

17

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS



LA VOLATILIDAD DEL TIPO DE CAMBIO CON LA CRISIS DE 1994

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
A C T U A R I O
P R E S E N T A:
JOSE ALFREDO CARMONA OLGUIN

DIRECTOR DE TESIS:
ACT. MARIA AURORA VALDEZ MICHELL

MEXICO, D. F.

2002

SECCION DE TESIS

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**





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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

“La volatilidad del tipo de cambio con la crisis de 1994”

realizado por **José Alfredo Carmona Olguín**

con número de cuenta 09103685-6 , quién cubrió los créditos de la carrera de Actuaría.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

Act. María Aurora Valdez Michell

Propietario

Act. Marina Castillo Garduño

Propietario

Act. Laura Miriam Querol González

Suplente

Act. Leticia Daniel Orana

Suplente

Act. Felipe Zamora Ramos

Consejo Departamental de Matemáticas

M. en C. José Antonio Flores Díaz

Agradecimientos

A mis padres:

Que sin su apoyo incondicional en todo momento y en cualquier situación no hubiera sido posible la realización de este trabajo. Gracias por su preocupación, por estar siempre pendiente de todo lo que he hecho dándome consejos para mi bienestar personal y profesional, este trabajo se los dedico enteramente a ustedes.

A mis hermanos Iván y Hugo:

Gracias por su ayuda y comprensión en las buenas y en las malas, siempre estuvieron en los momentos en los que más lo necesité, y además gracias por hacer mi vida más alegre y llevadera.

A mis compañeros y amigos Ale, Ara, Jorge, José Manuel, Juan, Karina y Mirell:

Gracias por haberme brindado su amistad y apoyo a lo largo de los 4 años en los que compartimos, éxitos y fracasos, tristezas y alegrías, pero sobre todo gracias por ese compañerismo que siempre los caracterizó.

A Ivette:

Gracias por compartir y contagiarme con su carácter, su fortaleza y su gran espíritu humanitario y humilde, por haberme entendido y apoyado en todo momento, siempre conté con su ayuda desinteresada y absoluta. Gracias por todo.

A Maru y Jesús:

Por haberme ofrecido en todo momento su amistad, apoyo, orientación, gracias a toda la información que me proporcionaron fue posible la realización de este trabajo, pero sobre todo gracias por ayudarme a comenzar.

A mi directora de tesis:

Gracias especialmente a la profesora Aurora, gracias por creer y confiar en mi, por dedicar parte de su tiempo para lograr la conclusión de este trabajo, gracias por apoyarme en los momentos los que más lo necesité, y más que nada por comprenderme y ayudarme a solucionar los problemas que enfrenté al realizar este trabajo.

LA VOLATILIDAD DEL TIPO DE CAMBIO CON LA CRISIS DE 1994

José Alfredo Carmona Olgún

INDICE

Introducción	I
Capítulo 1. Conceptos y Marco Económico.	1
1.1. Introducción Económica. Algunos Conceptos.	1
1.2. Marco Económico a la Devaluación de 1994.	3
1.2.1. La Política Monetaria.	6
1.2.2. La Política Fiscal.	10
1.2.3. Implantación de la Política Monetaria.	11
1.2.4. La Intervención del Gobierno ante las Presiones del Tipo de Cambio.	15
1.3. La Devaluación de Diciembre de 1994.	18
1.4. La Economía Después de la Devaluación de Diciembre de 1994.	25
1.4.1. La Política Monetaria.	27
1.4.2. La Política Fiscal.	29
1.5. Variables de Análisis.	31
Capítulo 2. La Volatilidad.	32
2.1. Definición y Diferentes Aspectos sobre Volatilidad.	32
2.2. Tipos de Volatilidad.	34
2.2.1. Volatilidad Implícita.	34
2.2.2. Volatilidad Homocedástica "Cierre a Cierre".	36
2.2.3. Volatilidad Histórica Intraday.	38
2.2.4. Volatilidad Histórica Heterocedástica.	39
2.2.5. Volatilidad Prevista.	40
2.2.6. Volatilidad Futura.	40
2.3. Métodos para Estimar la Volatilidad.	41
2.3.1. Modelos Regresivos.	42
2.3.2. Modelos ARMA.	44
2.3.3. Modelos Heterocedásticos.	47
2.3.4. Críticas y Observaciones a los Modelos.	53
2.3.5. Técnicas Recientes.	56

Capítulo 3. El Modelo de RiskMetrics	58
3.1. Pronósticos de Información Implícita contra Histórica.	58
3.2. Metodología de Pronóstico RiskMetrics.	59
3.2.1. Estimación de Volatilidad y Pronóstico.	60
3.2.2. Covarianza. Estimación de Correlación y Pronóstico.	63
3.2.3. Estimación de los Parámetros del Modelo.	66
3.2.3.1. Tamaño de la Muestra.	66
3.2.3.2. Media Muestral.	66
3.2.3.3. Volatilidad y Correlación.	67
3.2.3.4. Elección del Factor de Decaimiento.	68
3.2.3.4.1. Criterio del Error Cuadrático Medio (RMSE)	70

Capítulo 4. Estimación de la Volatilidad con RiskMetrics.	72
4.1. Estimación de la volatilidad.	72
4.2. El estimador exponencial de la volatilidad.	72
4.3. Método RMSE(Root Mean Squared Error).	73
4.4. Aplicación y Resultados.	74
4.5. Una Regresión Simple.	77
4.5.1. Pruebas de Eficiencia	80
4.5.1.1. Variables Redundantes y Omitidas.	80
4.5.1.2. Normalidad de los Residuales.	81
4.5.1.3. Punto de Ruptura.	83
4.5.1.4. Autocorrelación.	84
4.5.1.5. Heterocedasticidad.	87

Conclusiones.	91
----------------------	-----------

Bibliografía.	94
----------------------	-----------

Introducción.

En diciembre de 1994, cambió la historia de México, se puede decir que fue un momento de definición. Como todo mexicano sabe, ocurrió la ya sobradamente conocida devaluación de 1994. Esta devaluación no solo trajo consigo consecuencias graves para México, sino también para América Latina con el llamado "efecto tequila". Sin embargo, el objetivo de este trabajo no es estudiar las consecuencias que tuvo este efecto en la economía de México o de América Latina, así como tampoco es estudiar las causas que llevaron a nuestro país a esta grave situación, no obstante, sí daré a conocer el entorno económico antes y después de la devaluación, citando solamente las posibles causas y consecuencias que trajo consigo. Para esto, enunciaré en el texto algunos conceptos económicos y macroeconómicos que se requieren para comprender lo más claramente posible por qué decido usar las variables que presento para explicar la volatilidad, es más, para intuir qué variables económicas pudieron influir significativamente.

Uno de los objetivos primordiales de este trabajo es definir qué variables macroeconómicas afectaron de manera significativa la volatilidad de la cotización del peso mexicano frente al dólar estadounidense durante 1994 y 1995, para hacer esto, se tomará como base el marco teórico descrito en el capítulo primero. Luego de identificar estas variables, se verá como afecta cada una de ellas o en conjunto al mercado financiero mexicano y, lo más importante, tratar de concluir de la manera más clara posible si el gobierno de México actuó o no correctamente sobre dichas variables, tanto para evitar una mayor volatilidad después de la devaluación, como para controlar y reducir los efectos de ésta.

Para lograr esta tarea, debo estimar primero la volatilidad del tipo de cambio durante los años de 1994 a 1995. Así, he decidido mostrar en primera instancia en el capítulo segundo los tipos de volatilidad comúnmente utilizados, diferentes métodos de

estimación que han mostrado buenos resultados en la práctica y, al mismo tiempo, dar un panorama general y una justificación en parte del por qué decido usar solo uno de ellos, en concreto, el método propuesto por RiskMetrics. Cabe mencionar que algunos de ellos resultarán más convenientes para este estudio que otros, sin embargo, sólo será empleado este último. Antes de aplicar este método, en el capítulo tercero se expone toda la metodología necesaria para la estimación de la volatilidad.

Es claro que se desea probar esta metodología para estimar la volatilidad del tipo de cambio antes y después de la devaluación de diciembre de 1994. El otro objetivo primordial de este trabajo es entonces verificar de manera intuitiva si el método de RiskMetrics refleja realmente lo acontecido o no, es decir, si es capaz de reflejar la alta volatilidad que se presentó con la crisis financiera y económica de 1994. Los resultados de esta aplicación son expuestos en el capítulo cuarto.

Finalmente, para poder mostrar la posible influencia sobre la volatilidad de las variables identificadas, en el capítulo cuarto también se propone al final una regresión lineal simple en la que estas variables tratan de explicar la volatilidad. Como es ya sabido, México adoptó en 1995 un régimen cambiario de flotación, abandonado el viejo régimen de tipo de cambio "fijo", o entró bandas de fluctuación específicamente. De antemano, se sabe que después de la devaluación de diciembre de 1994 el tipo de cambio fue extremadamente volátil como lo muestra la historia estadística, sin embargo, esto nos dirá que variables hacen más volátil el tipo de cambio.

Con el objeto de justificar la eficacia de la regresión, se incluyen las pruebas necesarias para mostrar la validez de la misma. Cada uno de los procedimientos y resultados son justificados formalmente.

Capítulo 1. Conceptos y Marco Económico.

1.1. Introducción Económica. Algunos Conceptos.

Como ya es conocido, la devaluación de una moneda es el aumento en el precio de una moneda extranjera con respecto a la moneda nacional. Este precio es conocido como Tipo de Cambio. En el presente trabajo se hablará de la devaluación del peso mexicano frente al dólar estadounidense solamente.

Después de la devaluación debemos dar más pesos por dólar, los productos y servicios extranjeros son más caros para los mexicanos y los productos y servicios mexicanos son más baratos para los extranjeros. Esto lógicamente trae como consecuencia una reducción en el nivel de vida de los mexicanos.

Es importante hacer un análisis sobre los factores que hacen volátil el valor del peso respecto al dólar estadounidense porque el tipo de cambio siempre ha sido y es aún un buen indicador del desarrollo del país porque cuando éste alcanza fuertes proporciones, se convierte en un problema social, y no solamente social, sino económico y financiero porque, por ejemplo, posibles inversionistas pueden decidir no invertir en el país en cuestión, o simplemente los inversionistas extranjeros retiran sus inversiones del país. Es preciso mencionar que una devaluación tiene efectos económicos, financieros, políticos y sociales. Aquí, se centrará la atención en los problemas económicos y financieros (aunque algunas veces mencionaré algunos problemas sociales) que la propiciaron y más adelante en los efectos que provocó la devaluación de diciembre de 1994 para así poder decidir que variables pueden afectar de manera considerable a la volatilidad del tipo de cambio.

Se dijo antes que la devaluación es el aumento del precio del dólar. La experiencia empírica nos ha enseñado que cuando un bien, en este caso el dólar, presenta una gran demanda, su precio tiende a subir. Entonces, lo que en un principio

provoca una devaluación es un exceso de demanda de dólares en este caso. Lo importante entonces es explicar que provoca ese exceso de demanda de moneda extranjera.

Siguiendo el ejemplo citado antes (que realmente es una de las principales causas de devaluación, sino es que la principal), una devaluación se da consecuentemente cuando un número considerable de ahorradores e inversionistas pierden la confianza en el futuro del país, o prevén una escasez de dólares para hacer frente a las necesidades futuras de su economía, es decir, venden pesos y compran dólares. Según la historia económica lo que nos lleva a tal decisión son fuertes y diversos procesos inflacionarios internos, desequilibrios en las entradas y salidas de dólares, pérdidas en las reservas internacionales del país o problemas políticos, bélicos o sociales.

Desde un punto de vista económico, el proceso de devaluación comienza en el momento en que un gobierno aumenta sus gastos y no tiene suficientes ingresos para cubrirlos, esto es conocido como un déficit del gobierno. Los déficit presupuestales del gobierno por lo general son cubiertos con emisiones monetarias (esto es, el gobierno fabrica dinero con el que puede cubrir deudas o gastos de consumo, etc.), las cuales a su vez generan inflación, es decir, aumentos en los precios (Sachs, 1994).

Analizando el caso concreto de este estudio, se corre el riesgo de que el aumento de precios en México sea mayor al aumento (si es que lo hay) de precios en Estados Unidos, si es así, entonces se importará más de lo que se exportará porque los precios de los productos extranjeros serán más baratos. Y si esto sucede, tendremos lo que se conoce como un déficit en la cuenta corriente del país¹.

Algunos gobiernos solicitan recursos en préstamo para financiar el déficit, por ejemplo contrayendo deuda pública (emitiendo bonos, etc.) o deuda externa, pero

¹ Una de las formas de definir la cuenta corriente de un país (Sachs, 1994) es: $CC = X - IM + rB^*$, donde, X: Exportaciones, IM: Importaciones, rB^* : Activos netos externos.

cuando se agotan las fuentes de los préstamos recurre a vender sus reservas internacionales o dólares para obtener recursos. Sin embargo, llega el momento en que la incertidumbre de la escasez dólares aumenta la demanda de los mismos y esto genera una devaluación.

A grandes rasgos, este último proceso explica en gran medida devaluaciones como las de los años 1976, 1982 y 1987. La devaluación de 1994 tuvo rasgos muy semejantes, sin embargo, hubo otros elementos que también intervinieron y que también son objeto de estudio de este trabajo.

1.2. Marco Económico a la Devaluación de 1994.

De 1988 a 1992, el gobierno de México aplicó, según la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE, 1995), una política macroeconómica prudente mediante una política monetaria destinada a obtener una tasa de inflación cercana a la del principal socio comercial de México: Estados Unidos. Se emprendieron amplias reformas estructurales en lo referente a la privatización, desregulación y reorientación de la economía hacia el exterior, en concreto, se dio la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC). En 1993, a pesar de que las tasas de interés reales eran altas², los apoyos crediticios de la banca comercial al sector privado aumentaron rápidamente y ello contribuyó a que la demanda interna y las importaciones del país se recuperaran en 1994.

Cabe mencionar que en este periodo el gobierno adoptó un régimen cambiario de tipo fijo, esto es, el gobierno a través del Banco de México, mediante la compra o venta de dólares, se comprometió a mantener el precio del dólar fijo. Así, la adopción de un firme compromiso por parte del gobierno de mantener el precio sirvió de soporte a la política monetaria de desinflación, permitiendo así un importante retroceso de la

² La tasa de interés real se define: $r = \frac{1+i}{1+\pi} - 1$, donde r : tasa de interés real, i : tasa de interés nominal, π : tasa de inflación (Sachs, 1994)

tasa de inflación, además ésta se vio acompañada por grandes ingresos de capital extranjero de 1990 a febrero de 1994 y por una importante revaluación del tipo de cambio real³. Había un relativo crecimiento, por lo menos una buena parte, se auguraba una buena época, parecía que la economía se recuperaba en forma creciente y sostenida, sin embargo, no era totalmente cierto.

A pesar de estos progresos en la lucha contra la inflación y de una marcada flexibilización de la economía, el desempeño económico de México unos años antes de 1994 no fue satisfactorio en muchos aspectos. En cierta forma, era inevitable que el crecimiento de la economía fuera débil debido a la implantación de las diversas reformas estructurales enfocadas a una revaluación del tipo de cambio real. Sin embargo, el déficit en la cuenta corriente del país no cesó de aumentar.

Para 1993, el consumo familiar se había estancado y el ahorro privado⁴ se había incrementado muy poco, claros indicadores de un escaso crecimiento. En 1994 y como consecuencia de la apertura comercial con el TLC, los impuestos a las importaciones disminuyeron, y agregando que los precios de las importaciones eran relativamente bajos debido a la revaluación del peso imperante en esos momentos, estimularon el gasto en bienes de consumo duradero principalmente. Además, es importante agregar que el incremento en el número de empleos y los incrementos reales al salario aumentaron el ingreso familiar permitiendo la recuperación en el nivel del consumo, así como un mayor incremento de la tasa de ahorro privado.

En 1993, el ahorro público disminuyó significativamente y, aunque el ahorro privado mejoró como ya se ha visto, no fue suficiente para financiar la inversión, el resultado, el déficit en la cuenta corriente del país siguió aumentando⁵. Este déficit fue financiado mediante ingresos de capital extranjero principalmente, esto puso a la

³ El tipo de cambio real se define: $e = EP^*/P$, donde e : tipo de cambio real, E : tipo de cambio, P : nivel de precios, P^* : nivel de precios en moneda extranjera (Sachs, 1994)

⁴ El ahorro privado se define como la suma del ahorro final y el ahorro de las empresas (Sachs, 1994)

⁵ Otra forma de definir la cuenta corriente es: $CC = S + I$, donde, S : ahorro nacional, I : inversión nacional (Sachs, 1994)

economía mexicana vulnerable con respecto a los cambios en los diversos mercados financieros. En 1994 el ahorro privado permaneció sin cambios.

Debido al TLC y al alza en las exportaciones, las expectativas económicas mejoraron llevando al país hacia una recuperación en la inversión privada en el año de 1994 después de que en 1993 estuvo casi totalmente detenida. A pesar de esto, es muy probable que en 1994 las altas tasas de interés reales establecidas después de marzo y las incesantes conmociones políticas hayan desalentado el efecto positivo en la economía nacional que trajeron estos factores. Sin embargo, es importante señalar que gran parte de este incremento en la inversión se debió en parte a la expansión de la inversión extranjera directa⁶ relacionada en gran medida con el TLC. La inversión pública o del gobierno también incrementó, de disminuir constantemente en los tres años anteriores debido en cierta forma a la privatización de las empresas públicas, a un aumento de casi 9%.

De la misma manera, las importaciones experimentaron un marcado incremento en 1994 después de haber disminuido de manera intensa en 1993, al igual que las exportaciones mexicanas, cuyo incremento consistió en más del 7%, un ritmo notablemente más rápido que el registrado en promedio los últimos 10 años. No obstante, la recuperación de la actividad económica y la reducción de los impuestos a las importaciones o aranceles, provocaron que el nivel de importaciones se incrementara, trayendo consigo un incremento en déficit de la cuenta corriente del país y esto por supuesto frenaba el crecimiento de la economía mexicana. Así, no es raro que México haya experimentado un periodo de lento crecimiento relativamente largo porque necesitaba adaptarse a una reestructuración profunda y generalizada. Todos estos incrementos se acentuaron debido a la revaluación real de la moneda por varios años.

⁶ La inversión extranjera es la adquisición de activos en un país distinto de aquél en el que tiene su residencia el comprador. Este tipo de inversión se divide en directa y en cartera, donde la primera va dirigida por ejemplo a lograr el control de una empresa, creación o participación en su capital social superior a un determinado porcentaje (Bajo, 1994)

Al mismo tiempo, las importaciones de bienes de capital aumentaron fuertemente, y gracias a la reducción de barreras a las importaciones, el público en general tuvo acceso a una amplia variedad de bienes extranjeros, desencadenando también con ello un aumento en las importaciones.

1.2.1. La Política Monetaria.

En lo concerniente a la política monetaria adoptada, es conveniente decir que fue globalmente restrictiva y estaba enfocada a mantener estable el tipo de cambio, y con ello, la inflación, que es medida conforme al Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC), disminuyó de una tasa de más del 100% (que alcanzó en 1988) hasta una tasa del 10% en 1993, y hasta el 7% en 1994. Los precios de los servicios aumentaron en un 7.5% a lo largo del año, hasta diciembre, cuando se situaron ligeramente por arriba de la inflación promedio.

Así también, la continua disminución de la diferencia entre las tasas de inflación de México y Estados Unidos durante 1994, aunada a la caída del valor del peso en el 10% en marzo de ese año (dentro de la banda de fluctuación), provocaron que la competitividad internacional de los precios de los productos hechos en México, que se había deteriorado desde 1980, permaneciera sin cambios desde 1993.

Durante 1994 la competitividad mejoró debido a la devaluación dada dentro de la banda de fluctuación, anulando la pérdida de competitividad registrada anteriormente debido a la revaluación del peso y que además contribuía a incrementar el déficit de la cuenta corriente. A pesar de esta aparente mejora, el déficit en la cuenta corriente del país no dejaría de aumentar.

Como es ya sabido, básicamente, la cuenta corriente del país está determinada por el nivel de exportaciones menos el nivel de importaciones. Conviene precisar que para 1994, el tipo de cambio no había superado su nivel de 1980-1981 a pesar de que se había ido incrementando gradualmente desde la depresión de 1987. Además, en

1994 también los costos y los precios de México probablemente⁷ seguían siendo significativamente más bajos en términos absolutos que los de Estados Unidos. Sumado a todo esto, existieron otros factores importantes además de la competencia de precios que mejorarían el desempeño en las exportaciones.

No obstante, la revaluación real del peso tuvo un efecto más significativo porque mantuvo los precios de las importaciones relativamente bajos con respecto a los de los productos nacionales, contribuyendo así a reforzar la disminución de los aranceles, una mayor disponibilidad de nuevos productos para el consumo y un acceso más fácil a las importaciones.

Asimismo, las importaciones continuaron aumentando durante 1994 con relación a la demanda agregada⁸, el clima favorable debido al TLC contribuyó a que las importaciones de los bienes de consumo y de capital se incrementaran, además es muy probable que los precios relativamente bajos estimularan la demanda de importaciones, esto reflejaba por supuesto la fuerza del peso en términos reales efectivos hasta abril de 1994, tiempo en el que todavía se pensaba que México se perfilaba a un crecimiento sostenido.

Por otro lado, hasta 1994, México no había tenido problemas para financiar el déficit de la cuenta corriente, los ingresos netos de capital, que se habían duplicado en el periodo de 1989-1990 a 11,000 millones de dólares, llegaron a la cantidad de 30,000 millones de dólares en 1993. Además, la inversión extranjera directa siguió en aumento para el periodo de 1992-1993, aunque este aumento fue discreto o no muy significativo debido a que todavía no se veía reflejado lo obtenido mediante el TLC. En cambio, la inversión extranjera en cartera⁹ aumentó de manera considerable al nivel de 17 millones de dólares en 1993, el triple que la inversión extranjera directa. El constante aumento en la confianza sobre el crecimiento potencial de las empresas mexicanas, las altas

⁷ Digo probablemente porque es muy difícil comparar internacionalmente estos aspectos.

⁸ Esto es, incluidas la demanda nacional y las exportaciones.

⁹ La inversión extranjera en cartera es el tipo de inversión extranjera que esta enfocada simplemente por ejemplo a una colocación financiera como por ejemplo a la compra de títulos privados o públicos (Bajo, 1994)

tasas de interés nominales¹⁰ internas y el tipo de cambio fijo, hicieron posible estos incrementos que favorecían notablemente la situación económica del país. Sin embargo, existía un “pero”, México estaba atenido a las decisiones por parte de los inversionistas extranjeros porque ellos podían provocar una devaluación si decidían retirar sus inversiones del país (esto se verá más adelante).

Este endeudamiento externo, era resultado de las operaciones del sector privado y de la colocación de bonos a largo plazo por el sector privado no bancario. Es importante señalar que la banca de desarrollo¹¹ fue el beneficiario principal de los fondos extranjeros en 1993, esto, para financiar los sectores prioritarios básicamente a través de la banca comercial, y aun así, la deuda externa neta de los sectores público y privado se redujo de manera constante. De hecho, los ingresos totales de capitales fueron lo suficientemente altos en 1993 como para permitir un aumento de 6,000 millones de dólares en las reservas internacionales del país, que en diciembre de ese año alcanzaron más de 24,000 millones de dólares, un buen nivel.

Como se puede ver, durante el año de 1993 y hasta por lo menos el primer trimestre de 1994, el panorama económico y financiero para México no era del todo desalentador, al contrario, era muy alentador porque además de todo esto, los ingresos de capital privado extranjero superaban el déficit de la cuenta corriente. Así, este déficit era tomado como una buena señal para la economía del país porque a mediano plazo, la modernización de la producción permitiría una mayor oferta de bienes exportables y además sustitutos de bienes de importación, lo que lógicamente, llevaría a una reducción del déficit en cuenta corriente.

Pese a todo esto, la magnitud del déficit de la cuenta corriente del país y el predominio de financiamiento de capital a corto plazo, aunado a que había una gran inversión extranjera en nuestro país, colocaron a México, como ya lo había

¹⁰ La tasa de interés nominal se define como: $i = (1 + r)(1 + \pi) - 1$, donde i : tasa de interés nominal, r : tasa de interés real, π : tasa de inflación (Sachs, 1994)

¹¹ La banca de desarrollo es un sector que está compuesto por instituciones financieras públicas que proporcionan financiamiento a sectores prioritarios como las exportaciones, los proyectos de infraestructura de gobiernos locales y las pequeñas y medianas empresas (OCDE, 1995)

mencionado, en una situación de vulnerabilidad frente a cualquier cambio de expectativas por parte de los inversionistas, y aunque se esperaba con mayor probabilidad un cambio de los inversionistas extranjeros, también se esperaba de los inversionistas nacionales.

Al igual que antes, aunque para 1994 con mayor fuerza, se necesitaba de un considerable y constante flujo de capital extranjero para lograr financiar el déficit de cuenta corriente. Esto traía un riesgo muy alto, tanto, que después de que ocurrió el asesinato de Luis Donaldo Colosío, candidato del PRI a la presidencia de México, los ingresos netos de capital disminuyeron de manera importante. Y, los inversionistas extranjeros, preocupados por los diversos acontecimientos políticos ocurridos y por la expectativa de que tal vez ocurrirían más, y además con una preocupación también por el futuro incierto de la economía mexicana, redujeron la proporción de valores mexicanos en sus inversiones. La inversión en activos gubernamentales se redujo en 6,000 millones de dólares entre enero y noviembre de 1994 respecto del año anterior, y otras salidas de capital no registradas en este rubro llegaron a 10,000 millones de dólares. Claramente, se trató de grandes fugas de capital. No obstante, la inversión extranjera directa se incrementó notablemente a 8,000 millones de dólares, situación que fue considerada positiva por las autoridades mexicanas debido a que esta inversión no está sujeta a cambios repentinos en las expectativas de los inversionistas, no es tan volátil.

Sin embargo, y a pesar de todo, la amplia magnitud de las inversiones en cartera acumulada en los años anteriores propició una situación de vulnerabilidad a los cambios de expectativas en los mercados financieros; y a medida que avanzaba el año, se dieron más salidas de capital, y con ello una disminución de las reservas de divisas internacionales llegando a un nivel de 12,000 millones de dólares a finales de 1993 y principios de 1994, iniciando así ya la reducción de posibilidades al gobierno de México para defender el nivel del tipo de cambio si deseaba mantenerlo dentro de las bandas de fluctuación.

1.2.2. La Política Fiscal.

Como resultado de las diversas políticas fiscales aplicadas, el gobierno de México consiguió avances considerables en la consolidación fiscal desde 1980 y hasta principios de 1990, alcanzó su objetivo de controlar el déficit público y reducir la deuda pendiente. Después del año de 1990, las finanzas públicas lograron seguir mejorando debido en primer instancia a la caída de los pagos de intereses obtenida gracias al pago de una parte de la deuda como consecuencia de los procesos de privatización. Los pagos de intereses nominales siguieron siendo aún menores en 1994, a pesar del aumento a las tasas de interés internas, a causa principalmente del reemplazo de Cetes por los ya conocidos Tesobonos indizados al dólar, para los cuales la tasa de interés era considerablemente menor.

Ahora, por otro lado y al igual que en años anteriores, la administración de la deuda tuvo como principal objetivo reducir el nivel de endeudamiento, para esto, durante los años recientes, a medida que la inflación y las tasas de interés descendían, el gobierno retiraba los bonos a largo plazo en beneficio de bonos de tesorería con un vencimiento menor a un año para poder financiar sus necesidades.

En 1994, debido a la dificultad de colocar Cetes, el gobierno colocó Tesobonos a corto plazo con una tasa de interés mucho menor que reflejaba las expectativas del mercado respecto al riesgo monetario o cambiario. Como consecuencia de esto, los pagos de interés descendieron ligeramente, tal como el gobierno de México había previsto en el presupuesto, a pesar de las alzas en las tasas de los Cetes a partir de marzo.

Estos cambios permitieron que las tasas de interés permanecieran con un nivel menor del que hubiera predominado si el gobierno hubiese financiado sus gastos y necesidades mediante instrumentos no indizados. Cabe mencionar que todos los Tesobonos eran emitidos a corto plazo, lo que significaba que para el año de 1995

debían refinanciarse tales cantidades de dinero. Al parecer, lo que motivó a las autoridades mexicanas a tomar esta decisión fue el hecho de que la evaluación que los mercados financieros hacían de los riesgos sería más favorable en agosto, después de las elecciones presidenciales, y como consecuencia, las condiciones serían también favorables para refinanciar los Tesobonos y hasta incluso los Cetes. Es prudente y además importante señalar que la emisión de obligaciones indizadas al dólar incrementaba el riesgo de una devaluación, sin embargo, a la vez era también una prueba fehaciente de que el gobierno de México tenía el firme objetivo de mantener estable y fijo el tipo de cambio.

1.2.3. Implantación de la Política Monetaria.

Durante los años anteriores y hasta la crisis de 1994, existió un compromiso por parte del gobierno con respecto a la paridad peso-dólar, ésta debía mantenerse fija. El régimen cambiario adoptado en noviembre de 1991 consistía en un sistema de bandas de fluctuación cuyo límite inferior se devaluaba a una tasa diaria previamente anunciada, el límite superior se mantenía constante. Lo que ocurrió en la realidad después de la implantación de este sistema, fue una ampliación gradual de la banda de fluctuación, que pasó del 1.1% a cerca del 15% en 1994 (cuando estalló la crisis).

A inicios de 1993, se añadió al sistema el anuncio diario en el mercado de una banda de intervención más reducida que tenía como objetivo servir como referencia para las transacciones del día y además mantener las condiciones monetarias convenientes para mantener el rango deseado del tipo de cambio. Este suplemento al sistema permitió al Banco de México tener un cierto grado de flexibilidad operacional mayor al que le habría proporcionado un tipo de cambio fijo, y esta flexibilidad aumentó con la ampliación diaria de la banda de fluctuación.

A pesar de que el Banco de México poseía cierta flexibilidad operacional, el compromiso respecto al tipo de cambio imponía de manera progresiva una fuerte restricción a la política monetaria. La tasa de devaluación permitida de la banda de

fluctuación (0.0002 pesos diarios inicialmente, alrededor del dos por ciento anual, y ajustada a 0.0004 pesos diarios para octubre de 1992) compensaba sólo en forma parcial el diferencial de inflación que había hasta finales de 1993 entre México y Estados Unidos, lo cual garantizó que la política monetaria fuese compatible con una presión sostenida para reducir la inflación¹². La estrategia global de la política monetaria tuvo un éxito considerable, a partir del año de 1993, se logró reducir la inflación a un solo dígito. La confianza de los diversos mercados en el compromiso con el tipo de cambio fijo aumentó, y esto consecuentemente permitió reducir sensiblemente los diferenciales de tasas de interés con Estados Unidos.

Por otro lado, un problema general que plantea el mantener un compromiso con el tipo de cambio como estrategia de mediano plazo cuyo objetivo es reducir la inflación, es que necesariamente implica también un aumento del tipo de cambio real durante el tiempo necesario para que la inflación se reduzca a niveles internacionales. Es pertinente citar que el tipo de cambio real en México se revaluó significativamente durante el proceso inflacionario y, casi se duplicó en el periodo comprendido entre 1987 y 1994 (OCDE, 1995). Ahora, dado que el peso partía de un nivel históricamente bajo, según algunos especialistas una decisión acertada sobre el valor del peso era devaluar el tipo de cambio real. No obstante, la tendencia a la revaluación real provocó de manera inevitable un problema (designado a menudo como el problema del reingreso), el de cómo hacer frente a la sobrevaluación que podría surgir en tanto se lograba reducir el diferencial de la inflación interna con los niveles internacionales de crecimiento de los precios. Para 1994, mucha gente estimaba que éste era un problema que debía ser abordado a pesar de que cualquier medición del grado de subvaluación o sobrevaluación del tipo de cambio está sujeta a una enorme incertidumbre.

En gran parte de la primera mitad de la década de los 90, el constante aumento del tipo de cambio real fue una consecuencia de las fuertes entradas de capital extranjero. Sin embargo, la inversión de cartera a corto plazo constituía un gran

¹² *A grandes rasgos y como antecedente, se puede decir que las tasas de interés reales fueron significativamente positivas de 1989 en adelante.*

porcentaje de las entradas totales, lo que volvía al tipo de cambio muy vulnerable a las modificaciones de las expectativas de los inversionistas. Después de un periodo de abundantes entradas de capital, a finales de 1993 y principios de 1994 la confianza de los mercados se vio minada por una serie de conmociones políticas, la más importante, el asesinato del candidato del PRI, Luis Donaldo Colosio a mediados de marzo de 1994. Dichos acontecimientos políticos llevaron a los inversionistas a reevaluar la capacidad del gobierno para sostener el tipo de cambio fijo o entre las bandas de fluctuación. Esto, a su vez, desencadenó una gran salida de capitales. El déficit de cuenta corriente empezó a llamar la atención de los diferentes mercados debido a sostenidos e importantes incrementos y se reforzaron las expectativas de que hubiese un ajuste significativo de las políticas con el propósito de defender el régimen de tipo de cambio. No obstante, la necesidad de un ajuste también se vio reforzada por la adopción de una política monetaria más restrictiva en Estados Unidos, y a partir de mediados de marzo y casi durante todo el tiempo que restaba del año de 1994, el peso experimentó presiones a la baja y se mantuvo cerca del límite inferior de la banda de fluctuación.

Dadas las presiones sobre la moneda nacional, las principales acciones de política monetaria y cambiaria que el gobierno tenía a su disposición eran (OCDE, 1995):

- Mantener el compromiso de tipo de cambio, mediante una restricción mayor de las condiciones monetarias internas o la utilización de las reservas de divisas en la medida necesaria para defenderlo.
- Aumentar la tasa de devaluación de la banda de fluctuación con el propósito de generar una devaluación real gradual.
- Proceder a una devaluación de una sola vez y fijar nuevamente el tipo de cambio.
- Dejar flotar la moneda y establecer un ancla nominal diferente.

Sin embargo, no todas las opciones eran totalmente confiables. La primera de estas opciones podría haber sido considerada indebidamente restrictiva dado el lento crecimiento y los problemas relacionados con la calidad de los activos del sector bancario, una política monetaria más restrictiva realmente habría agravado estos problemas rápidamente. Sin embargo, podría argumentarse que en 1994 cualquier evaluación del nivel de sobrevaluación real del peso era incierta y que la credibilidad del compromiso del gobierno con el tipo de cambio constituía un activo importante que no debía dejarse de lado o considerarse menos importante. Cabe mencionar que es muy probable que cualquiera de las otras opciones que se hubiese elegido hubiera tenido que combinarse con una política monetaria más restrictiva para asegurar que cualquier modificación que se hiciese al régimen del tipo de cambio, ésta no provocase un aumento más en la ya de por sí elevada inflación o una pérdida de confianza en los mercados financieros.

Siguiendo con la política monetaria, no parece que su puesta en práctica para 1994 haya sido particularmente restrictiva pues las tasas de interés a corto plazo aumentaron en gran medida después de marzo, lo cual compensaba las bajas del año anterior, pero el aumento fue significativamente insuficiente para frenar el crecimiento de la masa monetaria o dinero circulante. El crédito interno neto del Banco de México¹³ también aumentó significativamente, debido en gran parte a las compras de valores nacionales que hizo con el propósito de esterilizar¹⁴ las pérdidas de divisas posteriores a marzo de 1994. El crecimiento de la base monetaria se aceleró en más del 20%.

Esta aceleración de crecimiento de la base monetaria puede considerarse como una respuesta al aumento de la demanda de dinero circulante, que fue consecuencia a su vez de la tendencia a la disminución de la inflación, así como de la sustitución de depósitos a la vista por efectivo, atribuibles a los descensos de las tasas de interés y a

¹³ Básicamente, definido como la base monetaria menos las reservas oficiales

¹⁴ La aplicación de una operación de mercado abierto para compensar los efectos monetarios de otras políticas es una maniobra estándar que se conoce como una operación de esterilización (Sachs, 1994). Aquí, la operación de mercado abierto fue la compra de valores nacionales; la pérdida de divisas posteriores a marzo de 1994 fue el resultado de otra política que el Banco trató en este caso de esterilizar.

los aumentos de las comisiones bancarias, que hacían menos atractivos los depósitos a la vista. De igual forma, a principios del año, hubo efectos de corto plazo provocados por entradas de capital extranjero que no fueron esterilizadas completamente. Pese a esto, con importantes cambios estructurales y modificaciones en la composición de los activos financieros, los márgenes en las tasas de interés bancarias descendieron ligeramente antes de marzo de 1994, pero en lo sucesivo aumentaron junto con los incrementos registrados para las tasas de interés en general.

1.2.4. La Intervención del Gobierno ante las Presiones sobre el Tipo de Cambio

Antes de la devaluación de diciembre de 1994, las presiones sobre el tipo de cambio eran bastante fuertes, por ello como se vio anteriormente, las autoridades mexicanas formularon y dieron a conocer una política monetaria con el fin de reprimir estas presiones, sin embargo, esta política debía enfrentar también una gran diversidad de presiones contradictorias. Las presiones sobre el tipo de cambio y la expansión del crédito sugerían la necesidad de una política más restrictiva, pero las tasas de interés reales eran ya para aquel entonces relativamente altas y, desde la perspectiva del Banco de México, la vulnerabilidad del sistema bancario y la incertidumbre sobre la recuperación de la economía restringían el margen para poder manipular las tasas de interés. Así, las autoridades optaron por una estrategia para defender el tipo de cambio que no implicara necesariamente una mayor restricción monetaria.

Los elementos principales de la estrategia mencionada fueron: un aumento de cerca de ocho puntos porcentuales en las tasas de interés a corto plazo después de marzo; la devaluación del peso dentro de los límites de la banda de fluctuación (hecho que conllevó a una devaluación inmediata de alrededor del 10%) con una intervención en apoyo al peso en su límite inferior; por último, el reemplazo de un gran volumen de valores gubernamentales convencionales a corto plazo por Tesobonos para retener los fondos de los inversionistas que temían una devaluación. Así, desde la mitad del mes

de marzo (exceptuando algunos breves periodos), el tipo de cambio permaneció cercano al límite inferior de la banda de fluctuación.

Cabe mencionar que a pesar de que el aumento inicial de las tasas de interés en marzo fue muy importante, sus efectos se vieron parcialmente opacados porque se permitió que las tasas de interés descendieran el resto del año de 1994, mientras que las tasas de interés a corto plazo aumentaban en Estados Unidos. El diferencial en las tasas de interés para las obligaciones de la Tesorería a tres meses con respecto a Estados Unidos alcanzó un nivel máximo de 12 puntos porcentuales en abril y descendió de manera gradual hasta alrededor de 8 puntos porcentuales en diciembre. En este lapso, ocurrieron importantes desplazamientos monetarios en las carteras de activos, de activos denominados en pesos a activos denominados en dólares o a títulos indizados al mismo. Las reservas internacionales del país disminuyeron alrededor de 20,000 millones de dólares entre mediados de marzo y principios de diciembre de 1994, concentrándose las pérdidas principalmente en el periodo posterior al asesinato de Colosio, y en junio y noviembre debido a otros acontecimientos políticos. En el mismo periodo, hubo sustitución en la tenencia de Cetes por tenencia de Tesobonos equivalentes a 15,000 millones de dólares.

Para agosto de 1994 el valor de las obligaciones del gobierno en Tesobonos rebasó el de las reservas internacionales y, para noviembre y diciembre la renovación de las salidas de capital como consecuencia de nuevas perturbaciones políticas, causaron que los objetivos del gobierno en materia de su política económica se hicieran inalcanzables.

Es pertinente señalar que tanto los inversionistas extranjeros como los nacionales participaron en las ventas de activos denominados en pesos mexicanos en 1994. Gran parte del sector privado estaba fuertemente expuesto al riesgo porque tenía una parte de sus pasivos denominada en moneda extranjera, y a medida que la confianza en el tipo de cambio se deterioraba durante 1994, muchas empresas buscaron protección al riesgo cambiario mediante la acumulación de activos en el

exterior que compensaran la parte correspondiente en sus pasivos. Los inversionistas nacionales también participaron en la adquisición de Tesobonos principalmente a través de fondos de inversión nacionales. A pesar de esto, aproximadamente 75% de las transferencias a Tesobonos realizadas durante el año fueron hechas por inversionistas extranjeros, básicamente de Estados Unidos por supuesto.

En resumen, la táctica de incrementar la oferta de Tesobonos contenía un alto riesgo. Desde un punto de vista general, la oferta de garantías de tipo de cambio podía ser la prueba que reafirma la disposición del gobierno a mantener el tipo de cambio. No obstante, las autoridades consideraron que las presiones hechas sobre el tipo de cambio eran consecuencia de la incertidumbre política, y por lo tanto, creyeron que serían temporales. Sin embargo, no era así del todo. Con base en este supuesto, la oferta de garantías era un instrumento para dar confianza a los mercados, y al mismo tiempo ayudaba a reducir las presiones para aumentar las tasas de interés internas. Sin embargo, la decisión adoptada por el gobierno mexicano debería haberlo llevado a aplicar una política monetaria más restrictiva cuando el tipo de cambio sufriera fuertes presiones a la baja, pero en la realidad, no hubo tendencia a seguir lo anterior, por lo que la existencia de una cantidad considerable de Tesobonos, tomando en cuenta el agotamiento de las reservas internacionales, debilitó gravemente la capacidad del gobierno mexicano para hacer frente a la crisis que se avecinaba para finales de 1994.

En concreto, el país no estaba preparado aún para seguir manteniendo un nivel tan sobrevaluado del tipo de cambio, y como consecuencia, se tuvo que adoptar de manera forzosa, como se verá más adelante, un régimen de tipo de cambio flotante, es decir, el gobierno ya no intervendría (porque no podía hacerlo debido al bajo nivel de reservas internacionales) para contrarrestar las presiones o las posibles devaluaciones sobre el peso.

1.3. La Devaluación de Diciembre de 1994.

La inevitable devaluación del peso mexicano para finales de 1994 comenzaba ya literalmente cuando un incremento en las tasas de interés en Estados Unidos provocó una disminución de las inversiones en nuestro país. Además, el conflicto político que tuvo lugar en Chiapas a lo largo de 1994 hizo que los inversionistas perdieran la confianza gradualmente para invertir su capital en México.

En marzo de 1994, después del asesinato de Luis Donaldo Colosio, candidato a la presidencia por parte del PRI, la intervención gubernamental para apoyar al peso mediante la venta de dólares propició una importante pérdida en las reservas internacionales del país. En respuesta, se decidió entonces incrementar las tasas de interés en los mercados de dinero, sin embargo no fue suficiente para impedir la compra de divisas provocada por la imperante desconfianza en el país.

En lo sucesivo, las reservas internacionales permanecieron prácticamente invariables debido a que el gobierno decidió emitir los ya mencionados Tesobonos, emisiones crecientes de obligaciones indizadas al dólar.

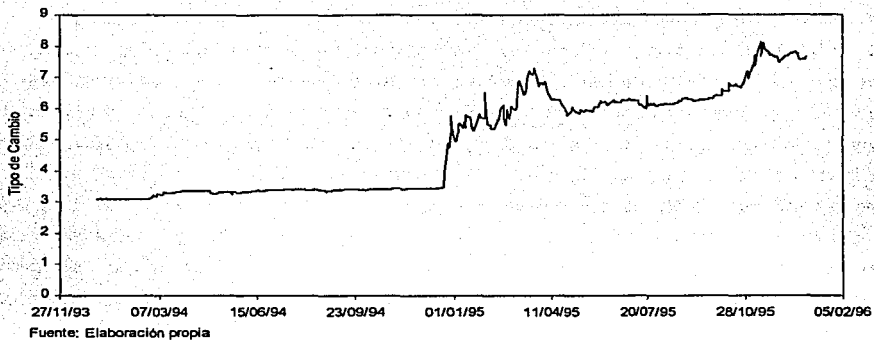
Para el día 20 de diciembre, las reservas internacionales presentaban un nivel extraordinariamente bajo, esto obligó a las autoridades a ampliar la banda de fluctuación del tipo de cambio en un 15%, y tan solo dos días más tarde, bajo una enorme presión sobre el peso mexicano, el gobierno decidió dejar que el peso flotará libremente, es decir, el país se encontraba ya en un régimen de tipo de cambio flexible. Esto, por supuesto, provocaría que se presentara un incesante número de cambios en el precio del dólar, es decir, el tipo de cambio se volvió extremadamente volátil hasta que para finales diciembre, el valor del peso frente al dólar había perdido ya alrededor de un 30% con respecto a su valor a finales de noviembre. Durante este periodo, las tasas de interés aumentaron en forma desmedida y el mercado de acciones se desplomó.

Por otra parte, la preocupación de los inversionistas respecto a la inestabilidad política imperante en nuestro país y las perspectivas económicas poco claras se intensificó. El déficit en la cuenta corriente del país se había incrementado rápida y súbitamente, y a principios de este mes, el conflicto ocurrido en Chiapas terminó de minar la confianza de los inversionistas logrando que se diera otra ola de salidas de capital. Aunque hubo resistencia hacia las presiones del peso por parte del gobierno a través de una intervención estabilizadora, ésta no fue suficiente. No se llevó a cabo alguna disminución de la política monetaria y el aumento en la oferta de Tesobonos no tuvo impacto, fue poco importante.

Como consecuencia de las presiones del peso, las reservas internacionales disminuyeron drásticamente, de 30,000 millones de dólares en febrero cuando registraban el nivel más alto, pasaron a 11,000 millones de dólares hacia mediados de diciembre.

Debido a que la pérdida de reservas internacionales iba en aumento, el gobierno decidió ampliar la banda de fluctuación del tipo de cambio el 20 de diciembre, para ese entonces el presidente de México era ya Ernesto Zedillo; la ampliación en la banda fue del 15%, es decir, el gobierno permitiría que el peso se devaluara hasta en 15%, pero no más. Esta medida hizo que los diferentes mercados se derrumbaran, después de que el país perdió reservas internacionales por 5,000 millones de pesos tratando de defender el nuevo límite del tipo de cambio. El gobierno decidió hasta entonces dejar flotar libremente el valor del peso, el 22 de diciembre de 1994. Después de que se dio a conocer esta decisión, el valor del tipo de cambio se movió en forma desmedida, presentando la mayoría de las veces una tendencia a la alza como se puede apreciar en el gráfico.

El valor del Tipo de Cambio 1994-1995



Ya para finales de diciembre, el peso había perdido cerca del 30% de su valor respecto a su valor cotizado a finales del mes de noviembre del mismo año. Cabe mencionar que la devaluación sería aun mayor si sumamos la "pequeña" devaluación registrada a principios del año del 10% dentro de los límites de su banda de fluctuación.

Con todo, el valor del peso continuo a la baja para enero de 1995, y a medida que el valor del peso caía, las tasas de interés se incrementaban en forma exorbitante: el mercado de acciones experimentó una caída de casi 40% y los precios de las obligaciones mexicanas decayeron abruptamente en los mercados internacionales.

El mercado reaccionó severamente a la ampliación de la banda de fluctuación del tipo de cambio, hecho que reflejaba la acción de varios factores. Esta devaluación representó el abandono del compromiso de largo plazo, principal sostén del gobierno Salinas de Gortari. En tanto, la no-creación de una política que mejorará la situación o que por lo menos fuera convincente, agravó el clima de incertidumbre. Bajo estas

circunstancias, los mercados concluyeron que una devaluación del 15% era demasiado limitada.

Por otro lado, a juicio de los propios inversionistas extranjeros no había información suficiente para tomar la decisión que tomó el gobierno de México al devaluar la moneda. Así, para el 4 de enero de 1995, se dio a conocer un paquete de estabilización llevado a cabo en el marco del Pacto que contenía un gran rigor fiscal y criterios muy estrictos respecto a los salarios, así como una política monetaria muy restrictiva. Pese a esto, este plan no logró devolver la confianza a los mercados así que hubo más acciones. Se anunció a mediados de febrero un paquete internacional de apoyo financiero consistente en créditos hasta por 18,000 millones de dólares, suministrados por gobiernos y bancos centrales de diferentes países, el Banco de Pagos Internacionales (BPI) y algunos bancos comerciales; y muy poco tiempo después le siguió un acuerdo establecido por el Fondo Monetario Internacional (FMI) que ponía a disposición de México un crédito por 7,500 millones de dólares. Sin embargo, todo esto tampoco fue suficiente para restablecer la confianza y estabilizar los mercados.

Conforme la crisis se expandía durante enero y febrero de 1995, la confianza continuaba deteriorándose como consecuencia de la fuerte devaluación. La caída del tipo de cambio, de entre 40% y 50% con respecto a las cifras anteriores a la crisis, propició que los mercados hicieran una nueva evaluación de la capacidad de pago de los deudores mexicanos, tanto públicos como privados. Había dos inquietudes principalmente: la fragilidad del sector bancario y la capacidad del gobierno para rembolsar el capital que había obtenido por la emisión de Tesobonos.

Aunque no se cuenta con mucha información acerca del comportamiento de los diferentes tipos de inversionistas extranjeros, algunos informes sugieren que, después del anuncio de la devaluación, un cierto número de instituciones poseedoras de grandes cantidades de Tesobonos buscaron retirarse rápidamente del mercado mexicano, casi sin dar importancia al precio de salida. En un principio, los poseedores de estos instrumentos estaban protegidos contra el riesgo del tipo de cambio, sin

embargo tenían la idea de que el diseño de esos instrumentos los exponía al "riesgo de conversión", además, temían que el gobierno mexicano no fuese capaz rembolsar una parte de esos Tesobonos e impusiese entonces un control para limitar la convertibilidad del peso, o tal vez un refinanciamiento obligatorio. Todos estos temores eran provocados muy probablemente por los problemas de convertibilidad que tal vez enfrentaron en la crisis de 1982 y que no querían enfrentar nuevamente, esto, por supuesto, hizo acelerar sus movimientos de venta y además causó una reducción considerable a la liquidez en el mercado de Tesobonos. Principalmente, lo que trajo consigo esta situación fue el aumento en la problemática que tuvo el gobierno mexicano para refinarciar los títulos que llegaban a su vencimiento.

Hablando estrictamente en el sentido económico, factores como la devaluación del peso, nuevas alzas en las tasas de interés (llegando a más del 60% en febrero de 1995) y el empeoramiento de la economía real, constituyeron una presión para las empresas y los bancos mexicanos ya que la capacidad de los deudores para cumplir con las obligaciones que tenían pendientes se deterioró en forma acelerada, además, se sumó también la reducción de capacidad de las empresas para pagar el servicio de su deuda y las diversas dificultades de la banca comercial debilitada ya antes de la crisis debido a los altos riesgos que corrió con el otorgamiento de créditos; hechos todos estos que solo dejaban ver las consecuencias de la crisis. Es importante señalar que para evitar una crisis aún mayor en el sistema financiero, el gobierno tuvo que prestar una mayor y especial al sector bancario.

Por otro lado, en 1994 los productos manufacturados representaban una proporción muy importante de las exportaciones, antes las exportaciones petroleras eran las más importantes. Esto se debía principalmente a la apertura comercial obtenida con el TLC, de manera general, la economía mexicana había estado orientada hacia el interior, y con este tratado, se había abierto al comercio exterior.

Y contrariamente a todo esto, es posible ahora afirmar con evidencias de acuerdo a la OCDE, que la reacción de los mercados al ser anunciada la devaluación y

los temores de los inversionistas fueron exagerados, pues para 1995, México había cumplido con todas sus obligaciones denominadas en Tesobonos, hecho que respaldaba indudablemente su solvencia. Gran número de tenedores de estas emisiones tuvo pérdidas totalmente innecesarias por haberlas vendido a precios muy bajos.

Sin embargo, a pesar de esto y de otros objetivos alcanzados por México antes (desde la crisis de 1982) y después de la crisis de 1994, la confianza no se había logrado restaurar para 1995 aunque sí había algunos indicios de recuperación en los mercados financieros; éstos fueron propiciados, por un lado, por el anuncio hecho por el presidente de Estados Unidos, en ese entonces Bill Clinton, que notificaba un paquete ampliado de apoyo internacional a la liquidez de México, y por el otro, por el constante fortalecimiento del programa de estabilización del gobierno mexicano. Entre los principales puntos contenidos en el programa de apoyo internacional anunciado por Clinton se encontraban: 20,000 millones de dólares de apoyo líquido de Estados Unidos y un crédito del FMI por 17,800 millones de dólares. En apoyo a este programa, a mediados de marzo, el gobierno mexicano dio a conocer un segundo paquete de medidas. Esto por supuesto era otra señal del intenso golpe económico y financiero que recibió México con la crisis de 1994.

Con todo, no existe a ciencia cierta un factor o un comportamiento posterior que pueda explicar tanto la severidad de la crisis como la razón por la cual se presentó en diciembre de 1994, mas sin embargo, sí es muy conveniente e importante distinguir entre las principales variables o factores que contribuyeron a que el peso se devaluara. Por ello, se sabe que las presiones fundamentales sobre el peso se originaron por la creciente incompatibilidad entre la política de tipo de cambio (con el tipo de cambio fijo, o mejor dicho, el movimiento del tipo de cambio se permitía en una estrecha banda de fluctuación, y como sabemos esto fue adoptado durante un largo periodo para contrarrestar la inflación) y otros aspectos de las políticas macroeconómicas que fueron más expansionistas entre 1993 y 1994.

Los factores arriba mencionados más las abundantes entradas de capital extranjero propiciaron una tendencia a la alza sobre el tipo de cambio real antes de la devaluación y además constantes incrementos en el déficit de la cuenta corriente que resultaban insostenibles para el país.

Todo lo visto hasta este momento, provocó una desregulación del sistema financiero nacional que el gobierno trató de ajustar, sin embargo, este ajuste alimentó el crecimiento global del crédito y trajo problemas de balance al Banco de México, esto último explica la causa que motivaba al Banco a estrechar la política monetaria para defender el régimen de tipo de cambio. Estas presiones del tipo de cambio se fueron acumulando con el tiempo, sin embargo, no tuvieron gran impacto debido a los flujos de capital que eran altamente volátiles, había grandes entradas de capital debidas a la ratificación del TLC y por otro lado, grandes salidas de capital provocadas por las distintas conmociones políticas que se dieron.

Aún cuando estas variables de inestabilidad no se hubieran presentado, la acumulación gradual de las presiones hubiera obligado al gobierno a realizar un ajuste importante a la política monetaria en vigor. Para ese entonces, el gobierno de México contaba con dos alternativas totalmente opuestas que podía seguir para contrarrestar los efectos de las presiones sobre el tipo de cambio, una era cambiar el régimen de tipo de cambio permitiendo así una mayor devaluación, o defenderlo estrechando las políticas macroeconómicas. Pese a que se trataba de dos alternativas opuestas, el gobierno de México decidió tomar una alternativa intermedia evitando hacer ajustes importantes a la política y, al mismo tiempo, compensando salidas y entradas de capital con obligaciones indizadas al dólar principalmente.

Lo único que trajo como consecuencia la decisión adoptada por el gobierno fue un grave deterioro de la posición de liquidez internacional del mismo sin lograr eliminar las presiones fundamentales sobre el peso.

1.4. La Economía Después de la Devaluación de Diciembre de 1994.

Para diciembre de 1994, el peso mexicano había perdido casi totalmente la confianza de los inversionistas, por esto, el gobierno mexicano decidió lanzar en enero de 1995 un programa de emergencia económica de común acuerdo con los representantes de los diferentes sectores de la economía. Para marzo de 1995, fueron dadas a conocer medidas adicionales para contrarrestar la incesante inestabilidad del tipo de cambio y de los mercados financieros. El objetivo del programa junto con estas medidas adicionales era reducir el déficit de la cuenta corriente y al mismo tiempo impedir más alzas en los precios mediante reformas estructurales y especiales destinadas a contrarrestar las crecientes dificultades del sector bancario.

Para finales de enero de 1995, las instituciones financieras internacionales y el gobierno de Estados Unidos prepararon un paquete cuyos objetivos eran suministrar préstamos y garantías a México, esto con el fin estabilizar los mercados financiero y cambiario. Para recibir esta ayuda, el gobierno de México anunció que las reformas estructurales no serían pospuestas, que la liberalización del comercio y de los flujos de capital había sido mantenida y que se iniciaba la creación de un mercado de futuros¹⁵ para proteger al país contra el riesgo cambiario.

En este paquete de estabilización económica se supuso que el tipo de cambio promediaría alrededor de \$4.50/dólar en 1995 (aunque en realidad sí se permitirían fuertes fluctuaciones), además de esto, los precios reglamentados aumentaron en 10% y se proyectó una inflación del 19% durante los siguientes 12 meses, hasta diciembre. Y solo como referencia, los salarios mínimos se incrementaron en un 7% para todo el año.

Asimismo, en marzo de 1995 el gobierno de México anunció el lanzamiento de un segundo paquete de medidas y revisiones sobre proyecciones macroeconómicas

¹⁵ *Un contrato de futuros es un acuerdo para vender o comprar un activo en una fecha futura a un cierto precio. Un mercado de futuros es el lugar donde se negocian estos contratos (Hull, 1995)*

oficiales; entre las más importantes, se suponía que el tipo de cambio promediaría \$6.00/dólar durante el año (33.33% más de lo anunciado en enero) y se había hecho una revisión sobre el nivel de inflación anunciado en enero, ahora el gobierno proyectaba a la inflación a un nivel del 42% de diciembre de 1994 a diciembre de 1995.

Así, es conveniente mencionar que dentro de los principales objetivos del gobierno se encontraba mantener en la medida de lo posible el gasto social, al mismo tiempo que se diseñaban medidas específicas destinadas a proteger a los pobres de la carga más pesada del ajuste. Sin embargo, los ingresos adicionales que deberían generar las medidas adoptadas dependían fuertemente de la severidad de la presión económica. En lo concerniente al gasto, la mayor parte del ahorro necesario en el corto plazo se obtuvo de una disminución en los salarios reales del sector público. Por otro lado, la negociación de la deuda tenía como objetivos principales reducir el volumen de Tesobonos en circulación y extender la madurez promedio de la deuda. El volumen en operación de Tesobonos se había reducido para julio de 1995 a 8,900 millones de dólares de los 29,000 millones de dólares que alcanzó dicho volumen en diciembre de 1994, 7,000 millones de dólares de esta reducción son consecuencia de los convenios de recompra (muy importantes a finales de 1994), y la mayor parte del resto de la reducción se debe al paquete de apoyo financiero internacional que permitió al gobierno de México reemplazar algunos Tesobonos que ya vencían por medio de préstamos del gobierno estadounidense y del FMI. Esto permitió también que la madurez promedio total de la deuda se alargara.

Por otra parte, la situación financiera del país no era del todo alentadora ya que debido a las altas tasas de interés dominantes desde principios de 1995, varios estados y municipios del país enfrentaban serias dificultades financieras. Para tratar de resolver el problema, el gobierno de México anunció a principios de mayo de 1995 un programa voluntario destinado a reestructurar la deuda relacionada con proyectos productivos de obras públicas. Este programa destinaba \$17,400 millones para ayudar a los estados y municipios a la reestructuración mediante la conversión de la deuda en obligaciones indizadas de largo plazo, denominadas Unidades de Inversión (UDI).

1.4.1. La Política Monetaria.

La política monetaria adoptada por el gobierno mexicano después de la crisis de 1994 se basaba en los siguientes puntos:

- Reestablecer la estabilidad en el mercado de cambios.
- Mantener un estricto control del crecimiento del crédito interno del Banco de México.
- Aumentar la transparencia de las operaciones del Banco de México con el propósito de fomentar la confianza del mercado.

En los primeros meses de 1995, el margen de maniobra para la aplicación de esta política fue muy estrecho. Entre otros compromisos anunciados por el gobierno en el paquete de enero, se encontraba un tope de \$12,000 millones para la creación de crédito del Banco de México, que éste no otorgaría nuevos créditos a la banca de desarrollo y una disminución sustancial del límite superior de intermediación financiera de la banca de desarrollo. Para resumir, el propósito de estos compromisos era establecer límites a la capacidad de las instituciones financieras gubernamentales para acompañar una mayor inflación en el periodo posterior a la crisis. Esto es, el tope al crédito interno del Banco de México significaba un límite a la capacidad del mismo para aumentar la base monetaria mediante el suministro de crédito al gobierno, o mediante la compra de valores nacionales. Este tope fue establecido inicialmente con el objetivo de que financiase un aumento de la base monetaria de hasta 21% en 1995; más tarde, y a pesar del pronóstico para la inflación tuvo una sensible modificación a la alza.

Por otra parte, la intervención del gobierno para estabilizar el tipo de cambio era muy poca o casi nula debido a que el nivel de reservas internacionales que poseía el país para ese entonces era demasiado bajo. Las operaciones gubernamentales fueron motivadas por la necesidad de renegociar la deuda gubernamental de corto plazo de acuerdo con el tope de crédito impuesto al crédito interno del Banco de México.

Ahora bien, las tasas de interés de los Cetes, fijadas mediante subastas semanales, también constituían una base de consideración para el nivel de riesgo de otra posible devaluación que los mercados percibían, esto porque el tipo de cambio fluctuaba ampliamente en torno a una tendencia a la baja, y las tasas de interés de los Cetes a 3 meses aumentaron de forma desmedida durante el primer trimestre de 1995 hasta llegar a un nivel de más del 80%. Esto provocaba por supuesto una enorme incertidumbre en los mercados con respecto al nivel al que podría estabilizarse el tipo de cambio, y con respecto a la certidumbre de las medidas que el gobierno había tomado con la política monetaria.

Como consecuencia de esta situación, los mercados financieros carecieron de liquidez, y para contrarrestar tal situación, el programa anunciado en marzo reforzó algunos puntos de la política monetaria, como reducir aún más el tope de expansión del crédito interno del Banco de México a \$10,000 millones y una serie de medidas para estrechar el control en la liquidez de la banca comercial. Con esto, los mercados se estabilizaron un poco más a partir de marzo, reflejando así una mayor confianza en la política monetaria adoptada por el gobierno, pero también el apoyo internacional sobre la posición de liquidez del gobierno. Así, el tipo de cambio comenzó también a estabilizarse, logrando en junio de 1995 lo más cercano a la estabilidad llegando a un nivel de \$6.27/dólar, y al mismo tiempo, las tasas de interés a corto plazo comenzaron a registrar descensos de su nivel máximo de más del 80% a cerca del 40% a finales de junio. Además, se recuperó la confianza en el mercado de valores mexicano, durante marzo y abril recuperó una tercera parte de las pérdidas acumuladas desde su nivel máximo obtenido en septiembre de 1994; a mediados de julio de 1995, se encontraba ya sobre el nivel registrado a principios de año.

Dentro del mismo ámbito, el gobierno de México, para fomentar y fortalecer la liquidez en el mercado de cambios, apoyó la creación de un mercado de futuros sobre el peso en el Chicago Mercantile Exchange que inició operaciones en abril de 1995. a

su vez, el Banco de México comenzaba ya a promover la creación en México también de un mercado nacional similar.

Por último, considero importante decir que antes y después de la crisis de 1994 existía la necesidad de tener una mayor transparencia en la política monetaria, específicamente, en la publicación de información sobre los detalles de las operaciones monetarias, ya que este aspecto siempre ha sido y es aún fundamental para poder lograr mejorar no solo el sistema financiero mexicano, sino también la toma de decisiones, muchas veces erróneas por no contar con la información a tiempo. Se ha dicho por ejemplo que los datos relativos a las reservas internacionales se publicaban con un atraso considerable, y que los mercados no contaban con la información suficiente que requerían para analizar los aspectos principales de las operaciones del Banco de México. Sin embargo, a partir de que estas inquietudes se hicieron públicas en 1995, el Banco de México trabajó para disminuir los tiempos de entrega de información logrando una considerable mejora. Es importante mencionar esto porque esta puede ser otra posible contribución a la devaluación del peso en 1994. No obstante, no es cuantificable, y por ello, no podrá utilizarse como una variable de análisis.

1.4.2. Política Fiscal.

Después de la devaluación de diciembre, lo que pretendía el gobierno de México mediante la política fiscal era volver al equilibrio presupuestal. Según la OCDE, esta tarea no era difícil, porque México había ya experimentado antes una situación similar con la devaluación de 1982. En aquel entonces, logró el equilibrio presupuestal y redujo rápidamente su deuda pública a niveles considerablemente bajos. Sin embargo, la credibilidad de México se había visto dañada ya en los mercados internacionales, razón por la cual fue necesario un esfuerzo mayor para lograr recuperarla. A pesar del gran desempeño fiscal que mostró México a finales de los 80 y principios de los años 90, fue imperante mostrar que se contaba con un enfoque fiscal prudente para el futuro.

Conviene precisar que con todo, todavía para mediados de 1995 existía incertidumbre sobre las obligaciones del gobierno mexicano con respecto al sector bancario y sobre la sensibilidad del presupuesto ante cambios que el mismo gobierno no pudiera ser capaz de controlar, como los cambios en las tasas de interés y en los precios del petróleo principalmente. Por ello, el gobierno mexicano creó programas para abordar la debilidad del sector bancario, provocada por los efectos de la devaluación del peso mexicano, de tal manera que el contribuyente no tuviera que financiar su costo, sin embargo, no fue posible excluir la posibilidad de afectar el presupuesto. Entre las principales medidas que el gobierno adoptó para ayudar a la banca se encuentran:

- Una ventanilla de refinanciamiento abierta por el Banco de México para refinar las líneas de crédito de los bancos a corto plazo denominadas en divisas.
- Un programa temporal de capitalización de 5 años, con el cual se pretendía inyectar capital adicional al sistema bancario en forma de obligaciones convertibles automáticamente.
- El suavizamiento de restricciones para atraer capitales nuevos.
- Facilitar la conversión de un porcentaje de los préstamos pendientes en préstamos indizados a la inflación con el objetivo de reducir la carga sobre los deudores.
- Mejoramiento de los niveles de capitalización de los bancos con la conversión de parte de sus carteras de préstamos a bonos gubernamentales.

Así, la evolución de las variables macroeconómicas que afectaban el servicio de la deuda era incierta y, como consecuencia, cabía la posibilidad de que ejerciera presiones adicionales sobre el presupuesto.

No obstante, la política fiscal después de la devaluación no jugó un papel importante en la variación del tipo de cambio, más bien jugó un papel importante en la determinación o variación del presupuesto, razón por la cual, no es conveniente seguir tratándola pues no será de gran utilidad para el análisis que se pretende realizar en este trabajo.

1.5. Variables de Análisis

De acuerdo a lo que se expuso en este capítulo, las variables que se han seleccionado para explicar la volatilidad del tipo de cambio son:

- La tasa de interés de México a tres meses (CETES)
- La tasa de interés de Estados Unidos a tres meses (PRIME)
- El Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC)
- El nivel de inflación.

Se decidió seleccionar estas variables porque, además de que históricamente son variables clave para la economía mexicana, cada una de ellas jugó un papel importante según esta última parte. Existen otras variables macroeconómicas que pudieran parecer también importantes de acuerdo a este apartado como el PIB o el Índice de Precios y Cotizaciones de la Bolsa de Valores, sin embargo, a consideración del autor, el movimiento en estas variables solo es reflejo de la volatilidad imperante, y uno de los objetivos de este trabajo es precisamente lo contrario, explicar la volatilidad con otras variables y no explicar otra variable con la volatilidad.

Capítulo 2. La Volatilidad

2.1. Definición y Diferentes Aspectos sobre Volatilidad

Podemos definir a la volatilidad en la actualidad como un instrumento financiero que se intercambia en los mercados financieros, y sobre todo que puede ser estudiada desde muchos puntos de vista. Este concepto es sólo uno de tantos que hay, el más moderno, el aplicado al mercado de derivados; sin embargo, también existe la clásica visión de la volatilidad como una mera constante de la función de distribución de los rendimientos de un activo financiero que se une al nuevo concepto, para dar paso a una nueva idea del concepto de volatilidad que se ajusta mucho más a la visión del fenómeno de la gran variabilidad de los mercados financieros. Los modelos financiero-económicos se adaptan a una nueva realidad de la volatilidad, que cada vez con mayor intensidad introduce nuevos factores, tal vez algo más subjetivos, pero también más adecuados a la cambiante realidad financiera.

Hay diversos métodos para calcular, estimar y predecir la volatilidad, desde la simple regresión lineal, hasta los más complejos modelos heterocedásticos. La introducción de los mercados de derivados y su marcada importancia, la diversificación financiera internacional y el creciente interés de los inversionistas particulares en los mercados de renta variable, son algunos de los factores que explican el incremento en el estudio y modelización del comportamiento de la volatilidad de los activos financieros. De hecho, con las últimas innovaciones en Finanzas, la volatilidad implícita se ha convertido en un activo que puede ser intercambiado por los agentes económicos y que tiene por sí misma una función de distribución de rendimientos.

Aquí, lo que pretendo es dar un panorama general de los tipos de volatilidad más importantes y de los diversos métodos existentes en la actualidad para estudiarla. Se desea lograr con este capítulo una mayor comprensión de la volatilidad en sus diversas formas para no tener solo la concepción clásica de la volatilidad como parámetro

descriptivo de una distribución de rendimientos del activo de que se trate y, por supuesto, mostrar la razón por la cual se decide utilizar el método sugerido por RiskMetrics para estimarla.

Es claro que con las innovaciones en el ámbito financiero, la volatilidad puede considerarse como un activo, y las diversas visiones clásicas de los modelos valorativos que implicaban constancia en la volatilidad quedan en tela de juicio (de forma positiva y negativa a la vez) con los últimos hallazgos econométricos como el desarrollo de los modelos estadísticos ARCH (los demás son innovaciones de éste).

A través de esto y de evidencia empírica suficiente, se podrá constatar que la volatilidad en un período no es independiente de la registrada en períodos anteriores. Además, se da la posibilidad de la existencia de una relación inversa del precio con la volatilidad, es decir, que una mayor volatilidad influya negativamente sobre el valor del dólar en pesos mexicanos. Se podría pensar que un incremento de la volatilidad provocaría una inhibición de algunos compradores debido al mayor riesgo que implica una mayor volatilidad para el capital invertido y que, por tanto, alzas en el precio del bien, en este caso el dólar, deberían ir acompañados de períodos de baja volatilidad. Sin embargo, no siempre es cierto.

De acuerdo a estudios recientes, se ha encontrado que existe suficiente historia estadística para afirmar que con determinados supuestos, la volatilidad no sólo no es asimétrica respecto al precio, sino que además se comporta en la misma forma que él. Cada vez con mayor frecuencia ha sido posible comprobar que el mercado bursátil no es necesariamente asimétrico en el comportamiento del precio-volatilidad. En este estudio se podrá comprobar esto en gran medida.

2.2. Tipos de Volatilidad.

2.2.1. Volatilidad Implícita.

La volatilidad implícita es la única de las volatilidades que se refiere a una volatilidad "negociada" por los agentes económicos. El concepto de volatilidad implícita, se aproxima bastante al concepto de riesgo percibido por los participantes de mercado para las sesiones que median hasta el vencimiento del contrato que se trate. Así, en períodos turbulentos las volatilidades implícitas se disparan como consecuencia de la percepción de los agentes económicos de que es necesario cubrir sus posiciones ante una mayor bajada del mercado. Esto explica el carácter específicamente distinto entre la volatilidad implícita y las otras volatilidades consideradas en este capítulo, especialmente las históricas homocedásticas.

La volatilidad implícita es más usada en la práctica con opciones, en el momento en el que una opción¹⁶ es intercambiada en el mercado a un precio determinado, se puede calcular la volatilidad implícita. Para calcular el precio de una opción sobre un instrumento financiero cualquiera se debe conocer (Hull, 1997):

1. El precio del subyacente (o "spot", activo financiero de que se trate).
2. El precio de ejercicio (o "strike") a que el comprador de una opción tiene derecho a comprar o vender el activo en cuestión.
3. El tiempo que resta hasta el vencimiento del contrato de opción.
4. El tipo de interés aplicable, dependiendo del tiempo a vencimiento.
5. Los posibles dividendos, o cupones que pudieran cobrarse hasta la finalización del contrato de haber comprado el activo subyacente en lugar de la opción.
6. La volatilidad que se espera mantenga el activo hasta el vencimiento.

¹⁶ La opción es un contrato que otorga a su tenedor el derecho de comprar, o vender, una cantidad establecida de un bien o activo financiero homogéneo a un precio determinado durante un periodo de tiempo (Hull, 1997)

Todos los componentes del valor de una opción son conocidos con certeza (salvo en algunos casos los dividendos, aunque existen normalmente estimaciones muy fiables de los mismos) a excepción de la volatilidad. Esto es, una vez que se logra negociar una opción en el mercado, se puede obtener la volatilidad con la que (y de ahí el término de implícita) se ha procedido al cálculo, asumiendo la hipótesis de que las dos partes implicadas en la compra-venta emplean la misma fórmula valorativa.

Normalmente, cuando se hace referencia a esta volatilidad, es en términos anualizados. Diversos autores afirman que la volatilidad implícita debería ser usada como una aproximación a la desconocida volatilidad futura. Sin embargo, hay suficiente evidencia que permite afirmar que el precio del futuro de un activo financiero no es un buen anticipador del precio futuro del mismo en el vencimiento del contrato, por lo que podría afirmarse que normalmente la volatilidad implícita no tendría porque ser un buen estimador de la volatilidad futura del activo subyacente hasta vencimiento.

Por otro lado, el término "volatilidad implícita" no es tal vez el más adecuado puesto que es ya en la actualidad muy común cotizar en los mercados opciones en términos de volatilidad, con esto el precio se convierte en la parte implícita de los cálculos. En términos económicos se debe considerar a la volatilidad implícita como un activo financiero, no obstante, de características ciertamente complejas.

Para empezar, se puede decir que el carácter no lineal de los rendimientos derivados de las variaciones lineales de la volatilidad implícita es un factor considerablemente importante, porque de hecho, una variación en volatilidad tiene repercusiones más que proporcionales sobre el beneficio de una cartera de opciones. Además de esto, su dependencia de las expectativas de mercado o de los momentos de especial conmoción de los mercados, redundan en una dificultad de predicción evidente y en la inadecuación de muchos instrumentos financiero-económicos para el estudio de la misma, fundamentalmente porque los movimientos tendenciales, que en el caso de un subyacente normal tardan meses en producirse, se efectúan en pocos días

en el caso de la volatilidad. A pesar de todo, es este tipo de volatilidad la que interesa a los gestores de carteras de opciones.

2.2.2. Volatilidad Histórica Homocedástica "Cierre a Cierre".

La volatilidad homocedástica es aquella que se calcula como parámetro de una función de distribución de los rendimientos de un activo, en el que se parte de la hipótesis de que la varianza de estos rendimientos no depende del tiempo sino que se mantiene constante. El calificativo "cierre-a-cierre" viene del hecho de que, como se verá en la exposición de los modelos, se pueden calcular volatilidades dentro del día (entre máximo y mínimo por ejemplo) sin necesidad de tomar los cierres del período considerado.

Este concepto teórico es importante, puesto que aún existiendo significativas evidencias empíricas a favor de la heterocedasticidad de la volatilidad, no es menos cierto que si se calcula (al período que sea) la volatilidad homocedástica de una manera diaria, se podrá llegar a conclusiones muy similares a las que se hubiera llegado si se calculara mediante complejos métodos heterocedásticos, que tienen además una validez temporal reducida. En el límite, la volatilidad histórica homocedástica a n días calculada con un período suficientemente corto de actualización, se aproxima al concepto de variabilidad de los mercados de una manera muy similar a lo que lo haría el empleo de modelos heterocedásticos.

Las volatilidades heterocedásticas por el contrario se calculan tomando como punto de partida la hipótesis de desviación típica no constante en el tiempo.

Es importante tener en cuenta la distinción entre estos dos tipos de volatilidad, porque la gran mayoría de los modelos valorativos de opciones parten del supuesto de homocedasticidad como por ejemplo el modelo de Black & Scholes (Campbell, 1997).

Una definición más explícita dada por Natemberg (1988) dice que la volatilidad histórica homocedástica es la desviación típica manifestada por la serie de los logaritmos neperianos de los rendimientos expresada en términos anualizados (tomando 250 días hábiles en el año). Así, obtuvo la definición anterior basándose en una serie de hipótesis de la gran mayoría de los modelos que son mostrados en este capítulo:

1. Los cambios en el precio son aleatorios y no pueden ser manipulados artificialmente, ni predecirse la dirección que tomará el mercado.
2. Los cambios porcentuales de los precios se distribuyen normalmente.
3. Los cambios en precio expresados en la propia denominación, siguen una distribución "lognormal", es decir, el logaritmo de la distribución sigue una distribución normal.

Por supuesto que hubiera podido calcularse la volatilidad como la desviación típica expresada en términos anualizados del precio, pero eso impediría la comparación con la volatilidad implícita, puesto que este último tipo de volatilidad se calcula siguiendo modelos que parten de las anteriores hipótesis.

El tema del número de días adecuado para anualizar la volatilidad no es tan sencillo como pudiera parecer, para el cálculo de la volatilidad histórica homocedástica deberían tenerse en cuenta sólo los días hábiles de mercado. Es necesario aclarar que en otro caso, se caería en la paradoja de que un mercado que cerrara algún día festivo por ejemplo, sería menos volátil que otro que sí abriera, puesto que mientras el primero no experimenta variación ese día, el segundo sí registra variación cualquiera que sea el efecto.

Sin embargo, el verdadero problema del cálculo de las volatilidades históricas homocedásticas cierre a cierre reside en el período de cálculo adecuado. Es claro que es posible definir tantas volatilidades históricas como períodos de n días se puedan construir en un año.

Así, la primera gran diferencia entre la volatilidad histórica y la implícita reside en el hecho de que mientras la primera es directamente observable mediante un sencillo cálculo estadístico, la segunda no lo es y, a pesar de que también es calculada estadísticamente a partir de un modelo de valoración, no tiene necesariamente que reflejar la variación real de ningún activo financiero en el pasado. Además, mientras que la volatilidad histórica homocedástica puede considerarse como una medida del riesgo de una inversión concreta, la implícita, como ya ha quedado explicado, puede considerarse como un activo financiero más, es decir, como un "bien" en el que se puede invertir.

2.2.3. Volatilidad Histórica Intraday.

Existen en la actualidad distintas y diversas formas de definir este tipo de volatilidad. La más común y fiel, es la que define a esta volatilidad como la desviación típica de la diferencia entre el máximo y el mínimo de un período concreto dentro de un día de cotización. La volatilidad intradiaria a 5 minutos por ejemplo reflejaría la desviación típica, para la variable que representaría la diferencia entre el máximo y mínimo en precio para cada intervalo de 5 minutos.

Así, sería posible obtener tantas volatilidades intradiarias como divisiones temporales de un día de cotización pudieran hacerse. Esto hace que un estudio financiero-econométrico de este tipo de volatilidades no sea tan práctico. La principal utilidad que aporta este tipo de volatilidad es el hecho de que permite captar los momentos puntuales de mayor movimiento en precio, que suelen venir reflejados en cambios bruscos en las volatilidades implícitas negociadas dentro del mismo día. En el extremo caso de que todas las volatilidades intradiarias fueran cero, la variación del precio sería nula y por ende no habría motivos para incrementos en la volatilidad implícita. Por el contrario en momentos de grandes fluctuaciones en el mercado, la volatilidad intradiaria se dispara pudiendo producir el mismo efecto en la implícita negociada.

Para cumplir con el objetivo del presente trabajo, es probable que este tipo de volatilidad sea la menos conveniente, ya que, la volatilidad importante para un inversionista en bolsa o en dólares en este caso, es una volatilidad para un número suficiente de días, esto porque regularmente las inversiones que se realizan en una bolsa de valores son, a mediano y largo plazo, por lo que el análisis debe quedar no relacionado con las variaciones en un solo día de un mercado.

2.2.4. Volatilidad Histórica Heterocedástica.

En la actualidad, se cuenta ya con una amplia gama de modelos econométricos en los que no se parte de la constancia de la desviación típica de la función de distribución de rendimientos, esto ha sido posible gracias a trabajos como el de Engle en 1982 (ARCH).

Muchos modelos son ya los que se han desarrollado bajo esta hipótesis, y por tanto podrían definirse tantas volatilidades históricas heterocedásticas como distintos modelos existan. Sin embargo, todos los modelos parten de la suposición de que la volatilidad no constante en el tiempo puede dividirse en dos componentes, haciendo referencia a la versión más simple que ofrece un modelo ARCH.

Es importante señalar que en todo modelo heterocedástico se puede distinguir entre dos tipos de volatilidad heterocedástica:

1. La volatilidad histórica heterocedástica condicional, variante en el tiempo, que depende básicamente de los errores cometidos en el pasado, y en algunos modelos de la información existente en el período de que se trate, de "shocks" inesperados en el mercado, etc.
2. La volatilidad histórica heterocedástica incondicional, que podría considerarse como la parte constante de la volatilidad. Esta volatilidad puede aproximarse a la volatilidad mínima del mercado, y normalmente es aquella volatilidad por debajo de

la cual, tanto la volatilidad implícita como la homocedástica, tienen dificultades para mantenerse sistemáticamente.

Con este tipo de modelos, es posible llegar a diversas contradicciones, debido, según la evidencia empírica, a la falta de constancia de la volatilidad y a que ésta depende de las volatilidades de los períodos que la han precedido.

2.2.5. Volatilidad Prevista.

La volatilidad prevista es la que determinados modelos anticipan como consecuencia del empleo de técnicas de predicción financiero-econométricas. Tanto la volatilidad prevista como la implícita tratan en suma de aproximarse a la volatilidad futura del activo. Existen ya inclusive los llamados modelos de alisado, que permiten emplear volatilidades históricas homocedásticas en la predicción de la volatilidad futura. Este esquema se basa en predecir la volatilidad futura haciendo una ponderación mayor a las volatilidades más próximas en el pasado (como el modelo de RiskMetrics que será expuesto más adelante).

Es importante señalar que la volatilidad prevista puede ser homocedástica o heterocedástica, esto depende de la técnica financiero-econométrica empleada.

2.2.6. Volatilidad Futura.

La volatilidad futura es la que el activo en cuestión manifestará desde el momento de compra del activo hasta su vencimiento. Es la única que no se puede manipular y que además no es conocida por los participantes en el mercado.

2.3. Métodos para estimar la Volatilidad.

La volatilidad de los mercados financieros no es un fenómeno que pueda estudiarse desde un enfoque único. Al contrario, lo más conveniente es abordar su estudio desde muy diversos puntos de vista y tratar de relacionar los resultados obtenidos por los diversos métodos para llegar a conclusiones que sean teórica y empíricamente aceptables. Primero, se acostumbra analizar las técnicas financiero-econométricas que son aplicables a las características particulares de las series de volatilidades.

Como norma general, se parte de una serie de observaciones, escogiendo el modelo que se adapte mejor a las mismas, es decir, se parte de un análisis de las diversas relaciones causa-efecto para tratar de determinar los modelos que expliquen mejor estas relaciones; y antes, es conveniente realizar un análisis previo de datos para luego proceder a las diversas especificaciones. No obstante, esto no será aplicado aquí ya que no es el objetivo de este capítulo. Como el método de aproximación no es único, el objetivo es solo dar a conocer los modelos que han demostrado mejores resultados al aproximar la volatilidad para casi cualquier caso.

Una aclaración importante sobre la que vale la pena detenerse aunque sea brevemente, es para decir que el método empleado será un "Análisis Financiero-Econométrico de la Volatilidad de la paridad peso-dólar". Se trata en efecto de un análisis que parte de una metodología econométrica, pero que emplea esta ciencia sólo como punto de arranque para poder obtener conclusiones aplicables desde el punto de vista financiero y económico. La econometría es por tanto tan sólo un medio para alcanzar el objetivo final de comprensión del funcionamiento de la volatilidad desde un enfoque financiero.

Por otra parte, una vez expuestos los diversos modelos que resultan más adecuados desde el punto de vista financiero-econométrico, se elegirá el que mejor se ajuste a los datos disponibles y al tipo de variables que intervienen en este estudio.

Esto permitirá obtener relaciones útiles, tanto por su capacidad de explicación, como por su capacidad predictiva.

2.3.1. Modelos Regresivos.

Para empezar, se expondrá la metodología de la regresión, porque ella permite estudiar posibles relaciones inversas entre precio y volatilidad. Para ello se emplean no sólo técnicas de regresión simple, sino también modelos de punto de ruptura o "piecewise"¹⁷, e incluso se emplean técnicas más complejas como relaciones exponenciales o logarítmicas. Además, permite determinar si existen relaciones entre los diversos tipos de volatilidad o relaciones entre volatilidades calculadas sobre distintos activos financieros. El empleo de las técnicas de regresión permite a su vez el cálculo de posibles efectos de anticipación, es decir, tratar de obtener relaciones entre variables pero no calculadas para el mismo momento del tiempo.

Un modelo regresivo trata de explicar el comportamiento de una variable endógena en función de diversas variables explicativas (exógenas) o de valores anteriores de ella misma (endógena). En modelos más complejos se pueden determinar conjuntamente varias variables endógenas a través de un sistema de ecuaciones resuelto de forma simultánea. Aquí, se expondrán modelos con cierto grado de complejidad, pero en cualquier caso sólo contendrán una ecuación, en los que sólo existirá una variable endógena, permitiendo que existan varias explicativas. Todo este tipo de modelización parte de suponer que se conoce la existencia de factores reales explicativos de la variable endógena, es bien claro que en estadística siempre es posible incrementar el grado de explicación por el aumento de variables exógenas en el modelo.

Conviene aclarar, que no se da preferencia a ningún modelo regresivo en cuanto a la mayor o menor validez del mismo, por el contrario, se trata de exponer todos y

¹⁷ *Son modelos lineales donde el objetivo es obtener los parámetros del modelo, y sobre todo, el llamado punto de ruptura. Son modelos muy aceptados en estadística (Campbell, 1997)*

cada uno de los modelos que, según la experiencia, pueden aportar los mejores, o en el peor de los casos, buenos resultados. Las conclusiones son en muchos casos inmejorables, y demuestran que en muchas ocasiones la necesidad de modelizaciones distintas de la lineal para la volatilidad, no son ciertas en todas las ocasiones.

Es importante mencionar que es muy útil en todo momento realizar un exhaustivo seguimiento de las posibles correlaciones cruzadas entre variables explicativas para evitar redundancias y como consecuencia de ello rechazar, mediante el empleo sistemático de pruebas estadísticas con el nivel de significancia, las variables que no fueran claramente relevantes en la explicación de la volatilidad.

Para la utilización de estos modelos regresivos, como ya se mencionó, se debe tener por lo menos una idea sobre la relación entre una o varias variables y tratar de verificar que ésta realmente exista.

- **Relaciones lineales univariantes.**

$$y_i = \alpha + \beta x_i + u_i$$

Donde:

y es la variable dependiente.

x es la variable explicativa

α , β son los parámetros especificados por el modelo.

u es el término de error.

- **Relaciones lineales multivariantes.**

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_{1i} + \alpha_2 x_{2i} + \dots + u_i$$

Donde:

y es la variable dependiente.

x_i son las variables explicativas.

α_i son los parámetros especificados por el modelo.

u es el término de error.

- **Modelos de crecimiento exponencial.**

$$y_t = e^{\alpha_0 + \alpha_1 x_{1t} + \alpha_2 x_{2t} + \dots + u_t}$$

Donde:

y es la variable dependiente.

x son las variables explicativas.

α_i son los parámetros especificados por el modelo.

u es el término de error.

- **Modelos con punto de ruptura.**

$$y_t = \alpha_0^1 + \alpha_1^1 x_{1t}^1 + \alpha_2^1 x_{2t}^1 + \dots + u_t^1 \quad \text{si } x > \beta$$

Donde:

y es la variable dependiente.

x son las variables explicativas.

α_i los parámetros especificados por el modelo.

u es el término de error.

β es el punto de ruptura.

Es importante decir que otros modelos como el estudio de eventuales relaciones logarítmicas entre precio y volatilidad, dieron escasos o nulos resultados según ciertos estudios por los que se ha decidido no incluirlos. Los ya mencionados modelos con punto de ruptura ("piecewise") se muestran muy útiles en la superación de algunos problemas, como los de bases de datos, o especialmente, como el excepcional incremento y variaciones experimentadas por la volatilidad en los peores momentos de la crisis monetaria de finales de 1994 e inicios de 1995 por ejemplo.

2.3.2. Modelos ARMA.

Cuando se utiliza la teoría econométrica representada con series de tiempo (Autorregresive Moving Average, ARMA), el primer paso consistirá normalmente en el tratamiento de las series de datos para obtener series que resulten modelizables. Uno de los problemas con que se encuentra la modelización consiste en la enorme dispersión de los datos. La volatilidad es, por si misma, enormemente variable y recorre

con extremada facilidad rangos de variación que el precio, en este caso el tipo de cambio, tardaría mucho más tiempo en recorrer.

Por esto, es totalmente factible que se haga necesario el empleo de técnicas que permitan "alisar" la serie, o en términos estadísticos convertirla en estacionaria¹⁸. De acuerdo a la literatura, el método que ha demostrado una mayor eficacia ha sido la diferenciación simple, y normalmente dos diferenciaciones son suficientes para alisar la serie.

Este tipo de modelización permite evitar en parte dos problemas de los modelos regresivos, por un lado, no es necesaria la identificación de variables susceptibles de explicar, la variable endógena al aplicarse sobre una serie de datos correlativos de la propia variable, y además toda una serie de pautas de actuación preestablecidas hacen más sencillo obtener la forma funcional adecuada del modelo. Sin embargo, es necesario manifestar que el gran problema de estos modelos lo constituye precisamente el cálculo del citado punto de ruptura, muchas veces difícil de calcular.

Antes de utilizar la metodología ARMA, se deben obtener series estacionarias, es decir, bases de datos que cumplan los siguientes criterios:

- Media constante en el tiempo.
- Varianza constante en el tiempo. Para esto, es necesario realizar una serie de diferenciaciones y ajustes.

Ahora, antes de especificar un modelo ARMA es necesario tener 3 parámetros:

1. El retardo de la parte autorregresiva (AR), el subíndice p en la siguiente ecuación:

$$y_t = \phi_0 + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + u_t$$

¹⁸ Una serie estacionaria es aquella cuya distribución (basada en una muestra aleatoria) no cambia con el tiempo. Es decir, $E[Y_t]$, $Var[Y_t]$ no dependen de t , y $Cov(Y_t, Y_s)$ es función de $t-s$, pero no de t ó s (Greene, 1993)

Donde:

y es la variable dependiente.

ϕ_i son los parámetros especificados por el modelo.

u es el término de error.

En realidad la relación matemática pone en evidencia que la observación de la variable y en el período t depende de las misma variable y en $t-1$, $t-2$,... y $t-p$.

2. El retardo de la parte de medias móviles (MA), q en la ecuación siguiente:

$$y_t = \mu + u_t + \sigma_1 u_{t-1} + \sigma_2 u_{t-2} + \dots + \sigma_q u_{t-q}$$

Donde:

y es la variable dependiente

σ_i son los parámetros especificados por el modelo.

u son los términos de error.

Con este modelo se trata de explicar la variable y en el tiempo t en función de una constante, μ , y de una corrección de q errores del modelo en los períodos anteriores.

3. El número de veces (d) que se debe diferenciar la serie para hacerla estacionaria.

$$dy_t = y_t - y_{t-1}$$

Donde:

d indica el diferencial de la variable de que se trate

y es la variable dependiente

Esto es, el diferencial de y_t es igual a la diferencia entre la volatilidad en t y $t-1$.

La utilización de estos modelos permite constatar que la volatilidad en t no es independiente de la manifestada en otros períodos inmediatamente anteriores como antes se había dicho, poniendo en entredicho así los modelos valorativos de opciones, empleados muy comúnmente en la actualidad por los participantes en el mercado.

Es conveniente señalar que las principales diferencias entre los modelos ARMA y los de la familia ARCH radican en el tipo de series que utilizan, mientras que los modelos ARMA se aplican sobre series homocedásticas, es decir, con varianza constante, los ARCH se caracterizan por tratar de modelizar precisamente la heterocedasticidad de la serie. Por lo tanto, mientras que en los modelos ARMA se debe alisar la serie como paso previo a la modelización de la misma, esto último no es necesario en los modelos ARCH.

No obstante, se podría decir que los modelos ARMA y cualquiera de los ARCH no son en principio excluyentes, ya que los ARMA son válidos para identificar los cambios de tendencia en volatilidad, no obstante, en el caso de los modelos heterocedásticos se observa una mayor inestabilidad en el resultado, aunque la serie prevista se ajuste más a los frecuentes cambios en la volatilidad real. Resumiendo, la serie generada por un GARCH (1,1) por ejemplo, prevista por el modelo heterocedástico, se ajustaba mejor pero era paradójicamente más volátil en cuanto a los errores.

2.3.3. Modelos Heterocedásticos.

Para el caso de los modelos heterocedásticos, el tratamiento de los datos es más sencillo puesto que no se requieren series estacionarias para su aplicación. El proceso a seguir se limita a la especificación y posterior cálculo de la serie de volatilidades que resultan de la misma para su comparación con otro tipo de volatilidades.

Para empezar, es importante mencionar que estos modelos son relativamente nuevos, su desarrollo comienza con los trabajos de Engle en 1982 y son especialmente útiles para:

- La modelización de una volatilidad no constante en el tiempo.
- Respaldar, mediante evidencia empírica, que la volatilidad se manifiesta en olas.

- Identificar la existencia de una memoria importante en el proceso.
- Predecir la volatilidad futura

Los modelos más importantes son los siguientes:

- ARCH

Este modelo, desarrollado por Engle en 1982, se basa en la explicación de la volatilidad condicional como una función lineal de q errores pasados de predicción elevados al cuadrado:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{k=1}^q \alpha_k \varepsilon_{t-k}^2 \quad \alpha_0 > 0, \alpha_k \geq 0$$

Donde:

σ es la variable condicional

α_i son los parámetros especificados por el modelo

ε_t son los términos de error

En este modelo y en los posteriores, que también son heterocedásticos y que no son sino desarrollos más o menos complejos del mismo, se define la volatilidad condicional, la única que se puede predecir por las hipótesis del modelo, como la volatilidad condicionada a la información existente en ese periodo.

$$\sigma_t^2 = E(\varepsilon_t^2 | \phi_{t-1})$$

Donde:

ε es el "shock" o error de predicción en el tiempo t

ϕ representa la información existente en t y que no existía en $t-1$.

Los modelos tradicionales trataban sólo la volatilidad incondicional, es decir:

$$\sigma^2 = E(\varepsilon_t^2)$$

Ahora, hay que recordar que la volatilidad implícita viene condicionada por toda la información existente hasta el período considerado, por lo que el concepto de "shock" de volatilidad podría ajustarse sin mayores problemas, teniendo así una conexión entre las dos volatilidades a pesar de que no exista relación funcional alguna entre ellas.

En cuanto a la memoria del proceso, ésta está dada por la siguiente suma:

$$mem = \sum_{k=1}^k \alpha_k$$

Con k el número de coeficientes alpha distintos de 0.

De acuerdo con un modelo ARCH(1) se puede pronosticar la volatilidad s períodos más adelante como sigue:

$$\sigma_{i+s}^2 = \sigma^2 + \alpha_1^s (\sigma_i^2 - \sigma^2)$$

Donde σ^2 es la volatilidad incondicional que no depende del período en que se realice el análisis. Es de notarse que en el largo plazo, la volatilidad condicional e incondicional tienden a aproximarse en cualquier situación.

- GARCH

El modelo GARCH fue desarrollado por Bollerslev en 1987, ampliando el modelo ARCH con el objetivo de incluir retardos en la varianza condicional. Resumiendo, un modelo GARCH es un modelo ARCH infinito.

Así, un modelo GARCH (p,q) se define como:

$$\sigma_i^2 = \alpha_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{i-j}^2 + \sum_{k=1}^q \alpha_k \varepsilon_{i-k}^2 \quad \beta_j \geq 0, \alpha_k \geq 0, \alpha_0 > 0$$

Donde:

σ es la variable condicional
 α_1, β_1 son los parámetros especificados por el modelo
 ε_i son los términos de error

Hay que decir que si p es cero, el proceso se reduce a un ARCH(q). Si p fuera cercana a cero en lugar de cero (de hecho, los casos más comunes en los estudios de mercado), las propiedades serían equivalentes a las de un ARCH con una q elevada, y en general con q mayor o igual a 20.

De acuerdo a las hipótesis del modelo, se tendría:

$$\varepsilon_t^2 = \sigma_t^2 + \mu_t$$

Luego, se puede reformular un GARCH(p, q) como sigue:

$$\varepsilon_t^2 = \alpha_0 + \sum_{k=1}^m (\alpha_k + \beta_k) \varepsilon_{t-k}^2 - \sum_{j=1}^q \beta_j \mu_{t-j} + \mu_t$$

Donde:

m es el máximo entre p y q .

μ no manifiesta correlación con las otras series.

La previsión en un modelo GARCH(1, 1) se efectúa como sigue:

$$\sigma_{t+1}^2 = \sigma^2 + (\alpha_1 + \beta_1)' (\sigma_t^2 - \sigma^2)$$

Cuando α_1 más β_1 es inferior a 1, la volatilidad prevista decrecerá hacia la incondicional, en tal caso se dice que el modelo es integrado.

- **EGARCH o "Exponential GARCH"**

Este modelo fue creado para evitar el problema que tenían los modelos GARCH con respecto a que los efectos de una "sorpresa", entendida como información inesperada por el mercado, son los mismos se trate de una noticia negativa o positiva. No obstante, parece estadísticamente demostrado que los picos en volatilidad coinciden

con caídas de mercado, por lo que una mayor asimetría de la distribución de volatilidad sería conveniente.

El modelo EGARCH, a pesar de su complejidad teórica, permite estudiar desde otro punto de vista la asimetría precio-volatilidad que ya se estudia en la parte regresiva, solo que aquí no es necesario acudir a la serie de precios para la modelización.

En un modelo EGARCH(1,1) la varianza condicional se define como sigue:

$$\ln \sigma_t^2 = \alpha_0 + \beta_1 \ln \sigma_{t-1}^2 + \delta \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}^2} + \alpha_1 \left[\frac{|\varepsilon_{t-1}|}{\sigma_{t-1}^2} - \left(\frac{2}{\pi} \right)^{0.5} \right]$$

Donde:

σ es la variable condicional

α 's son los parámetros especificados por el modelo

ε son los términos de error

δ el parámetro de asimetría

π es el número pi

Si se diera un coeficiente δ estimado negativo, se tendría la presencia de un sobreimpacto de las noticias negativas. La contribución de un "shock" positivo en la volatilidad condicionada está dada por:

$$(\alpha_1 + \delta) \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}^2}$$

En contraparte, un "shock" negativo está dado por:

$$(\alpha_1 - \delta) \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}^2}$$

Por último, la asimetría de la volatilidad condicionada está medida por:

$$\rho = \frac{\alpha_1 + \delta}{\alpha_1 - \delta}$$

- **Non-Linear Assymmetric ARCH (AGARCH)**

Desarrollado por Engle(1990) y Sentana (1991). Un AGARCH (1,1) se define:

$$\sigma_t^2 = w + \alpha(\varepsilon_{t-1} - \lambda)^2 + \beta\sigma_{t-1}^2 \quad \lambda > 1$$

Donde:

- σ es la variable condicional.
- w es la variable incondicional.
- α, β son los parámetros especificados por el modelo.
- ε_t son los términos de error.
- λ es el coeficiente de asimetría.

Asimismo, existen otros modelos heterocedásticos que no son tan conocidos, sin embargo, la mayor parte ellos han surgido debido a la necesidad de explicar lo mejor posible las series de volatilidades. A continuación se citan algunos de estos modelos.

- **GJR-ARCH**

Glosten, Jagannathan y Runkle desarrollaron el GJR-ARCH en 1989. Un GJR-ARCH(1,1) se define, según sus autores, como sigue:

$$\sigma_t^2 = w + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \delta D \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2$$

Donde:

- σ es la variable condicional.
- α, β, δ son los parámetros especificados por el modelo.
- D es una variable binaria que toma el valor 0 ó 1.
- ε son los términos de error.

La variable D toma el valor 1 en t, si el error en t-1 es negativo y 0 si el error en t-1 es positivo.

- **TGARCH**

El modelo TGARCH se define de la siguiente manera:

$$\sigma_t = w + \sum_{i=1}^p (\alpha_i^+ \varepsilon_{t-1}^+ - \alpha_i^- \varepsilon_{t-1}^-) + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j} \quad \varepsilon_{t-1}^+ = \max(\varepsilon_{t-1}, 0); \varepsilon_{t-1}^- = \min(\varepsilon_{t-1}, 0)$$

Donde:

σ es la variable condicional.

α , β son los parámetros especificados por el modelo.

ε son los términos de error que se definen como doble variable.

2.3.4. Críticas y Observaciones a los Modelos.

Como ya se ha visto, el concepto de volatilidad no es único, cada una de las volatilidades tiene su utilidad bien determinada, por ejemplo, el gestor de un fondo de inversión se preocupa de la evolución de la volatilidad implícita puesto que determina el coste de cobertura, mientras que un inversionista privado se interesa por la volatilidad histórica puesto que es la que determina el mayor o menor movimiento de su cuenta de valores. Además, la volatilidad tampoco es independiente del marco teórico en el que se formule, por el contrario, depende de diversos factores ligados a él, y de la aproximación teórica que se realice.

Los modelos presentados en este capítulo fueron diseñados para modelizar la volatilidad condicional del rendimiento de un activo financiero. En principio la volatilidad implícita no corresponde a una volatilidad real o condicionada del rendimiento de ningún activo financiero, por lo que cabría preguntarse si esta volatilidad implícita es susceptible de ser aproximada por la volatilidad condicional modelizada a partir de

cualquiera de estos modelos. Así, para aplicar un modelo heterocedástico lo más conveniente sería realizar una serie de hipótesis que sustenten la idea anterior:

- La volatilidad implícita en t es una volatilidad condicionada a toda la información conocida en $t-1$.
- Existe una volatilidad implícita incondicional hacia la que tendería el modelo, que correspondería con la volatilidad del rendimiento a un período concreto.
- Se dispone de una base de datos lo suficientemente amplia.

La primera hipótesis no es del todo despreciable, en realidad, la volatilidad implícita se ajusta muy bien a la información existente en el mercado en cada momento. Se puede afirmar que cualquier noticia o cambio brusco en precio alterará la volatilidad implícita negociada, es decir, producirá un "shock" en la volatilidad negociada. La segunda hipótesis es difícil de manejar porque se podría decir que en el futuro, la volatilidad implícita tenderá a aproximarse a la histórica, aunque no es claro a qué período. La última hipótesis reafirma algo ya conocido, todos los modelos expuestos hasta aquí disponían de muchas más observaciones, esto es especialmente importante para los modelos ARCH, pues estudian la persistencia de la volatilidad en el largo plazo y la existencia de ondas de volatilidad. Ahora que si se verificaran estas hipótesis, en realidad se estaría aceptando que la volatilidad implícita se aproxima a ser la volatilidad histórica (homocedástica o heterocedástica) del rendimiento a un período concreto, puede ser que sean iguales en algún momento, sin embargo, no siempre lo serán.

Durante los últimos años, se han realizado múltiples estudios sobre la volatilidad imperante en los mercados y sus efectos sobre el comportamiento de los agentes y los rendimientos obtenidos en los mismos. El principal tema de investigación después de que surgieron los modelos heterocedásticos, ha sido la verificación de la heterocedasticidad de la serie de rendimientos, además de otras propiedades de los modelos no constantes en varianza.

Lógicamente, existe actualmente una amplia bibliografía que trata de aplicar cualquiera de las múltiples posibilidades que los modelos heterocedásticos ofrecen a los diversos mercados. En general se ha comprobado en estos trabajos que la mayoría de estos mercados de renta variable presentan evidentes características de heterocedasticidad.

Como ya se dijo antes, los modelos ARMA y los ARCH pueden ser formas alternativas de explicar las características al considerar en suma tipos de volatilidades que no son exactamente los mismos, los primeros explican la volatilidad histórica, que incluye parte incondicional y condicional, mientras que los ARCH se centran en el estudio de la volatilidad condicional que es la única que se puede en cierta manera modelizar.

Aunque fuera posible identificar las tendencias permanentes en la volatilidad incondicional, tanto en los modelos ARCH como en los GARCH(1,1) por ejemplo, la volatilidad condicional tiende (aunque sólo bajo ciertas condiciones) hacia una volatilidad que puede considerarse como la volatilidad incondicional del mercado. Esto, aunado a la capacidad predictiva que tienen estos modelos, ha motivado a muchos investigadores a dedicarse a desarrollarlos aún más. No obstante, los modelos heterocedásticos son todavía modelos sumamente complejos, que en muchas ocasiones obligan a efectuar revisiones frecuentes de los resultados obtenidos.

Es importante apuntar que el empleo de los modelos ARMA se debe efectuar cuando se pretende evitar la escasez de observaciones pues, como es sabido, los modelos homocedásticos son muy válidos para el ajuste de series en el corto plazo aunque no lo sean tanto en la previsión a largo plazo.

Por último, una notable ventaja que presentan los modelos ARMA y heterocedásticos, es que no es necesaria la identificación de posibles variables explicativas en los modelos, mientras que para el caso regresivo sí lo es, ya que para explicar la variable deseada, se emplean diversas variables independientes.

En este capítulo, se ha tratado de dar una visión global de los distintos y más actuales modelos que tratan de estimar, explicar o predecir la volatilidad. Sin embargo, existe un modelo también surgido no hace mucho tiempo, el modelo que sugiere RiskMetrics para estimar la volatilidad. En el siguiente capítulo se explica la metodología de cálculo en forma detallada. Es conveniente decir que este modelo será empleado para cumplir con el objetivo del presente trabajo, porque como se verá, supera muchos de los problemas que presentan todavía los modelos presentados en este capítulo.

Con él se estimará la volatilidad del tipo de cambiò y, al mismo tiempo, trataré de decir, basándome en una regresión simple y en los resultados obtenidos, qué variables influyen de manera positiva o negativa para que el tipo de cambio haya presentado una mayor o menor volatilidad antes y después de la crisis que se presentó en diciembre de 1994.

2.3.5. Técnicas Recientes.

La investigación en Finanzas y Econometría ha desarrollado significativamente esfuerzos en años recientes para encontrar métodos más formales para estimar desviaciones estándar y correlaciones. Estos son a menudo referidos como modelos de volatilidad. Los métodos tienen un rango desde: técnicas de valor extremo y dos pasos de análisis de regresión, el modelo más complicado no lineal como es GARCH, volatilidad estocástica y aplicaciones de dinámica de caos.

Entre los académicos y entre un número incrementado de practicantes, los modelos del tipo GARCH han ganado una mayor atención. Esto debido a que cuando se realizan series de tiempo de rendimientos, a menudo se exhibe la dependencia del tiempo de la volatilidad. Desde la introducción del modelo básico ARCH, como ya se ha visto se incluyen las extensiones: GARCH generalizado, EGARCH exponencial. Numerosas pruebas de los modelos tipo GARCH para divisas y mercados de divisas

han demostrado que esta aproximación relativamente sofisticada, puede proveer de mejores estimaciones para la volatilidad que los promedios móviles simples particularmente sobre horizontes de tiempo cortos, tales como un día o una semana.

En el mismo ámbito, recientes investigaciones en modelado de volatilidad involucran modelos de volatilidad estocástica (SV). En estas aproximaciones, la volatilidad puede ser tratada como una variable no observada, el logaritmo de esta es modelado como un proceso estocástico lineal, como una autoregresión. Debido a que estos modelos son casi nuevos, sus propiedades empíricas aun tienen que ser establecidas. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, un rasgo llamativo de los modelos SV es que sus estimaciones son menos desalentadoras que su complemento, los modelos EGARCH. (los modelos bayesianos SV, son computacionalmente intensivos).

RiskMetrics da a conocer que en estudios recientes se ha encontrado que los modelos GARCH no funcionan de modo significativo en la aproximación de desviaciones estándar de muestras de igual importancia, excepto para horizontes de muy corto plazo.

Al mismo tiempo que esto es escrito, se siguen desarrollando nuevos modelos y perfeccionando algunos otros, por lo cual, es imposible incluirlos a todos. Por ello, se han expuesto aquí de manera abreviada los más importantes a consideración del autor.

Capítulo 3. El Modelo de RiskMetrics.

Como ya se dijo, lo que se busca, es la obtención de relaciones estables entre las diversas variables estudiadas que sean útiles a los agentes participantes en el mercado y que, para este estudio, permitan una explicación adecuada de una variable tan difícilmente modelizable por sus características como es la volatilidad.

En este capítulo se presenta una metodología para pronosticar los parámetros de la distribución condicional normal multivariada, es decir, varianzas y covarianzas (volatilidades y correlaciones). La razón para pronosticar varianzas y covarianzas de los rendimientos es para ser utilizadas en el pronóstico del cambio en el valor de una inversión dado un horizonte, que puede ocurrir de un día a varios meses.

3.1. Pronósticos de Información Implícita contra Histórica.

Los pronósticos de RiskMetrics están basados en datos de precio histórico, aunque en teoría pueden derivarse a partir de otros precios de opciones. Desde un punto de vista práctico, los pronósticos implícitos introducen muchos problemas. Por ejemplo, una volatilidad implícita está enteramente basada en esperanzas dado un modelo particular de valuación. Por eso, como ya se vio, mientras más modelos de valuación asumen que la desviación estándar es constante, la volatilidad implícita tiene dificultades de interpretación que no conducirían a un buen pronóstico si la fórmula utilizada para su derivación no es correctamente especificada.

Si RiskMetrics usara estadística implícita, requeriría precios de todos los instrumentos que componen una cartera de inversión. Actualmente, el universo observable en precios de opciones no es suficientemente grande para proveer un conjunto completo de estadística implícita; generalmente solo el intercambio de opciones son fuente fidedigna de precios. En particular, el número de correlaciones implícitas que pueden ser derivadas a partir de los precios de opciones es insignificante

comparado con el número de correlaciones requeridas para la estimación de riesgos de carteras conformadas con varios tipos de bienes.

La investigación empírica ha comparado la capacidad de pronóstico de los modelos de volatilidad implícita e histórica. La evidencia de la mayor capacidad de pronóstico de la volatilidad histórica sobre la implícita es variada, dependiendo de las series de tiempo consideradas. Por ejemplo, investigadores han notado que, previa investigación, se puede concluir que las predicciones de la volatilidad obtenidas a partir de los precios de opciones son mejores predicciones de la volatilidad futura que las desviaciones estándar calculadas con los datos de precios históricos.

Por otra parte, algunos autores concluyen de una manera confiable que los pronósticos GARCH (base histórica), están lejos de realizar pronósticos de volatilidad implícita. Como la desviación estándar implícita toma las esperanzas de mercado, y los modelos de series de tiempo confían únicamente en información pasada, estos modelos pueden ser combinados para pronosticar la desviación estándar de los resultados.

3.2. Metodología de Pronóstico RiskMetrics

RiskMetrics utiliza promedios móviles exponenciales (EWMA) para pronosticar varianzas y covarianzas de la distribución normal multivariada. Esta aproximación tan simple, representa una mejora sobre el método tradicional de pronóstico de volatilidad que se apoya en los promedios móviles con pesos fijos. Este último modelo hace referencia al modelo de promedios móviles simples (SMA).

3.2.1. Estimación de la Volatilidad y Pronóstico.

Una manera de capturar las características dinámicas de la volatilidad es usar promedios móviles exponenciales de observaciones históricas donde las últimas observaciones llevan el mayor peso en la estimación de la volatilidad. Esta aproximación tiene dos ventajas importantes sobre el modelo de pesos iguales. Primero, la volatilidad reacciona más rápido a alteraciones en el mercado si los datos más recientes tienen mayor peso que los pasados. Segundo, siguiendo las alteraciones, la volatilidad disminuye exponencialmente conforme el peso de las observaciones alteradas cae. En contraste, el uso de promedios móviles simples conduce a cambios relativamente bruscos en la desviación estándar una vez que la alteración cae fuera de la muestra medida, la cual, en la mayoría de los casos puede darse varios meses después de su ocurrencia.

Así, para un conjunto de T rendimientos, se presenta a continuación la ecuación (estimación) usada para calcular la volatilidad con pesos iguales y exponenciales:

Pesos iguales

$$\sigma = \sqrt{1/T \sum_{i=1}^T (r_i - r)^2}$$

Pesos exponenciales

$$\sigma = \sqrt{(1 - \lambda) \sum_{i=1}^T \lambda^i (r_i - r)^2}$$

Donde:

r_t son los rendimientos en el periodo t , calculados así: $r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$

P_t es el precio del bien en el periodo t .

Comparando ambos estimadores, se nota que el modelo de promedios móviles exponenciales depende de un parámetro λ , con $0 < \lambda < 1$, el cual hace referencia a un parámetro de decaimiento. Este parámetro determina los pesos relativos que son aplicados a las observaciones y a los montos efectivos de los datos usados para la estimación de la volatilidad.

Para facilitar los cálculos y el manejo de los datos, se puede tomar el estimador exponencialmente ponderado utilizando la siguiente aproximación:

$$\sum_{j=1}^T \lambda^{j-1} = \frac{1}{(1-\lambda)}$$

Estas expresiones son equivalentes en el límite, es decir, cuando T tiende a infinito. Para propósitos de comparación con el factor de pesos iguales $1/T$, la versión más apropiada para el estimador de ponderación exponencial es:

$$\lambda^{T-1} / \sum_{j=1}^T \lambda^{j-1}$$

en lugar de $(1-\lambda)\lambda^{T-1}$. Cabe resaltar que cuando $\lambda = 1$, la anterior expresión se convierte en $1/T$.

Si se observan los pronósticos de la volatilidad obtenida con promedios móviles de pesos iguales y los de pesos exponenciales en distintos estudios, se puede notar que existe una diferencia importante entre ambos pronósticos. La desviación estándar estimada utilizando promedios móviles exponenciales, rápidamente ha reflejado el estado de acontecimientos sorprendidos, pero también ha introducido disminuciones en la volatilidad para los meses posteriores a los acontecimientos. La estimación de la volatilidad para seis meses con promedios móviles simples tardó más en registrar la alteración en el mercado. Estos hechos sugieren que la estimación con promedios móviles exponenciales es más satisfactoria, ya que dada una frecuente actualización,

incorpora las alteraciones externas mejor que los promedios móviles simples, así también proporciona una medida más realista de la volatilidad actual.

Aunque la estimación con promedios móviles exponenciales sea más sofisticada que la de promedios móviles simples, no resulta compleja su implementación. Apoyando esta afirmación y a manera de ejemplo, se presentan los cálculos necesarios para obtener las estimaciones de la volatilidad con promedios móviles simples y exponenciales, basados en 20 datos de la tasa de cambio de USD/DEM (dólares/marcos), tomando una $\lambda = 0.94$ (arbitrariamente) y la media muestral como cero¹⁹.

FECHA	RENDIMIENTO USD/DEM (%)	RENDIMIENTO CUADRADO (%)	PESOS IGUALES	PESOS EXP.	VOLAT. PESOS IGUALES	VOLAT. PESOS EXP.
28-MAR-96	.634	.402	.05	.019	.020	.007
29-MAR-96	.115	.013	.05	.020	.001	.000
1-ABR-96	-.460	.211	.05	.021	.011	.004
2-ABR-96	.094	.009	.05	.022	.000	.000
3-ABR-96	.176	.031	.05	.024	.002	.001
4-ABR-96	-.088	.008	.05	.025	.000	.000
5-ABR-96	-.142	.020	.05	.027	.001	.001
8-ABR-96	.324	.105	.05	.029	.005	.003
9-ABR-96	-.943	.889	.05	.030	.044	.027
10-ABR-96	-.528	.279	.05	.032	.014	.009
11-ABR-96	-.107	.011	.05	.034	.001	.000
12-ABR-96	-.160	.026	.05	.037	.001	.001
15-ABR-96	-.445	.198	.05	.039	.010	.008
16-ABR-96	.053	.003	.05	.041	.000	.000
17-ABR-96	.152	.023	.05	.044	.001	.001
18-ABR-96	-.318	.101	.05	.047	.005	.005
19-ABR-96	.424	.108	.05	.050	.009	.009
22-ABR-96	-.708	.501	.05	.053	.025	.027
23-ABR-96	-.105	.011	.05	.056	.001	.001
24-ABR-96	-.257	.066	.05	.06	.003	.004

Desviación Estándar:	Pesos iguales	0.393
	Pesos exponenciales	0.333

¹⁹ Este ejemplo fue tomado directamente del documento técnico de RiskMetrics.

Se puede notar que la diferencia entre ambas estimaciones se debe a la distinta manera de pesar las observaciones. Mientras que con promedios móviles simples cada observación tiene un peso de 5%, los exponenciales dan un peso de 6% a la observación más reciente y 1.9% a la más antigua.

Una característica importante de los promedios móviles exponenciales es que pueden ser escritos de manera recursiva. Para derivar la ecuación recursiva se hace el supuesto de que se tienen disponibles datos infinitos. Tomando la media muestral como cero, se puede derivar la varianza del pronóstico en $t+1$ si se cuenta con el dato para t :

$$\sigma_{1,t+1|t}^2 = \lambda \sigma_{1,t|t-1}^2 + (1 - \lambda) r_{1,t}^2$$

El pronóstico de volatilidad de RiskMetrics para un día está dado por la siguiente expresión:

$$\sigma_{1,t+1|t} = (\lambda \sigma_{1,t|t-1}^2 + (1 - \lambda) r_{1,t}^2)^{1/2}$$

El subíndice $t+1|t$ quiere decir "el pronóstico para $t+1$ dada información anterior incluyendo t ". Esta notación subraya el hecho de tratar a la desviación estándar (volatilidad) dependiente del tiempo. La ecuación se deriva de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \sigma_{1,t+1|t}^2 &= (1 - \lambda) + (1 - \lambda) \sum_{i=0}^{\infty} \lambda^i r_{1,t-i}^2 \\ &= (1 - \lambda) (r_{1,t}^2 + \lambda r_{1,t-1}^2 + \lambda^2 r_{1,t-2}^2 + \dots) \\ &= (1 - \lambda) r_{1,t}^2 + \lambda (1 - \lambda) (r_{1,t-1}^2 + \lambda r_{1,t-2}^2 + r_{1,t-3}^2) \\ &= \lambda \sigma_{1,t|t-1}^2 + (1 - \lambda) r_{1,t}^2 \end{aligned}$$

3.2.2. Covarianza. Estimación de Correlación y Pronóstico.

El modelo EWMA es usado para construir la covarianza y los pronósticos de correlación de la misma manera como se pronostica la volatilidad, excepto que en lugar

de trabajar con el cuadrado de una serie, se trabaja con el producto de dos series distintas.

Pesos iguales

$$\sigma_{12}^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_{1t} - \bar{r}_1)(r_{2t} - \bar{r}_2)$$

Pesos exponenciales

$$\sigma_{12}^2 = (1 - \lambda) \sum_{t=1}^T \lambda^{t-1} (r_{1t} - \bar{r}_1)(r_{2t} - \bar{r}_2)$$

Análogamente a la expresión para el pronóstico de la varianza, el pronóstico de la covarianza puede también ser calculado en forma recursiva.

Para derivar las correlaciones de los pronósticos, se aplica la correspondiente covarianza y el pronóstico, además la correspondiente covarianza y el pronóstico de la volatilidad. Si se recuerda, esta correlación es la $r_{1,t}$ y $r_{2,t}$, dividida entre el producto de sus desviaciones estándar. Matemáticamente, la predicción de un día con RiskMetrics de la correlación está dada por la expresión:

$$\rho_{12,t+1/t} = \frac{\sigma_{12,t+1/t}^2}{\sigma_{1,t+1/t} \sigma_{2,t+1/t}}$$

Hasta aquí, se han presentado pronósticos de 1 día, definidos del periodo t al periodo $t+1$, donde cada t representa 1 día. Sin embargo, para la mayoría de los inversionistas y gestores de riesgo, es necesario contar con herramientas que permitan estudiar horizontes de pronósticos mucho más grandes que un día.

Ahora, se mostrará cómo construir la varianza (desviación estándar) y covarianza (correlación), usando el modelo EWMA tomando largos intervalos de tiempo. Generalmente se habla del tiempo T (es decir sobre T días) en los pronósticos de la varianza y de la covarianza; respectivamente estos son:

$$\sigma_{1,t+T|t}^2 = T\sigma_{1,t+1|t}^2$$

$$\rho_{1,t+T|t} = \frac{T\sigma_{12,t+1|t}^2}{\sqrt{T}\sigma_{1,t+1|t}\sqrt{T}\sigma_{2,t+1|t}} = \rho_{1,t+1|t}$$

Es importante hacer notar que los diversos días de pronósticos son simples múltiplos de un día de pronósticos. Por ejemplo, si se define un mes como equivalente a 25 días, entonces los pronósticos de la varianza y la covarianza de 1 mes son 25 veces el respectivo a 1 día de pronóstico y la correlación de 1 mes es la misma que la correlación de 1 día.

Implícitamente se asume que, modelando las varianzas y covarianzas como promedios móviles exponenciales, los procesos de varianza son no-estacionarios.

En la práctica, el alcance de los pronósticos de la volatilidad puede algunas veces, conducir a resultados que no tienen mucho sentido; con mayor frecuencia, donde el alcance de las volatilidades estimadas muestran ciertos problemas tales como:

- Cuando el precio/tasa tiene retorno-medio.
- Cuando las volatilidades son limitadas por el movimiento potencial en tasas y precios.
- Cuando se estiman volatilidades optimizadas para pronosticar cambios sobre un horizonte particular y son usadas para otro horizonte (por ejemplo, pasar de una diaria a una anual).

3.2.3. Estimación de los Parámetros del Modelo RiskMetrics.

Aquí se tratarán dos importantes temas que interesan para estimar la volatilidad y correlación de RiskMetrics. El primer tema concierne a la estimación de la media muestral. En la práctica, cuando se hacen pronósticos de correlación y volatilidad, regularmente se fija la media muestral en cero. El segundo tema involucra la estimación del factor de decaimiento exponencial que es usado en los pronósticos de correlación y volatilidad.

3.2.3.1. Tamaño de la Muestra y Estimación.

Cuando se deben estimar o pronosticar medias, desviaciones estándar y correlaciones, lo que se desearía es obtener los mejores resultados. Para esto, hay que mencionar que la confianza se mide por el error estándar de la estimación o pronóstico; en general, entre menor sea el error estándar, mayor es la confianza en la estimación. Es importante usar la mayor muestra disponible cuando se calculan estas estadísticas. Se ilustra la relación entre el tamaño de la muestra y el intervalo de confianza. Para una fácil exposición, se usaran muestras estadísticas de igual importancia. Los resultados presentados a continuación nos llevan al caso de las estadísticas exponenciales.

3.2.3.2. La Media Muestral.

Una característica interesante de la estimación de la media muestral es que la media estimada no depende del número de observaciones usado para construirla. La media muestral de los rendimientos para un periodo $t = 1...T$ es:

$$r = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) = \frac{1}{T} (P_T - P_0)$$

Se puede ver que el estimador de la media muestral depende solo de la primera y de la última observación de los precios; todos los demás precios se descartan del cálculo. Este estimador no depende del número de precios observados entre $t=0$ y $t=T$, ni tampoco de la longitud del periodo de la muestra.

Para reducir la inseguridad e imprecisión de la media estimada, se debe ser más preciso al fijar la media en algún valor que sea consistente con la teoría financiera. En RiskMetrics, se asume que el valor de la media de los rendimientos diarios es cero. Esto es, la estimación de la desviación estándar está centrada alrededor del cero. De manera similar, cuando se calcula la covarianza y la desviación del rendimiento, son tomadas alrededor del cero.

3.2.3.3. Volatilidad y Correlación.

Los pronósticos de volatilidad y correlación basados en el modelo EWMA requieren elegir un valor aproximado del factor de decaimiento λ , es importante determinar un número efectivo de observaciones históricas para ser usadas en los pronósticos de la volatilidad y la correlación.

Se puede calcular el número de días efectivos usados por los pronósticos de la varianza (volatilidad) y covarianza (correlación). Para hacer esto se debe usar la métrica:

$$\Omega_k^m = (1 - \lambda) \sum_{t=k}^m \lambda^t$$

Y, fijando Ω_t^∞ igual al valor del nivel de tolerancia (Y_L), se resuelve para K . Así, el número efectivo de días de los datos usados por el modelo EWMA está dado por:

$$K = \frac{\ln Y_L}{\ln \lambda} \dots (1)$$

La ecuación anterior se deriva como sigue:

$$\Omega_t^\infty = (1 - \lambda) \sum_{i=k}^{\infty} \lambda^i = Y_L$$

Lo cual implica que:

$$\lambda^k (1 - \lambda)(1 + \lambda + \lambda^2 + \dots) = Y_L$$

Resolviendo esta ecuación para K obtenemos la ecuación (1).

3.2.3.4. Elección del Factor de Decaimiento.

Aquí, se dará a conocer la forma en la que se determina el factor de decaimiento λ que es usado para producir los pronósticos de volatilidad y correlación de RiskMetrics. Primero, se describe el problema general de elegir el factor óptimo para que la volatilidad y la correlación sean consistentes con su respectiva matriz de covarianzas. Luego, se discutirá cómo RiskMetrics elige estos dos factores óptimos de decaimiento.

RiskMetrics produce pronósticos de volatilidad y correlación sobre 480 series de tiempo. Esto requiere 480 pronósticos de varianza y 114,960 pronósticos de covarianza. Desde que estos parámetros comprenden una matriz de covarianzas, el factor de

decaimiento óptimo para cada pronóstico de varianza y covarianza no es independiente de ningún otro.

Para que esto quede más claro, se ilustrará este concepto con un simple ejemplo que consiste en dos series de rendimiento r_1 y r_2 . La matriz de covarianzas asociada con estos rendimientos esta dada por:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1^2(\lambda_1) & \sigma_{12}^2(\lambda_3) \\ \sigma_{21}^2(\lambda_3) & \sigma_2^2(\lambda_2) \end{bmatrix}$$

Se escribe cada parámetro explícitamente como función de cada factor de decaimiento. La matriz de covarianza, Σ , es una función de 3 factores de decaimiento, λ_1 , λ_2 , y λ_3 . Ahora Σ , que está propiamente definida, debe contener ciertas propiedades. Debe ser tal, que se cumplan las tres siguientes condiciones se cumplan:

1. La varianzas σ_1^2 y σ_2^2 no pueden ser negativas.
2. La covarianzas σ_{12}^2 y σ_{21}^2 deben ser iguales, es decir, Σ debe ser simétrica.
3. La correlación entre r_1 y r_2 , debe encontrarse en el intervalo $[-1, 1]$.

Con esto, los factores de decaimiento deben ser elegidos de tal forma que no solo produzcan buenos pronósticos de varianzas y covarianzas futuras, sino que también los valores de estos factores sean consistentes con las propiedades de la matriz de covarianzas a la cual pertenecen.

En teoría, mientras sea posible elegir factores óptimos de decaimiento que sean consistentes con sus respectivas matrices de covarianza, el método no debe presentar problema alguno, sin embargo, en la práctica esta tarea es muy compleja cuando se tienen matices de covarianzas grandes (tales como las que produce RiskMetrics que

contienen 140,000 elementos). De tal modo que es necesario poner alguna estructura (restricciones) a los factores λ 's de decaimiento óptimos.

Para esto, RiskMetrics aplica un factor de decaimiento a la matriz de covarianza entera. Esto es, se usa un factor de decaimiento para la matriz de volatilidad y correlación diaria y un factor para la matriz de volatilidad y correlación mensual. Este factor es determinado por los pronósticos individuales de varianza de 450 series de tiempo.

A continuación se describe una medida aplicada por RiskMetrics para determinar el factor óptimo de decaimiento, es decir, el factor de decaimiento que provee el pronóstico de mayor seguridad.

3.2.3.4.1. Criterio del Error Cuadrático Medio (RMSE).

Para empezar, se tiene que la definición al tiempo $t + 1$ del pronóstico de la varianza del rendimiento r_{t+1} , hecho un periodo antes es simplemente $E_t[r_{t+1}^2] = \sigma_{t+1}^2$, es decir, el valor esperado de la raíz del rendimiento del periodo anterior.

De manera similar, la definición al tiempo $t+1$ del pronóstico de covarianza entre dos series de rendimientos del tiempo $r_{1,t+1}$ y $r_{2,t+1}$ hechas en un periodo anterior es $E_t[r_{1,t+1} r_{2,t+1}] = \sigma_{12,t+1}$. En general, este resultado se mantiene para cualquier pronóstico hecho al tiempo $t+j$, $j \geq 1$.

Ahora, si se define el error del pronóstico de varianza como $\varepsilon_{t+1} = r_{t+1}^2 - \sigma_{t+1}^2$ entonces el valor esperado de este error es cero, es decir, $E_t[\varepsilon_{t+1}] = E_t[r_{t+1}^2] - \sigma_{t+1}^2 = 0$. Basado en esta relación, un requerimiento natural para elegir λ es minimizar los cuadrados de los errores promedio.

La predicción del error cuadrático medio esta dado por:

$$RMSEv = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_{t+1}^2 - \sigma_{t+1}^2(\lambda))^2}$$

donde el pronóstico del valor de la varianza esta escrito explícitamente como función de λ .

En la practica, comúnmente se encuentra al factor de decaimiento óptimo buscando el menor RMSE sobre los diferentes valores de λ . Esto es, buscamos el factor de decaimiento que produce el mejor pronóstico.

Aunque RiskMetrics no determina la seguridad del pronóstico de covarianza, resultados similares a estos para la varianza pueden ser derivados por pronósticos de covarianza, es decir, el error del pronóstico de covarianza es $\varepsilon_{r2, t+1|t} = r_{1,t+1}r_{2,t+1} - \sigma_{12,t+1|t}^2$ tal que $E_t[\varepsilon_{r2, t+1|t}] = E_t[r_{1,t+1}r_{2,t+1}] - \sigma_{12,t+1|t}^2 = 0$.

y

$$RMSEc = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (r_{1,t+1}r_{2,t+1} - \sigma_{12,t+1|t}^2(\lambda))^2}$$

La medida presentada arriba es puramente estadística en naturaleza. Para propósitos prácticos ésta no puede ser óptima, debido a que otros factores entran en juego para determinar el mejor pronóstico. Por ejemplo, el factor de decaimiento debe permitir suficiente estabilidad en los pronósticos de varianza y covarianza de tal manera que éstos sean útiles para quien no actualiza sus sistemas con bases diarias.

Capítulo 4. Estimación de la Volatilidad con RiskMetrics.

4.1. Estimación de la Volatilidad.

En el capítulo anterior se vio que una de las formas de capturar el comportamiento de la volatilidad es determinar promedios móviles exponenciales de los datos históricos de la volatilidad, esto con el objetivo de que las últimas observaciones tengan un mayor peso para la estimación. Este enfoque tiene dos importantes ventajas para este trabajo, por un lado permite que la volatilidad reaccione de manera más rápida a "shocks" en el mercado dado que los datos más recientes tienen un mayor peso que los datos más antiguos; también, en caso de ocurrir un "shock" muy grande en los rendimientos, inmediatamente la volatilidad descenderá de forma exponencial y su impacto no se verá reflejado muchos períodos después.

4.2. El Estimador Exponencial de la Volatilidad.

$$\hat{\sigma} = \sqrt{(1-\lambda) \sum_{i=1}^T \lambda^{i-1} (r_i - \bar{r})^2}$$

Este estimador depende del parámetro λ ($0 < \lambda < 1$), el cual es conocido como el parámetro *decay* (o de *decaimiento*), este parámetro determina el peso relativo que se aplica a las observaciones (rendimientos).

Una de las características más importantes es que este estimador puede ser expresado de forma recursiva, la cual es usada para hacer un pronóstico de la volatilidad. Se supone aquí que se dispone de una cantidad infinita de información y que la media muestral es cero para obtener el pronóstico del período $t+1$.

Dada la información disponible en t , la forma de determinar $\hat{\sigma}_{t+1}$ es:

$$\hat{\sigma}_{t+1} = \lambda \sigma_{t,t-1}^2 + (1-\lambda)r^2, \quad (1)$$

La especificación del pronóstico es consistente con los datos observados para series de rendimientos.

4.3. Método RMSE (Root Mean Squared Error).

Si se define el error pronosticado de la varianza como $\varepsilon_{t+1,t} = r^2_{t+1} - \hat{\sigma}_{t+1,t}^2$, se sigue directamente que el valor esperado del error pronosticado es $E_t[\varepsilon_{t+1,t}] = E_t[r^2_{t+1}] - \hat{\sigma}_{t+1,t}^2 = 0$. La relación anterior determina que la forma de escoger λ es minimizar los errores promedio al cuadrado. Si el procedimiento descrito anteriormente se aplica al pronóstico diario de la varianza, se obtiene que el error esta dado por:

$$RMSE_V = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(r^2_{t+1} - \hat{\sigma}_{t+1,t}^2(\lambda) \right)^2}$$

Donde el valor pronosticado de la varianza es escrito explícitamente como función de λ .

La estimación para el factor λ se basa en encontrar el menor $RMSE$ para diferentes valores de λ , es decir, se busca el factor *decay* que produzca la mejor estimación (que minimice la medida del pronóstico).

4.4. Aplicación y Resultados.

Para la aplicación se consideran los rendimientos (del tipo de cambio) de dos años, 1994 y 1995, donde $T=503$ datos, todos los posibles para esos dos años, y como se vio, entre mayor sea la cantidad de datos disponibles son mejores los resultados que proporciona el método; debido a que "shocks" en las variables no impactan durante un período de tiempo prolongado, se considera que en la estimación de λ sólo se debe incluir la cantidad de datos para los cuales se vaya a calcular la estimación de la volatilidad. Un punto importante a resaltar, es que en la estimación de la volatilidad diaria dada la cantidad de datos se asegura un nivel de confianza de al menos 99% en el cálculo de λ .

La estimación del parámetro *decay* se realiza tomando en cuenta la volatilidad diaria, de acuerdo a la definición del estimador exponencial de la volatilidad arriba mencionado. Se toman valores para λ a partir de 0.0 y hasta 1.0, se utiliza como variación 0.01 y se calcula el *RMSE* de acuerdo a la definición, calculando la volatilidad involucrada con la estimación y no con la predicción. La tabla siguiente contiene el parámetro λ obtenido con este procedimiento, sólo se expone el *RMSE* con incrementos de 0.05 por simplicidad ya que la prueba se realizó con incrementos del 0.01.

λ	RMSE	λ	RMSE
0.01	0.0024214782737	0.65	0.0024214782691
0.05	0.0024214782737	0.70	0.0024214782683
0.10	0.0024214782736	0.75	0.0024214782658
0.15	0.0024214782735	0.80	0.0024214782466
0.20	0.0024214782733	0.85	0.0024214780931
0.25	0.0024214782731	0.90	0.0024214771123
0.30	0.0024214782729	0.95	0.0024214722752
0.35	0.0024214782725	0.96	0.0024214671646
0.40	0.0024214782721	0.97	0.0024214327611
0.45	0.0024214782717	0.98	0.0024211612711
0.50	0.0024214782711	0.99	0.0024195495573
0.55	0.0024214782705	1	0.0024214782740

Se puede verificar directamente en la tabla que $\lambda = 0.99$ es el parámetro óptimo ya que registra el menor *RMSE*. Ahora, este valor λ con menor *RMSE*, será el valor *decay* utilizado para realizar la predicción de la volatilidad, que para este estudio, será considerada como una estimación, es decir, la serie de volatilidades estimadas se calcula con base a la ecuación (1).

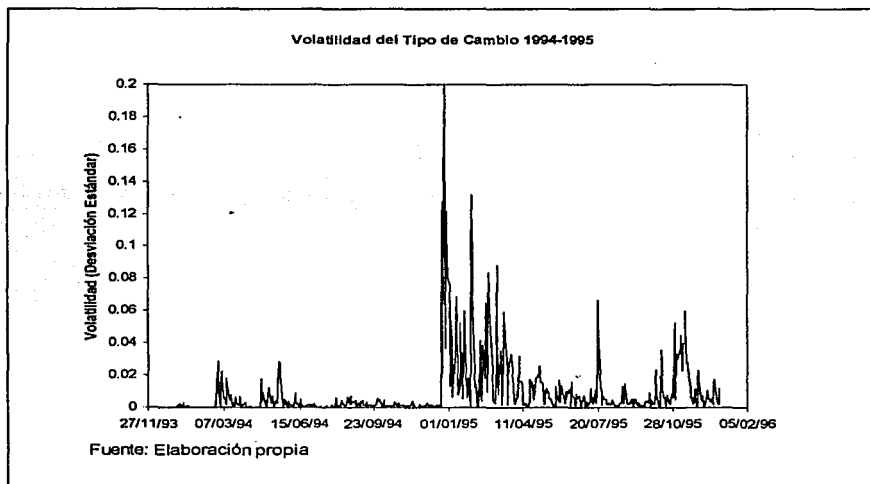
Con esta información, se obtuvieron los siguientes resultados, aquí sólo se muestran las estimaciones de la volatilidad mensuales durante 1994 y 1995 igualmente por simplicidad porque las estimaciones obtenidas son de periodicidad diaria.

Fecha	Volatilidad	Fecha	Volatilidad
31/01/94	0.00003736027	10/01/95	0.03722844278
28/02/94	0.02819096892	11/01/95	0.03640911319
30/03/94	0.00077858680	12/01/95	0.06868213472
29/04/94	0.00931135945	13/01/95	0.00788877712
31/05/94	0.00019537538	16/01/95	0.01219679061
30/06/94	0.00004625463	17/01/95	0.05254768817
29/07/94	0.00172422943	18/01/95	0.01814567581
31/08/94	0.00104731166	19/01/95	0.03368678662
30/09/94	0.00390031772	20/01/95	0.00578075340
31/10/94	0.00128040429	23/01/95	0.05940905177
30/11/94	0.00049058527	24/01/95	0.01815134629
19/12/94	0.00181710537	25/01/95	0.01184324311
20/12/94	0.00085303363	26/01/95	0.00613011519
21/12/94	0.00078002689	27/01/95	0.01860046023
22/12/94	0.12780787655	30/01/95	0.00255190458
23/12/94	0.01892928627	31/01/95	0.00091044151
26/12/94	0.20013758647	28/02/95	0.02849469670
27/12/94	0.03691188654	31/03/95	0.00208071571
28/12/94	0.07345419084	28/04/95	0.01762834386
29/12/94	0.12174048116	31/05/95	0.00352524598
30/12/94	0.07950055647	30/06/95	0.00593748858
02/01/95	0.07509321937	31/07/95	0.00520679997
03/01/95	0.01333247845	31/08/95	0.00208445066
04/01/95	0.05334097716	29/09/95	0.00492603373
05/01/95	0.04283700484	31/10/95	0.00526054349
06/01/95	0.00690251936	30/11/95	0.00345343479
09/01/95	0.02552323163	29/12/95	0.01168365917

Las estimaciones obtenidas en realidad se basaron en observaciones diarias del valor del tipo de cambio, cabe aclarar que aquí solamente se incluye el dato obtenido

para la fecha que se indica, únicamente como referencia y no como un promedio mensual, como regularmente se hace cuando se desea hacer otro tipo de cálculo. Se decidió incluir observaciones diarias desde el 19 de diciembre de 1994 y hasta el 31 de enero de 1995 con el único objetivo de observar el nivel de volatilidad después de la devaluación.

Para ver con mayor claridad el nivel de volatilidad que registró el tipo de cambio en el periodo de estudio se muestra el siguiente gráfico, en él, se puede ver inmediatamente que el tipo de cambio se mostró muy volátil a finales de diciembre de 1994 y principios de 1995.



Uno de los principales objetivos de este trabajo ha sido alcanzado aquí, se logró estimar la volatilidad del tipo de cambio con la metodología RiskMetrics logrando obtener los resultados que se esperaban, el tipo de cambio se mostró muy volátil

inmediatamente después de la devaluación como se puede constatar, tanto en el gráfico como en la tabla de estimaciones mostradas.

4.5. Una Regresión Simple.

Lo único que falta ahora es tratar de "explicar", en base al marco económico, a la volatilidad, es decir, verificar qué variables macroeconómicas pudieron ser las causantes de estos registros desmedidos de volatilidad que presentó el tipo de cambio en su momento.

En el capítulo 1 se expuso a grandes rasgos lo ocurrido antes, durante y después del estallido de la crisis económica y financiera acontecida en diciembre de 1994. Al final, se citaron las variables macroeconómicas que a criterio del autor están altamente involucradas con la volatilidad del tipo de cambio.

El objetivo de este apartado es tratar de explicar el comportamiento de la volatilidad (variable endógena) en función de otras variables explicativas (o exógenas), esto mediante una regresión simple, el caso de las relaciones lineales multivariantes por ejemplo.

Las variables exógenas para este estudio son la tasa de interés de México (CETES), la tasa de interés de Estados Unidos (PRIME para este estudio), el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) y la Inflación (INFLAC). Por supuesto, la variable endógena es la volatilidad.

Es importante decir que sólo se incluyen aquí datos de 1995 con periodicidad quincenal, esto debido a que el INPC presenta solamente este tipo de información. Para los datos que tenían una periodicidad diaria o semanal, se tomó solo el promedio quincenal. Se tomó la decisión de incluir solo datos del año de 1995 porque es en este

año en donde se presentó con mayor intensidad la volatilidad, claramente se pudo constatar en el gráfico.

La regresión que se desea utilizar es la siguiente:

$$\text{LOG(VOLAT)} = C(1) + C(2) * \text{PRIME} + C(3) * \text{CETES}(-1) + C(4) * \text{INPC} + C(5) * \text{INFLAC}$$

El objetivo de incluir LOG(VOLAT) es obtener un ajuste más fiel, como lo dice Johnston (1997), el tomar un logaritmo en la variable dependiente lleva a obtener una ecuación de crecimiento constante, en este caso, se esperaría obtener una ecuación de decrecimiento constante de acuerdo a la gráfica de la volatilidad mostrada después del año de 1994. Además, por construcción, la volatilidad es positiva siempre, así que una ecuación de la forma:

$$\text{VOLAT} = e^{C(1) + C(2) * \text{PRIME} + C(3) * \text{CETES} + C(4) * \text{INPC} + C(5) * \text{INFLAC}}$$

es adecuada para cumplir con la condición de no negatividad para la volatilidad. Es por estas razones que se decide incluir esta regresión (en realidad, la primera es una transformación de esta última, es un modelo de crecimiento exponencial).

La inclusión de una variable con retraso, los CETES(-1), se hace con base a lo expuesto en el capítulo 1, en México no se contaba con información internacional de manera oportuna, luego, si se desea realizar un análisis de manera fiel y equitativa, se debería tomar esta variable con un periodo de retraso para hacer equivalente el uso de la tasa PRIME de Estados Unidos. Con respecto a los datos INFLAC e INPC, estos son los correspondientes a la quincena anterior tal y como lo aclara el INEGI en su página de Internet.

Siendo así, las estimaciones de los coeficientes de este modelo son obtenidas con la metodología econométrica expuesta en Greene (1993) y Johnston (1997). Para simplificar los cálculos, se decidió utilizar el paquete estadístico y econométrico

Econometric Views (en su versión 3.1) tal y como lo sugiere Johnston. Los resultados son expuestos en el siguiente cuadro:

Dependent Variable: LOG(VOLAT)				
Method: Least Squares				
Date: 03/03/02 Time: 23:53				
Sample(adjusted): 2 24				
Included observations: 23 after adjusting endpoints				
LOG(VOLAT)=C(1)+C(2)*PRIME+C(3)*CETES(-1)+C(5)*INPC+C(6)*INFLAC				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C(1)	7.987963	0.215898	36.99877	0.0000
C(2)	-0.011481	0.008987	-1.277623	0.2176
C(3)	-1.337058	0.526668	-2.538714	0.0206
C(5)	0.002210	0.000580	3.808018	0.0013
C(6)	-0.529875	0.037228	-14.23317	0.0000
R-squared	0.962371	Mean dependent var	4.908753	
Adjusted R-squared	0.954009	S.D. dependent var	0.111680	
S.E. of regression	0.023946	Akaike info criterion	-4.436354	
Sum squared resid	0.010322	Schwarz criterion	-4.189508	
Log likelihood	56.01807	F-statistic	115.0882	
Durbin-Watson stat	1.854378	Prob(F-statistic)	0.000000	

Puede verificarse que el valor de R^2 es 0.962371 (muy cercano a 1), lo cual es un indicativo de que se obtuvo un buen ajuste de las variables. Un valor de R^2 de 1 indica un ajuste perfecto, en este caso, se puede decir que las variables exógenas explican en un 96% a la variable dependiente. Sin embargo, según la teoría econométrica, no es el único parámetro que se debe verificar para decir que la ecuación obtenida es una buena "explicación" de la volatilidad. Cabe mencionar que el valor de R^2 ajustada es un mejor parámetro porque toma en cuenta el número de variables explicativas "castigando" el nivel de explicación a un mayor número de las mismas, pero aún así, este nivel es muy alto, del 95%.

ESTA TESIS NO SALI
DE LA BIBLIOTECA

4.5.1. Pruebas de Eficiencia.

4.5.1.1. Variables Redundantes y Omitidas.

La teoría econométrica sugiere probar la posible existencia de redundancia en las variables, es decir, encontrar variables en la regresión que no explican a la variable dependiente o que tal vez su efecto está implícito ya en alguna otra. Para esto, se decide igualmente por simplicidad utilizar el paquete econométrico Eviews. Se presentan a continuación las pruebas para cada una de las variables, el cuadro que se muestra par cada variable es resumido, únicamente se muestra la parte que es relevante para el análisis. La hipótesis a contrastar es para cada caso:

H₀: La variable es reduntante (su coeficiente es cero en la regresión)

H₁: La variable no es redundante

Cabe mencionar que cada una de las pruebas es hecha a un nivel de significancia del 5% (95% de confianza), y por lo tanto, la hipótesis nula será rechazada cuando el "p-value" sea menor a 0.05.

Redundant Variables: PRIME			
F-statistic	1.632320	Probability	0.217615
Log likelihood ratio	1.996525	Probability	0.157660

Redundant Variables: CETES(-1)			
F-statistic	6.445069	Probability	0.020579
Log likelihood ratio	7.039305	Probability	0.007974

Redundant Variables: INPC			
F-statistic	14.50100	Probability	0.001288
Log likelihood ratio	13.59068	Probability	0.000227

Redundant Variables: INFLAC			
F-statistic	202.5831	Probability	0.000000
Log likelihood ratio	57.63577	Probability	0.000000

Se puede verificar que el "p-value" para todas las variables, excepto para la variable PRIME, es menor a 0.05. Esto se pudo constatar desde que se obtuvo la regresión, los "p-value" son los mismos. Esta prueba sólo se incluyó a manera de ilustración. Hubiese sido útil si se hubiera deseado probar que los coeficientes de dos variables son cero en conjunto, esto es, que si el coeficiente de una es cero, el de la otra también.

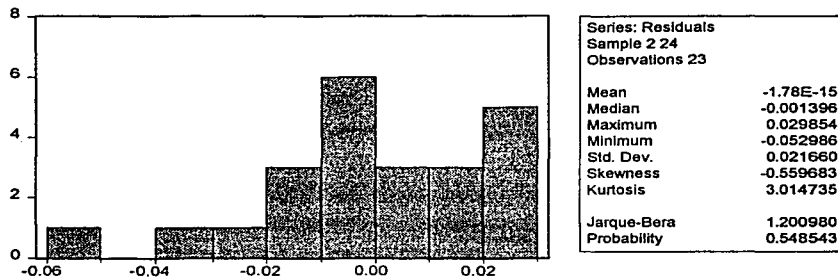
4.5.1.2. Normalidad de los Residuales.

Un supuesto que se hace para obtener los coeficientes de la regresión es que los residuales se distribuyen normalmente. Para verificar que realmente se cumple el supuesto se realiza una prueba de normalidad. Con ella, se obtiene un estadístico llamado "Jarque-Bera", el "p-value" que se obtiene es decisivo para contrastar las siguientes hipótesis:

H₀: Los residuales se distribuyen normalmente.

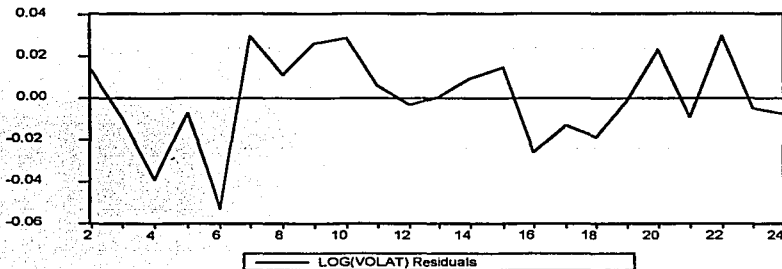
H₁: Los residuales no se distribuyen normalmente.

Los resultados que se obtienen en Eviews son los siguientes:



El "p-value" obtenido es $p=0.548543$, por consiguiente no se puede rechazar la hipótesis nula, es decir, se acepta que los residuales siguen una distribución Normal y con esto, se cumple el supuesto.

Es conveniente incluir un gráfico de los residuales en el tiempo:



Las líneas punteadas en el gráfico funcionan como un parámetro de explicación, si la gráfica "sale" de la banda construida por las dos líneas, indica que una parte de la variable dependiente no es explicada por el modelo, sin embargo, aquí el problema no es grave, se sale pero siempre regresa y nunca sale demasiado.

4.5.1.3. Punto de Ruptura.

Para comprobar si un punto en el tiempo es de ruptura, es decir, se presenta un cambio estructural, las variables cambian drásticamente de un periodo a otro, se realiza la llamada prueba de Chow o Chow Breakpoint Test. En ella, la prueba de hipótesis es la siguiente:

H_0 : No hay cambio estructural

H_1 : Hay cambio estructural

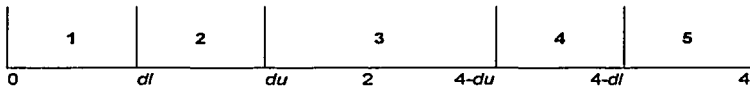
Nuevamente recurriendo a Eviews, se obtiene el siguiente cuadro, donde las hipótesis se contrastan a un nivel de significancia del 5%.

Chow Breakpoint Test: 24			
F-statistic	14.60354	Probability	0.000000
Log likelihood ratio	43.02427	Probability	0.000000

Es imprescindible aclarar aquí que esta prueba se realizó con los datos de 1994 y 1995, claramente la hipótesis nula es rechazada a cualquier nivel, con toda seguridad se afirma que hay cambio estructural en el periodo 24, es decir, al final de año de 1994. Esta es la razón principal por la que se decidió realizar la regresión a partir de 1995, el análisis con los datos de 1994 incluidos es irrelevante porque en este último año se presentó una volatilidad casi nula.

4.5.1.4. Autocorrelación.

De acuerdo a la teoría econométrica, se debe verificar que no exista autocorrelación en los residuales del modelo, para hacer esto, se procede de la siguiente manera. Primero se obtiene el estadístico Durbin-Watson que en este caso es $d=1.854378$ según el cuadro de resultados obtenido con la regresión. Luego, se debe verificar el siguiente esquema:



En donde los números 1,2,3,4,5 corresponden a zonas de rechazo o indecisión a saber:

1. Se rechaza H_0 , hay autocorrelación positiva.
2. No se puede concluir.
3. No se rechaza H_0 .
4. No se puede concluir.
5. Se rechaza H_0 hay autocorrelación negativa.

con la prueba de hipótesis siguiente:

H_0 : No hay autocorrelación

H_1 : Hay autocorrelación

Los valores d_l y d_u son obtenidos con una metodología en cierta forma compleja a pesar de que solamente dependen del tamaño de las observaciones y del número de regresores. Sin embargo, en Johnston (1995) se incluyen tablas de los valores ya calculados. Se escogió un nivel de significancia del 5%, entonces, con 24 observaciones y 4 regresores, se obtiene que:

$$d_l=1.013, d_u=1.775$$

En este caso $d=1.854378$, por lo tanto se incurre en el caso 3 y no se puede rechazar H_0 , lo que quiere decir que es aceptada con un 95% de confianza, esto es, no existe autocorrelación en los residuales.

Es importante aclarar que aunque el modelo incluye una variable rezagada, ésta variable no es dependiente, es independiente, por lo que el estadístico Durbin-Watson sigue siendo válido para mostrar que no existe autocorrelación. Se menciona esto porque la teoría dice que al existir una variable rezagada dependiente, el estadístico se vuelve inutilizable, claramente este no es el caso.

Para corroborar que realmente no existe autocorrelación en los residuales del modelo, se ha decidido incluir una prueba más, la llamada "LM Test" o "Lagrange Multiplier Test ". Esta prueba también puede ser obtenida mediante Eviews y no sólo sirve para probar autocorrelación de primer orden, sino también para probar autocorrelación de segundo orden, esto es, cuando existe un rezago en las variable dependiente o cuando existen dos rezagos respectivamente. Es importante mencionar que esta prueba, a diferencia de la se realiza con el estadístico Durbin-Watson, permite incluir rezagos de la variable dependiente sin ningún problema, por ello es una prueba más potente. No obstante, para este trabajo solamente se utiliza para reafirmar la no-existencia de autocorrelación porque la regresión no incluye variables dependientes rezagadas que tratan de explicar a la variable dependiente (la volatilidad).

La prueba se realizó con un rezago solamente, es decir, se prueba autocorrelación de primer orden al igual que lo hecho con el estadístico Durbin-Watson. La prueba de hipótesis correspondiente es la siguiente:

H_0 : No hay autocorrelación
 H_1 : Hay autocorrelación

A continuación se presenta el cuadro de resultados que muestra Eviews después de realizar la prueba con un 95% de confianza y una significancia del 5%.

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test:				
F-statistic	0.124690	Probability	0.728343	
Obs*R-squared	0.167469	Probability	0.682371	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID				
Method: Least Squares				
Date: 03/17/02 Time: 20:17				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.039343	0.247807	0.158764	0.8757
PRIME	0.002586	0.011769	0.219705	0.8287
CETES(-1)	0.069445	0.574659	0.120846	0.9052
INPC	-0.000112	0.000674	-0.166043	0.8701
INFLAC	-0.006658	0.042572	-0.156404	0.8776
RESID(-1)	0.118221	0.334796	0.353114	0.7283
R-squared	0.007281	Mean dependent var	-1.72E-15	
Adjusted R-squared	-0.284695	S.D. dependent var	0.021660	
S.E. of regression	0.024551	Akaike info criterion	-4.356706	
Sum squared resid	0.010246	Schwarz criterion	-4.060490	
Log likelihood	56.10212	F-statistic	0.024938	
Durbin-Watson stat	1.947843	Prob(F-statistic)	0.999662	

Se puede verificar en el cuadro que el "p-value" correspondiente es $p=0.352015$, y como la prueba se realizó con un nivel de significancia del 5%, la hipótesis nula no puede ser rechazada y, por consiguiente, es aceptada. No existe autocorrelación de primer orden, tal y como lo decía la prueba realizada con el estadístico Durbin-Watson.

4.5.1.5. Heterocedasticidad.

Falta ahora verificar que no exista heterocedasticidad en los residuales, para ello, se usará la prueba de White descrita en Johnston (1997) y Greene (1993). La existencia de heterocedasticidad indica que el comportamiento de las variables en el tiempo no es consistente con el modelo. De nueva cuenta, para simplificar los cálculos, se llevará a cabo esta prueba de White en el programa Eviews. Una vez hecho esto, se obtiene el siguiente cuadro de resultados:

White Heteroskedasticity Test:				
F-statistic	2.948567	Probability	0.036966	
Obs*R-squared	14.43356	Probability	0.071142	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 03/04/02 Time: 01:22				
Sample: 2 24				
Included observations: 23				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.153091	0.206578	-0.741081	0.4709
PRIME	0.000129	0.000769	0.168273	0.8688
PRIME^2	-5.48E-05	0.000115	-0.476348	0.6412
CETES(-1)	0.035305	0.050268	0.702341	0.4940
CETES(-1)^2	-0.224289	1.128970	-0.198667	0.8454
INPC	-0.000169	7.65E-05	-2.214478	0.0439
INPC^2	1.82E-06	6.73E-07	2.710290	0.0169
INFLAC	0.053246	0.070198	0.758516	0.4607
INFLAC^2	-0.004518	0.005950	-0.759332	0.4602
R-squared	0.627546	Mean dependent var	0.000449	
Adjusted R-squared	0.414715	S.D. dependent var	0.000651	
S.E. of regression	0.000498	Akaike info criterion	-12.08470	
Sum squared resid	3.48E-06	Schwarz criterion	-11.64037	
Log likelihood	147.9740	F-statistic	2.948567	
Durbin-Watson stat	2.764444	Prob(F-statistic)	0.036966	

Aquí, la prueba de hipótesis es la siguiente:

H₀: No hay heterocedasticidad

H₁: Hay heterocedasticidad

Siguiendo la metodología descrita en Johnston y Greene, el estadístico de prueba es nR^2 , en este caso igual a $(24) \cdot (0.627546) = 15.061104$. La hipótesis nula será rechazada si $nR^2 > \chi^2_{.05}(8)$, donde el lado derecho de la desigualdad representa el valor de una distribución ji-cuadrada con 8 grados de libertad y 5% de significancia. Los 8 grados de libertad son iguales al número de variables en la regresión auxiliar que aparecen en el cuadro. Ahora, buscando en las tablas para una distribución ji-cuadrada incluidas en Johnston, se obtiene que $\chi^2_{.05}(8) = 15.507$, por lo que hipótesis nula no puede ser rechazada, es decir, se acepta que no existe heterocedasticidad con una confianza del 95%.

De la misma manera que en el caso de existencia de autocorrelación, se usará una segunda prueba para demostrar lo no-existencia de heterocedasticidad. Esta prueba es conocida como "ARCH LM Test", y los resultados son obtenidos con Eviews también. Así, el contraste de hipótesis es el siguiente:

H₀: No hay heterocedasticidad

H₁: Hay heterocedasticidad

La hipótesis nula será rechazada con una confianza del 95% y una significancia del 5%. Al igual que la prueba de White, el estadístico de prueba es: nR^2 , la diferencia es que aquí el criterio de rechazo es el siguiente: $nR^2 > \chi^2_{.05}(1)$, donde el número 1 que se encuentra entre paréntesis representa el grado de heterocedasticidad en los residuales, en este caso es uno porque no hay variables dependientes rezagas. El cuadro de resultados es el siguiente:

ARCH Test:				
F-statistic	0.082177	Probability	0.777318	
Obs*R-squared	0.090024	Probability	0.764146	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 03/17/02 Time: 20:13				
Sample(adjusted): 3 24				
Included observations: 22 after adjusting endpoints				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.000491	0.000179	2.750286	0.0123
RESID^2(-1)	-0.064262	0.224170	-0.286665	0.7773
R-squared	0.004092	Mean dependent var	0.000461	
Adjusted R-squared	-0.045703	S.D. dependent var	0.000664	
S.E. of regression	0.000679	Akaike info criterion	-11.66585	
Sum squared resid	9.22E-06	Schwarz criterion	-11.56666	
Log likelihood	130.3243	F-statistic	0.082177	
Durbin-Watson stat	1.962076	Prob(F-statistic)	0.777318	

Se obtiene aquí que $nR^2=(24)*(0.004092)=0.098208$ y, buscando en las tablas para una distribución ji-cuadrada incluidas en Johnston, se obtiene que $\chi^2_{.05}(1) = 3.841$, por lo que hipótesis nula no puede ser rechazada aquí tampoco, es decir, se acepta que no existe heterocedasticidad con una confianza del 95%.

De acuerdo a las pruebas realizadas, se puede afirmar que el modelo es fiel y no presentará errores en la forma de explicar a la volatilidad. La ecuación final es:

$$LOG(VOLAT) = 7.988 - 0.012*PRIME - 1.337*CETES(-1) + 0.002*INPC - 0.530*INFLAC$$

Aquí, se puede verificar que la tasa PRIME de Estados Unidos mantiene una relación negativa con la volatilidad, al igual que la tasa CETES del periodo anterior y la INFLACIÓN, a diferencia del INPC mantiene una relación positiva con la volatilidad.

Cabe aclarar que al obtener esta ecuación y el cuadro principal, se están al mismo tiempo probando hipótesis sobre los coeficientes de las variables de la forma:

$$H_0: C(i) = 0$$

$$H_1: C(i) \neq 0$$

El valor que determina si la hipótesis nula es rechazada o no, es el llamado "p-value" que aparece en el primer cuadro de resultados obtenidos en Eviews. Si este valor es menor a 0.05 (el nivel significancia), la hipótesis nula es rechazada con un 95% de confianza, en caso contrario, la hipótesis es aceptada.

Revisando los resultados, el único coeficiente con el que no se puede rechazar la hipótesis nula es $C(2)$, el correspondiente a la tasa PRIME, lo cual quiere decir que la variable no es significativa en este análisis, intuitivamente, se acepta que $C(2) = 0$, y esto implicaría que cambios en la tasa PRIME no afectarían a la volatilidad dado que su coeficiente es cero.

Los demás coeficientes no presentan esta característica, por el contrario, la hipótesis nula es rechazada, y se podría decir que a incrementos en la tasa de CETES del periodo anterior y en la INFLACIÓN, se tendrían disminuciones en la volatilidad porque los coeficientes de estas dos variables presentan signos negativos. Por el contrario, incrementos en el INPC provocarían aumentos en la volatilidad del tipo de cambio.

Conclusiones.

Los objetivos primordiales fueron alcanzados. Primero, se logró estimar la volatilidad con la metodología RiskMetrics y, segundo, una vez obtenida esa estimación, la volatilidad pudo ser explicada por otras variables.

La estimación de la volatilidad con RiskMetrics resultó exitosa porque reflejó lo que realmente sucedió después de que estalló la crisis en diciembre de 1994, el tipo de cambio se volvió extremadamente volátil, se puede apreciar claramente en el gráfico obtenido en el último capítulo. Se habría mostrado aquí entonces que la metodología es confiable a pesar de que los pronósticos de RiskMetrics están basados en datos de precio histórico. Resulta razonable concluir esto último porque, como ya se mencionó, desde un punto de vista práctico, los pronósticos implícitos introducen muchos problemas. Además, RiskMetrics utiliza promedios móviles exponenciales para estimar y pronosticar, este hecho representa una mejora sobre el método tradicional de estimación y pronóstico de volatilidad con promedios móviles con pesos fijos.

Así, se puede concluir que una buena forma de capturar las características dinámicas de la volatilidad es usar promedios móviles exponenciales de observaciones históricas donde las últimas observaciones llevan el mayor peso en la estimación de la volatilidad, y como se vio, esta aproximación tiene dos ventajas importantes sobre el modelo de pesos iguales, la volatilidad reacciona más rápido a alteraciones en el mercado si los datos más recientes tienen mayor peso que los pasados y además la volatilidad disminuye exponencialmente conforme el peso de las observaciones alteradas cae, esto resultó extremadamente útil para la elección del tipo de regresión utilizada para explicar la volatilidad.

Con esta estimación, fue posible obtener la regresión mencionada y así explicar la volatilidad con la influencia de otras variables macroeconómicas importantes para la economía mexicana.

La ecuación obtenida con la regresión mostró que todas las variables tienen influencia significativa con una probabilidad del 95% sobre la volatilidad excepto una, la tasa de interés de Estados Unidos, no obstante, este resultado puede ser engañoso. Debido a que se registraron importantes alzas en esta tasa de interés, el lector podría pensar que esto provocaría un alza en la volatilidad, hecho que no es necesariamente cierto porque, es verdad que un alza de este tipo podría provocar muy probablemente un alza en el tipo de cambio, sin embargo, y a pesar de esto, pudiera suceder que esta consecuente alza en el tipo de cambio fuera sostenida y no provocara por supuesto un incremento en la volatilidad. Por lo tanto, se pensaría que un alza en la tasa de interés de Estados Unidos no afectó a la economía mexicana, pero es falso, no afectó a la volatilidad únicamente, seguramente porque, como lo dije antes, sólo provoca incrementos sostenidos en el tipo de cambio.

Asimismo, se pudo constatar que el Índice Nacional de Precios al Consumidor tuvo una influencia positiva sobre la volatilidad, esto se traduce en que, a un incremento en este índice, existía una tendencia a registrar incrementos en la volatilidad del tipo de cambio y, que a un descenso en el mismo, el tipo de cambio debería volverse menos volátil.

Lo contrario sucedió con la inflación registrada y con la tasa CETES que influían negativamente en la volatilidad, esto es, cuando se registraran alzas en estas variables, deberían existir disminuciones en la volatilidad registrada. Esto es hasta cierto punto lógico porque, como en el caso de la tasa de interés de Estados Unidos, se podría incurrir en un error de interpretación. Tal vez un incremento en la tasa CETES por ejemplo, haría incrementar o disminuir el valor del tipo de cambio de manera sostenida y no se registraría un nivel elevado de volatilidad.

A manera de ejemplo, cuando hay un alza en las tasas de interés, a un inversionista por ejemplo le interesaría invertir más en algún instrumento que le pague esta tasa, para ello, si dispone de una cantidad considerable de dólares, debería

venderlos para poder invertir en tal instrumento, luego, se tendría un crecimiento en la oferta de dólares, esto provocaría una disminución del tipo de cambio pero no necesariamente incertidumbre como para ocasionar volatilidad o inestabilidad en el tipo de cambio porque simplemente y sencillamente el alza en el tipo de cambio se debe a un solo hecho (el incremento en la tasa de interés), hecho que es contrario a lo que pasa con el INPC.

Por otro lado, esta ecuación diría que una disminución en cualquiera de estos dos indicadores, estimularía crecimientos en la volatilidad. Regresando al ejemplo de los CETES, se tendría una disminución ahora en la tasa de interés, por lo que el inversionista no estaría tan interesado en seguir invirtiendo en el instrumento que le paga la tasa, tal vez decidiría retirar su inversión e invertir en algún otro bien nacional o en el extranjero, pero esto último implica compra de dólares, sin embargo, no existe la certeza de que los compre porque tiene otras opciones, esto claramente crea incertidumbre. En este caso existiría una mayor probabilidad de registrar un alza en la volatilidad.

Para finalizar, es importante decir que después de un largo periodo de ajustes, la economía mexicana logró estabilizarse hasta tener la situación de hoy en día, donde la volatilidad del tipo de cambio es casi nula debido a que la paridad ha sido muy estable.

Bibliografía.

Bajo, Oscar.; Monés, María Antonia.
"Curso de Macroeconomía"
Ed. Antoni Bosch
México, 1994.

Campbell, John Y.; Lo, Andrew W.; MacKinlay, A. Craig.
"The Econometrics of Financial Markets"
Ed. Princeton University Press.
U.S.A., 1997.

Greene, William H.
"Econometric Analisis"
Ed. Macmillan Publishing Company
2ª Edición. U.S.A., 1993.

Hull, John C.
"Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones"
Ed. Prentice Hall
2ª Edición. México, 1995.

Hull, John C.
"Options, Futures, and Others Derivatives"
Ed. Prentice Hall
3ª Edición. U.S.A., 1997.

Johnston, Jack; Dinardo, John.
"Econometric Methods"
Ed. McGraw-Hill
4ª Edición. U.S.A., 1997.

Jorion, Philippe.
"Value At Risk: The New Benchmark for Controlling Market Risk"
Ed. McGraw-Hill
U.S.A., 1997.

J.P. Morgan/Reuters.
"RiskMetrics – Technical Document"
Morgan Guaranty Trust Company of New York
4ª Edición. U.S.A., 1996.

Natenberg, S.
"Option Volatility and Pricing Strategies"
Ed. Probus Publishing Company Strategies.
U.S.A., 1988.

Organización Para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).
"Estudios Económicos de la OCDE: México, 1995"
Centro de Publicaciones y de Difusión de la OCDE.
México, 1995.

Rivera Ríos, Miguel Angel; Toledo Patiño, Alejandro.
"La Economía Mexicana Después de la Crisis del Peso"
U.A.M. Iztapalapa, U.N.A.M Facultad de Economía, D.G.A.P.A.
México, 1998.

Sachs, Jeffrey D.; Larraín B., Felipe.
"Macroeconomía en la Economía Global"
Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
México, 1994.