recomprarlo a un precio más barato del precio al que lo vendió. Esta operación es delicada pues se tiene que garantizar la disponibilidad del activo vendido para su recompra, de otra manera, se le obliga al bróker a cerrar la posición aunque no esté listo aun.

Retomando la situación del inversionista que instruye a su bróker a vender 500 acciones cortas, es indispensable conocer los cargos que esto conlleva. El inversionista deberá pagar comisiones, dividendos o intereses que recibe el activo vendido en corto, el bróker por su parte lo depositará en la cuenta del cliente a quien le fueron tomadas las acciones. Digamos que este bróker vende cortas 500 acciones en Abril, cuando el precio de la acción es de

\$120, y cierra su posición comprando las acciones en Julio, cuando el precio de la acción es de \$100. Consideremos también que la acción generó un dividendo de \$1 por acción pagado en Mayo.

El inversionista recibe $500 * \$120 = \$ 60,000$ por la venta en Abril, el dividendo le genera cargos por $500 * \$1$, en Mayo, posteriormente recompra las acciones a un precio de $500 * \$100 = \$ 50,000$ cuando las recompra en Julio, generando los siguientes flujos de efectivo de la acción, haciendo visible la simetría de los flujos de las dos posturas o posiciones.

Venta Corta de Acciones		Compra de Acciones	
Venta de 500 acciones prestadas, Abril	\$ 60,000	Compra de acciones, Abril	-\$ 60,000
Pago de dividendo, Mayo	-\$ 500	Recibo del dividendo, Mayo	\$ 500
Recompra de 500 acciones, Julio	-\$ 50,000	Venta de acciones, Julio	\$ 50,000
Flujo Neto	\$ 9,500	Flujo Neto	-\$ 9,500

Cuadro 1.2 Observe como la venta corta tiene flujos de efectivo espejo de la compra y venta

Un inversionista que entra en una posición corta se le exige contar con una cuenta de margen con su bróker, donde deposita recursos suficientes para que se garantice que se cumplirán a cabalidad todas las obligaciones de la posición corta.

Capítulo 2 Administración de Riesgos

2.1 Riesgo.

El concepto de riesgo ha existido desde el inicio de la humanidad. Las decisiones que se toman o proyectos que se emprenden, por simples o complejos que sean, implican la posibilidad de ocurrencia de eventos desfavorables. Los cuales pueden ser variantes en frecuencia y/o magnitud, y que suelen resultar con pérdidas de algún recurso. Desde las sociedades más primitivas, la humanidad ha sabido detectar el riesgo, para protegerse de él o evadirlo y limitar las pérdidas, sean financieras o de cualquier recurso. Sin embargo, ha sido hasta en décadas recientes que el entendimiento del riesgo se ha hecho más profundo. Al día de hoy se tienen detectadas las fuentes de riesgo en casi todas las actividades humanas, a un grado antes no visto. Se han desarrollado las herramientas analíticas en los contextos de administración de riesgo para reducir al máximo los impactos de los posibles resultados desfavorables; desde la menor vicisitud hasta la mayor catástrofe que pueda ocurrir en la realidad.

El riesgo, es el campo de estudio de mayor importancia para las finanzas modernas. Para las instituciones financieras, la administración del riesgo es el corazón de sus actividades por lo que se han visto obligadas a desarrollar herramientas para su prudente manejo en un entorno complejo y dinámico cuyo futuro es incierto. De manera que siempre se encuentran, a individuos, firmas financieras, empresas, organismos no lucrativos y gobiernos, expuestos a una gran variedad de riesgos que están latentes en toda actividad.

El empleo de los modelos apropiados, métodos, herramientas y sistemas que contribuyan a la toma de decisiones, monitoreo y control de riesgos; es parte de una óptima administración

de riesgos. Nuestra habilidad para administrar riesgos es la clave de éxito como individuos, corporaciones, gobiernos y sociedad.

Riesgo de tasas, Riesgo de tipo de cambio y Riesgo de mercado

Dentro del sector financiero podemos hablar de riesgos plenamente identificados. Todos los días se enfrentan riesgos de cualquier naturaleza y es imperativo detectar, medir y controlar los niveles de riesgos a los que se está expuesto. Dentro de las organizaciones y desde un enfoque financiero, tenemos bien identificados muchos tipos de riesgos; que dependiendo de la naturaleza de las organizaciones afectará en mayor o menor medida.

Las direcciones financieras de compañías multinacionales se encuentran expuestas al riesgo cambiario, resultado de la conversión de las monedas de los países donde se desarrollan. Importadores y exportadores a diario se comprometen a comprar o vender productos en el futuro en monedas extranjeras. Con frecuencia se contraen pasivos y activos situados en países extranjeros, de los cuales obtendrán resultados exponiéndose a riesgo cambiario.

Estas empresas pueden experimentar pérdida de valor cuando cambian las divisas. Este riesgo es de gran relevancia para administradores de portafolios con activos extranjeros, empresas con activos o pasivos en denominaciones de otras divisas o bancos con exposición de divisas.

Por su parte y muy de la mano del riesgo cambiario se encuentra el riesgo de tasa de interés, que afecta a quien posee un activo o pasivo a tasa variable. Es común que las empresas adquieran créditos en bancos extranjeros o locales a tasa variable, pues suele ser más económico. Sin embargo, esa variabilidad de tasa es una exposición de los flujos de efectivo programados para el crédito.

Un tercer riesgo de gran interés para empresas no financieras es el riesgo de precios de las materias primas que impacta a los productores de petróleo, metales y agricultores y también a empresas del sector secundario. Estos riesgos que se acaban de describir resultan los más comunes a las empresas sin importar su giro ni lugar donde se desarrollen.

El riesgo de mercado es la exposición que se tiene a la variación del valor razonable de los flujos futuros de efectivo del instrumento financiero a consecuencia de cambios en los precios de mercado. Los precios del mercado comprenden tres tipos de riesgo: riesgo de fluctuaciones en el precio de los metales, riesgo de fluctuaciones en las tasas de interés y riesgos de variaciones en el tipo de cambio de las monedas extranjeras. Los instrumentos financieros afectados por el riesgo de mercado pueden incluir préstamos y empréstitos, depósitos, cuentas por cobrar, cuentas por pagar, pasivos acumulados e instrumentos financieros derivados.

2.2 Administración de Riesgos

Cuando las empresas ofrecen soluciones a necesidades de los consumidores, siempre incurren en una gran variedad de riesgos externos e internos; legislación, competidores, grupos sociales de interés, inflación, demanda en el mercado, eventos climáticos como terremotos, prácticas corruptas, procesos operativos, tecnología empleada, etc. Sin embargo, las empresas están dispuestas a asumir esos riesgos al saber que los beneficios esperados por la operación de sus negocios, compensarán dichos riesgos. Se entiende entonces que las empresas conocen bien esta relación riesgo rendimiento, donde el riesgo es conocido pues sucede a priori en la operación y el rendimiento es una mera expectativa, pues sucede a posteriori en la operación.

Una correcta administración de riesgos debe incluir en su programa, una detallada metodología sobre el control de las diversas fuentes de riesgos a los que se expone un ente económico. Para llevar a cabo este control resulta indispensable llevar a cabo mediciones y correcciones que lleven a los índices medidos a niveles deseados. El empleo de productos financieros derivados en los años recientes ha venido siendo cada vez de mayor relevancia, dado que es crucial para la administración de los principales tipos de riesgos financieros; el tipo de cambio, las tasas de interés y las materias primas.

De esa manera entendemos la administración de riesgos como el proceso de detección, medición y control o eliminación de los riesgos a los que se expone una empresa en su búsqueda de creación de valor.

Permitamos ahora la definición de un actuario sobre riesgo, y se dice ser la variación de los flujos de efectivo realizados contra los flujos esperados. Estadísticamente, el rendimiento de una inversión se le puede interpretar como una esperanza matemática o un promedio ponderado de los posibles escenarios que pueden suceder en el futuro con las operaciones de las empresas. Mientras que el riesgo, se le expresa mediante la desviación estándar de alguna serie. Para el estadista, la esperanza y la desviación estándar (entre otras medidas) se puede calcular con datos históricos de las variables en cuestión; obteniendo así, estimaciones relevantes de riesgo-rendimiento que ayudarán a las empresas a tomar mejores decisiones.

La administración de riesgos, puede parecer algo sencillo; sin embargo, las decisiones tomadas para ello suelen ser de gran impacto. Para la dirección financiera, es indispensable entender cabalmente la naturaleza de dichos riesgos. Muchas empresas cometen errores gravísimos que hacen tambalear la salud financiera; por no comprender a profundidad los

riesgos ni las herramientas de administración disponibles. Podemos mencionar muchos casos ejemplares de descalabros financieros que han cometido algunas compañías, como el caso de la, hoy extinta, Comercial Mexicana, que más adelante en este capítulo trataremos, entre otros.

El proceso de administración de riesgos inicia con la identificación y cuantificación de los riesgos a los que se expone la empresa. Habrá riesgos sistemáticos y no sistemáticos; estos últimos podremos disminuirlos o eliminarlos en la medida de lo posible. Mientras que los riesgos sistemáticos abarcan a aquellos propios del mercado en el que se desenvuelven las empresas. Para ser más concretos y definir estos riesgos en términos de la teoría del portafolio, los riesgos no sistemáticos los entendemos como aquellos que se reducen mediante la diversificación de las inversiones, mientras que el riesgo sistemático o riesgo de mercado, está asociado con cambios en las economías. Una vez detectado y cuantificado un riesgo, se debe decidir cómo afrontarlo, para así controlarlo.

En ocasiones se preferirá evitar riesgos, por ejemplo, si una empresa detecta que un proceso de su operación puede automatizarse con máquinas preferirá automatizar los procesos, si la relación costo-beneficio se lo permite, y así evitar los posibles errores y accidentes humanos.

En ocasiones se prevendrán y controlarán pérdidas, es decir, se disminuirá la probabilidad o gravedad de las pérdidas causadas por un riesgo; puede verse al darse mantenimiento a las líneas de producción, implementar un programa de capacitación para el personal o mejorar los procesos de selección de personal, revisar periódicamente el estatus crediticio de clientes, etcétera. En muchas ocasiones se preferirá asumir los riesgos y las posibles pérdidas con recursos propios; lo vemos cuando una empresa se fusiona con otra del mismo

sector, al emprender un nuevo proyecto de inversión u otorgar créditos a clientes sin historial crediticio. Finalmente, habrá ocasiones en las que se prefiera transferir el riesgo, mediante seguros o productos derivados; lo hacen automovilistas al contratar seguros, prestadores de servicios que exigen firmas de pagarés o empresas que garantizan la entrega de sus productos al abrir posiciones en mercados de derivados.

Una vez que se ha optado por una estrategia frente a un riesgo, se debe revisar periódicamente para verificar sus resultados. Cabe mencionar la importancia de la última estrategia, la transferencia de riesgo, pues es la más empleada y la que será objeto del resto de este estudio. La transferencia de riesgo puede ser vista en tres perspectivas: cobertura, aseguramiento y diversificación.

2.3 Cobertura.

En finanzas, una cobertura, como su nombre lo dice, es una técnica que tiene por objetivo cubrir una fuente de riesgo bien identificada, eliminando las fluctuaciones de los flujos de efectivo que esa fuente de riesgo genera. Lo cual se logra mediante la transferencia de la fuente de riesgo; en los mercados financieros esta transferencia se realiza entre dos partes y normalmente se efectúa teniendo a una cámara de compensación como aval de las operaciones.

Cuando se ha detectado y medido una fuente de riesgo, el siguiente paso en una cobertura es controlar e impedir las fluctuaciones de los flujos de efectivo que derivan de ese riesgo, para ello se suelen emplear distintas técnicas de administración de riesgos. El riesgo de tasas de interés, el riesgo de mercado y el riesgo cambiario; son riesgos que las empresas tienen plenamente identificados y que los mercados financieros han visto como una oportunidad

para la creación de instrumentos financieros y la consecuente conexión entre compradores y vendedores que otorgan la liquidez necesaria para hacer la cobertura.

Cuando un planeador financiero ha detectado que los flujos de efectivo de algún proyecto tendrán variaciones plenamente identificadas, sabrá si el mercado de derivados tiene algún instrumento con el que cubra los flujos de efectivo, incrementando el valor de las organizaciones. Este planeador financiero, actuará como la teoría financiera nos indica y velará por la creación de valor; lo que nos dice, que la cobertura, solo cubre o debería cubrir aquellas variaciones que afecten negativamente a los flujos de efectivo.

Un agente racional no cubrirá una exposición a una variación que le beneficie, por ejemplo; si las expectativas del precio del oro en los siguientes meses son a la alza con niveles de confianza mayores a 95% no sería prudente para un productor de oro cubrir una exposición al riesgo de precios. Sin embargo, otra industria que emplee al oro como insumo le interesaría pactar un precio dentro de algún tiempo antes de que suba todavía más.

Los instrumentos derivados son empleados en estrategias de cobertura de distintos tipos de riesgos. Se puede cubrir, por ejemplo, un portafolio accionario ante el riesgo de mercado. Empresas que tienen obligaciones contraídas a tasa variable, estarán interesadas en cubrir la exposición al riesgo de tasas. Una firma que se desempeña en diversos continentes le interesa conservar y crear valor cubriendo su riesgo cambiario. Una característica de todas las operaciones con derivados es que dan certeza a los flujos de efectivo futuros si se les trata como instrumentos de cobertura.

La diferencia entre especuladores y coberturistas es un tanto imprecisa, pues existe en la literatura y en la práctica mucha confusión al respecto; si bien es sencillo afirmar que la

especulación busca hacer utilidades a partir de fluctuaciones de las variables del mercado, mientras que la cobertura pretende asegurar el valor de una variable, esto último puede considerarse especulación para otro individuo. La decisión de cubrir una posición, sin embargo, se toma a partir de las expectativas del individuo o empresa que se expone, por lo tanto, la expectativa se vuelve un paso previo en el proceso de cobertura. En otras palabras, ante una exposición de riesgo; un ente económico, tendrá que tener bien definidas sus expectativas; para lo cual, los tomadores de decisiones tendrán que tener certeros métodos de pronósticos, así como conocimientos profundos de las variables a las que se expone dicho ente económico.

La internacionalización de portafolios y la interconexión de mercados financieros en todo el mundo, y por ende de sus monedas, han expandido el empleo de técnicas de cobertura de tipo de cambio, de tasas de interés y de *commodities*. Hoy en día las comunicaciones y las transacciones se llevan a cabo inmediatamente a bajos costos. La diversidad de productos financieros se ha sofisticado al grado de encontrar una variedad con la que difícilmente no encontremos un producto que cubra las necesidades de cobertura de cualquier empresa o inversionista. Para disminuir o, cuando es posible, eliminar un riesgo con el uso de derivados, una empresa toma en los mercados de derivados posiciones contrarias a las que tiene en exposición en mercados spot.

Encontramos una clasificación de métodos de cobertura dependiendo el reajuste de la posición tomada en mercados derivados para cubrir un riesgo; encontrándonos frente a dos tipos de coberturas: la estática y la dinámica. Por cobertura estática entendemos aquella del tipo *hedge-and-forget*, es decir, es aquella situación donde solo nos interesa pactar un precio en el futuro y nos olvidamos de ello por el resto de la vida del contrato. Por otro lado, por

cobertura dinámica entendemos aquella situación donde es necesario balancear un portafolio para cubrir una exposición que es constante controlando ese riesgo.

2.4 Cobertura con Futuros.

Cuando se ha decidido afrontar un riesgo en específico empleando instrumentos derivados es porque ya se realizó un profundo análisis de las variables que impactan negativamente a los flujos de efectivo y además ya se han agotado otras técnicas de administración de riesgos que son menos sofisticadas.

En los mercados de futuros se podrá hacer una cobertura abriendo una posición contraria a la exposición que se tiene en el mercado spot. Si una empresa tiene una posición corta en el mercado spot, estará interesada en abrir una posición larga en el mercado de futuros y viceversa. Si una empresa que extrae minerales pretende vender los metales que extrae en un mercado volátil naturalmente estará interesada en cubrir el riesgo de que los metales que venderá bajen de precio. Vemos que la minera está en una posición larga en metales, es decir, si los metales suben de precio la minera se beneficia y si bajan de precio la minera pierde valor. Es evidente que si las expectativas del mercado son fuertemente a la alza a la compañía minera no le interesaría cubrir ese riesgo, porque de hecho no existiría dicho riesgo pues las expectativas marcan fuertemente una subida en precios; en dicho caso no será prudente cubrir esta exposición, decimos que la exposición se prefiere dejar desnuda y que se obtenga el beneficio de la subida de precios.

Posición corta en el derivado Cobertura corta

Comencemos con un simple análisis de la cobertura que haría un tesorero de una compañía. Pensemos en una compañía que gana \$150,000 dólares por cada dólar que sube el precio de la onza de oro. Este puede ser el caso de una compañía minera que extrae oro y pretende venderlo en el futuro. En la bolsa de derivados CME Group, se encuentra listado el futuro sobre oro que tiene un tamaño de 100 onzas troy. Esta compañía, entonces, venderá en poco tiempo 150 mil onzas de oro. Una estrategia de cobertura pretenderá que los movimientos del precio del oro no afecten los flujos por ventas de la compañía minera. El comportamiento deseado se analiza en el siguiente cuadro

Precio spot	Compañía	Cobertura CORTA	Resultado
Sube 1 dólar	Gana \$150,000 USD	Pierde \$150,000 USD	Sin afectaciones, cero
Baja 1 dólar	Pierde \$150,000 USD	Gana \$150,000 USD	Sin afectaciones, cero

Cuadro 2.1 Resultados de una cobertura con futuros.

Analizando el cuadro anterior, vemos que si este comportamiento es el que se pretende, la cobertura debe tener los efectos que muestra el cuadro, es decir, se buscará que en la cobertura se pierda dinero cuando el activo en cuestión suba de precio y viceversa. El efecto buscado se logra abriendo una posición corta en el mercado de futuros. Como ya se mencionó, la posición corta se refiere a la situación en la que se vende o se va a entregar algún activo financiero. Esta posición corta en futuros se contrapone a una posición larga en spot. Resultando una operación que garantiza el precio del oro en una fecha futura, previniendo así posibles caídas en los precios.

Si esta misma empresa abriera, deliberadamente o no, una posición larga en futuros igual a la posición que tiene en el mercado de contado se estaría exponiendo innecesariamente al doble de riesgo que ya tenía el precio del oro. Veamos el siguiente cuadro

SPOT	COMPAÑÍA	COBERTURA Larga	RESULTADO
Sube 1 dólar	Gana \$150,000 USD	Gana \$150,000 USD	Gana \$300,000 USD
Baja 1 dólar	Pierde \$150,000 USD	Pierde \$150,000 USD	Pierde \$300,000 USD

Cuadro 2.2. Duplicando el riesgo al emplear incorrectamente los contratos futuros en una estrategia de cobertura.

Abriendo una posición larga en futuros se estaría contratando un instrumento por el cual una compañía se obliga a adquirir el activo subyacente. Y esta operación tiene el efecto de duplicar el riesgo que ya se tenía, porque se expone en el mercado de futuros a un riesgo que ya se tenía, aquí se nota la relevancia de tomar la estrategia adecuada a la hora de utilizar derivados, pues son una herramienta con la que muy fácilmente se puede exponer a altísimos riesgos si no son usados eficientemente.

El ejemplo anterior es el de una cobertura corta, este tipo de cobertura es adecuada cuando se posee un activo y se le venderá en el futuro. Por ejemplo un agricultor que siembra algún grano y sabe que estará listo para su distribución en algunos meses. Una cobertura corta también será adecuada cuando no se posee el activo pero se sabe que se poseerá en un tiempo futuro. Pensemos en un exportador mexicano que recibirá dólares dentro de un par de meses, este exportador experimentará una ganancia si el dólar sube con respecto al peso, y una pérdida si el dólar se debilita frente al peso. Esta largo en dólares. Este exportador

también podría estar interesado en una posición corta si quiere eliminar el riesgo cambiario. La posición corta hará que el exportador gane ante una caída en el dólar frente al peso y pierda ante una subida en el dólar frente al peso.

Por otra parte la posición larga en futuros, es adecuada cuando una empresa sabe que tendrá que comprar un bien dentro de un tiempo y desea fijar el precio de ese bien el día de hoy. Si suponemos que el día de hoy un fabricante de microprocesadores sabe que necesitará 100 mil onzas de oro dentro de tres meses para culminar la producción de ese mes, podríamos afirmar que este fabricante está corto en spot; por lo tanto una cobertura larga le resultará benéfica.

Siguiendo con el fabricante de microprocesadores para ilustrar la cobertura larga; supongamos que el precio spot del oro es de \$110 USD por onza y el precio del futuro sobre oro con vencimiento dentro de tres meses \$1150 USD con un tamaño de 100 onzas por contrato o \$115 USD por onza. El fabricante puede cubrir su exposición con una posición larga en futuros que ofrece el CME y así cerrar su posición dentro de tres meses. Lo cual tendría por efecto pactar el precio del oro a un precio muy cercano a los \$115 USD por onza.

Si pasaran los tres meses y el precio de la onza de oro resultase ser de \$112 USD, o menor a \$115 por onza, el fabricante de microprocesadores registrará una pérdida en los futuros dado su posición larga en futuros, esta pérdida se ve compensada justamente por la baja en precio del oro que compra como insumo a \$112 USD por onza.

Si por el contrario, el precio del oro subiese por encima de los \$115 USD por onza, digamos \$120USD por onza. La pérdida realizada de \$5 USD por onza por comprar más caro en la fecha de vencimiento se compensa con la ganancia en futuros causada por la posición larga

en el instrumento y esta ganancia se hace muy cercana a la pérdida por comprar a \$120USD al contado en la fecha de vencimiento. Vemos que pase lo que pase en el futuro, una correcta estrategia deberá garantizar un precio el día de hoy.

En estos ejemplos no hemos considerado liquidaciones diarias y además asumimos que las posiciones en mercados de futuros se cierran apenas algunos días antes de sus fechas de vencimiento, esto abriendo una posición contraria en futuros sobre el mismo tipo de contrato y serie. Se deben considerar también las liquidaciones diarias que son depósitos o retiros iguales a la diferencia del precio del activo subyacente y el precio del contrato futuro y se deben reportar todos los días a la respectiva cámara de compensación al cierre de operaciones todos los días señalados.

Para algunas empresas, pronosticar las fluctuaciones de las variables financieras que impactan su valor es algo complejo y no tienen la capacidad de analizar y pronosticar dichas variables. A ese tipo de empresas les convendrá cubrirse de los riesgos a los que se expone y enfocarse en sus negocios donde tienen fortalezas y experiencia.

Una cobertura es una garantía sobre un precio, si el precio varía en una dirección nos afecta, si varía en otra dirección nos beneficia. De manera que puede interpretarse como especulativa la situación en que el precio varía de manera que aumenta el beneficio de la posición aunque la intención haya sido la de cubrir un riesgo. Si por el contrario, la cobertura limita las ganancias se podría ver como una herramienta negativa que limita los ingresos de una compañía. Sin embargo, analizando la operatividad es mejor cubrir el riesgo y fijar un precio. Si se tuviera la seguridad de que la fluctuación será en beneficio de la

organización no se deberá cubrir la posición y se aumentarían las ganancias; dejando “desnuda” la posición; sin embargo es difícil tener esa certeza.

El Riesgo de Base

Quien realiza una cobertura debe ser precavido con las fechas de vencimiento de los contratos, como regla general, se elegirán plazos de vencimientos apenas posteriores a la utilización del bien subyacente. Es decir, se deberá tener un tiempo breve para poder cerrar el contrato en el caso de que no se pretenda llegar a la entrega. Otra situación de frecuencia es que quien cubre un riesgo en una organización frecuentemente no encuentra en el mercado de derivados un instrumento cuyo subyacente sea exactamente el que origina su fuente de riesgo, en cuyo caso se debe seleccionar aquel subyacente con mayor correlación con el activo de riesgo.

El riesgo de base, se define como la diferencia o resta entre el precio de una unidad del activo a cubrir y el precio de la misma unidad en el contrato futuro utilizado para cubrirlo. Si el activo a cubrir y el subyacente del futuro a utilizar es el mismo, el riesgo de base será cero al final del contrato futuro. Normalmente los precios spot y de futuros no cambian en la misma proporción del subyacente empleado para la cobertura. Así, decimos que cuando la base aumenta tiene un fortalecimiento y cuando disminuye experimenta un debilitamiento

Supongamos que para hacer frente a un determinado riesgo, una empresa abre en el mercado de futuros una posición corta. Bajo la suposición de que tenemos los siguientes precios spot y futuros en t_1 y t_2 , que son los tiempos en que se hace la cobertura y expira el futuro respectivamente.

ONZA DE ORO		
Spot	Futuros	Periodo
115.20	120.50	T1
112.0	119.0	T2

Definimos el riesgo base previamente como

Base = Precio Spot – Precio Futuro

Para T1, tenemos $b1 = S1 - F1$

Para T2, tenemos $b2 = S2 - F2$

Para nuestro ejemplo $b1 = -5.3$ $b2 = -7$

Consideremos el primer caso donde el coberturista sabe que venderá el activo en T2 y toma una posición corta en T1. El beneficio que se obtendrá por la venta es S2, mientras que en los contratos de futuros se gana F1-F2. De manera que el valor realmente obtenido con la cobertura es

$$S2 + F1 - F2 = F1 + b2$$

En nuestro ejemplo es de \$-7. F1 se le conoce desde el tiempo T1. Si a b2 la conociéramos desde T1 podríamos hacer una cobertura perfecta. El riesgo de la cobertura está asociado con esta b2 y le llamamos riesgo de base.

Ahora consideremos el caso del coberturista que sabe que tendrá que comprar el activo en el tiempo T2 a un precio S2 y toma una posición larga en futuros. El precio pagado, entonces, con la cobertura, es

$$S2 + F1 - F2 = F1 + b2$$

Es la misma expresión y nuevamente en el tiempo T1 se conoce a F1 pero se desconoce a b2, el riesgo base.

Veamos que está pasando con el riesgo de la base, puede mejorar o empeorar la posición de la cobertura. Para una posición corta, si la base se fortalece, incrementa, repentinamente, la cobertura mejora. Si la base se debilita, se reduce, repentinamente, la cobertura empeora. Para un coberturista en posición larga sucede lo contrario.

Es común que, el activo que se desea cubrir no es el mismo del subyacente de los futuros con los que se hace la cobertura. A esta cobertura la llamamos cobertura cruzada e incrementa el riesgo de la base. Si definimos a S2' como el precio spot al tiempo T2 del subyacente del futuro. De igual manera tenemos S2 como el precio del activo a cubrir en T2. Cuando se cubre, se garantiza que el precio a pagar (o recibir) será de

$$S2 + F1 - F2$$

Que se puede reescribir como $F1 + (S2' - F2) + (S2 - F2')$

Donde los términos en paréntesis representan las componentes de riesgo de base. El primer paréntesis representa la base si el activo a cubrir y el subyacente del futuro fuera el mismo. El segundo paréntesis es la base por la diferencia entre los activos; al que se cubre y el subyacente del futuro utilizado para la cobertura.

Si existiera en el mercado de futuros el subyacente que queremos cubrir, no habría problema y se simplificaría la situación. Sin embargo puede darse el caso en que no exista un futuro listado sobre el activo que deseamos cubrir, en ese caso se debe hacer un análisis para determinar cuál de los subyacentes de los futuros listados tiene más correlación con el activo que cubriremos. El CME Group ofrece una gran diversidad de instrumentos que se listan a condiciones estandarizadas por lo menos un título se encuentra listado en esta gran bolsa de derivados con el que se podrá cubrir el riesgo de distintos activos.

Definición del índice de cobertura

El índice de cobertura óptimo se le define como la relación entre las cantidades de activo en valor actual a ser cubierto y el valor de los instrumentos empleados para cubrir una exposición, que a su vez minimizan la varianza del portafolio a cubrir. Más formalmente se le expresa como sigue, teniendo una posición o portafolio a ser cubierto de un valor V_h

$$V_h = Q_S S - Q_F F \quad (), \text{ entonces}$$

$$\Delta V_h = Q_S \Delta S - Q_F \Delta F \quad (), \text{ donde}$$

V_h = Valor del portafolio a cubrir

Q_S = Cantidad del instrumento spot

Q_F = Cantidad del instrumento de cobertura

S = Precio del instrumento Spot

F = Precio del instrumento de cobertura

Se busca que el portafolio a cubrir permanezca constante, evitando la varianza de los flujos de efectivo, $V_h = 0$. Entonces, de (Ec. $\Delta V_h = Q_S \Delta S - Q_F \Delta F$), se nota que

$$\frac{Q_F}{Q_S} = \frac{\Delta_S}{\Delta_F} = h ; h = \rho * \left(\frac{\sigma_S}{\sigma_F} \right) \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde h , es el índice de cobertura. El índice óptimo de cobertura es el producto del coeficiente de correlación entre Δ_S y Δ_F y el cociente entre las desviaciones estándar de Δ_S y Δ_F .

Veamos que sucede con la expresión del índice de cobertura. Si $\rho = 1$ y $\sigma_F = \sigma_S$, el índice de cobertura es 1. Lo cual explicaría la situación en la que el precio de los futuros refleja perfectamente el precio de contado. Si $\rho = 1$ y $\sigma_F = 3 \sigma_S$, el índice de cobertura sería 1/3 indicando que el precio del futuro es tres veces el precio al contado.

El índice de cobertura óptimo es la pendiente de la recta que mejor ajusta a la regresión de Δ_S contra Δ_F . Una complicación que encontramos frecuentemente en la cobertura, es determinar la proporción de la exposición al riesgo a cubrir para hacer una cobertura más óptima. No siempre es óptimo cubrir todo un portafolio sino solamente parte de él, pues en muchas ocasiones los movimientos del mercado pueden ser benéficos y además las variaciones de precios en mercados spot y futuros no son exactamente iguales pudiendo cubrir la totalidad del riesgo sin cubrir la totalidad del portafolio a cubrir.

Si se cubriera toda la exposición a un riesgo se podría estar sobre protegiendo un activo que quizás a la mitad de la cobertura se encuentre totalmente recuperado y entonces la estrategia de cobertura tenga el impacto de disminuir las utilidades a causa de una recuperación no contemplada. Quien está cubriendo riesgos empleando los mercados derivados deberá elegir un índice de cobertura que minimice la varianza del valor de la posición a cubrir.

El índice de cobertura es la pendiente de la línea que mejor ajusta de una regresión lineal de $\Delta S/\Delta F$, donde ΔS es el cambio en el precio spot durante la vida de la cobertura y ΔF es el cambio en los precios de los futuros durante el mismo periodo.

El índice de cobertura de mínima varianza es ampliamente utilizado por los inversionistas para cubrirse en contra del riesgo de precios. Este índice de cobertura es usualmente asumido como un valor constante a través del tiempo en la práctica, lo cual se aleja de una situación real.

En la ecuación (2.1), los parámetros σ_S , σ_F y ρ usualmente se estiman de datos históricos de ΔS y ΔF . Se asume implícitamente que el futuro será como el pasado. Se eligen lapsos de tiempo similares que no se empalmen y se observan los valores de ΔS y ΔF . Lo ideal sería tomar lapsos de tiempo iguales a la vida de la cobertura. El número óptimo de contratos futuros a abrir en una posición corta

$$N = h \left(\frac{Q_A}{Q_F} \right) \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Teniendo Q_A , Tamaño de la posición a cubrir

Q_F , Tamaño de un contrato

En la cobertura con futuros, podemos hacer un pequeño ajuste conocido como tailing para compensar las llamadas de margen. Esto quiere decir que la ecuación anterior, ahora sería

$$N = h \left(\frac{V_A}{V_F} \right) \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde V_A es el valor en dólares (o pesos, según sea el caso) del activo a ser cubierto y V_F el valor en dólares (o pesos) de un contrato futuro para hacer la cobertura, es decir el precio

del futuro multiplicado por Q_F . El efecto del tailing en la cobertura, es multiplicar el índice de cobertura por el ratio de los precios spot y futuros. Teóricamente, la posición en futuros empleada para la cobertura debe ser ajustada según cambien los precios spot y futuros.

En el capítulo 4, donde se trata el caso a resolver retomaremos estas ecuaciones en un caso real.

2.5 Políticas de Cobertura en Empresas

La administración de riesgos financieros con productos derivados es de gran relevancia, para muchas compañías es incluso parte de las políticas corporativas. En la academia vamos a encontrar una idealización de mercados completos y sin fricciones. Las empresas deberán considerar factores que afectan sus políticas de cobertura como costos de transacciones e impuestos, lo cual dificulta el proceso por al menos dos razones: Primero, se deben considerar todas las fuentes de riesgo, incluso el riesgo de cantidades, causado por la incertidumbre de las ventas. Segundo, los mercados de derivados ofrecen una amplia variedad de productos con diferentes estructuras de pagos, y no es obvio cuál de ellos será apropiado para una empresa con un riesgo en particular.

En un nivel interno, la alta gerencia de las empresas supervisa la administración de riesgos financieros. Profesionales comités de riesgos asesoran sobre estos riesgos y plantean posibles reformas a las políticas y normas de gobierno corporativo, para la correcta identificación, medición y administración de las exposiciones. Todas las actividades de derivados para fines de la administración de riesgos las llevan a cabo equipos especializados que cuentan con la capacidad, experiencia y supervisión adecuadas. De acuerdo con las políticas corporativas de la mayoría de las empresas no financieras, no se permiten realizar

transacciones con instrumentos derivados con fines especulativos. Esto con la intención de dar más certeza al público inversionista al saber que la empresa vela por la vigilancia de sus exposiciones a riesgos y los flujos de efectivo que pudiesen afectar.

Korn (2008) y Brown y Toft (2002) analizaron estrategias óptimas de cobertura ante riesgo de precios y cantidades, analizaron casos de “coberturas exóticas perfectas” determinando la estructura de pago óptima de un producto derivado demostrando porqué se suelen utilizar combinaciones de derivados para obtener comportamientos deseados de estructuras de pagos en una cuasi perfecta cobertura. Por su parte, Stulz (1984) desarrolla un análisis de cobertura de tipo de cambio con forwards. Mientras que Cox, Ingersol y Ross (1978) ya trabajaron una comparativa entre forwards y futuros para cubrir una exposición a riesgo cambiario.

Como ya hemos mencionado el empleo de derivados puede ser una herramienta poderosa para la administración de riesgos; pero de no entender a plenitud la operación y las obligaciones a las que se compromete un participante del mercado, puede causar serios problemas a la institución que represente. Existen casos famosos de desastres en los que han incurrido empresas financieras y no financieras debido al empleo de derivados. En algunas ocasiones los participantes estaban plenamente conscientes de los riesgos que corrían, en otras pareciera que no hubo mediciones serias de las variables que se pretendía cubrir, otros comenzaban a especular cuando querían solo cubrirse. Algunos casos, incluso han inspirado a los participantes a redactar libros, se han hecho películas sobre otros y han servido para ejemplificar lo que debe evitarse.

Desastres financieros causados por un mal empleo de mercados de Derivados

Allied Irish Bank, uno de los 4 grandes bancos de Irlanda, perdió cerca de 700 mdd por actividades especulativas de uno de sus traders de divisas, John Rusnak, quien solía cubrir sus pérdidas con operaciones ficticias con opciones. En 2003 sentenciaron con 7 y medio años de prisión a Rusnak por ocultar pérdidas del 2002 por más de 600 millones de dólares.

Amaranth Advisor LLC era el nombre de un fondo de Cobertura instalado en Connecticut, Estados Unidos, perdió 6,000 mdd en 2006 especulando con futuros de precios de gas natural. La pérdida quebró al fondo con una escandalosa pérdida y un descalabro grande para la historia. Barings, el banco británico de 200 años de antigüedad fue destrozado en 1995 por Nick Lesson, uno de sus traders, quien especulaba con el empleo de futuros y opciones sobre el Nikkei 225 japonés. La pérdida total fue cercana a mil millones de dólares.

Kidder Peabody, Joseph Jett, llevó a esta firma neoyorquina a perder 350 mdd comerciando títulos del gobierno estadounidense. Lo curioso de este caso es que las pérdidas se ocasionaron debido a errores en el cálculo de las utilidades en los sistemas de cómputo.

Long Term Capital Managment, este fondo de cobertura perdió cerca de 4,000 mdd en 1998 en un lapso menor a 4 meses debido al impago de la deuda rusa. La Reserva Federal de Nueva York organizó una liquidación del fondo y entre 14 bancos lo rescataron. Personalidades de la industria financiera eran miembros de la junta directiva, es famoso este caso pues Myron Scholes y Robert C. Merton formaban dicha junta directiva.

Midland Bank. Este banco británico perdió 500 mdd a principios de los 90's en gran parte causado por una apuesta equivocada en la dirección que tomarían las tasas de interés. Después pasó a ser controlado por el banco de Hong Kong y el de Shangai.

Hipotecas Sub prime. Es sabido que en 2007 los inversionistas perdieron confianza en los productos estructurados creados por las hipotecarias estadounidenses FreddieMac (Corporación Federal de Hipotecas para Viviendas) y Fannie Mae (Asociación Nacional Federal de Hipotecas); lo que creó quebrantos importantísimos y pérdidas de decenas de miles de millones de dólares por instituciones financieras como UBS, Merrill Lynch o Citigroup.

Allied Lyons, esta empresa dedicada al giro de alimentos y bebidas perdió 150 mdd en 1991 vendiendo opciones de tipo “call” sobre el tipo de cambio dólar-libra. Gibson Greetings, compañía de tarjetas postales, perdió cerca de 20 mdd en 1994 comerciando derivados exóticos sobre tasas de interés con Bankers Trust. Metallgesellschaft, la compañía alemana contrajo contratos de largo plazo para proveer petróleo y gasolina y los cubrió con contratos futuros a corto plazo, perdió 1,300 mdd cuando se le obligó a cesar esa práctica.

Comercial Mexicana, la minorista, hoy extinta, perdió 1080 mdd. En el tercer trimestre de 2008 se declaró en concurso mercantil para renegociar su deuda, luego de que el peso se debilitara demasiado durante tres semanas. El impacto golpeó también a empresas como Bachoco, Alfa o Cemex, sin embargo la peor parte se la llevó Controladora Comercial Mexicana. Se argumentó sobreexposición al riesgo, falta de controles, falta de reportes a comités financieros e ignorancia de operatividad.

Orange County, Robert Citron fue el encargado de causar la pérdida de 2,000 mdd en 1994 a la compañía, el tesorero apostaba mediante derivados a que la tasa de interés no subiría. Procter and Gamble; la compañía pierde 90 mdd en 1994 por la comercialización de

derivados altamente exóticos sobre tasa de interés con Bankers Trust, banco al que posteriormente demandaron.

Los casos no son pocos, la lista se podría ampliar. Para las compañías, es indispensable definir con claridad los límites a los que se puede llegar y no sobrepasar en cuanto a riesgos financieros. Idealmente las direcciones financieras definirán estos límites y después harán partícipes a los administradores, mediante controles de vigilancia de dichos límites. Diariamente se deberían tener reportes de pérdidas o ganancias por movimientos específicos de variables financieras. Suele suceder que los operadores comiencen a especular sin siquiera notarlo, mediante estrategias de cobertura.

Los casos de Barings y Société Générale son ejemplos clásicos de arbitrajistas que se suponía eran de bajo riesgo en sus operaciones y se volvieron especuladores; pues no había reglas bien definidas de los riesgos que podían asumir y tampoco había la vigilancia meticulosa de las pérdidas o ganancias que tenían sus operaciones ni sistemas de cómputo que regulen los límites para operar como hoy en día. La sutil línea que existe hacia la especulación para el coberturista o arbitrajista es delicada y casi imperceptible incluso para el operador experimentado de derivados. Cuando es muy probable o casi seguro que se harán buenas utilidades por una operación, el tesorero se puede ver tentado a efectuar lo necesario para ganar. Sin embargo, aunque se gane dinero en algunas ocasiones se debe ser precavido en hacerlo con frecuencia pues se puede estar construyendo un puente hacia el desastre.

Si bien, es común encontrar que un *trader* obtuvo buenos resultados cierto trimestre, se debe tener precaución a la hora de relajar los límites de riesgo que puede tomar. Sin lugar a dudas

el trader obtendrá bonos considerables, quizás no sea buena idea aumentar sus límites de riesgos, sus buenos resultados pudieron ser en parte fortuitos, y aun si no fueran causa de la suerte es poco probable que se repitan y se sostengan en el tiempo. Lo que sí sería buena idea sería permitirle al talentoso trader operar en otras áreas, como acciones, divisas o tasas de interés. No sólo por su talento en los pronósticos del mercado sino porque la diversificación ayudará a que sus resultados mejoren aún más.

Los cálculos de las medidas de riesgo como el VaR (Valor en Riesgo) son de gran relevancia y deben ir acompañadas de planteamientos de escenarios, pruebas de estrés, simulaciones y revisión de resultados así como de los modelos y supuestos empleados. Suelen tomarse a los datos extremos de una serie histórica como escenarios posibles en una simulación realista. En caso de no contar con los datos requeridos, siempre se puede tomar otra variable similar. Por ejemplo si no tuviéramos disponibilidad a un historial de la tasa LIBOR, muy probablemente la tasa del bono británico sea una buena aproximación o el bono de otro país de condiciones similares; así como se le considera al peso mexicano un referente de la moneda de países emergentes a la hora de plantear modelos.

Capítulo 3 El Filtro de Kalman

3.1 La Ingeniería en las Finanzas

Los agentes económicos de una sociedad, hoy en día se enfrentan a una gran variedad de riesgos en las operaciones de sus empresas, en los mercados lo único seguro es la volatilidad. En su proceso de creación de valor, las empresas más competitivas emplearán todas las herramientas que estén a su disponibilidad para optimizar el uso de sus recursos.

La ingeniería, en su constante labor de responder a las necesidades de las industrias ha creado métodos, procedimientos, algoritmos y otras herramientas que se emplean en las diferentes actividades productivas humanas. Basándose en modelos matemáticos, física aplicada, investigación de operaciones, ciencias de la computación, la ingeniería cuenta con un vasto catálogo de herramientas que coadyuvan en el desempeño óptimo de cualquier organización.

Una característica que comparte la ingeniería con otras disciplinas es la modelación de sistemas; donde podemos encontrar una división desde el enfoque de control. La principal diferencia entre la modelación y la modelación orientada a control es la manera en que se representan las interconexiones de los subsistemas, permitiendo nuevas interconexiones, por ejemplo, atenuación de perturbaciones e interconexiones estables. Además, esta última es una cualidad indispensable de la modelación robusta orientada al control. El modelado de sistemas orientado a control es una parte de la ingeniería que se puede aplicar a cualquier tipo de sistema siempre que haya procesos definidos con variables bien detectadas y medidas. Desde los procesos de negocios hasta los flujos de efectivo esperados; todas las

etapas del flujo de trabajo de cualquier organización productiva son susceptibles de modelación.

También se asocia al Control, área de la ingeniería, fuertemente con las ciencias de la computación, debido a que la mayoría de algoritmos de control se implementan mediante software. Aunque en la práctica, estos algoritmos y software suelen ser muy diferentes al tradicional software comercial, debido a las necesidades de velocidad o dinamismo de los mercados financieros. Ejemplo de ello es la gran diferencia que existe entre un programa de procesamiento de textos como el empleado para redactar esta tesis y el funcionamiento de una terminal de resultados financieros en tiempo real que está conectada a las bolsas de valores más importantes del mundo. Son ambos software pero su funcionamiento es totalmente diferente.

En los mercados financieros, como ya se ha venido discutiendo, es visible un gran dinamismo en las variables de los mercados. Todos los días, empresas abren y cierran posiciones en los mercados financieros sacudiendo a veces con mayor fuerza, a veces con menor, la demanda de los productos que ofrecen los bancos e instituciones financieras incidiendo de alguna manera en los movimientos de precios, tasas de interés y tipos de cambio, se vuelve un gran sistema de complejidad considerable.

Si bien es cierto que si se le compara con otras industrias la financiera no se ha caracterizado por ser una protagonista del desarrollo de tecnología como lo podría ser la industria del transporte. También es cierto que en el pasado reciente, la financiera no era una industria que necesitara una sofisticación tecnológica mayor a la contabilidad tradicional. Sin embargo, las telecomunicaciones han hecho que las operaciones en mercados financieros

sean más globales, rápidas y económicas cada vez. Otorgando un dinamismo que ha requerido la implementación de tecnología en el manejo oportuno de la información que a cada instante se genera.

3.2 Modelación en Finanzas

Dado un sistema físico, el cual puede ser una aeronave, un proceso químico, o la economía nacional, la ingeniería se encarga de desarrollar modelos matemáticos que represente adecuadamente algunos aspectos representativos del comportamiento de ese sistema. Mediante algunas inferencias físicas, asunciones hechas, apego a las leyes que rigen al sistema y pruebas empíricas, se establecen relaciones entre ciertas variables de interés, entradas al sistema y salidas del mismo.

Con dicho modelo matemático y las herramientas que nos brindan las teorías de sistemas y de control, es posible investigar la arquitectura de un sistema y los tipos de respuesta del mismo. Se pueden diseñar compensadores que alteren estas características y controladores que provean señales de entrada apropiadas para generar salidas corregidas.

Para ello es necesario que el sistema cuente con instrumentos de medición, que para el caso de sistemas financieros bien se les puede considerar a los indicadores de las variables que nos interesan. Si se les analiza, a estos indicadores de variables como sistemas propios, observaríamos que la salida de tal sistema sería la medición propia de la o las variables de interés. Esta señal de salida del sistema del instrumento de medición y las entradas conocidas del sistema son la única información que es directamente observable sobre los sistemas. Una vez entendida la naturaleza del sistema es posible implementar un controlador

de retroalimentación con una señal de salida, y también sería una señal directamente observable.

Este análisis no se le puede llevar a cabo suficientemente y a totalidad mediante análisis de sistemas determinísticos o teorías de control, principalmente por tres razones.

Primero que nada, ningún modelo matemático es perfecto. Tales modelos, solo representan algunas características que interesan directamente al modelo. El objetivo del modelo es representar los modos de respuesta más críticos o dominantes, así que de antemano se sabe que muchos efectos se dejan sin modelación. Los modelos usados para generar información en línea de ciertos procesos o controladores deben equipararse con lo más elemental para generar algoritmos factibles de programar en ordenadores. Aun con los efectos modelados matemáticamente, responden a aproximaciones adecuadas de lo que es observado, de manera que existen muchas fuentes de incertidumbre en cualquier modelo matemático de un sistema.

En segundo lugar existe otra desventaja en los modelos determinísticos, y es que la dinámica de los modelos no es solamente determinada por las entradas de nuestro modelo o control, sino que también influyen perturbaciones que ni se pueden controlar ni se pueden modelar determinísticamente.

Una desventaja más es que los sensores colocados en el sistema o mediciones hechas, no proporcionan información perfecta y completa del sistema. Generalmente no proveen toda la información que quisiéramos conocer sobre el sistema; debido a que no proveen lecturas exactas de las variables deseadas, sino que incluyen su propia dinámica como sistema y sus distorsiones. Por ejemplo, una medición de una variable macroeconómica que da a conocer

el estado, estará afectada por los deseos de estabilidad macroeconómica, políticas internacionales, activismo social o conflictos locales; además seguramente incluirá solo aquellas mediciones de muestras que se consideren más representativas para que se cumplan los propósitos del dato y no los de un usuario neutral.

Del análisis anterior, podemos afirmar que tener perfecto conocimiento de las variables necesarias para describir el sistema completamente o asumir control perfecto sobre el sistema es una ingenuidad y frecuentemente es un enfoque inadecuado. Así que se nota la obligación a formular ciertas preguntas:

¿Cómo desarrollar modelos de sistemas que tomen en cuenta esta incertidumbre adecuadamente? Contando con esos modelos, y con la información (incompleta y corrompida por ruido de los sensores que estén disponibles), ¿cómo se estiman de manera óptima las variables de interés?

Sabiendo que se enfrenta a descripciones de sistemas inciertos, información incompleta y corrompida por ruido, y perturbaciones que se encuentran más allá de nuestro control, ¿cómo se controla un sistema para que desempeñe de una manera deseable? ¿Cómo se evalúa el desempeño de tales estimaciones y sistemas de control, antes y después de que se han efectuado?

Hasta ahora, en este documento, se ha hecho un profundo análisis de las diversas técnicas de administración de riesgo, enfatizando la transferencia de riesgo en la cobertura con futuros. Ahora enfocaremos la atención a la parte más refinada del análisis cuantitativo de la cobertura, al momento de decidir la cantidad de contratos que serán los adecuados para optimizar la cobertura.

Una vez que se ha decidido afrontar un riesgo empleando futuros, la estrategia a seguir debe ser fiel a las políticas de una compañía; generalmente las empresas no financieras declaran en sus estados financieros que los instrumentos que emplean son solo utilizados con fines de cobertura y no especulativos. Sin embargo, las direcciones financieras deben ser mucho más cuidadosas que solamente esa sentencia al operar en mercados de derivados

Además de ser fiel a las normas internas de una empresa, la estrategia de cobertura debe ser coherente con las posiciones y montos que compensen a las exposiciones de riesgo que pueda tener una empresa de cualquier giro. Resulta evidente que las compañías deben tener pronósticos muy confiables sobre las variables financieras que les afecten. El filtro de Kalman entra justo en esta etapa en la que se determina un valor futuro a partir de observaciones vistas, es decir se le emplea como un estimador de gran fiabilidad.

Wolff (1989) sugirió el empleo del Filtro de Kalman para mejorar los pronósticos de tipo de cambio monetario, para el caso de dólar-marco dólar-libra y dólar-yen; concluyendo que el pronóstico basado en el espacio de estados supera a la caminata aleatoria simple. Bos, Mahieu y van Dijk (2000), también propusieron modelos de series de tiempo con varianzas variantes en el tiempo en la cobertura cambiaria y utilizando información de discretización diaria, desde un enfoque Bayesiano de toma de decisiones. Wang y Lin (2012), entre otros, emplearon al filtro de Kalman en una estrategia de cobertura del índice taiwanés TAIEX, con futuros sobre el mismo índice.

3.3 El Filtro de Kalman

El filtro de Kalman es un algoritmo óptimo de procesamiento recursivo de información. Hay diversas maneras de definir óptimo, dependiendo del criterio empleado para evaluar el desempeño. El filtro de Kalman es óptimo con respecto a, virtualmente, cualquier criterio que tenga sentido. Un aspecto de la optimización radica en el hecho de incluir toda la información que se puede incorporar. Procesa todas las mediciones disponibles sin importar su precisión para estimar el valor actual de las variables de interés, empleando:

Conocimiento de las dinámicas del sistema y las diversas mediciones. Así como las descripciones estadísticas de los ruidos del sistema, errores de la o las mediciones, e incertidumbre en la dinámica del modelo. Toda información disponible sobre las variables de interés en condiciones iniciales. La palabra recursivo en la descripción anterior, significa que el filtro de Kalman no necesita toda la información anterior para ser guardada, almacenada y reprocesada cada vez que se toma una nueva medición. Esto será de fundamental importancia para la implementación práctica del filtro al ser programado.

El filtro es también un algoritmo de procesamiento de información, a pesar de la típica connotación de “caja negra”, el hecho es que en la mayoría de aplicaciones el filtro de Kalman es programable a conveniencia del usuario o programador que desea hacer estimaciones sobre variables. Como tal, inherentemente incorpora mediciones discretas de tiempo en lugar de entradas en tiempo continuo. En la siguiente figura se muestra una situación en la que se puede emplear al filtro de Kalman apropiadamente.

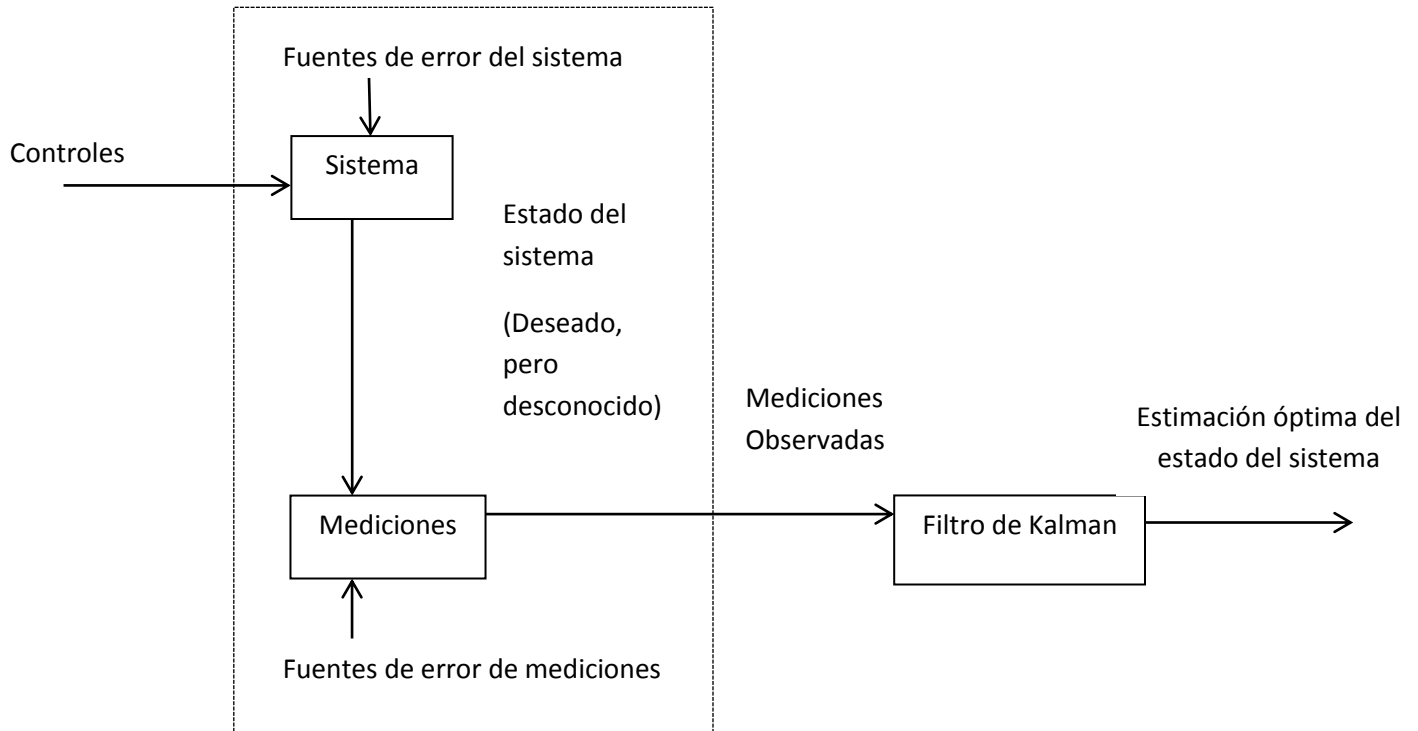


Fig. 3.1 Un sistema retroalimentado

Un sistema de alguna naturaleza, está determinado por algunos controles conocidos, y los instrumentos de medición proveen el valor de algunas cantidades pertinentes. El conocimiento de estas entradas y salidas del sistema es todo con lo que explícitamente se cuenta sobre el sistema para hacer estimaciones. La necesidad de un filtro es ahora aparente. Algunas veces, las variables de interés, algún número finito de cantidades que describen el “estado” del sistema no pueden ser directamente medibles, y se deben generar medios para inferir estos valores a partir de la información disponible. Esta inferencia es un tanto complicada porque un sistema es determinado por entradas diferentes a nuestros controles conocidos y que las relaciones entre las diversas variables de “estado” y salidas medidas, son conocidas solamente a un cierto grado de certeza. Además, cualquier medición será corrompida en algún grado por ruido, sesgo e inexactitudes de los instrumentos de medición; luego entonces, un medio de extracción de información valiosa a partir de una señal ruidosa debe ser desarrollado.

También debe haber diferentes instrumentos de medición, cada uno con su dinámica en particular y errores característicos, que entreguen alguna información sobre variables en particular, sería deseable combinar sus salidas de una manera sistemática y óptima. El filtro de Kalman combina todos los datos de mediciones disponibles, más un previo conocimiento del sistema y las mediciones, para producir una estimación de la variable deseada de manera que minimice el error estadísticamente. En otras palabras, si se fuesen a ejecutar una serie de filtros candidatos a óptimos muchas veces para la misma aplicación, se vería que el promedio de los resultados del filtro de Kalman sería mejor que el promedio de los resultados de cualquier otro.

Conceptualmente, lo que cualquier tipo de filtro intenta hacer es, obtener una óptima estimación de las cantidades deseadas a partir de información provista por entornos ruidosos, óptima implica entonces, minimización de errores en algún modo. Entregando sus resultados en forma de una densidad condicional, el filtro arroja información sobre la cantidad de certeza que se tiene sobre el conocimiento de x . Si la gráfica de densidad es un pico angosto, la mayor parte del “peso” de la probabilidad está concentrado en una banda angosta alrededor del valor de x . Por otro lado, si la gráfica tiene una forma gradual, el “peso” de la probabilidad se expande sobre un rango más ancho de valores de x , indicando que se tiene menos certeza del valor.

Asunciones básicas del filtro de Kalman.

Hasta este punto es útil revisar las tres asunciones básicas en la formulación del filtro de Kalman. En una primera instancia parecieran ser sobre restrictivas e irrealistas, sin embargo son válidas para la modelación.

Una modelación lineal del sistema se justifica por varias razones. Con frecuencia estos modelos resultan ser adecuados para los propósitos en cuestión, y cuando existen no linealidades, el enfoque ingenieril típico es linealizar alrededor de algún punto nominal o trayectoria, logrando un modelo de la perturbación o un modelo del error. Los sistemas lineales son deseables por ser más fácilmente manipulables con herramientas ingenieriles y modelado de sistemas lineales (o ecuaciones diferenciales), pues la teoría es mucho más vasta y práctica que para los no lineales.

El ruido blanco, hace referencia al hecho de que los valores del ruido no están correlacionados a través del tiempo. O dicho de una manera más simple, si se conoce el valor del ruido ahora, este conocimiento no hace beneficio en la predicción cuál será su valor en cualquier otro instante de tiempo. Todas estas características hacen al ruido blanco muy tratable matemáticamente.

La densidad de probabilidad de un ruido blanco Gaussiano tomará la forma acampanada de la curva normal. Esta asunción puede justificarse físicamente por el hecho de que el ruido de un sistema o de una medición es típicamente ocasionado por un gran número de pequeñas distorsiones. Se puede demostrar matemáticamente que cuando un gran número de variables independientes aleatorias se suman en conjunto, el efecto en suma, puede ser descrito muy

cercanamente por una densidad de probabilidad Gaussiana, sin importar la forma de las curvas de las densidades individuales.

Existe también una justificación práctica en el empleo de densidades Gaussianas. Similar al ruido blanco, hace las matemáticas más tratables; pero más que eso, típicamente el ingeniero conocerá mejormente los primeros dos momentos estadísticos (media y varianza o desviación estándar) de un proceso de ruido. El primer y segundo momento determinan completamente una densidad Gaussiana, a diferencia de la mayoría de las densidades que requieren de más momentos o parámetros estadísticos para determinar su forma completamente. Entonces, el filtro de Kalman, el cual propaga el primer y segundo momentos estadísticos, incluye toda la información contenida en la densidad de probabilidad condicional y no solo algo de información, como sería el caso con cualquier otra forma de densidad de probabilidad.

Las asunciones particulares que se hacen son motivadas por el objetivo mismo del modelo. Si nuestro objetivo fuera obtener solamente buenos modelos descriptivos, no habríamos puesto nuestra atención en sistemas lineales que implican ruido blanco. En su lugar se hubiese buscado un modelo, de la forma que sea, que mejor ajuste los datos generados por las mediciones reales. Sin embargo, es deseable hacer estimadores y controladores basados en nuestros modelos de sistemas que nos trajeron a estas asunciones, otras asunciones generalmente llegan a ser no tratables matemáticamente. Afortunadamente, los modelos que llevan a matemáticas tratables también proveen representaciones adecuadas para situaciones reales.

3.4 El filtro de Kalman como estimador estadístico

En 1960 Rudolph E. Kalman publicó su famoso artículo, “*A New Approach to linear filtering and Prediction Problems*”, describiendo una solución recursiva al problema de filtrado lineal de información discreta. Desde entonces, y gracias a los grandes avances en cómputo digital, el filtro de Kalman ha sido objeto de una extensa variedad de aplicaciones e investigación en diversas áreas de ingeniería como navegación autónoma o asistida.

El filtro de Kalman es un conjunto de ecuaciones matemáticas que proveen una manera computacionalmente eficiente para estimar el estado de un proceso, al mismo tiempo que minimiza el error cuadrático medio. Posee grandes fortalezas; produce estimaciones de estados pasados, presentes y futuros y lo puede hacer aún sin conocer con precisión la naturaleza del sistema modelado.

El filtro de Kalman tiene por objetivo estimar el estado $x \in R^n$ de un proceso discreto en el tiempo que se modela con la ecuación lineal diferencial estocástica

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + w_{k-1} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Con una medida $z \in R^m$ que es

$$z_k = Hx_k + v_k \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Las variables aleatorias w_k y v_k representan los ruidos del proceso y la medición, respectivamente. Se asume que son independientes entre ellos, blancos y con distribución normal de probabilidad.

$$p(w) \sim N(0, Q) \quad \text{Ec. (3.3)}$$

$$p(v) \sim N(0, R) \quad \text{Ec. (3.4)}$$

La matriz A $n \times n$ en la ecuación diferencial (3.1) relaciona el estado en el paso temporal previo $k - 1$ con el estado en el tiempo actual k , en ausencia de una función característica o proceso de ruido. En la práctica la matriz A también puede variar en el tiempo, aunque se le suele asumir constante. La matriz B $n \times l$ relaciona la entrada opcional de control $u \in R^l$ con el estado x . La matriz H $m \times n$ en la ecuación de medición (3.2) relaciona el estado con la medida z_k . En la práctica H puede cambiar con cada paso temporal o medición, por ahora la asumiremos constante.

Los Orígenes del Filtro de Kalman

Definamos $\hat{x}_k^- \in R^n$ como nuestra estimación a priori del estado en el tiempo k dado que conocemos el proceso anterior al tiempo k , definamos $\hat{x}_k \in R^n$ como nuestra estimación a posteriori del estado en el tiempo k dada la medición z_k . Podemos definir errores de las estimaciones a priori y a posteriori como

$$e_k^- = x_k - \hat{x}_k^- \quad \text{Ec. (3.5)}$$

$$e_k = x_k - \hat{x}_k \quad \text{Ec. (3.6)}$$

La covarianza del error estimado a priori es

$$P_k^- = E[e_k^- e_k^{-T}] \quad \text{Ec. (3.7)}$$

La covarianza del error estimado a posteriori es

$$P_k = E[e_k e_k^T] \quad \text{Ec. (3.8)}$$

Para llegar a las ecuaciones del filtro de Kalman, comenzaremos poniendo como objetivo encontrar una ecuación con la cuál calculemos una estimación del estado a posteriori \hat{x}_k como una combinación lineal de la estimación a priori \hat{x}_k^- y la diferencia ponderada de la medición actual z_k y la medición predicha $H\hat{x}_k^-$ como se muestra a continuación. Una justificación de la siguiente ecuación, se muestra en la siguiente sección

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad \text{Ec. (3.9)}$$

La diferencia $(z_k - H\hat{x}_k^-)$ la llamaremos innovación de la medición o residuo. El cual refleja la diferencia de la predicción de la medición $H\hat{x}_k^-$ y la medición actual z_k . Un residuo de cero nos indicaría que la predicción fue exacta.

La matriz K $n \times m$ en la ecuación (3.9) se selecciona para ser la ganancia o factor de proporción que minimice la covarianza del error estimado a posteriori (3.8). Lo cual se logra sustituyendo la ecuación (3.9) en la definición de e_k (3.6), sustituir ahora eso en (3.8) desarrollar las expectativas correspondientes, derivar el resultado con respecto a K , igualar a cero y resolver para K .

Un resultado para K que minimiza¹ la covarianza del error estimado a posteriori es

$$K_k = P_k^- H^T (H P_k^- H^T + R)^{-1} = \frac{P_k^- H^T}{(H P_k^- H^T + R)} \quad \text{Ec. (3.10)}$$

Observando (3.10) podemos apreciar cómo, mientras la covarianza del error de medición R se aproxima a cero, la ganancia K da mayor ponderación al residuo. Más específicamente

$$\lim_{R_k \rightarrow 0} K_k = H^{-1}$$

¹ Pueden verse detalles en Maybeck '79, Brown '92, Jacobs '93 y Bishop y Welch '06.

De la misma manera, cuando la covarianza del error de la estimación a priori P_k^- se aproxima a cero, la ganancia K da menor ponderación al residuo. Más específicamente

$$\lim_{P_k^- \rightarrow 0} K_k = 0$$

Podemos decir que la ganancia K pondera mayormente a la medición actual z_k cuando la covarianza del error de la medición R se aproxima a cero; y la predicción de la medición $H\hat{x}_k^-$ se pondera menormente, pues va dejando de ser una buena aproximación del resultado.

Inversamente, cuando la covarianza del error de la estimación a priori P_k^- se aproxima a cero, la medición actual z_k se pondera menormente, mientras que la predicción de la estimación $H\hat{x}_k^-$ se pondera mayormente, pues va siendo buena aproximación del resultado.

Origen probabilístico del filtro

La justificación de la ecuación (3.9) se basa en la probabilidad a priori de la estimación \hat{x}_k^- condicionada a todas las mediciones anteriores z_k , regla de Bayes. El filtro de Kalman mantiene los primeros dos momentos de la distribución del estado.

$$E[x_k] = \hat{x}_k$$

$$E[(x_k - \hat{x}_k)(x_k - \hat{x}_k)^T] = P_k$$

La estimación del estado a posteriori (3.9) representa la media, el primer momento, de la distribución del estado la cual se distribuye normalmente si las condiciones (3.3) y (3.4) se cumplen. La covarianza del error estimado a posteriori (3.8) representa la varianza de la distribución del estado, el segundo momento no centrado. En otras palabras,

$$p(x_k|z_k) \sim N(E[x_k], E[(x_k - \hat{x}_k)^T]) = N(\hat{x}_k, P_k)$$

3.5 El Algoritmo del Filtro de Kalman

El filtro de Kalman estima un proceso empleando un control retroalimentado, el filtro estima el estado del proceso en algún punto del tiempo y después obtiene retroalimentación en forma de señales ruidosas. Las ecuaciones del filtro de Kalman, las clasificaremos dentro de dos grupos: ecuaciones de actualización temporal y ecuaciones de actualización de medida. Las ecuaciones de actualización temporal son responsables de proyectar hacia adelante en tiempo el estado actual y la covarianza del error estimado para obtener una estimación a priori para el siguiente paso temporal. Las ecuaciones de actualización de medida son responsables de la retroalimentación, es decir, se encargan de incorporar una nueva medición a la estimación a priori para mejorar la estimación a posteriori.

Las ecuaciones de actualización temporal, también se pueden ver como ecuaciones de predicción, mientras que las de actualización de medición se pueden ver como ecuaciones de corrección.

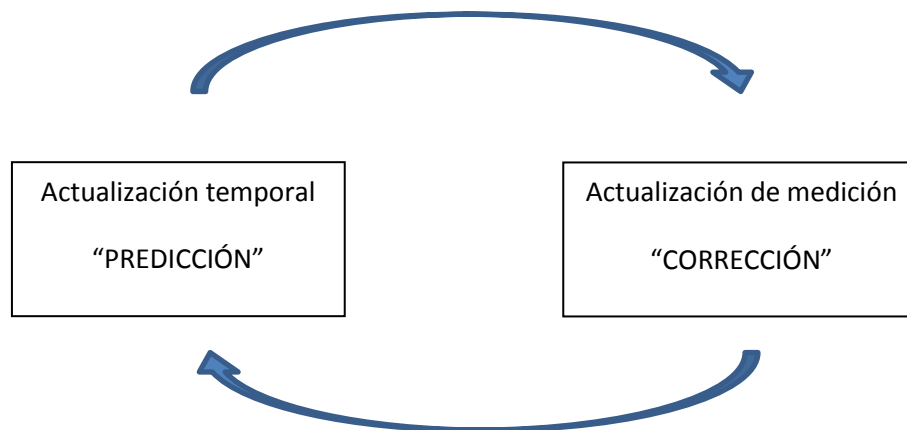


Fig. 3.2 El ciclo del filtro de Kalman. La actualización temporal proyecta el estado actual un paso adelante en el tiempo. La actualización de medición ajusta la proyección estimada con la medición actual en ese tiempo.

Ecuaciones de actualización temporal

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \quad \text{Ec. (3.11)}$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \quad \text{Ec. (3.12)}$$

Ecuaciones de actualización de medición

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad \text{Ec. (3.13)}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad \text{Ec. (3.14)}$$

$$P_k = (I - K_k H)P_k^- \quad \text{Ec. (3.15)}$$

Notemos que las ecuaciones de actualización temporal proyectan hacia adelante el estado y la covarianza del error estimado un paso en el tiempo a partir del tiempo $k - 1$ al paso k . A y B vienen de (3.1), mientras que Q viene de (3.3). Las condiciones iniciales del filtro se discuten en referencias al principio.

Observemos como el primer paso de las ecuaciones de actualización de medición es calcular la ganancia K_k , que es la misma ecuación que (3.10). El siguiente paso es medir el proceso para obtener z_k , y después generar una estimación del proceso a posteriori, como se ve en la ecuación (3.14); que a su vez es la misma que (3.9). Por último se obtiene la covarianza del error estimado a posteriori, ecuación (3.15).

Después de las actualizaciones, el proceso se repite con las previas estimaciones a posteriori empleadas para proyectar o predecir las nuevas estimaciones a priori. Esta naturaleza recursiva es una de las características más sobresalientes del filtro. El siguiente diagrama resume la operatividad del filtro de Kalman.

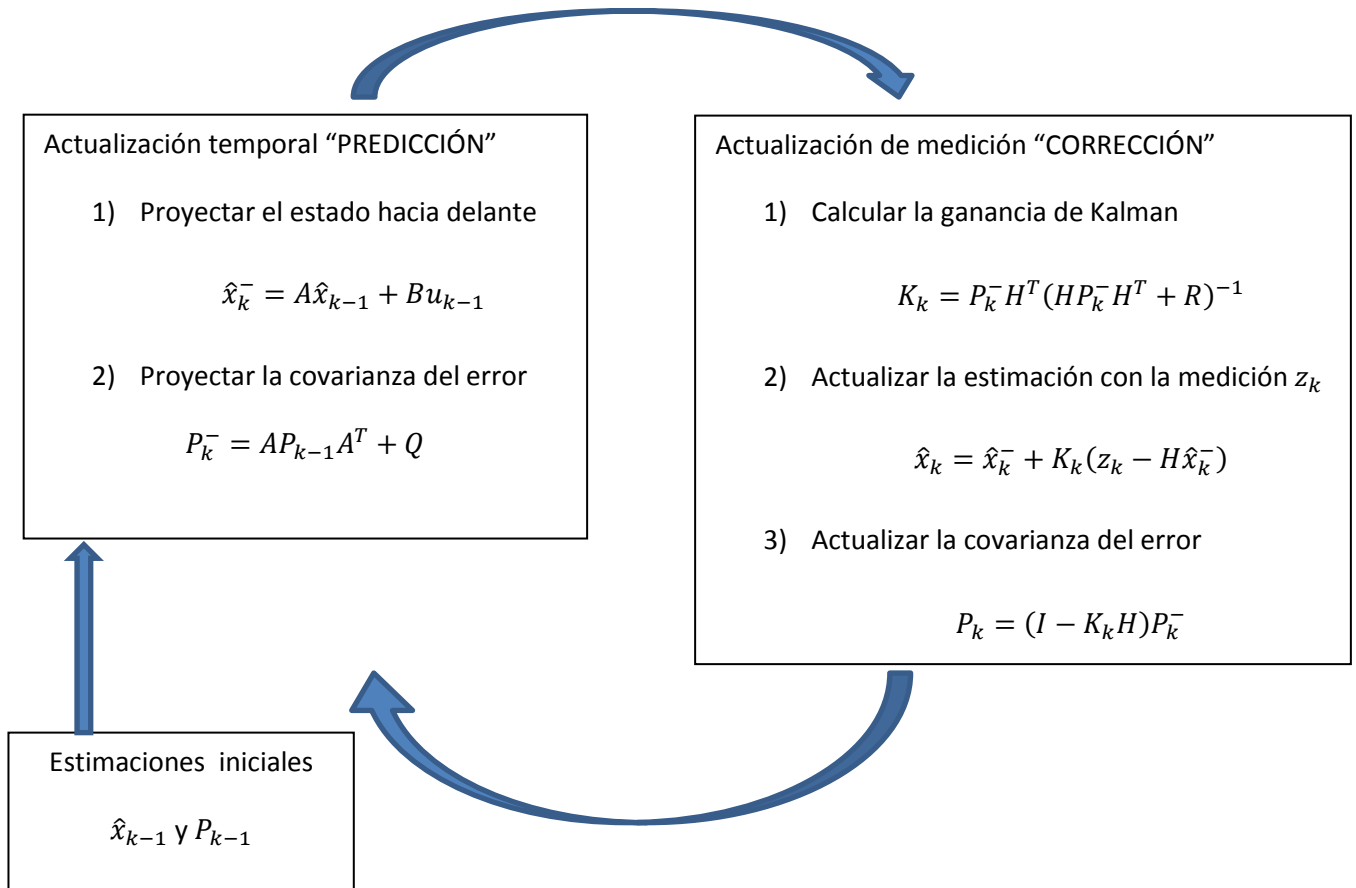


Figura 3.3 Esquema completo del funcionamiento del filtro de Kalman.

La covarianza del error de la medición R , usualmente se calcula previo a la operación del filtro; lo cual es generalmente posible, porque de alguna manera debemos poder medir el proceso mientras se opera el filtro. Así que deberíamos poder tomar algunas muestras de la medición para así determinar la varianza del ruido del proceso.

La covarianza de del error del proceso Q , suele ser un poco más complicada, pues generalmente no tenemos la factibilidad de medir directamente el proceso que estamos estimando. Algunas veces una modelación sencilla puede producir resultados aceptables si el usuario introduce incertidumbre suficiente en el proceso al seleccionar Q . En estos casos se esperaría que las mediciones del proceso fueran confiables.

El éxito del filtrado lineal óptimo se debe principalmente a Rudolph E. Kalman y su trabajo, él describió una solución recursiva al problema de filtrado lineal discreto. Aunque el trabajo original de Kalman se basó en el enfoque de mínimos cuadrados, se llega a las mismas ecuaciones mediante un enfoque analítico meramente probabilístico Bayesiano.

El filtro de Kalman, dada su naturaleza de mínimos cuadrados ha sido ampliamente empleado en control óptimo estocástico. De hecho, no se tiene la exactitud sobre qué fue primero; si la teoría del filtro de Kalman o la teoría de Modelos Dinámicos Lineales. Que aunque son teorías que provienen de distintos enfoques, bien son equivalentes.

Capítulo 4: Cálculo del índice de Cobertura óptimo

4.1 Cobertura del Riesgo de Precios

Se propone un método óptimo para calcular el índice de cobertura. Se emplea el filtro de Kalman en la modelación en el espacio de estados de una cobertura de riesgo de precios. En específico se plantea la situación a la que se enfrentaría una empresa productora de un bien que será vendido posteriormente y que se expondría a una gran volatilidad en su precio. Se ha elegido a Grupo Peñoles para llevar a cabo la cobertura de exposición al riesgo de precio del Oro que extrae de las minas y que, desde luego, será vendido posteriormente.

Como ya se ha analizado, se pueden emplear a los mercados de derivados para hacer adecuadas coberturas de este tipo de riesgo, para ello los tomadores de decisiones tendrán que decidir el porcentaje de la exposición a cubrir, que se determina mediante el cálculo del índice de cobertura.

Encontrar un índice de cobertura óptimo es una fase crucial para la dirección financiera en el análisis de riesgos. Hay una variedad de artículos que se han publicado sobre cálculos óptimos del índice de cobertura (entre ellos, Cechetti, entre otros, 1988; Myers y Thompson, 1989; Baillie y Mayers, 1991; Kroner y Sultan, 1991; Lien y Luo, 1993 o Park y Switzer, 1995). En la literatura es práctica común asumir que el parámetro estimado sobre el índice de cobertura sea constante durante el periodo de estudio. Esta asunción hace al modelo muy restrictivo, pues los factores que inciden en el cálculo del índice de cobertura son variantes en el tiempo en la realidad.

El contrato de futuro que se emplea para hacer la cobertura, tiene las siguientes características

Símbolo de Producto	GC	
De venta en	CME Globex, CME Clear Port, Piso de Remates (Nueva York)	
Horarios (Tiempo de NY)	CME Globex	Domingo - Viernes de 6:00 p.m. - 5:15 p.m. con 45 minutos de paro cada día a las 5:15 p.m.
	CME Clear Port	Domingo - Viernes de 6:00 p.m. - 5:15 p.m. con 45 minutos de paro cada día a las 5:15 p.m.
	Piso de Remates	Lunes - Viernes de 8:20 a.m. - 1:30 p.m.
Tamaño de Contrato	100 onzas troy	
Cotiza	Dólares y centavos de los Estados Unidos por onza troy	
Fluctuación mínima	\$ 0.10 por onza troy	
Tipo de Liquidación	Física	

Cuadro 4.1 Contrato Futuro sobre Oro. Tomado de CME Group.

Las variables financieras son variantes a través del tiempo, pues están sujetas a fenómenos como cambios tecnológicos, crisis financieras, cambios en los gustos de los consumidores o sus hábitos de consumo, reformas a las leyes correspondiente y evoluciones organizacionales o institucionales, incluso hasta por el clima. Si los parámetros son en la realidad cambiantes a través del tiempo, debe tratárseles como tales para poder hacer inferencias precisas sobre la información que generemos.

En el desarrollo de este modelo, se toman como ciertas las siguientes afirmaciones:

- ✓ Los participantes en el mercado no están sujetos a costes de transacción cuando operan.
- ✓ Los participantes en el mercado están sujetos a los mismos impuestos sobre los beneficios netos derivados de la comercialización.

- ✓ Los participantes pueden prestar o pedir prestado el dinero necesario a la misma tasa, la tasa libre de riesgo.
- ✓ Los participantes en el mercado aprovechan las oportunidades de arbitraje tan pronto como estas se presentan.

Las afirmaciones anteriores no son excesivas y se cumplen para los grandes bancos o instituciones que hacen que los mercados sean dinámicos. Se hace un tratamiento de los contratos de futuros como si fuesen forwards, se omiten las variaciones diarias, que generan llamadas de margen diarias y se asume que todos los pagos se efectúan al cierre de la posición de cobertura.

4.2 El índice de cobertura óptimo

Supongamos que se espera vender N_A unidades de un activo en el tiempo t_2 y se decide cubrir en el tiempo t_1 , abriendo una posición corta en futuros con una cantidad de contratos equivalentes a N_f unidades de algún activo al que se está cubriendo.

El índice de cobertura, es

$$h = \frac{N_f}{N_A} \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Ahora, denotaremos con Y la cantidad total resultante, ganancia o pérdida, de la operación con futuros, es decir, no consideramos llamadas de margen u otros gastos ocasionados por la operatividad, pues no afectan el resultado final. El impacto por llamadas de margen se asume en el modelo a totalidad durante el periodo de vida de la estrategia mediante la diferencia $(F_2 - F_1)$, se incluye en el cálculo solamente la totalidad del resultado,

asumiendo que el pago se efectuaría hasta el final de la operación. Lo cual se considera válido para hacer la modelación.

$$Y = S_2 N_A - (F_2 - F_1) N_F$$

Que también se puede reescribir de la siguiente manera, simplemente se agrega el factor $(S_1 N_A - S_1 N_A)$ que no altera la expresión:

$$Y = S_1 N_A + (S_2 - S_1) N_A - (F_2 - F_1) N_F \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Donde

S_1 = El valor del activo en el tiempo t_1

S_2 = El valor del activo en el tiempo t_2

F_1 = El valor del futuro en el tiempo t_1

F_2 = El valor del futuro en el tiempo t_2

Si sustituimos la ecuación (4.1) en la ecuación (4.2), podemos expresar a Y, como

$$Y = S_1 N_A + (\Delta S - h \Delta F) N_A \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Donde $\Delta S = S_2 - S_1$ y $\Delta F = F_2 - F_1$. Como S_1 y N_A se les conoce en t_1 la varianza de Y en la ecuación (4.3) se minimiza si la varianza de $(\Delta S - h \Delta F)$ se minimiza. Esta varianza se expresa como

$$V[\Delta S - h \Delta F] = \sigma_S^2 + h^2 \sigma_F^2 - 2h\rho\sigma_S\sigma_F \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Donde

σ_S^2 = Varianza de ΔS , (σ_S = desviación estándar de ΔS)

$\sigma_F^2 = \text{Varianza de } \Delta F, (\sigma_F = \text{desviación estándar de } \Delta F)$

$\rho = \text{Coeficiente de correlación entre } \Delta S \text{ y } \Delta F.$

Entonces, el índice de cobertura de varianza mínima puede encontrarse minimizando la ecuación (4), derivándola con respecto a h e igualando a cero, resultando

$$\frac{\partial V}{\partial h} = 2h\sigma_F^2 - 2\rho\sigma_S\sigma_F = 0$$

$$2h\sigma_F^2 = 2\rho\sigma_S\sigma_F$$

$$h = \rho \frac{\sigma_S}{\sigma_F} \quad \text{Ec. (4.5)}$$

Se comprueba que estamos encontrando un óptimo mínimo al ver que la segunda derivada con respecto a h , $2\sigma_F^2$, es positiva.

Sin embargo, este índice de cobertura óptimo se puede encontrar también mediante la siguiente regresión

$$\Delta S_t = c + h\Delta F_t + \varepsilon_t \quad \text{Ec. (4.6)}$$

Que es una regresión estándar empleada para el cálculo del índice de cobertura óptimo. Se asume que el índice de cobertura h sigue la subsecuente dinámica estocástica

$$h := (h_t)_{t \in [0, T]} \quad , \text{ donde } \quad h_t = \alpha + B_t \quad \text{Ec. (4.7)}$$

El parámetro α es una constante que se asume igual al índice de cobertura constante como se le definió en la ecuación (4.5). Se plantea entonces $h_t = h_{t-1} + B_t$ y haremos del índice de cobertura h , de la ecuación (4.6), variante en el tiempo para plantear el siguiente modelo de optimización de cobertura del riesgo de precios.

4.3 Modelo Espacio de Estados en una cobertura de precios

El índice de cobertura estocástico se obtiene modelando en el espacio de estados, el sistema que después será calculado por el filtro de Kalman. Las siguientes ecuaciones, Hatemi (2010), describen dicho sistema

$$\Delta S_t = h_t \Delta F_t + \varepsilon_t \quad \text{Ec. (4.8)}$$

$$h_t = h_{t-1} + B_t \quad \text{Ec. (4.9)}$$

Donde $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma)$ y $B_t \sim N(0, Q)$. Además, a estos términos de errores se les asume independientes a través de las ecuaciones del sistema, es decir, se cumple lo siguiente

$$E(\varepsilon_t B_t) = 0, \forall t \text{ y } s$$

A la ecuación (4.8) también le llamaremos ecuación de medida u observación y a la (4.9) ecuación de estado o de transición. El objetivo del modelado en espacio de estados es estimar los parámetros A, P y Q para poder hacer inferencias sobre un vector variante en el tiempo, dadas las observaciones de $(\Delta S_t, \Delta F_t)$ en cada lapso temporal. Para lograrlo se emplea el filtro de Kalman, que es una solución al problema de filtrado lineal óptimo para una modelación como la que se acaba de plantear. El filtro, para este caso, se describe por las siguientes ecuaciones, Harvey (1993).

Ecuaciones de actualización temporal

$$h_{t|t-1} = Ah_{t-1} \quad \text{Ec. (4.10)}$$

$$P_{t|t-1} = AP_{t-1}A' + Q \quad \text{Ec. (4.11)}$$

Ecuaciones de actualización de medición

$$\hat{e}_t = (\Delta S_t - h_{t|t-1} \Delta F_t) \quad \text{Ec. (4.12)}$$

$$f_t = \Delta F_t' P_{t|t-1} \Delta F_t + \sigma \quad \text{Ec. (4.13)}$$

$$h_t = h_{t|t-1} + \Delta F_t' P_{t|t-1} \Delta F_t \left(\frac{\hat{e}_t}{f_t} \right) \quad \text{Ec. (4.14)}$$

$$P_t = P_{t|t-1} - P_{t|t-1} \Delta F_t \Delta F_t' P_{t|t-1} \left(\frac{1}{f_t} \right) \quad \text{Ec. (4.15)}$$

En donde \hat{h}_t , es la estimación óptima del vector de parámetros variantes h_t , con una varianza de P_t en el tiempo t . El error estimado a posteriori se le representa con \hat{e}_t y su varianza se mide con f_t . La expresión $t|t-1$ implica que la estimación óptima del parámetro en el tiempo t está condicionada a la información disponible hasta el periodo $t-1$. Se puede ver cómo se ha aplicado el filtro al comparar las ecuaciones (4.10) a (4.15) y (3.11) a (3.15). El valor de la matriz A se reduce a una matriz unitaria. La ecuación 3.13 equivale a la 4.12 y 4.13 juntas.

En otras palabras el filtro de Kalman se encarga de calcular, mediante un ingenioso sistema de ecuaciones, parámetros que definen el comportamiento de la serie financiera, para que con esos parámetros podamos hacer análisis más completos sobre la misma serie en distintos instantes de tiempo, es decir emitir pronósticos muy certeros.

4.4 El caso de Grupo Peñoles y el riesgo del precio del Oro

Para cubrir su exposición al riesgo de precios de oro, una empresa minera necesita abrir posiciones cortas en los mercados de futuros para así compensar sus ganancias o pérdidas en

los mercados spot y no exponer a variaciones sus flujos de efectivo esperados en el corto plazo.

Se plantea el modelo de Hatemi (2010) como hipótesis alternativa. El modelo estático que plantea la literatura convencional, Hull (2008), se plantea como hipótesis nula. Se determina óptima la hipótesis alternativa, medida por el error medio cuadrático entre los modelos y observaciones realizadas de índices de cobertura en la cobertura del riesgo de precio del oro.

Se emplean series históricas de precios spot de oro y de cotizaciones de futuros sobre oro, contrato operado por el CME y analizado en la primera parte de este capítulo. Se toman valores mensuales desde Enero de 2001.



Fig. 4.1 Cierres spot Oro, USD.

Se toman cierres del último día hábil de cada mes para cotizaciones spot y se toma la cotización de ese día en futuros con vencimiento al siguiente mes. Esto para garantizar la liquidez en el instrumento y que el cierre de posiciones sea eficiente, posible y congruente con el modelo planteado.

Las ecuaciones del Filtro de Kalman, así como la estimación del índice de cobertura, dado por la estimación de la ecuación 4.14, se programan utilizando el software Matlab®. Es posible hacer las observaciones sobre las mediciones y comparar los datos pronosticados por el filtro de Kalman y un dato observado, al mismo tiempo se evalúan las diferencias ponderadas entre ambos modelos, 4.5 y 4.14. A continuación un resumen de los últimos 20 valores de estimaciones del filtro de Kalman, el parámetro estático y valores realizados del índice de cobertura.

Filtro de Kalman	Parámetro estático	Realizado
1.009905352	0.9227	0.985657897
0.990185585	0.9227	0.983416887
0.987651558	0.9227	0.983145564
0.99782797	0.9227	0.981825466
0.978623985	0.9227	0.982681751
0.962108056	0.9227	0.98500222
1.011743729	0.9227	0.980744651
0.989158371	0.9227	0.979932436
1.015930866	0.9227	0.983418476
0.992651795	0.9227	0.986160246
0.974347948	0.9227	0.986506728
0.9782131	0.9227	0.986046328
0.987002934	0.9227	0.986812974
0.99180837	0.9227	0.986338114
0.987709489	0.9227	0.986402155
0.98756506	0.9227	0.986346226
0.98129411	0.9227	0.9868819
1.006452271	0.9227	0.986435032
0.98467719	0.9227	0.986396978
0.972690983	0.9227	0.984389693
0.970815337	0.9227	0.984353358

Cuadro 4.2 Valores medidos del Filtro de Kalman en la serie resultante.

El índice de cobertura modelado como un valor estocástico variante en el tiempo y calculado con el filtro de Kalman resulta ser un valor más cercano a una observación real en

comparación con el modelo típico empleado para la cobertura de riesgo de precios en empresas productoras de bienes primarios.

La diferencia entre un modelo y otro se puede observar al ver un cuadro con los valores de los errores cuadráticos de cada modelo.

Error cuadrático		
Filtro de Kalman	Estático	
0.00458	0.36865	
0.00203	0.36537	
0.02561	0.34958	
0.00165	0.35978	
0.05241	0.38816	
0.09609	0.33692	
0.00851	0.32756	
0.10571	0.36867	
0.00421	0.40272	
0.01478	0.40713	
0.00614	0.40128	
0.00000	0.41105	
0.00299	0.40498	
0.00017	0.40580	
0.00015	0.40508	
0.00312	0.41193	
0.04007	0.40622	
0.00030	0.40573	
0.01369	0.38056	
0.01833	0.38011	
Media	0.0200%	0.3844%

4.3 Errores cuadráticos de los modelos.

Los valores de la tabla se han estimado como el cuadrado de la diferencia, entre el dato pronosticado por el filtro y el valor realizado; y entre el valor del parámetro estático y el valor realizado. Haciendo que se rechace la hipótesis nula; índice estático, en favor de la alternativa; índice calculado por Filtro de Kalman.

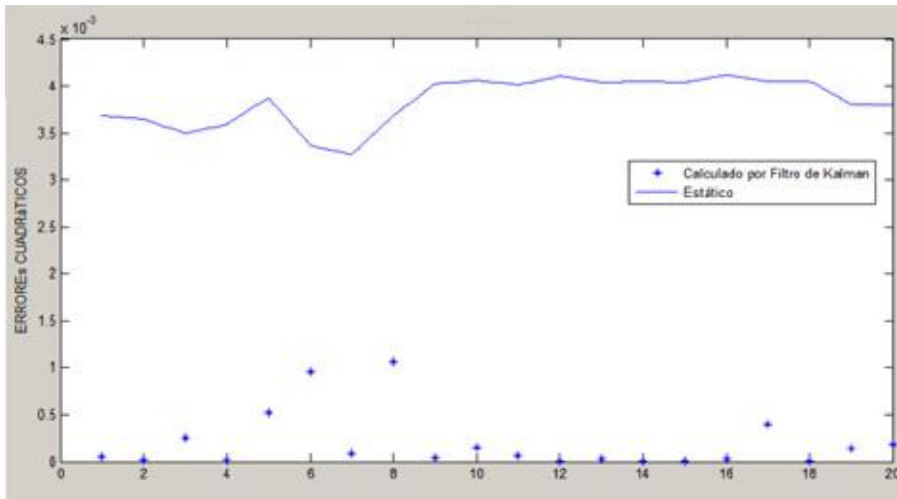


Fig. 4.2 Errores cuadráticos de las series estimadas y realizada.

* Calculada por el filtro de Kalman. ---Estático.

El modelo planteado tiene como entradas los vectores de cambios logarítmicos de dos variables, o series financieras; precios spot y precios de futuros con vencimiento a un mes, sobre 100 onzas de oro en dólares estadounidenses. La información es discreta con un espacio de un mes entre los datos. Las fuentes, Bloomberg y Kitco.

Se hará la cobertura con el contrato del CME, se abren y cierran posiciones una vez cada mes, de acuerdo con el índice de cobertura como la siguiente ecuación

$$N = \frac{h \cdot Q_A}{Q_F} \quad \text{Ec. (4.16)}$$

Donde

Q_A = Tamaño de la posición a cubrir (Onzas de Oro en nuestro caso)

Q_F = Tamaño de un contrato de futuro, del mismo subyacente a la posición a cubrir o aquel con mayor correlación.

h = Índice de cobertura calculado.

N = Número contratos en posición para hacer la cobertura óptima.

Las entradas del modelo, son entonces, dos, y son los vectores de cambios ΔS_T y ΔF_T , si imagináramos que estos vectores fueran soportes o elementos verticales de una edificación, podríamos pensar en los términos de las ecuaciones (4.10) a (4.15) como otros elementos verticales que se construyen alrededor de estos dos vectores, en una vista de planta de la propia edificación. La edificación tendría como elemento protagónico a h_t de la ecuación (4.14), sería de hecho el elemento vertical más alto de la edificación y tendría en la parte más alta el pronóstico de la serie que nos interesa, el índice de cobertura óptimo para el siguiente periodo. Podríamos imaginar cómo se construye la edificación piso por piso, es decir cada lapso temporal de las series, mediante el conjunto de ecuaciones que inteligentemente relacionan los errores de las series para minimizar el error del siguiente pronóstico.

El resultado es un número, en lugar de cubrir el cien por ciento de la exposición quizás convenga cubrir solo una fracción del mismo. Cubrir el 97.0815337% de la exposición en lugar del 92.27% que se obtendría al calcular con el método tradicional, para encontrar que un valor realizado fue de 98.4353358%. En el último año, el Grupo Peñoles ha hecho coberturas siguiendo su programa de protección de precios de los metales, coberturas que oscilan los 150 y 200 mil onzas de oro, reajustando su portafolio periódicamente según se nota en los estados financieros publicados a la BMV. Si suponemos que el Grupo Peñoles producirá 200 mil onzas el siguiente periodo, la diferencia entre el empleo de un índice y otro representaría, según la ecuación (4.16).

$$N = \frac{h * Q_A}{Q_F} = \frac{0.970815337 * 200\ 000}{100} = 1941.6 \text{ contratos}$$

$$N = \frac{h * Q_A}{Q_F} = \frac{0.9227 * 200\ 000}{100} = 1845.4 \text{ contratos}$$

La diferencia entre ambos modelos es de aproximadamente unos 100 contratos de 100 onzas cada uno a un precio aproximado de 1100 USD por onza, diferencia de 11,000,000 USD si se optimizara la estrategia de esta manera.

Capítulo 5: Conclusiones

5.1 Más allá

El empleo del filtro de Kalman en la obtención un dato de entrada en un proceso de administración de riesgos puede parecer una tarea sobrada dada la naturaleza del origen del propio filtro. Sin embargo, los avances que ha habido en cómputo e informática y la operatividad de los mercados financieros han democratizado este tipo de análisis optimizando los recursos financieros de los entes económicos.

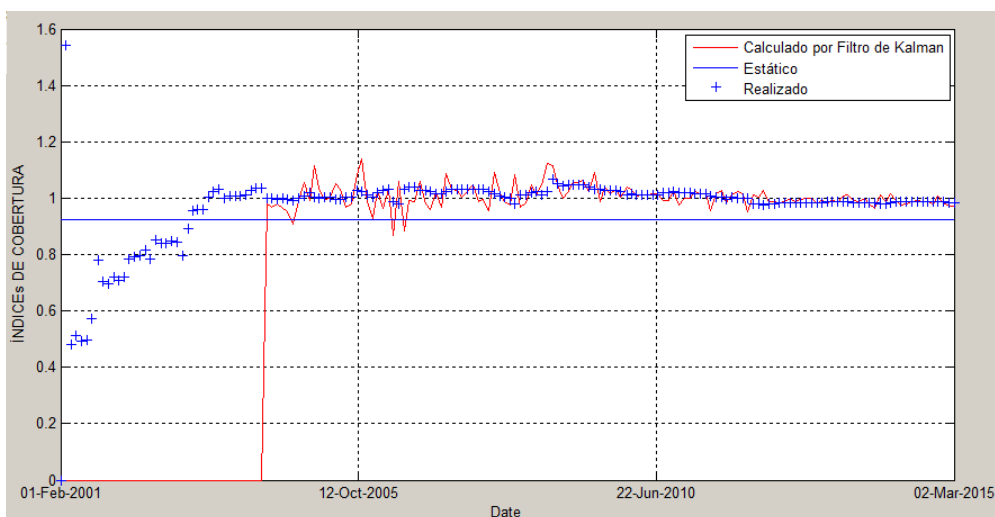


Fig. 5.1 Valores comparados de índices de cobertura. Calculado por el filtro de Kalman, Estático y Realizado

El mismo modelo puede emplearse para cubrir algún otro activo fuertemente correlacionado con el oro, incluso podría emplearse el mismo valor del índice de cobertura para cubrir otro activo fuertemente correlacionado con el oro si se emplea el mismo contrato aquí expuesto. El caso de la propia acción del Grupo Peñoles puede cubrirse con el mismo índice, por ejemplo, pues su correlación con los movimientos del oro es superior al 75% en los últimos periodos de análisis.

Este documento presenta el empleo de un método propio de la Ingeniería de Control en la Administración de Riesgos, si bien este vínculo entre ingeniería y finanzas es reciente, su impacto es indiscutible. Más métodos tiene en su haber la ingeniería para solucionar distintas problemáticas de la industria financiera, en los últimos años hemos sido testigos de ese vínculo que se fortalece cada vez más.

El empleo del filtro de Kalman puede aplicarse como estimador en otros indicadores financieros de relevancia. También se le puede emplear en otras estrategias de administración de riesgos que requieran de pronósticos de gran fiabilidad.

Bibliografía

- Aström, K. J., & Murray M., R. (4 de Marzo de 2010). *Feedback Systems, An Introduction for Science and Engineers*. Princeton University Press, UK.
- Carter, D., Simkins, B., & Rogers, D. (s.f.). *Fuel Hedging in the Airline Industry: The Case of Southwest Airlines*. College of Business Administration.
- Cecchetti, S. G., Cumby, R., & Figlewski, S. (Nov de 1988). Estimation of the Optimal Futures Hedge. *The Review of Economic and Statistics, Volume 70, Issue 4* . New York: MIT Press.
- Christoffersen, P., Dorion , C., & Jacobs, K. (Agosto de 2012). Nonlinear Kalman Filtering in Affine Term Structure. *Business and Social Sciences Department of Economics and Business*. Dinamarca.
- El-Khatib, A. Hatemi.-J. (2010). *Stochastic optimal hedge ratio: Theory and Evidence*. Al Ain. Emiratos Árabes Unidos: UAE University.
- Frois, C. J. (s.f.). *Efficient Interest Rate Curve Estimation and Forecasting Brazil*.
- Grimble, M. J. (2006). *Robust Industrial Control Systems: Optimal Design Approach for Polynomial Systems*. West Sussex, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd. .
- Han, B., & Hammond, P. (15 de Junio de 2003). *Affine Models of the Joint Dynamics of Exchange Rates*. University of Calgary, Alberta, Canada.
- Harvey, A. C. (1993). *Time Series Models*. New York: Harvester-Wheatsheaf.
- Hatemi, A., & Roca, E. (19 de Agosto de 2006). Calculating the Optimal Hedge Ratio: Caonstant, Time Varying and the Kalman Filter Approach. *Optimal Hedge Ratio and The Kalman Fuliter approach*. Skovde, Suecia.
- Hull, J. C. (2008). *Options, Futures and Other Derivatives*. . New Jersey: Prentice Hall.
- Hull, J. C. (2012). *Optios, Futures, and Other Derivatives*.
- Ibrahim, I., & Devi Sundarasan, D. (2010). Time Varying Hedging using the state-space model in the Malaysian Equity Market. *Jurnal Pengurusan*. University Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malasia.
- Kalman, R. E. (1960). A New Approach to Lineal filtering: A New Approach to Lineal Filtering and Prediction Problems. *Research Institute fot Advanced History* . Baltimore.
- Kleinbauer, R. (November de 2004). Kalman Filtering Implementation with Matlab. *Institute of Geodesy*. Helsinki, Universitât de Sttuttgart.
- Korn, O. (s.f.). *How Firms Should Hedge: An Extension*. Georg-August-Universität Göttingen,, Alemania.

- Li, J. (2011). Sequential Bayesian Analysis of Time-Changed Infinite Activity Derivatives Pricing Models. *Journal of Business & Economic Statistics*. ESSEC Business School , Singapur.
- Morrison, G. W., & D.H., P. (Marzo de 1977). Kalman Filtering Applied to Statistical Forecasting . *Management Science* . USA.
- Peter, C., Dorion, C., & Jacobs , K. (2012). Nonlinear Kalman Filtering in Affine Term Structure Models. *Center for Research in Econometric Analysis of Time Series*. Aarhus University.
- Soriano, R. M. (Noviembre de 2011). Bases del filtro de Kalman. *Depto de Ciencias de la Computación*. Universidad de Granada.
- Stulz, R. (1984). Optimal Hedging Policies. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*.
- Stulz, R. M. (Junio de 1984). Optimal Hedging Policies. *Journal of Financial and Quantitative Analysis* . Ohio State University.
- Théoret, R., Rostan, P., & El Moussadek, A. (2003). Forecasting the Interest Rate Term Structure : Using the model of Fong and Vasicek, the Extended Kalman Filter and the Bollinger Bands. Montréal, Université du Québec à Montréal, Canada.
- Venegas, F., De Alba, E., & Ordorica, M. (10 de Febrero de 1995). An Economist Guide to The Kalman Filter . UNAM , ITAM, COLMEX.
- Wang, C.-H., Lin, C.-C., & Lin, S. H. (14 de Enero de 2012). Model, A New Dynamic Hedging Model with Futures: Kalman Filter Error Correction. National Taipei University, TW.
- Welch, G., & Bishop, G. (24 de Julio de 2006). An introduction to the Kalman Filter. *Department of Computer Science* . Chapel Hill, North Carolina , USA.
- Wolff, C. C. (Junio de 1987). Forward Foreign Exchange Rates and Premia: A Signal - Extraction Approach. *The Journal of Finance* . Chicago, Ill.
- Wolff, C. C. (Junio de 1987). Forward Foreign Exchange Rates, Expected Spot Rates, and Premia: A signal-Extraction Approach. *The Journal of Finance*. London Business Colleg.
- Wong, K. P. (Febrero de 2006). Optimal Export and Hedging Decisions When Forward Markets are Incomplete. University of Hong Kong.

Glosario

Bróker: Corredor de bolsa.

Commodity commodity: Traducción de materia prima, que en finanzas se entiende como materia prima de gran relevancia, como el oro o el petróleo.

FOREX: Foreign Exchange, Traducción: divisas. Entiéndase Mercado de divisas.

Forwards: Contrato por el que se adquiere para comprar o vender un activo a un determinado precio en una determinada fecha.

Over The Counter: Sobre el mostrador. Nombre de ciertos papeles comerciados entre particulares.

Spot: De contado. Precio Spot, Precio de contado.

Strike: Precio de Ejercicio

Swap: Contrato por el cual dos individuos o empresas, acuerdan hacer algún tipo de intercambio financiero en uno o varios periodos en el futuro. Entiéndase un conjunto de forwards.

Trader: Operador del Mercado financiero.