TECNOLÓGICO
DE MONTERREY.

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Campus Ciudad de México

Análisis de la Dinámica del Rendimiento de Precios de los Metales Preciosos Mediante Modelos Heterocedásticos Autoregresivos

TESIS QUE PARA RECIBIR EL TÍTULO DE
DOCTORADO EN CIENCIAS ADMINISTRATIVAS
PRESENTA

Jaime Humberto Beltrán Godoy

Director de tesis:
Dr. José Antonio Núñez Mora

Lectores:
Dra. Barbará Ruth Trejo Becerril
Dr. Alejandro Segundo Valdés

TECNOLÓGICO
DE MONTERREY
Biblioteca
Campus Ciudad de México

México D.F., 08 Noviembre 2013

Resumen

El presente trabajo de investigación estudia las variables que afectan el rendimiento de precios *spot* de los metales preciosos: oro, plata y platino. Estos metales son relevantes por sus aplicaciones industriales, en la joyería y finanzas.

La metodología consiste en modelar el rendimiento de precios de los metales mediante el análisis de Causalidad de Granger con la finalidad de detectar relaciones entre variables en el sentido de Granger, así como retroalimentación entre un par de variables. Así mismo, se utilizó el modelo GARCH multivariado, con la finalidad de considerar los rezagos de las variables y determinar si la información previa tenía efecto en la dinámica de las variables.

Las conclusiones permiten determinar que el rendimiento del oro es causado en el sentido de Granger por el rendimiento del platino *spot* y existe una relación bidireccional en el sentido de Granger del oro con la plata, entre el oro y su futuro, entre el oro y el futuro de la plata. Al realizar el estudio mediante el modelo GARCH se determinó que la volatilidad del rendimiento de los precios del oro *spot*, son afectados por el primer rezago del rendimiento de los precios del mismo oro *spot*, así como por el del platino y el del futuro de la plata.

El rendimiento de la plata es causado en el sentido de Granger por el rendimiento de oro y platino *spot*, índice Standard & Poors y el precio futuro del oro. Al realizar el estudio mediante el modelo GARCH se determinó que la volatilidad del rendimiento de los precios de la plata *spot* son afectados por el primer rezago del rendimiento de los precios de la plata y platino *spot*, índice Standard & Poors y el precio futuro del platino.

Al analizar el rendimiento del platino, se determinó que existe una relación bidireccional en el sentido de Granger con rendimiento del tipo de cambio Dólar – Yen, lo cual es concordante con el análisis realizado mediante el modelo GARCH mutivariado que indica que la volatilidad del rendimiento de los precios *Spot* del platino, así como la volatilidad del primer rezago del tipo de cambio Dólar –Yen, tienen un impacto significativo sobre el rendimiento del precio *spot* del platino.

Índice General

Agradecimientos i

Resumen ii

Lista de Tablas iv

Lista de Figuras iv

Introducción vi

1. Historia del Oro, Plata y Platino 1
   1.1. Descubrimiento de los Metales Preciosos 1
   1.2. Fuentes de Suministro de los Metales Preciosos 5
   1.3. Propiedades Valiosas de los Metales Preciosos 7
   1.4. Los Sistemas Monetarios Basados en Metales Preciosos 11
   1.5. El Mercado de Futuros 12
2. Revisión a la Literatura de los Metales Preciosos 20
   2.1. Dinámica de Precios 21
   2.2. Los Precios en el Mercado *Spot* 22
   2.3. Los Precios de Largo Plazo de los Metales 23
   2.4. Investigaciones Financieras de los Metales Preciosos 24
3. Relación Causal entre Variables 36
   3.1. Prueba de Causalidad de Granger 38
   3.2. Aplicaciones de la Prueba de Causalidad de Granger 41
4. Modelos Autoregresivos 49
   4.1. El modelo ARCH 49
   4.2. El modelo GARCH 50
   4.3. El Modelo GARCH Multivariado 53
   4.4. Aplicaciones del Modelo GARCH – M 54
5. Análisis de Datos 61
   5.1. Fuente de Datos 62
   5.2. Periodo de Estudio 62
   5.3. Estadística Descriptiva 62

5.4. Análisis de Correlación 63
5.5. Graficas del Rendimiento de los Metales Preciosos 65
5.6. Análisis de Causalidad 66
5.7. Prueba Dickey Fuller 72
5.8. Análisis Multivariado mediante el Modelo GARCH 74
6. Conclusiones 83
7. Bibliografía 85
8. Apéndice 90

Lista de Tablas

Tabla 1:: Aleaciones Que Dan Origen A Los Colores Comerciales Del Oro 9
Tabla 2: Estadística Descriptiva 63
Tabla 3: Análisis De Correlación 64
Tabla 4: Causalidad Del Oro 66
Tabla 5: Causalidad De La Plata 67
Tabla 6:Causalidad Del Platino 67
Tabla 7: Causalidad Del Dow Jones 68
Tabla 8: Causalidad Del Standard & Poors 68
Tabla 9: Causalidad Del Tipo De Cambio Dólar -Yen 69
Tabla 10: Causalidad Del Tipo De Cambio Dólar - Euro 69
Tabla 11: Causalidad Del Futuro Del Oro 70
Tabla 12: Causalidad Del Futuro De La Plata 70
Tabla 13: Causalidad Del Futuro Del Platino 71
Tabla 14: Retroalimentación De La Causalidad 72
Tabla 15: Prueba Dickey-Fuller 73
Tabla 16: Garch Multivariado Oro *Spot* 74
Tabla 17: Garch Multivariado Plata *Spot* 75
Tabla 18: Garch Multivariado Platino *Spot* 76
Tabla 19: Arch Multivariado Dow Jones 77
Tabla 20: Garch Multivariado Standard & Poors 78
Tabla 21: Garch Multivariado Tipo De Cambio Dólar Yen 79
Tabla 22: Garch Multivariado Tipo De Cambio Dólar - Euro 80
Tabla 23: Garch Multivariado Futuro Del Oro 80
Tabla 24: Garch Multivariado Futuro De La Plata 81
Tabla 25: Garch Multivariado Futuro Del Platino 82

Lista de Figuras

Figura 1: Características De Los Contratos Futuros, Del Oro, Plata Y Platino 18
Figura 2: Rendimiento Del Platino *Spot* 53
Figura 3: Rendimiento Del Oro *Spot*..... 65
Figura 4: Rendimiento De La Plata *Spot*..... 65
Figura 5: Rendimiento Del Platino *Spot* 65
Figura 6: Rendimiento Del Dow Jones 65
Figura 7: Rendimiento Del Tipo De Cambio Dólar – Euro 65
Figura 8: Rendimiento Del Futuro Del Oro..... 65
Figura 9: Rendimiento De La Plata 66
Figura 10: Rendimiento Del Futuro Del Platino 66

Introducción

Los metales preciosos han sido un elemento muy valorado desde la época de las culturas antiguas hasta nuestros días. De acuerdo con German (2005) algunos de los factores que influyen en la fluctuación de sus precios son los choques relacionados con la demanda y los cambios graduales en la tendencia de consumo.

El oro es un metal que ha sido valorado por la mayoría de las sociedades a través de la historia, posee importantes características como su belleza, que le permiten ser utilizado en la joyería; posee gran conductibilidad por lo que es utilizado en aplicaciones electrónicas de alta fidelidad. Su valor como activo financiero le permite ser reserva de valor para los bancos centrales. Todas estas características son amplificadas por el hecho de su extraordinaria escasez en la naturaleza.

La Plata es un importante conductor de electricidad y calor, es el metal más refractivo y sensible a la luz, se ha transformado en el metal de la electrónica, rayos X y fotografía. Hillier (2006) sostiene que la demanda de la plata es dominada por los requerimientos industriales (aproximadamente 40% de la producción anual de plata) y joyería (aproximadamente 45% de la producción anual de plata).

El platino es un metal precioso con aplicaciones relativamente nuevas, y de acuerdo con el sitio Platinum Today de Johnson Matthey Group, a nivel mundial tiene dos principales aplicaciones: la industria de la joyería (en la cual Japón fue pionero a partir de la década de los sesenta) y el convertidor catalítico de tres vías en la industria automotriz inventado en 1970 por los estadounidenses John J. Mooney y Carl D. Keith de Englehard Corporation. Las innovaciones en la industria de la joyería en Japón y de la industria automotriz en los Estados Unidos han permitido el desarrollo del mercado del platino a nivel mundial, siendo en nuestros días el único metal que tiene importantes aplicaciones industriales y decorativas; además el platino es más valioso que el oro.

El oro, la plata y el platino poseen importantes características en común, los tres son utilizados en la joyería, en la industria, como reserva de valor, son comerciados en los

mercados internacionales *spot* y de futuros y han sido materia prima para la elaboración de moneda. Sin embargo, una importante diferencia entre estos metales preciosos es la proporción con la que son requeridos en alguna de las aplicaciones antes mencionadas.

Tomando como fuente de datos sus precios en el mercado de *spot* y de futuros, se utilizará el análisis de causalidad de Granger y el modelo GARCH multivariado para estudiar las variables que afectan el rendimiento de sus precios con la finalidad de proporcionar mayor información y certidumbre a quienes realizan inversiones para el consumo, cobertura y arbitraje.

Capítulo 1

1. Historia del Oro, Plata y Platino

El presente capítulo expone los orígenes y el descubrimiento del oro, la plata y el platino, sus fuentes de suministro y las características que los hacen valiosos para la sociedad. De acuerdo con Lucas (1928) en la antigüedad la plata era escasa, valía varias veces el precio del oro y por lo tanto fue objeto de búsqueda diligente e incluso la más pequeña cantidad encontrada fue altamente valuada. De acuerdo con el autor, la razón de precios en la antigüedad entre el oro y la plata fue muy diferente a la que actualmente se tiene, lo cual puede ser explicado por la escasez de cada uno de los metales y la falta de tecnología para su explotación

Una vez conocidas las características de los metales preciosos de interés, se estudiará el mercado financiero de futuros y de esta manera se relacionarán dichos metales con sus respectivos contratos futuros, cuyo rendimiento de precios será analizado en los capítulos subsecuentes.

1.1. Descubrimiento de los Metales Preciosos

A continuación se exponen desde un contexto histórico las referencias más antiguas del oro, la plata y el platino, así como su impacto en la sociedad que realizó su descubrimiento.

Descubrimiento del Oro

Collin (2003) afirma que aunque el inicio de la minería del oro se encuentra perdido en la antigüedad, referencias del oro aparecen en manuscritos de las culturas antiguas; Hindú, China y Hebrea. Artefactos de oro son encontrados en la mayoría de las excavaciones arqueológicas.

El oro es un metal precioso que ha sido valorado por la mayoría de las sociedades a lo largo de la historia. Posee tres atributos cruciales que combinados lo distinguen de otros productos; es homogéneo, indestructible y fundible (Collin, 2003).

Las muestras más antiguas de oro trabajado, aparecieron en los registros arqueológicos de la necrópolis de Varna (Bulgaria Moderna); datan del milenio 5° antes de Cristo. La tumba 4, la más rica, contenía miles de objetos y fragmentos de oro, que en suma pesaban un kilogramo y medio. La tumba 1 contenía aproximadamente un kilogramo de oro, mientras que la tumba 36 contenía tres cuartos de kilogramo. Varna está cerca de una región altamente productora de oro. Se puede suponer que esta pequeña civilización agro-industrial fue relativamente rica en oro. Aunque enterraron grandes cantidades de su riqueza en oro, las tumbas de Varna iban dotadas de pobres a ricas, sugiriendo alto grado de diferenciación social. Su descubrimiento llevó a una reevaluación de las características de organización de la cultura de Varna y del comienzo de la estratificación social en las culturas neolíticas. Donde Varna había sido vista como una cultura igualitaria; quedando claro que tenía una estructura jerárquica (Schoenberger, 2010).

Egipto por ejemplo, fue también comparativamente rico en oro, a pesar de que era minado con dificultades en el desierto del este. Los artesanos egipcios pudieron producir piezas mucho más finas. Se asocia el desarrollo de la minería de oro con la jerarquización y centralización administrativa de la sociedad egipcia así como con el crecimiento de los pueblos en el periodo prehistórico (3500 – 2500 Ac), (Schoenberger, 2010).

Descubrimiento de la Plata

De acuerdo con Lucas (1928) la mina de plata más antigua de la cual no hay ningún registro son las de Monte Laurion en Attica (Grecia). La fecha en la cual se trabajaron las minas por primera vez no puede ser rastreada, pero posiblemente, estuvieron en operación en el tiempo de Solón (siglo siete antes de Cristo), debido a que él mencionó la escasez de la plata, pero esto no proporciona ningún indicio considerable.

Xenophon (siglo cuatro antes de Cristo) menciona que las minas de Monte Laurion eran antiguas en sus días y que ciertamente datan de 500 años antes de Cristo, alrededor de

aquel periodo las regalías de las minas empezaron a figurar en la hacienda ateniense, y en 484 se produjeron alrededor de 83,700 onzas de plata. A partir de este periodo las minas fueron frecuentemente mencionadas por los escritores griegos.

Descubrimiento del Platino

Wisniak (2005) expone que existe poca evidencia arqueológica de que el platino fuera conocido y utilizado por las culturas antiguas. Uno de los primeros indicadores, es un estuche de oro que data del siglo siete conservado en el Louvre, el cual fue encontrado en las excavaciones de Thebes, Egipto. Esta caja, está cubierta por inscripciones jeroglíficas; en uno de sus lados tiene caracteres de oro, mientras que en su otro lado, de plata. Marcelin Berthelot (1827-1907), la examinó mas tarde y encontró que era "d'un alliage complex crenfermant plusieurs des métaux de la mine de platine sans préjudice dún peu d'or" (una aleación compleja conteniendo varios metales de platino con un poco de oro). De acuerdo con Lucas (1928), varios objetos egipcios de oro en el museo del Cairo que datan de la Dinastía XII muestran numerosas manchas plateadas de platino en su superficie. Pliny el Mayor (77 a 79 D.C) en su *Historiae Naturalist* describe arena negra pesada a la cual llama olumbum candidum o cassiteros, la cual ha sido sugerido que pudo haber sido platino. Georgius Agricola (1494-1555), nos menciona al platino en su libro; acuñó el término plumbum cinereum para el bismuto, sin duda siguiendo el término para el estaño, plumbum candidum y conoció solo un material de estaño "Lapilli nigri ex quibus conflatur plumbum candudum", esto es, pequeñas sorcas negras de las cuales se fundía el estaño. En 1790, el padre Ángelo Maria Cortenovis (1727-1901) trató de probar aquella aleación de oro y plata, utilizada por las personas del mediterráneo y mencionada por Pliny, era platino en realidad.

Información relacionada con la existencia de un metal infusible en México llego a Europa a mediados del siglo dieciséis, el platino provenía de un área relativamente pequeña en el distrito del Choco, de lo que hoy es Colombia. Los españoles nombraron al metal como platina del Pinto, siendo algún derivativo diminutivo de plata. Se dice que Pinto tiene un río en el vecindario de Popayán, en cuyas gravas fue distinguida por primera vez la sustancia. La mayoría de las fuentes indican que la primera persona en familiarizar a Europa con el nombre de platina fue Antonio de Ulloa (1716-1795). En su libro acerca de

la expedición científica francesa para medir la longitud de un grado del ecuador escribió: "En el Partido del Choco, habiendo muchas Minas de Lavadero, como las que se acaban de explicar, se encuentran también algunas, donde por estar disfrazado y envuelto el oro con otros cuerpos metálicos, jugos y piedras, necesita para su beneficio del auxilio del azogue y tal vez hallan Minerales donde la Platina (Piedra de tanta resistencia, que no es fácil de romperla, ni desmenuzarla con la fuerza del golpe sobre el yunque de acero, es causa de que se abandonen; porque ni la calcinación la vence, ni hay arbitrio para extraer el metal, que encierra, sino a expensas de mucho trabajo y costo."

E.P.C Meyer ha cambiado la afirmación de que Ulloa fue el primero en familiarizar el mineral en España. En una pequeña nota publicada en el Journal of Science, reportó que el Archivo General de Indias en Sevilla y el Archivo Histórico y Biblioteca Nacional en Madrid contienen referencias al platino que datan de 1735, algunas de ellas se refieren a un cargamento de grandes cantidades (mayor a 18 libras) de material aleado, el cual fue llamado platina. Un documento habla específicamente del platino refinado, el cual ha sido tratado con mercurio previo a su embarque a España. Meyer también menciona que considera a la sustancia como oro inmaduro "el cual fue plantado nuevamente en el lecho del rio para darle tiempo a madurar en metal dorado".

El primer reporte conocido de la existencia del platino en Sudamérica apareció en el libro de Julius Cesar Scalinger (1484-1558) donde el autor, repitiendo la definición de que el metal es una substancia que puede ser fundida, pero cuando se enfría, permanece dura, argumentó en su contra que "A pesar de que sabe que en Honduras, un distrito entre México y Darien (hoy Panamá) hay muchas minas que contienen una substancia metálica "quod nullo igni nullis Hipanicis artibus hactenus liquescere potuit" (el cual no ha sido posible fundir por fuego o alguna otra arte española). Así, vemos que la palabra fundir no puede ser aplicada a todos los metales.

En una carta a el editor, Paul Bergsoe reportó que en La Tolita, Esmeraldas, Ecuador, habían sido encontrados objetos prehistóricos para hacer aleaciones de oro, con platino. Una característica interesante de estos objetos es que no habían sido enyesados, forjados o hechos de placas de alambre, en adición, las uniones fueron hechas con

soldadura. Las piezas parecían haber sido fundidas con carbón de madera con la ayuda de un soplete.

Otro ejemplo es reportado en 1763 por William Lewis (1708-1781), un doctor de Kingston en Thames, quien señaló que el mineral mencionado por varios autores incluyendo Joachim Becher (1635-1682) y George Ernst Stahl (1660-1734) bajo el nombre de Smiris Hispanica (esmeril hispánico) parecía haber tenido muchas de las propiedades del platino. Lewus, también registró la substancia mencionada en 1640 por Alonso Barba (1569-1661), un sacerdote español en la región de minas de Perú. Barba escribió "El arte de los Metales", principalmente acerca del oro y la plata. El trabajo fue importante y se mantiene en secreto en España. Pero el embajador británico, Edward Montagu, (1625-1672) logró obtener una copia y lo tradujo en 1669. Barba se refiere a una piedra llamada chumpi "(...) que es una piedra carta de esmeril, con participación de hierro, brilla algo obscuramente y es dificultoso su beneficio, por lo mucho que resiste al fuego. Se encuentra con metales negrillos y rosicleres en Potosí, Chocaya y otras partes". Lewis creía que este mineral en particular podía ser platino solo si fuera encontrado en grandes cantidades, que no era el caso.

En 1785, Jean-Baptiste Leblond (1747-1815) publicó una cuenta muy detallada de la ocurrencia y extracción del platino en Perú. Un interesante detalle es que el oro y el platino eran separados a mano, utilizando un cuchillo filoso "On les sépare ensuite grains par grains avec la lame d'un coreau ou asutremnt sur une planche bien lisse".

1.2. Fuentes de Suministro de los Metales Preciosos

Los metales preciosos se encuentran presentes en la naturaleza en proporciones y condiciones particulares para cada metal de interés, dichas características definen las fuentes de suministro propias de cada metal y serán estudiadas a continuación.

Fuentes de Suministro de Oro

Para Govett (1982) el oro es uno de los pocos metales en los que la tasa de reciclaje a través de la historia ha sido muy alta. Ha sido estimado que hasta la fecha se han minado

entre 90,000 y 116,000 toneladas; de éstas más de 60,000 toneladas se encuentran disponibles.

El suministro de oro en un periodo, es determinado por la cantidad de oro antiguo ofrecido para venta y la cantidad recientemente minada por las compañías mineras o países productores de oro. Los vendedores de oro antiguo son el tesoro, los bancos centrales de los diversos países del mundo y los poseedores de lingotes y productos de oro fabricados, (Govett, 1982).

Fuentes de Suministro de Plata

Lucas (1928) afirma que la plata se encuentra en la naturaleza en dos condiciones denominadas, como metal y en su estado no metálico como mineral.

La Plata metálica nativa, es prácticamente pura y ocurre solamente en muy pequeñas cantidades, generalmente en formas cristalinas como agujas, filamentos, redes, o formas arborescentes. aunque también, pero más raramente, masivas agujas o pequeñas placas, (Lucas, 1928).

El principal mineral de la plata es el sulfuro de plata, solo o asociado con sulfuro de antimonio, arsénico o cloruro de plata. Estos, sin embargo, producen solo un tercio del suministro mundial de la plata, los dos tercios restantes , no propiamente de minerales de plata, sino principalmente de minerales de plomo, zinc y cobre que contienen una muy pequeña proporción de plata (usualmente menos de 0.5%) los cuales por lo tanto pueden ser considerados minerales con un nivel bajo de plata.

Fuentes de Suministro del Platino

De acuerdo con Wisniak (2005) hasta principios del siglo XIX casi todo el platino fue obtenido de Colombia a una tasa de cerca de una tonelada por año. Después el mineral fue descubierto también en Urals California, Australia, Borneo, entre otros y en 1825 Rusia se convirtió en el productor primario de platino. La acuñación de monedas en Rusia entre 1828 y 1845 requirió un aumento en la producción, la cual alcanzó 3.5 toneladas en

1843. Casi todo el mineral de platino ruso fue utilizado para la acuñación. La industria del platino creció vigorosamente después de 1880, debido al incremento en la demanda para la industria eléctrica, odontología e industria química. En 1913, la producción anual de platino alcanzó las siete toneladas. La producción de platino fue abandonada por Rusia después de la revolución de 1905, dando como resultado que después de la primera guerra mundial, Colombia fuera de nueva cuenta el mayor productor de platino. En 1915, la producción en los Urales fue retomada y fueron descubiertos nuevos depósitos aluviales en Siberia. Por algunas décadas, la Unión Soviética fue uno de los mayores productores de platino y especialmente de paladio.

En 1888, empezaron a ser descubiertos grandes depósitos de platino en Sudáfrica, incluyendo el conocido como Merensky Reef, el más grande del mundo. Después de la segunda guerra mundial, Sudáfrica llego a ser el principal productor de platino. En 1911, la producción total de platino fue menos de una tonelada y en 1950, la producción mundial de platino fue de 20 toneladas por año. En 1970, 90 toneladas, en 1980, 203 toneladas y en 1990, 222 toneladas.

De acuerdo con el sitio Platinum Today de Johnson Matthey Group la producción mundial de Platino de 1990 al año 2012, se distribuyó de acuerdo con la información que se presenta en el Apéndice, Tabla 1, en la cual se observa que actualmente Sudáfrica y Rusia son los principales productores de platino a nivel mundial.

1.3. Propiedades Valiosas de los Metales Preciosos

Las propiedades físicas y químicas del oro, la plata y el platino determinan las aplicaciones propias de cada metal, las cuales pueden ser industriales, financieras y joyería. A continuación se analizan dichas aplicaciones y su utilidad para la sociedad.

Propiedades Valiosas del Oro

El oro, ha sido valorado extremadamente alto por casi todas las sociedades a lo largo de la historia humana. La razón por la cual las personas lo quieren, parece evidente, su belleza color y brillo sugieren el sol, es altamente maleable y no se corroe,

(Schoenberge, 2010). Estas cualidades permiten su uso en la joyería, aplicaciones electrónicas de alta fidelidad y como reserva de valor para los bancos centrales y son amplificadas por el hecho de su extraordinaria escasez en la naturaleza. El cobre, se encuentra presente en la corteza terrestre en 55 partes por millón (ppm), el fierro, en 56,000 ppm y el oro, se encuentra en .0038 ppm o solo .004 gramos por tonelada de tierra. Existen varias razones por las cuales los bancos centrales y los departamentos de tesoro pueden haber pensado retener el oro cuando fue eliminado el patrón oro, sin embargo, lo que es un hecho, es el efecto de sus políticas en el suministro de oro en el mercado mundial. El efecto fue una restricción significativa de la cantidad de oro que estaba libremente disponible, lo que ayudo a sostener su precio, su exclusividad de aura social y poder.

El oro puede ser aleado principalmente con plata, cobre, zinc, platino o acero para dar origen a los diferentes colores de oro que comercializa la industria de la joyería. A continuación se describen dichos colores comerciales, así como la composición de su aleación.

Tabla 1:: Aleaciones Que Dan Origen A Los Colores Comerciales Del Oro	
Color del Oro	**Composición de la Aleación**
Oro Amarillo (22K)	Oro 91.67% Plata 5% Cobre 2% Zinc 1.33%
Oro Rojo (18K)	Oro 75% Cobre 25%
Oro Rosa (18K)	Oro 75% Cobre 22.25% Plata 2.75%
Oro Rosa (18K)	Oro 75% Cobre 20% Plata 5%
Oro Blanco (18K)	Oro 75% Platino o Paladio 25%
Oro Blanco (18K)	Oro 75% Platino 10% Nickel 10% Zinc 5%
Oro Gris-Blanco (18K)	Oro 75% Acero 17% Cobre 8%
Oro Verde Ligero (18K)	Oro 75% Plata 25%
Oro Verde Claro (18K)	Oro 75% Cobre 23% Cadmio 2%

Propiedades Valiosas de la Plata

Ciner (2000) expone que debido a que la plata es el mejor conductor de electricidad y calor, es el metal más refractivo y sensible a la luz, se ha transformado en el metal de la electrónica, rayos X y fotografía. Hillier (2006) sostiene que la demanda de la plata, es dominada por los requerimientos industriales (aproximadamente 40% de la producción anual de plata) y joyería (aproximadamente 45% de la producción anual de plata). La demanda de plata para inversiones privadas no es tan alta, como en el caso del oro; cerca del 11% de la demanda de plata proviene de propósitos de inversión financiera. Las reservas oficiales de plata del gobierno de los Estados Unidos de América son aproximadamente 7,500 toneladas, menores que un año de producción, también son considerablemente bajas respecto a las reservas de oro. La plata es principalmente obtenida como co-producto de la minería del oro (dos tercios del suministro mundial de plata provienen de este recurso). Como resultado, el suministro de la plata se encuentra fuertemente relacionado con el del oro y probablemente también el precio. A diferencia del oro, no existen aleaciones en la industria joyera que den origen a colores comerciales diferentes al característico de su estado puro.

Propiedades Valiosas del Platino

De acuerdo con Hillier, Draper, & Faff (2006) el mayor valor de los metales de platino para su uso industrial proviene de su inercia química, alto punto de fusión, baja presión de vapor, alto coeficiente de temperatura de resistividad eléctrica, bajo coeficiente de expansión térmica y propiedades excepcionales catalíticas. Todas sus propiedades han sido explotadas para aplicaciones industriales. El platino, las aleaciones de platino y el iridio son utilizados como materiales para crisoles para el crecimiento de cristales sencillos, especialmente óxidos. La industria química utiliza una cantidad significativa de platino o de aleación de platino – rodio para la catálisis de la oxidación parcial del amonio y descomponerlo en óxido nítrico, el cual es la materia prima para fertilizantes, explosivos y ácido nítrico. Al igual que en el caso de la plata, no existen aleaciones en la industria joyera que den origen a colores comerciales diferentes al característico de su estado puro.

1.4. Los Sistemas Monetarios Basados en Metales Preciosos

Carruthers & Babb (1996) afirman que la moneda es una institución que promueve el bien común, sin ella las personas dependen del trueque y el intercambio es reducido debido a la necesidad de la doble coincidencia de necesidades.

De acuerdo con Cooper (1982) mientras que el oro ha sido utilizado para guardar valor y como medio de pago desde la época antigua, el patrón internacional de oro data solo desde 1870 y duró hasta 1914, posteriormente, tuvo un breve renacimiento a finales de la década 1920 a 1930.

Inglaterra tuvo un patrón de oro, legal, completo desde 1816 y de facto desde 1717, cuando Sir Isaac Newton, no depreció lo suficiente el oro al establecer el precio oficial de la plata en 21 chelines de oro guinea, y a partir de entonces, inadvertidamente, continuó dirigiéndose al nuevo cuerpo de monedas de plata de Gran Bretaña. Este error de juicio, estableció el patrón oro en la práctica y fue confinado a la ley siguiendo la guerra Napoleónica, lo que convirtió al siglo XIX en un guía militar y económico. Este cambio influenció a otros, especialmente a Alemania y más tarde a Japón para cambiar al estándar oro, el cual fue visto como parte de un símbolo del éxito británico. Así que el estándar oro, como se ha escrito en los libros de texto, aunque no el uso monetario del oro, fue en cierto sentido un accidente de historia.

El mismo Cooper (1982) afirma que durante el patrón oro había tasas de cambio casi fijas entre los países que tenían establecido el patrón oro, sin embargo, los precios no fueron estables, en parte, debido a que la tasa de crecimiento del inventario de oro variaba sustancialmente.

Xu & Fung (2005) exponen que después de que el presidente Nixon en 1971 finalizó efectivamente el uso del oro y la plata como estándares monetarios para el dólar de los Estados Unidos. Los precios de los metales preciosos han estado extremadamente volátiles reaccionando a las interacciones de los factores globales como la inflación, tasas de interés y varios eventos económicos y políticos.

Hasta finales del siglo XIX, la mayoría de los países tuvieron un estándar bimetálico, con periodos ocasionales de papel inconvertible (Como en los Estados Unidos en 1780 y en el periodo de 1862-78 o en Gran Bretaña de 1797 a 1821). Algunos países como China y México tuvieron solamente el estándar plata y permanecieron así hasta el siglo veinte. Holanda y Bélgica incluso cambiaron del bimetalismo a solamente estándar plata en 1950 por motivos de que (posterior a los descubrimientos de oro en California de 1848) el oro estuvo muy inestable para proveer la base de la moneda.

Los Estados Unidos adoptaron el patrón oro de facto con la reanudación de una especie de pago de los billetes de banco en la Guerra Civil de 1879 (algunos pueden decir que fue formal desde el decaimiento del patrón plata de la acuñación del dólar con el crimen de 1873). El patrón oro se estableció formalmente con el acta de 1900, sin embargo, los precios no fueron estables durante el patrón oro, en parte, pero solo en parte, debido a que el inventario de oro variaba sustancialmente en su tasa de crecimiento.

1.5. El Mercado de Futuros

De acuerdo con Srinivasan (2008) los "futuros" son contratos financieros estandarizados negociados en un intercambio futuro. Un contrato futuro es un acuerdo para comprar o vender una cierta cantidad del activo relacionado, en un cierto tiempo en el futuro, a un precio predeterminado.

Cuando los contratos futuros son negociados no es necesaria la entrega efectiva de los bienes. El negociador solo especula sobre la dirección futura del precio del activo relacionado, el cual puede ser un "*commodity* ", tipo de cambio, bonos, instrumentos de mercado de dinero, acciones o cualquier otro objeto. El término "comprar" y "vender" indican la dirección del precio que el negociador de precios futuros tomará. Comprará si el precio esperado del activo relacionado sube en el futuro, y venderá si el precio esperado cae. Los contratos futuros son usualmente cerrados a través de realizar la transacción opuesta.

El precio al cual un contrato es negociado en el mercado de futuros es llamado precio futuro. Los contratos futuros tienen ciclos de expiración de uno, dos y tres meses; usualmente expiran el último jueves del mes respectivo.

Existen dos sistemas que pueden ser seguidos en el establecimiento de contratos futuros:

Acuerdos futuros continuos: Al final de cada día, son liquidadas todas las operaciones sobresalientes.

Acuerdos de ciclo mensual: El sistema provee a los negociantes un mayor marco de tiempo para negociar, debido a que las liquidaciones son realizadas al final de cada mes.

Existen tres categorías de participantes en el mercado de futuros –especuladores, quien apuesta a los movimientos futuros del precio de un activo, coberturistas, quienes tratan de eliminar el riesgo involucrado en las fluctuaciones de precio de un activo a través de la compra de contratos futuros y arbitrajistas quienes tratan de tomar ventaja de los precios entre los diferentes mercados.

¿Por qué el Comercio de Futuros?

Durante las últimas dos décadas los precios de los alimentos han sido volátiles. La incertidumbre de los precios de los "*commodities*" deja al granjero expuesto al riesgo de recibir un precio menor que el precio esperado por su producción. A veces, los precios de los granos caen tan bajo que el granjero es incapaz de pagar sus préstamos. La inadecuada administración de los precios de los riesgos es la razón más importante por la cual los granjeros permanecen pobres.

La administración del riesgo de precio se refiere a minimizar el riesgo involucrado en el negocio de los *commodities* y se puede hacer través de contratos futuros. El riesgo puede ser transferido al especulador o negociador quienes desean asumir el riesgo. Un cobertor querrá tratar de minimizar el riesgo tomando posiciones opuestas en los mercados

de futuros y efectivo. En el caso de un vendedor de *commodities*, como un granjero o un mercader, los contratos futuros le ofrecen protección contra la caída de los precios.

El descubrimiento de precios se refiere al proceso de determinar el nivel de precios de un *commodity* basado en factores de oferta y demanda. Cada negociante tiene información específica del mercado como oferta, demanda y tasa de inflación. Se descubre el precio de mercado de un *commodity* cuando son ejecutados los negocios entre los compradores y los vendedores. De acuerdo con V. Shunmugam economista en jefe del "Multi *Commodity* Exchange of India Ltd" los futuros de *commodities* ayudan a los encargados de hacer las políticas a tomar mejores medidas preventivas a través de indicar de antemano el incremento del precio.

Aparte de las funciones básicas del descubrimiento de precios y de la administración de riesgo de precios, los contratos futuros tienen una gran cantidad adicional de beneficios, como proveer liquidez, brindar transparencia y controlar el mercado negro.

Los contratos futuros pueden ser fácilmente convertidos en efectivo a través de comprar o vender el contrato con la finalidad de obtener utilidades; los especuladores proveen el capital requerido para asegurar la liquidez en el mercado, proveen certidumbre de futuras utilidades y gastos, por lo tanto aseguran un flujo de efectivo concreto para el usuario.

Los mercados de futuros permiten negocios especulativos en un ambiente más controlado, donde es posible monitorear y supervisar a los participantes. Por lo tanto, los futuros aseguran transparencia. La transparencia beneficia a los productores, además de divulgar el conocimiento acerca de los precios en el mercado abierto.

Los futuros ayudan también a la estandarización de la calidad, cantidad y tiempo de entrega, debido a que estas variables son acordadas entre los participantes y especificadas en los contratos futuros.

La Cámara de Compensaciones

La cámara de compensación es una institución cuya función fundamental es la protección del mercado de derivados. Se responsabiliza de cumplir con todas las obligaciones adquiridas al operar en el mercado de derivados. Es decir, funge como acreedora y deudora recíproca en todas las transacciones.

Chicago Merchantile Exchange (CME) Group explota la cámara de compensación más grande del mundo, la CME Clearing, quien concilia y liquida todas las operaciones, además de garantizar la solvencia de todas las transacciones realizadas en sus mercados. Su unidad de compensación integrada garantiza la seguridad y solvencia de sus mercados.

Al actuar la CME Clearing como contraparte de cada operación en el proceso de compensación garantiza la solvencia del comprador respecto a cada vendedor de un contrato de futuros, y la solvencia del vendedor respecto a cada comprador; el riesgo de crédito prácticamente desaparece. En todos los niveles del proceso de compensación se exigen garantías (avales) de cumplimiento o depósitos de garantía entre el cliente y el corredor, el corredor y la agencia de compensación, la agencia de compensación y la cámara de compensación. Este aval constituye un depósito de buena fe que representa la cantidad mínima de protección frente a posibles pérdidas.

La CME Clearing gestiona más del 90 por ciento de todos los contratos de futuros y opciones que se negocian en EE.UU. A continuación se presentan sus principales características:

- Creación de depósitos de garantía para carteras en función del riesgo.
- Programa exhaustivo de vigilancia financiera en tiempo real que maximiza la detección temprana de cambios en perfiles de riesgo.
- Supervisión reguladora y auditoría de la situación financiera y los riesgos asumidos por los miembros de cámaras de compensación.
- Distribución del riesgo mutualizado entre todos los participantes de la cámara, en vez de una exposición única bilateral al riesgo de crédito.

Historia del Comercio de Futuros

El negocio global de futuros de *comodities* se originó en Japón en el siglo XVII para la seda y el arroz. Se dice que "Dogima Rice Exchange" en Osaka Japón es el primer intercambio de futuros organizado, donde la negociación inició en 1710.

Estratégicamente localizado, al pie de los grandes lagos, cercano a las granjas y bien conectado por el tren y las líneas telegráficas, Chicago comenzó a ser un eje comercial en 1940. Instalaciones inadecuadas para el almacenaje permitieron el superávit o déficit en el mercado, lo que permitió grandes fluctuaciones en los precios de los *comodities*. Con la finalidad de cubrirse a sí mismos del riesgo de la caída de los precios, los comerciantes de granos, granjeros y procesadores de alimentos, comenzaron a entrar en contratos futuros, donde acordaban intercambiar, cierta cantidad de un *commodity* específico por una suma acordada, en cierta fecha en el futuro. Esto fue benéfico para ambas partes involucradas, el vendedor sabía cuánto recibiría por su producción y el vendedor sabía cuánto costaría. Sin embargo, no todos los contratos fueron respetados. Por ejemplo, si el acuerdo de precios del contrato futuro estaba muy abajo del prevaleciente como precio de mercado, el vendedor daría marcha atrás. El 3 de abril de 1848 el "Chicago Board of Trade" (CBOT) fue establecido por 83 comerciantes para facilitar el comercio de contratos actuales de producción y contratos futuros. Fue hasta 1865 cuando se estandarizaron los contratos futuros. "Chicago Produce Exchange" fue establecido en 1874 y "Chicago Butter and Eggs Board" en 1898. En 1919 fueron reorganizados para permitir negocios de futuros y fue renombrado como "Chicago Mercantile Exchange".

De acuerdo con Dubofsky & Miller (2003) un contrato futuro es similar a un contrato a plazo; un contrato futuro es un contrato estandarizado a plazo que puede ser fácilmente negociado. Los contratos futuros y a plazo obligan al comprador (la parte con la posición larga en el contrato) a realizar la entrega del activo relacionado en una fecha futura y a pagar por éste hasta su entrega. Ambos contratos dan al vendedor la obligación de entregar el bien, activo o servicio en una fecha futura. El dinero típicamente cambia de manos en la fecha de entrega.

El riesgo por defecto en los contratos futuros es más bajo que en los contratos a plazo por varias razones: (a) La contraparte para todos los futuros negociados es en realidad la casa de liquidación de intercambios futuros, la cual garantiza que todos los pagos se realizarán (b) Los contratos futuros son diarios, mercados a mercado (restablecimiento diario), lo cual significa que cualquier cambio en el valor del contrato es reconocido como ganancia o pérdida diariamente y (c) la existencia del margen inicial, el cual sirve como bono de desempeño y es requerido cuando se negocian futuros. En contraste, debido a que los contratos a plazo no son marcados a mercado pueden crear grande utilidades no reconocidas por una parte e igualmente grandes pérdidas, no reconocidas por la otra parte.

Por ejemplo, suponga que hoy se vende un contrato a plazo que lo compromete a vender un barril de petróleo a $21 dlls/barril. En cada uno de los siguientes cinco días, el precio a plazo incrementará $1 dll/barril por día. Después de cinco días, no se reconocerán pérdidas por cinco dólares. Si en su lugar hubiera vendido un contrato futuro hubiera sido forzado a pagar un dólar cada día al tenedor de la posición larga en su contrato. En otras palabras, los contratos futuros son colocados diariamente. En el mercado de futuros las pérdidas y ganancias son reconocidas diariamente, sin embargo, en el mercado de contratos a plazo son reconocidas hasta el vencimiento.

De acuerdo con Dubofsky & Miller (2003), el primer intercambio formal de "*commodities*" para un contrato a plazo y *spot* fue establecido en 1848 en el Chicago Board of Trade (CBOT). Los contratos futuros se empezaron a negociar en el CBOT en 1860. El Chicago Mercantile Exchange (CME) se formó en 1919, aunque existió antes de dicha fecha bajo otros nombres.

Las principales bolsas de *commodities* del mundo son: Chicago Merchantile Exchange (CME), Bolsa de Metales de Londres (LME), Bolsa de Nueva York (NYMEX), Bolsa de Chicago (CBOT), Osaka Securities Exchange (OSE.JPN) y Tokyo Stock Exchange (TSE.JPN).

A continuación se presenta el esquema general de los contratos de futuros del CME para el oro, plata y platino.

Descripción de los contratos futuros de Oro, Plata y Platino.

Figura 1: Características de los contratos futuros, del oro, plata y platino

Gold Futures	
Product Symbol	GC
Venue	CME Globex, CME ClearPort, Open Outcry (New York)
Hours (All Times are New York Time/ET)	CME Globex: Sunday – Friday 6:00 p.m. – 5:15 p.m. (5:00 p.m. – 4:15 p.m. Chicago Time/CT) with a 45-minute break each day beginning at 5:15 p.m. (4:15 p.m. CT) CME ClearPort: Sunday – Friday 6:00 p.m. – 5:15 p.m. (5:00 p.m. – 4:15 p.m. Chicago Time/CT) with a 45-minute break each day beginning at 5:15 p.m. (4:15 p.m. CT) Open Outcry: Monday – Friday 8:20 a.m. – 1:30 p.m. (7:20 a.m. – 12:30 p.m. CT)
Contract Size	100 troy ounces
Price Quotation	U.S. Dollars and Cents per troy ounce
Minimum Fluctuation	$0.10 per troy ounce
Termination of Trading	Trading terminates on the third last business day of the delivery month
Listed Contracts	Trading is conducted for delivery during the current calendar month, the next two calendar months, any February, April, August, and October falling within a 23-month period, and any June and December falling within a 72-month period beginning with the current month
Settlement Type	Physical
Delivery Period	Delivery may take place on any business day beginning on the first business day of the delivery month or any subsequent business day of the delivery month, but not later than the last business day of the current delivery month
Trading at Settlement (TAS)	Trading at Settlement is allowed in the active contract month. The active contract months will be February, April, June, August and December. On any given date TAS transactions will be allowed only in a single contract month. TAS transactions may be executed at the current day's settlement price or at any valid price increment ten ticks higher or lower than the settlement price
Grade and Quality Specifications	Gold delivered under this contract shall assay to a minimum of 995 fineness
Position Limits	NYMEX Position Limits
Rulebook Chapter	113
Exchange Rule	These contracts are listed with, and subject to, the rules and regulations of COMEX.

Silver Futures	
Product Symbol	SI
Venue	CME Globex, CME ClearPort, Open Outcry (New York)
Hours (All Times are New York Time/ET)	CME Globex: Sunday – Friday 6:00 p.m. – 5:15 p.m. (5:00 p.m. – 4:15 p.m. Chicago Time/CT) with a 45-minute break each day beginning at 5:15 p.m. (4:15 p.m. CT) CME ClearPort: Sunday – Friday 6:00 p.m. – 5:15 p.m. (5:00 p.m. – 4:15 p.m. Chicago Time/CT) with a 45-minute break each day beginning at 5:15 p.m. (4:15 p.m. CT) Open Outcry: Monday – Friday 8:25 AM to 1:25 PM (7:25 AM to 12:25 PM CT)
Contract Size	5,000 troy ounces
Price Quotation	U.S. Cents per troy ounce *Please note: Prices are disseminated in U.S. Dollars and Cents*
Minimum Fluctuation	Outright transactions including EFP: $0.005 per troy ounce. Straddle or spread transactions and settlement prices: $0.001 per troy ounce
Termination of Trading	Trading terminates on the third last business day of the delivery month
Listed Contracts	Trading is conducted for delivery during the current calendar month, the next two calendar months, any January, March, May and September falling within a 23-month period, and any July and December falling within a 60-month period beginning with the current month
Settlement Type	Physical
Delivery Period	Delivery may take place on any business day beginning on the first business day of the delivery month or any subsequent business day of the delivery month, but not later than the last business day of the current delivery month
Trading at Settlement (TAS)	Trading at Settlement is allowed in the active contract month. The active contract months will be March, May, July, September and December. On any given date TAS transactions will be allowed only in a single contract month. TAS transactions may be executed at the current day's settlement price or at any valid price increment ten ticks higher or lower than the settlement price
Grade and Quality Specifications	Silver delivered under this contract shall assay to a minimum of 999 fineness
Position Limits	NYMEX Position Limits
Rulebook Chapter	113
Exchange Rule	These contracts are listed with, and subject to, the rules and regulations of COMEX

Platinum Futures	
Product Symbol	PL
Venue	CME Globex, CME ClearPort, Open Outcry (New York)
Hours (All Times are New York Time/ET)	CME Globex: Sunday – Friday 6:00 p.m. – 5:15 p.m. (5:00 p.m. – 4:15 p.m. Chicago Time/CT) with a 45-minute break each day beginning at 5:15 p.m. (4:15 p.m. CT) CME ClearPort: Sunday – Friday 6:00 p.m. – 5:15 p.m. (5:00 p.m. – 4:15 p.m. Chicago Time/CT) with a 45-minute break each day beginning at 5:15 p.m. (4:15 p.m. CT) Open Outcry: Monday – Friday 8:20 a.m. – 1:05 p.m. (7:20 a.m. – 12:05 p.m. CT)
Contract Size	50 troy ounces
Price Quotation	U.S. Dollars and Cents per troy ounce
Minimum Fluctuation	$0.10 per troy ounce
Termination of Trading	Trading terminates on the third last business day of the delivery month
Listed Contracts	Trading is conducted over 15 months beginning with the current month and the next two calendar months before moving into the quarterly cycle of January, April, July, and October
Settlement Type	Physical
Delivery Period	Delivery may take place on any business day beginning on the first business day of the delivery month or any subsequent business day of the delivery month, but not later than the last business day of the current delivery month
Grade and Quality Specifications	Platinum delivered under the contract shall be a minimum of 99.95% pure
Position Limits	NYMEX Position Limits
Rulebook Chapter	105
Exchange Rule	These contracts are listed with, and subject to, the rules and regulations of NYMEX.

Tomando el 15 de abril del 2012 de http://www.cmegroup.com/trading/metals/

[1] Cuando se está negociando el metal a $ 600 dlls por onza, el contrato tiene un valor de $60,000 (600 x 100 onzas). Un negociador se encuentra largo a 600 y venderá su posición en 610, lo que dará $1,000 (610 – 600 = $10 de utilidad. 10 x 100 onzas = $1,000). De manera inversa, un negociador que se encuentre largo en 600 y venda su posición en 590, perderá 1000 dólares.

El oro, la plata y el platino son negociados en dólares y centavos por onza; el movimiento mínimo de precio en un contrato de futuros o "tick size" es 10 centavos de *dólar, y tanto* el CBOT como el COMEX especifican la entrega en las bóvedas de la región de Nueva York. Estas bóvedas son sujetas a cambio por el intercambio.

Los contratos futuros de metales preciosos comercializados en mercados estandarizados como es el caso del CME, establecen ciertas reglas respecto a su tamaño y maduración para cada uno de los metales.

Tabla 2: Reglas del CME respecto a la pureza y tamaño de los metales

Metal	Unidad de Contrato	Grado y Especificaciones de Calidad
Oro (GC)	Cien Onzas Troy	995 de fineza
Plata (SI)	5 barras de plata refinada de 1000 onzas Troy	999 de fineza
Platino (PL)	50 Onzas Troy	99.95 e pureza

Una vez revisadas las características particulares del oro, la plata y el platino, así como de los mercados futuros, se revisará la literatura financiera con la finalidad de conocer investigaciones previas relacionadas con los metales preciosos de interés, haciendo especial énfasis en las aplicaciones financieras de los metales de interés, sus propiedades relaciones, características particulares, así como los variables y métodos utilizados en las investigaciones previas con la finalidad de considerarlos como puntos de partida para la presente investigación.

Capítulo 2

2. Revisión a la Literatura de los Metales Preciosos

La investigación financiera relacionada con los metales preciosos es de suma importancia debido a la influencia de la volatilidad de sus precios en la economía global. Los metales preciosos que se comercializan en el mercado *spot* y de futuros son utilizados por los bancos centrales de los países y algunas empresas con fines de cobertura de riesgo y, en general, en las inversiones financieras debido a la actividad de los especuladores y arbitrajistas.[2]

De acuerdo con Hiller, Drapper & Haff (2006), la literatura financiera de los metales preciosos, puede ser clasificada en cinco tipos principales:

1.- Las propiedades de inversión y diversificación de los metales preciosos cuando se combinan con inversiones en el mercado de acciones y otros instrumentos portafolios financieros.

2.- El rol del oro como variable potencial de cobertura en modelos de precios de activos.

3.- Las propiedades de la distribución de rendimientos y las posibilidades de ganar el exceso de los retornos en los mercados del oro y de la plata.

4.- La relación del oro y la plata con las variables macroeconómicas y las políticas de gobierno.

5.- Las principales ventajas y características de la producción del oro y la plata y los procesos de mercado.

El presente capitulo inicia con la explicación de la función de los mercados de futuros la dinámica de precios, posteriormente se analizan la función de la oferta y de la

[2] Arbitraje implica asegurar una utilidad libre de riesgo, realizando simultáneamente transacciones en dos o más mercados.

demanda en el mercado *spot* y el efecto de largo plazo en el precio de los *commodities*. Considerando los conceptos antes mencionados, se prosigue a revisar la literatura financiera de los metales preciosos de interés.

2.1. Dinámica de Precios

De acuerdo con Geman (2005), la información acerca de los precios futuros en el mercado *spot* es valiosa por las siguientes razones:

1. En el caso de los *commodities* almacenables, los precios determinan las decisiones de inventario de las empresas: altos precios futuros son señal de la necesidad de un mayor inventario y bajos precios futuros apuntan a la reducción del inventario actual.
2. Reflejan expectativas acerca de la oferta y de la demanda futura. Los precios futuros desencadenan decisiones acerca del inventario, producción y consumo que reasignan la oferta y la demanda de un *commodity* a lo largo del tiempo.

De acuerdo bajo los supuestos de Hull (2009), conforme se aproxima el periodo de entrega de un contrato de futuros, converge al precio *spot* del activo subyacente. Cuando llega el periodo de entrega, el precio del futuro es igual o está muy cerca del precio *spot*. Debido que a medida que los negociantes aprovechan las oportunidades de arbitraje, el precio de futuros convergerá con el precio *spot*.

De acuerdo con Black (1975), los precios futuros proveen información muy valiosa para quienes producen, almacenan y utilizan *commodities;* al observar los precios futuros de varios meses de transacciones, los participantes en el mercado en la mayoría de las veces pueden decidir plantar, cosechar, comprar para almacenar, vender del inventario y procesar el *commodity* . Un cambio en los precios futuros en el tiempo t, está relacionado a cambios en la distribución anticipada de los precios *spot,* en el tiempo de ejercicio. Esto no está directamente relacionado a cambios en el precio *spot* en el tiempo t. En la práctica, sin embargo, los cambios en los precios *spot* y los cambios en los precios futuros estarán a menudo altamente correlacionados. Los precios *spot* y futuros son afectados por cambios

generales en el costo de producción del *commodity* , y por cambios generales en la demanda del *commodity* .

De acuerdo con Geman (2005), los precios futuros revelan a los agentes financieros no informados las expectativas de los agentes financieros informados acerca del precio del mercado *spot* del siguiente periodo. La presencia de arbitrajistas tiende a absorber rápidamente las anormalidades de precio [3] entre el de los mercados *spot* y el del mercado de futuros, y es socialmente benéfica debido a que permite a los consumidores individuales evitar las costosas búsquedas con la finalidad de pagar precios más bajos.[4]

2.2. Los Precios en el Mercado *Spot*

De acuerdo con Geman (2005), generalmente los precios de los *commodities* apuntan sensiblemente al análisis de la oferta y de la demanda, sin embargo, también hay dos razones por las que es difícil tener una respuesta cuantitativa utilizando este método. Solo un pequeño porcentaje del rendimiento permanece sin contrato cuando llega su fecha de disponibilidad. Mientras esto representa la mayor elasticidad de la producción y demanda, el volumen de material que es comercializado como un conducto de la oferta a la demanda física es pequeño comparado con el volumen comercializado como redistribución de las posiciones de mercado. Las posiciones de mercado actúan como oferta y demanda con precios que son determinados más por su comportamiento que por sus fundamentos. Por ello, mientras que los precios *spot* promedio son generalmente representativos de los fundamentos económicos, en cualquier fecha, pueden diferir de su precio fundamental.

El inventario puede actuar como regulador para recibir o liberar material y el comportamiento del mercado, como retenciones de inventario puede conducir a "escasez técnica". Por ejemplo, un producto puede incrementar la oferta vendiendo material que tiene en inventario o reducir la oferta creando inventario en lugar de venderlo. Similarmente, un consumidor puede incrementar la demanda creando inventario, o

[3] De acuerdo con Schwert (2002), las anormalidades son resultados empíricos que parecen ser inconsistentes con las teorías de comportamiento de precios de activos. Indican ineficiencia de mercados (oportunidad de utilidades) o insuficiencias en el modelo relacionado con los precios de los activos.

[4] Las problemas relacionados con las transacciones físicas (transportación, almacenaje, seguro, entre otros) acentúan el interés de los administradores de portafolios en la relación entre los precios actuales, *spot*, de futuros y el inventario disponible.

reducirla al deshacerse de su inventario. El resultado neto es que las acciones voluntarias de inventario pueden causar movimientos fuertes en las curvas de oferta y demanda.

2.3. Los Precios de Largo Plazo de los Metales

De acuerdo con Geman (2005), en cualquier tiempo existe para cualquier metal con una producción económica estable un precio futuro que es hablando ampliamente igual al costo total de producción para el producto marginal, incluyendo el costo de la prima de riesgo al cual el capital es atraído para nueva producción. El costo total de producción incluye el costo de capital de terreno, tecnología y equipo. Incluso, en el largo plazo, la elasticidad precio de la demanda es asumida como baja. La estabilidad económica de largo plazo significa que la volatilidad instantánea de los contratos de largo plazo es usualmente baja.

Los cambios en el precio de largo plazo surgen de factores visibles como:

1. Efectos de la moneda: Ésta es la principal fuente de volatilidad en el largo plazo de los precios de los metales. Debido a que los metales son denominados en la moneda, la volatilidad del valor de la moneda conducirá la volatilidad del precio del metal, incluso si el precio y el valor del metal es constante cuando es expresada en activos fundamentales numerarios.

2. Variaciones en la oferta y demanda para capital de riesgo. El riesgo de capital es grandemente proveído por rutas establecidas como deuda y acciones, y es ampliamente dependiente de los ingresos de efectivo de los prestatarios. Esto causa una relación entre los precios de corto y largo plazo.

3. Cambios graduales en la economía de largo plazo. Son provocados por el decremento gradual de los costos de producción, debido principalmente a mejoras tecnológicas, los hallazgos graduales de nuevos recursos explotables debido a mayor búsqueda y mejora de las técnicas de exploración y al incremento gradual de los recursos conocidos exhaustivamente.

4.- Choques. Cambios inesperados en las técnicas de producción (como métodos electroquímicos para el aluminio y titanio o pila de lixiviación bacteriana para el oro), hallazgos masivos, cambios en las técnicas de exploración, cambios en el acceso y oferta relacionados con la geopolítica, cartel inestable, regulaciones ambientales con respecto al proceso de producción o el producto por sí mismo o el consumidor.

5. Cambios graduales en las tendencias de consumo: Debido en parte a la elasticidad del precio de demanda.

El precio de la moneda de denominación del *commodity* tiene efecto significativo en su volatilidad, debido a que la moneda tiene volatilidad por su propio derecho. Cuando es expresada en términos de otro activo numerario, la relación entre el activo y el activo denominado toma la forma de correlación, la cual afecta la volatilidad del precio del activo. En el largo plazo, el dólar por sí mismo, es una fuente de volatilidad.

2.4. Investigaciones Financieras de los Metales Preciosos

A continuación se revisará la literatura financiera relacionada con los metales preciosos con la finalidad de incorporar el resultado de investigaciones previas como punto de partida para la presente investigación. Se considerará la función de los mercados de futuros en la revelación del precio de los metales preciosos y el comportamiento de los precios en el corto y largo plazo. Para cada artículo se analizarán: las técnicas econométricas, el periodo de datos utilizados y las conclusiones de la investigación.

Escribano & Granger (1998) utilizaron datos mensuales del periodo de 1971 a 1990 para analizar la relación entre el oro y la plata desde el punto de vista de pronóstico y determinar si existe una relación de largo plazo estable o semi-estable entre los precios del oro y de la plata, que pueda ser útil para pronosticarlos.

Los autores afirmaron que la relación entre el oro y la plata no es clara, debido a que el oro y la plata tienen usos comerciales distintos e importantes, para los cuales no hay sustitutos, sugiriendo que los mercados deberían estar separados; sin embargo, en otros mercados actúan como sustitutos cercanos como en el caso de la joyería y de las

inversiones. Son utilizados para reducir ciertos tipos de riesgo en los portafolios, particularmente los riesgos de inflación alta, sus precios son determinados en mercados altamente especulativos y se puede esperar que sean procesos con raíces unitarias.

Si sus precios están conintegrados, el grado en el cual pueden ser pronosticados se esperaría que fuera limitado debido a la hipótesis de eficiencia. En su estudio, consideraron que la burbuja de los precios de la plata que ocurrió entre junio de 1979 y 1980, cuando los hermanos Hunt de Texas, monopolizaron el mercado de la plata con fines especulativos provocando que los inversionistas que compraran en corto tuvieran dificultades para comprar plata y entregarla al final del contrato. Escribano & Granger concluyeron que la cointegración pudo haber ocurrido durante algunos periodos y especialmente durante el periodo de la burbuja y posteriormente a ella. Los modelos no lineales se desempeñan mejor que la caminata aleatoria para el caso de la plata, pero esta capacidad predictiva se pierde fuera de la muestra, principalmente debido al cambio estructural que ocurre con la reducción en la varianza del modelo.

La entrada y salida de la capacidad predictiva de la muestra de los modelos no lineales es reducida cuando los modelos son logarítmicos. Los precios del oro y la plata han estado fuertemente relacionados, lo cual es evidente en su comportamiento en el periodo de la burbuja. Las relaciones de largo plazo parecen ser complicadas y varían en fechas particulares. Si se asume que un modelo en particular, como el logarítmico para los precios de la plata, es correctamente especificado y tiene residuales gausianos, es posible derivar el modelo de los precios de la plata y por lo tanto su modelo de corrección de errores. Sin embargo, la presencia usual de residuales no-normales, la presencia frecuente de heterocedasticidad y la realidad de la posible mala especificación del modelo hace este ejercicio de poco valor. No parece que el periodo de la burbuja tenga efecto perdurable en la cointegración, en la dinámica de corto plazo y posiblemente en la relación de no linealidad.

Escribano & Granger afirmaron que el periodo más reciente del conjunto de datos utilizado fue menos volátil, sigue los modelos de cerca de acuerdo con la teoría de mercados eficientes y que al momento en que escribieron su artículo tenia la razón de

precio entre el oro y la plata a niveles históricos por encima de 60, sugiriendo que posiblemente estaba ocurriendo la separación de los mercados.

Ciner (2001) utilizó precios diarios de cierre de contratos futuros de oro y plata del periodo de 1992 a 1998, comercializados en el intercambio de *commodities* de Tokio (TOCOM), para examinar si el oro y la plata tienen tendencias estocásticas comunes y pueden ser modelados como procesos conintegrados. El autor afirmó que si existe una relación de largo plazo estable entre los precios del oro y la plata, los especuladores pueden utilizar esta información para predecir retornos y los coberturistias pueden utilizar estos mercados como sustitutos contra tipos de riesgos similares.

Ciner afirmó en sus conclusiones que los hallazgos estadísticos indicaban que la frecuentemente citada relación estable de largo plazo entre los precios del oro y de la plata había desaparecido y que estos hallazgos son relevantes para los participantes en los mercados del oro y la plata, lo que indica que los dos mercados se aproximan como mercados separados y que los cambios en la razón entre el oro y la plata deben ser utilizados en el futuro para predecir su precio. También implica que estos dos mercados no deben ser considerados como sustitutos para cubrirse de riesgos similares y que el punto de vista es consistente con el entendido de que estos dos tipos de *commodities* tienen diferentes usos económicos y son afectados por diferentes fundamentos económicos.

Dipak, Levin & Wright (2002) en su artículo "Gold As an Inflaction Hedege?" intentan reconciliar una aparente contradicción entre los movimientos de corto y largo plazo en el precio del oro. Su modelo teórico sugiere un conjunto de condiciones bajo los cuales el precio del oro se incrementa a lo largo del tiempo a una tasa de inflación general y por lo tanto puede ser una cobertura contra la inflación. El modelo también demuestra que los cambios de corto plazo en la tasa de arrendamiento del oro, la tasa de interés real, el rendimiento, el riesgo, la covarianza de los retornos del oro con otros activos y la tasa de tipo de cambio del dólar pueden distorsionar esta relación de equilibrio y generar volatilidad. Utilizando datos mensuales del periodo de 1976 a 1999 y técnicas de regresión de cointegración, un análisis empírico confirmó la hipótesis del modelo teórico.

De acuerdo con Dipak, Levin & Wright, en 1885 el precio del oro era de 20.70 dólares por onza, y llevado a valor presente en 1995 de 379 dólares, mientras que en 1995 fue de 387; virtualmente no había cambio en el valor del oro en un periodo de 100 años. La inversión a largo plazo en oro aparenta ser una excelente cobertura contra la inflación de largo plazo. Durante la última década, sin embargo, el oro no ha sido una cobertura confiable contra la inflación, el precio del oro fue de $384 dólares (por onza) en enero de 1982 y de $ 283 en diciembre de 1999. El precio del oro hubiera necesitado subir a $ 691 dólares en noviembre de 1995 con la finalidad de ser una cobertura contra la inflación para los inversionistas de Estados Unidos. En otras palabras, el bienestar real de un inversionista en Estados Unidos que compró oro en enero de 1992 y la mantuvo hasta diciembre de 1999, pudo haber caído 41% del valor de su inversión inicial; una pérdida de 59% en valor real; concluyen que su modelo teórico sugiere que la magnitud de los movimientos de corto plazo del precio del oro es consistente con el incremento en el precio del oro a lo largo del tiempo con una tasa general de inflación. Un análisis utilizando datos mensuales del precio del oro de 1976 a 1999 y técnicas de regresión de cointegración proveen una confirmación empírica de que el oro puede ser considerado como cobertor contra la inflación en el largo plazo. El análisis también confirma que los movimientos en el precio del oro son determinados por las influencia en el corto plazo.

Hiller, Draper & Faff (2006) utilizaron datos diarios del oro, platino y plata del periodo de 1976 a 2004 y realizaron las siguientes contribuciones a la literatura financiera de los metales preciosos.

1.- Examinaron un conjunto de datos significativamente más amplio y reciente que en trabajos previos del tipo, especialmente examinaron de manera conjunta las propiedades de inversión en un periodo de 30 años que finaliza a mediados de 2004. Como resultado, su análisis incorpora el reciente incremento de precios del oro, así como el amplio periodo de soporte de los años 1990.

2.- Su análisis mejora los trabajos previos modelando la variación en el tiempo de la volatilidad para promover la compresión de las propiedades de inversión de los metales preciosos.

3.- Emprendieron el análisis desde ambas perspectivas, dentro y fuera de los Estados Unidos.

4.- Proveyeron por primera vez un análisis comparativo de las inversiones tradicionales en metales preciosos (oro y plata) con un metal precioso industrial (platino) para resaltar sus similitudes y diferencias. Esta comparación permitió inferir el impacto de las actividades desde las propiedades principales de los metales preciosos.

Los precios de los metales preciosos responden a factores de corto y largo plazo. La oferta del platino (y en menor medida, la plata y el oro) está orientada principalmente a usos industriales, con la cantidad ofertada determinada por la cantidad demandada por la industria. La demanda, en cambio, es una función directa del bienestar de la economía. En el largo plazo, los precios del platino subirán si la actividad industrial incrementa y caerán si la actividad industrial declina.

Los movimientos de precio también pueden ser afectados durante periodos largos por cambios en los grandes inventarios de oro y plata que poseen los bancos centrales. Entre los metales, el oro es único, una parte sustancial de su demanda es derivada de usos no industriales. El oro es una forma primaria de reserva de activos poseídos por los bancos centrales alrededor del mundo. Por ejemplo, de acuerdo con el Consejo Mundial del Oro, en marzo de 2004, los Estados Unidos, Alemania Francia e Italia tenían aproximadamente la mitad de sus reservas de capital en forma de lingotes de oro. Adicionalmente en periodos de incertidumbre económica y política los inversionistas frecuentemente tomaban posiciones especulativas de corto plazo en oro y plata, para cubrirse de los riesgos percibidos en el mercado de acciones y bonos.

Los cambios especulativos de corto plazo en el precio y las propiedades de diversificación de los metales para los portafolios financieros, son el enfoque del artículo de Hiller, Draper & Faff. Hasta el día en que lo escribieron, no se había llevado a cabo ningún estudio para realizar un análisis comparativo de este tipo para los tres metales.

La demanda industrial es una gran fuente de demanda para el oro, la plata y el platino, sin embargo, se sugiere que factores similares afectan el precio de los tres metales (con las

ventas de los bancos centrales proveyendo una gran influencia adicional en el mercado del oro y de la plata). Si factores similares afectan su precio, entonces el cambio de precio entre los metales tenderá a estar correlacionado.

Hiller, Draper & Faff concluyeron que a través de analizar datos diarios de los precios del oro, plata y platino para el periodo de 1976 a 2004, demostraron lo siguiente:

- El oro, el platino y la plata tienen potencial para desempeñar un rol diversificador en portafolios de inversión de base amplia.
- Los metales preciosos muestran algunas capacidades de cobertura, particularmente durante periodos de volatilidad anormal en el mercado de acciones.
- Los portafolios financieros que contienen un porcentaje moderado de oro, se desempeñan mejor que los portafolios que únicamente tienen activos financieros.

Desde el punto de vista de la administración de portafolios una pregunta interesante es si los metales preciosos desempeñan mejor un juego táctico o un compromiso estratégico. Aunque no es posible una respuesta definitiva, los autores consideran que la idea de un rol puramente táctico para los metales preciosos no refleja los beneficios potenciales (largo plazo) que pueden ofrecer en los portafolios de inversión. Especialmente los hallazgos de Hiller, Draper & Faff acerca de que la estrategia comprar y mantener (enfoque largo plazo) es claramente superior a la estrategia conmutativa (corto plazo, enfoque dinámico): subraya la importancia potencial de enfocarse en una estrategia de largo plazo.

Incluir a los metales preciosos en una estrategia pasiva (comprar y mantener) mejora la eficiencia del portafolio en el estudio. Además, sus resultados sugieren que en los últimos 25 años el peso óptimo de oro en un portafolio internacional de acciones de base amplia era aproximadamente 9.5%, significativamente mayor que lo que es frecuentemente visto en la mayoría de los fondos en portafolios de acciones actualmente.

Lucey & Tully (2006) reexaminaron los resultados de Ciner (2001), quien afirma que la relación histórica estable entre el oro y la plata se rompió en 1900. Los autores

examinaron la relación dinámica entre el oro y la plata a lo largo del periodo de 1978 a 2002. Este periodo cubre un rango muy extenso de condiciones económicas, cambios políticos en los principales productores y generalmente un incremento en la sofisticación de los activos en el mercado. Incluye al principio del periodo el intento de monopolizar el mercado de la plata de los hermanos Hunt [5]. Los autores concluyeron que en todos los casos se ha visto la razón estadística es superior a 1, indicando que en el periodo de 1978 a 2002 se puede rechazar la hipótesis nula de NO cointegración. Existe una relación estable entre los retornos del oro y la plata en el periodo examinado, en los mercados *spot* y de futuros.

La razón y por lo tanto la probabilidad de rechazo incrementa con el paso del tiempo, pero incluso desde el principio del periodo de estudio (1978 – 1998) puede ser rechazada. Este rechazo no es dependiente de la elección del intervalo de confianza. Este resultado contrasta con Ciner (2001), pero confirma en una configuración dinámica los hallazgos de Wahab et. Al (1994) y Escribano & Granger (1998). Así se puede concluir que la relación estable entre el oro y la plata encontrada históricamente parece haber continuado.

En general los datos indican que no se puede rechazar la hipótesis nula de no cointegración, sin embargo, emergen un número de periodos donde dicho rechazo es posible. El primero de éstos es el periodo de principios de 1979 a 1982, correspondiendo a la monopolización del mercado de la plata por los hermanos Hunt con su correspondiente choque de la plata al oro. El segundo periodo es de 1983 -1984 y emerge como una relación estable, así como en el periodo de 1999 al año 2000.

La explicación de este periodo puede involucrar la explosión de las tasas de interés en 1980 con su correspondiente incremento de los precios del mercado de los metales preciosos. En el periodo 1999 -2001 el acuerdo del oro del Banco Central de Washington

[5] Nelson Bunker Hunt y su hermano William Herbert Hunt radicaban en Texas. A principios de los 70's comenzaron a acumular grandes cantidades de plata y en 1979 estuvieron cerca de colapsar el mercado global, sin embargo cayeron en bancarrota en 1979 y se acogieron al capítulo once de la ley de quiebras de los Estados Unidos.

catapultó el precio del oro. Otros factores en este periodo de tiempo incluyen el mercado bajista de acciones y las actividades terroristas en EUA.

Es interesante observar que Ciner (2001) examinó (aunque en el mercado de Tokio) un periodo de Enero de 1992 a Diciembre de 1998. En gráficas locales se puede observar que este periodo fue cuando, con raras excepciones, el no rechazo de la hipótesis nula de cointegración fue posible. Así, sus hallazgos de no cointegración son reflejados sobre este periodo. Sin embargo, este periodo es excepcional, algunas veces se puede encontrar cointegración , en otras no. Esto puede indicar que los resultados de Ciner son conducidos por el periodo de análisis.

Lucey & Tully (2006) concluyeron que en conjunto los hallazgos indican que en el largo plazo la relación histórica estable observada entre el oro y la plata se ha mantenido. Esta relación es en general fuerte y convincente, sin embargo, existen periodos significativos cuando es débil o se rompe.

El uso de métodos dinámicos de cointegración permitió una mayor disgregación de la relación temporal. Las evidencias indican que en el largo plazo las relaciones aparentan mentir en un horizonte mayor a un año. Para los administradores de portafolios e inversionistas, el mensaje completo es que mientras el oro y la plata, en general ofrecen pequeñas ventajas cuando están juntos en un portafolio debido a su relación cercana, pero no constante. En particular muchos fondos son re-balanceados anualmente, e incluso más frecuentemente, y como puede ser visto en la mayoría de las muestras anuales no existe una relación estable: el caso de la inclusión del oro y la plata en los portafolios puede ser defendible.

Simpson, Svendsen & Chan (2007) presentaron y estimaron tres modelos econométricos sobre el oro, la plata y el platino, con el propósito de proveer un análisis empírico de los movimientos de precio históricos de estos tres *commodities* y como son afectados por los factores económicos, sin embargo, enfocaron una mayor atención y profundidad en el oro. Los autores concluyeron que su modelo econométrico revela que la inflación afecta el precio de los tres metales preciosos más significativamente que otra variable exploratoria en su modelo. La tasa de inflación, sin embargo, mostró mayor

significancia para el platino. Los inversionistas afirman que poseer oro es una forma de protección (seguro) en condiciones económicas adversas y puede ser una buena cobertura cuando se considera la tasa de intercambio nominal efectiva. Por lo tanto, el oro, incrementará cuando el dólar decrezca, lo cual causaría que los inversionistas buscaran cobertura. Los precios de los tres metales preciosos también son acordes con la intuición de los autores de que los precios incrementarían (en diferentes cantidades) cuando el índice GSCI de *commodities* (S&P 500) incrementara uno por ciento. Las expectativas eran que las reservas mundiales fueran significantes en su modelo, pero los resultados muestran que no son significantes para cada metal

Batten, Ciner, Cetin & Lucey (2009) utilizaron datos mensuales del periodo de enero de 1986 a mayo de 2006 para examinar los determinantes de la volatilidad para los cuatro metales preciosos clave en el comercio: oro, plata, platino y paladio. Los autores concluyeron que sus resultados proveen solo evidencia limitada de que los mismos factores macroeconómicos en conjunto influencian el proceso de volatilidad de las series de metales preciosos examinados, aunque también existe evidencia limitada de retroalimentación entre los metales preciosos. Su enfoque en metales preciosos provee evidencia adicional de la sustitución entre el oro y la plata, donde los metales preciosos ocupan mercados separados con diferentes usos y funciones.

Hammoudeh, Yuan, McAleer & Thompson (2010) examinaron la volatilidad condicional, las dependencias de correlación e interdependencias para los cuatro metales preciosos principales: oro, plata, platino y paladio. Usaron modelos multivariados GARCH con asunciones alternativas, relacionadas con la media condicional, varianzas condicionales, covarianzas con asunciones alternativas relacionadas con la media condicional, varianza condicional, covarianza condicional y correlaciones condicionales. Incluyeron el vector autoregresivo, el promedio móvil, el modelo GARCH (VARMA – GARCH) y el modelo de correlación dinámica condicional (DCC). Utilizaron el modelo DCC – GARCH como prueba de diagnóstico de los resultados del modelo VARMA – GARCH. De acuerdo con los autores, este modelo permitió examinar la volatilidad y los efectos transversales de la correlación con parámetros estimados significativos y menos complicados computacionalmente que los que caracterizan estos modelos.

Un segundo objetivo de la investigación realizada por Hammoudeh, Yuan, McAleer & Thompson fue examinar los efectos de los efectos de la retroalimentación de la volatilidad y el tipo de cambio dólar/euro. Casi todos los metales son sensibles a cambios en la tasa de cambio del dólar, particularmente la del dólar/euro, la cual es seguida de cerca por practicantes de monedas, *commodities* y reguladores. Un tercer objetivo de la investigación realizada por los autores fue derivar las implicaciones de los resultados estimados en las varianzas y covarianzas para efectuar un diseño de portafolio óptimo y estrategias de cobertura.

Los autores concluyeron que los resultados muestran que casi todos los metales preciosos son moderadamente sensibles a las noticias propias y responden débilmente a las noticias sobre otros metales en el corto plazo. Esto subraya la importancia de la cobertura en el corto plazo, pero también muestra que la cobertura de los metales preciosos contra cada uno de ellos es limitada. Existe, sin embargo, alta sensibilidad a la volatilidad histórica en el largo plazo con alta sensibilidad a la plata y a la debilidad del oro.

La propagación de la volatilidad es más fuerte que la propagación de los choques o noticias, lo cual indica que esta propagación es predecible. La matriz CCC muestra que el oro y la plata tienen las más altas correlaciones condicionales (.42) entre cualquier par de metales precioso, después del platino y paladio (.48).

Al examinar la sensibilidad a la volatilidad de los metales precios a la volatilidad de la tasa de cambio en presencia de políticas monetarias en el modelo II, las estimaciones mostraron que esta sensibilidad es más fuerte, particularmente para la plata. Los resultaros reflejaron el hecho de que el oro es el más seguro al estar en el vuelo del dólar a la seguridad de los metales preciosos. También hay volatilidad inversa de los metales preciosos a la tasa de cambio.

Los resultados anteriores reflejan en estrategias, el objetivo de diseñar la participación óptima en la cartera y una cobertura efectiva. Entre los pares de metales que están altamente correlacionados como el oro y la plata, la participación óptima de los dos activos se inclina fuertemente por un activo a expensas de otros. El resultado muestra que no se tienen dos activos bien balanceados para los metales preciosos. Estos resultados

también se manifiestan en el tamaño de las razones de cobertura entre pares de metales apuntan a una cobertura del otro contra el riesgo de tipo de cambio.

Baur & Tran (2012), motivados por los grandes cambios en los *commodities* (especialmente por los del periodo de 2004 a 2011) y la pregunta de investigación planteada por Escribano & Granger (1998), quienes de acuerdo con los autores analizaron la relación de precio entre el oro y la plata para el periodo de 1971 a 1994 y encontraron que el oro y la plata están cointegrados especialmente durante el periodo específico de una burbuja o posterior a la misma, sugiriendo también que los dos mercados pueden estar en un proceso de separación.

Debido a que Baur &Tran no están conscientes de un estudio que haya contestado exhaustivamente los eventos planteados por Escribano & Granger, después de la publicación de su artículo y haya soportado su conjetura respecto a la separación de los mercados, Baur & Tran, analizaron la relación de largo plazo entre los precios del oro y de la plata para el periodo de 1970 a 2011 y plantearon que el oro y la plata han sido sustitutos por miles de años, lo que sugiere que existe una relación de largo plazo entre los dos metales, sin embargo, existen varios factores que pueden alejar los precios de cada metal. Estos factores son la demanda industrial para la plata y la joyería, demanda dental y bancos centrales para el oro. La popularidad de estos *comoditties* como inversión y cobertura contra eventos financieros y económicos adversos, pueden constituir una fuerza para crear una relación de largo plazo no existente o fortalecer una relación a largo plazo preexistente. Baur & Tran concluyeron que el rol de los episodios de comportamiento extremo de precios y la estabilidad de una relación de equilibrio, y en particular las burbujas, causan la relación entre el oro y la plata; además si los periodos de burbujas se encuentran en los modelos, la evidencia de una relación de largo plazo desaparece o se debilita sustancialmente. De manera interesante, la crisis financiera y económica de 2008 no muestra un impacto en la relación del precio del oro y de la plata similar a las burbujas y esto puede ser claramente distinguido en dichos episodios.

Un modelo de correcciones de errores y la prueba de causalidad de Granger revelan que el oro conduce el precio de la plata, y esto la relación de largo plazo a pesar de la mayor volatilidad del precio de la plata. Finalmente, una sub-muestra confirma la

predicción de Escribano & Granger. Existe evidencia de que los precios del oro y de la plata se separaron en 1990. Baur & Tran mencionan que las relaciones del precio del oro y de la plata no son estables con implicaciones positivas para la hipótesis de eficiencia de mercados y para los arbitrajistas.

Al revisar la literatura financiera relacionada con los metales preciosos se detectó que existe un debate académico relacionado con la cointegración entre los precios del oro y de la plata, y que las conclusiones acerca del tema se encuentran fuertemente relacionadas con la muestra seleccionada para el estudio y con las características económicas del periodo. Este debate tiene trascendentes implicaciones para la investigación financiera, ya que de la cointegración dependen las características de cobertura de ambos metales y la posibilidad de incluir a ambos o solamente a alguno de ellos en los portafolios de los fondos de inversión.

Se debe profundizar más determinando si las variables económicas se encuentran involucradas en dicha relación y cuáles son las que tienen mayor efecto en dicha cointegración, si es que existe. Además se puede extender exhaustivamente la investigación financiera de los metales preciosos a otros metales preciosos que sean altamente valorados en los mercados financieros *spot* y de futuros, entre los cuales se sugiere estudiar las propiedades financieras del platino y de su relación con el oro y la plata así mismo se sugiere investigar el efecto de la interacción de los precios de los metales antes mencionados con las variables macroeconómicas que pudieran afectar el rendimientos de sus precios.

Una vez revisadas las aplicaciones financieras del oro, plata y platino, se revisará la técnica de cointegración de Granger con la finalidad de conocer sus características y aplicaciones en investigaciones previas para considerarla como una herramienta en el estudio del rendimiento de precios de los metales preciosos de interés.

Capítulo 3

3. Relación Causal entre Variables

La identificación y el análisis de las interrelaciones de causalidad entre variables es un tema que ha atraído el interés del hombre durante siglos. Un par de variables medidas en intervalos de tiempo iguales, se denomina series de tiempo. El análisis de series de tiempo mediante el concepto de causalidad es muy amplio, ha sido empleado en la mercadotecnia, finanzas y economía, así como en muchas otras disciplinas propias de las ciencias naturales.

El concepto de causalidad se basa en la idea de que en el tiempo la causa siempre precede a los efectos. Si una serie de tiempo causa a otra, el conocimiento del primer proceso ayudaría a predecir los valores futuros del otro después de que hayan sido tomadas en cuenta las influencias de otras variables.

Stuart & Marshall (1890) definieron la idea de un modelo causal en donde el factor tiempo es la causa principal de las dificultades en las investigaciones económicas que hacen necesario al hombre con sus limitados conocimientos, descomponer un problema complejo de estudio en unos más simples, en los que se estudie una fracción del problema a la vez y a partir de la combinación de soluciones parciales se resuelva la totalidad del enigma.

De acuerdo con Sheehan & Grieves (1982) la teoría económica propone que existen fuerzas que originan que dos series de tiempo de interés mantengan una relación de equilibrio donde un modelo de correlación permite obtener evidencia de la presencia de dicha relación. La interpretación de la teoría de interés relacionada, permite abstraer la dirección y el significado de la relación.

La causalidad propuesta por Granger es un avance matemático sobresaliente, el cual implica que el futuro no puede causar al pasado. Se examina si la predicción de los valores futuros de "y" pueden ser mejorados si, por encima de los propios valores de y, son tomados en cuenta los valores actuales y rezagados de x.

Los periodos largos de tiempo representados por una única observación (una observación por año) son quizá demasiado extensos para asumir que un cambio en una variable podría influenciar únicamente a otras en el futuro. En la investigación financiera que involucra series de tiempo la frecuencia de las observaciones es muy alta (diaria) por lo que dicho problema no se presentará en la presente investigación.

El concepto de causalidad de Granger no coincide con el concepto de causa – efecto por lo que para clarificarlo se propone el siguiente ejemplo:

Ejemplo. Considere una ciudad del norte del país con altas temperaturas y alto nivel de consumo de energía eléctrica. Los días que se presentan altas T = temperaturas se consume una gran cantidad de E = Energía Eléctrica. Aquí no se tiene ninguna dificultad al afirmar que los altos niveles de temperatura causan un mayor consumo de energía eléctrica. Supongamos que la disponibilidad de energía eléctrica para consumo domestico es ilimitada. Si uno pudiera determinar una T irregular y ver si una E lo sigue, uno podría determinar que T causa a E. Entonces se podría definir lo siguiente: Si una T inesperada pronostica E entonces se sabe que T causa a E. Esto resulta ser una de las varias definiciones equivalentes de la causalidad en el sentido de Granger o Causalidad de Granger.

El análisis de series de tiempo basado en el dominio temporal procura caracterizar los datos en las mismas condiciones en las cuales son observados; sus principales instrumentos para la caracterización de relaciones entre valores de datos en el dominio temporal son las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial. Un Enfoque alternativo es el análisis con dominio de frecuencia, el cual representa la serie en términos de las contribuciones que ocurren en escalas de tiempo diferentes, o frecuencias características. Cada escala de tiempo es representada por un par de funciones de coseno y seno. La serie de tiempo total es considerada como proveniente de los efectos combinados de una colección de senos y cosenos que oscilan en diferentes periodos. La suma de estas ondas reproduce los datos originales.

Uno de los primeros investigadores del análisis espectral fue Nerlove (1964), quien realizó los primeros estudios de ajuste estacional, posteriormente Granger (1964, 1969),

introdujo los métodos espectrales cruzados, los cuales han sido de fundamental importancia en la interpretación de las relaciones económicas. Granger (1969) fue uno de los principales exponentes de la línea de investigación que permite identificar la relación causal entre un par de variables. Propone que la idea básica que subyace a dos representaciones espectrales de un par de series de tiempo es que la serie se puede descomponer como una suma (es decir, integral) de componentes no correlacionados, cada uno asociado a una frecuencia particular. De ello se deduce que la varianza de la serie es igual a la suma de las varianzas de los componentes. El espectro de potencia registra las variaciones de los componentes en función de sus frecuencias e indica la importancia relativa de los componentes en términos de su contribución a la varianza global.

El presente capitulo inicia con las definiciones formales que permiten conocer los conceptos involucrados en la técnica propuesta por Granger (1969) y posteriormente se analizan las aplicaciones en las investigaciones realizadas por otros autores, para finalmente concluir con la importancia de utilizar esta herramienta en la investigación aplicada al "Estudio de los Rendimientos de los Metales Preciosos".

3.1. Prueba de Causalidad de Granger

Granger (1986) expone que ciertos pares de variables económicas no deben divergir el uno del otro por un periodo de tiempo muy grande, por lo menos en el largo plazo. Por lo tanto, estas variables pueden distanciarse en el corto plazo, o de acuerdo a factores estacionales, Sin embargo, si se encuentran demasiado distantes en el largo plazo, la presencia de fuerzas económica, como un mecanismo de mercado o la intervención del gobierno, puede reducir la distancia entre ambas variables.

Granger (1969) investigó las relaciones en modelos que implican retroalimentación y las funciones que se plantean en el análisis espectral aportando a la literatura la inclusión de una serie de definiciones y pruebas con respeto a la retroalimentación y causalidad entre series de tiempo. Demostró que el mecanismo de retroalimentación de dos variables puede ser descompuesto en dos relaciones causales y que el espectro cruzado puede ser

considerado como la suma de dos espectros cruzados, cada uno estrechamente vinculado con una de las causalidades.

Retroalimentación

Un modelo de retroalimentación se integra por un conjunto de ecuaciones lineales que involucran su propia información presente y pasada para determinar su comportamiento futuro. La parte no explicada por el modelo es un proceso estocástico no correlacionado estadísticamente al cual se le denomina ruido blanco.

$\in_t$ que satisface $E[\in'_t \in_s] = 0$ para t $\neq$ s y $E[\in'_t \in_s] = I$ para t = s, donde 0 es matriz de ceros e I es matriz unitaria. Un modelo de retroalimentación tiene la forma

$$x_t + b_0 y_t = \sum_{j=1}^{m} a_j x_{t-j} + \sum_{j=1}^{m} b_j y_{t-j} + \in'_t$$

$$y_t + c_0 x_t = \sum_{j=1}^{m} c_j x_{t-j} + \sum_{j=1}^{m} d_j y_{t-j} + \in'_t$$

Si $b_0 = c_0 = 0$ entonces será un modelo causal simple, de lo contrario será un modelo de causalidad instantánea.

Causalidad

Granger propuso un conjunto de definiciones de causalidad y retroalimentación con la finalidad de facilitar la interpretación de la coherencia y la fase que aparecen en el análisis espectral de las series de tiempo. Ambas definiciones requieren los siguientes conceptos iniciales.

Sea A_t un proceso estocástico estacionario, $\overline{A_t}$ representa el conjunto de valores pasados $\{A_{t-j}$, j = 0,1,2,..... $\propto\}$ y $\overline{\overline{A_t}}$ representa el conjunto de valores pasados y presentes $\{A_{t-j}$, j = 1,2,..... $\propto\}$. Además $\bar{A}$(k) representa el conjunto $\{A_{t-j}$, j = k, k +1,..... $\propto\}$. Sea $P_t(A|B)$ el predictor de mínimos cuadrados (insesgado y eficiente) de A_t usando el

conjunto de valores de B_t. Entonces $P_t(x|\bar{x})$ es el mejor predictor de x_t usando solamente el pasado de x_t. La serie de errores de predicción es denotada por $\in_t (A|B) = A_t - P_t(A|B)$. Finalmente, $\sigma^2(A|B)$es la varianza de $\in_t (A|B)$.

Sea v_t toda la información acumulada en el universo desde el tiempo *t-1* y sea $v_t - y_t$ toda esta información excepto aquella de la serie especificada y_t. Entonces se establecen las siguientes definiciones.

Definición 1: Causalidad: Si $\sigma^2(x|v) < \sigma^2(x|\overline{v-y})$, dígase que y está causando a x, denotada por $y_t => x_t$. Se dice que y_t está causando x_t si se tiene una mayor capacidad de predecir x_t utilizando toda la información disponible que la utilizada para predecir y_t .

Definición 2: Retroalimentación: Ocurre si $\sigma^2(x|\bar{v}) < \sigma^2(x|\overline{v-y})$, $\sigma^2(y|\bar{v}) < \sigma^2(y|\overline{v-y})$, lo cual es denotado como $y_t \Leftrightarrow x_t$. Se dice que ocurre retroalimentación si x_t causa y_t, y también y_t causa x_t

Definición 3: Causalidad Instantánea: Si $\sigma^2(x|\bar{v},\bar{\bar{y}}) < \sigma^2(x|\bar{v})$, dígase que la causalidad instantanea ocurre si $y_t => x_t$ ocurre. En otras palabras, el valor actual de x_t es mejor predicho si el valor presente de y_t es incluido en el pronóstico.

Definición 4: Causalidad Rezagada: Si $y_t => x_t$, definase el razago de la causalidad lag m, como el mínimo valor de k de tal manera que $\sigma^2(x|\bar{v} - y(k)) < \sigma^2(x|\bar{v} - y(k+1))$. De esta manera conocer los valores de y_{t-j}, $j = 0,1,\ldots,m-1$ será de gran ayuda en la mejora de la predicción de x_t .

En las definiciones anteriormente presentadas se ha asumido que están involucradas únicamente series estacionarias. En el caso no estacionario, $\sigma(x|\bar{v})$, dependerá del tiempo t y en general la existencia de causalidad puede ser alterada a lo largo del tiempo

La definición de la causalidad utilizada anteriormente se basa totalmente en la predicción de algunas series, x_t. Si algunas otras series y_t contienen informaciación en términos pasados que ayuden en la predicción de x_t y si la información no es contenida por otras series utilizadas en la predicción, se dice que y_t causa x_t. El paso del tiempo claramente desempeña un rol central en estas definiciones. De acuerdo con Granger (1969) existe poco uso práctico de de la definición de causalidad sin introducir la variable tiempo.

3.2. Aplicaciones de la Prueba de Causalidad de Granger

A continuación se revisará la literatura económica – financiera relacionada con las aplicaciones prácticas de la Prueba de Causalidad de Granger con la finalidad de incorporar el resultado de estudios previos como punto de partida para esta investigación. Para cada artículo se analizarán: la aplicación de la técnica, el periodo de datos utilizado y las conclusiones de la investigación.

Ashley, Granger & Schmalense (1980) en su estudio analizaron si las variaciones de corto plazo en la publicidad agregada afectan el nivel de gasto en consumo y como se puede probar la causalidad en el contexto de las series de tiempo de dos variables. Para el estudio se utilizaron observaciones cuatrimestrales de los gastos estimados en publicidad (El índice de mercadotecnia y comunicación de EUA) de 1976 a 1970 produciendo un total ochenta observaciones, así mismo para reducir le heterocedasticidad observada se utilizó una transformación logarítmica de las series. Al aplicar la prueba de causalidad de Granger se proveyó evidencia de que las fluctuaciones en el consumo agregado causan fluctuaciones en la publicidad agregada. Sin embargo, no se presentan estadísticos significativos que sugieran que los cambios en la publicidad afecten el consumo.

Manage & Marlow (1986) estudiaron la relación causal entre los gastos federales de los Estados Unidos y sus ingresos con la finalidad de examinar la validez de los reclamos realizados por varios grupos políticos de que el aumento de los impuestos reducirá el déficit fiscal. El estudio involucra pruebas de causalidad entre ingresos por impuestos y gastos en el periodo de 1929 a 1982 con la finalidad de obtener información acerca de cómo los ingresos pasados han influenciado los niveles pasados de gastos.

Los autores encontraron evidencia de que siete de cada doce casos (58%) indican causalidad bidireccional entre ingresos y gastos. Los casos restantes (42%) indican una relación unidireccional en el sentido de los ingresos a los gastos. Los resultados aparentan ser sensibles a la estructura de rezagos lo cual es consistente con otros estudios que utilizan la prueba de causalidad de Granger. Sin embargo, estos resultados no permiten concluir que los ingresos por impuestos no causan los gastos federales.

Ram (1988) utilizó datos anuales del periodo de 1929 a 1983 para analizar la causalidad de los ingresos y gastos federales de todos los estados y municipios de los Estados Unidos. Para los gobiernos del sector federal y estatal, se utilizaron datos cuatrimestrales del periodo de 1947 a 1983. Todos los datos de ingresos y gastos fueron tomados del Departamento de Comercio de los Estados Unidos y de las ediciones de julio de 1982 y julio de 1984 de la encuesta de Negocios Actuales.

Adicionalmente a las pruebas de causalidad de precios actuales (datos nominales), se realizaron tres diferentes mediciones a precios contantes basados en el índice de precios al consumidor (CPI) utilizando al producto interno bruto como deflactor y un deflactor implícito para los sectores de gobierno federal, estatal y local.

Los datos con deflactores implícitos para los gobiernos, federales, estatales y locales, provienen de la misma fuente los datos anuales del Índice de Precios al Consumidor de 1929 a 1946 provienen del Buró del Censo de los Estados Unidos. Los datos cuatrimestrales fueron tomados del buró de Estadísticas Laborales. Así mismo se introdujo una variable *dummy* para el periodo que la depresión y de la segunda guerra mundial.

La principal conclusión fue que existe una considerable variación en los resultados para los diferentes casos. Sin embargo, en general parece que la causalidad proviene principalmente para el caso de los datos federales de los ingresos a los gastos. Sin embargo, en para el caso de los datos estatales y locales proviene de los gastos a los ingresos.

Gülen (1996) utilizó el análisis de cointegración de Granger en cuatro periodos de tiempo diferentes 1965:1-1993:2 (muestra completa), 1965:1-1973:9 (previo al primer choque de los precios del petróleo), 1974:2 a 1993:2 (posterior al primer choque de los precios del petróleo) y 1982:1 a 1993:2 (posterior a la era de la racionalización) con la finalidad de intentar determinar si la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) es un cartel cuyos miembros se ponen de acuerdo en el rol asignado por la organización en un marco de racionamiento (reparto del mercado), donde la OPEP tiene el poder de afectar el precio del mercado del petróleo a través del ajuste de su producción.

Si la OPEP fuera un cartel efectivo que comparte el mercado entre sus miembros, existiría un equilibrio de largo plazo entre la producción individual de cada uno de sus miembros y la producción total de la OPEP. Los Emiratos Árabes Unidos, Venezuela y en cierto grado Libia, tienden a moverse en armonía con la organización; en otras palabras respetan su cuota. A pesar de las fuertes negociaciones para la colocación de la producción entre algunos miembros y del colapso del precio de 1986, cuando menos siete miembros de la OPEP parecen actuar como un todo cohesivo en el periodo de 1982:1 a 1993:2. Los precios del petróleo se colapsaron en 1986 como resultado del la falla de la OPEP para administrar su sistema de cuotas. La OPEP inició actuando como cartel en 1980's con la finalidad de prevenir una caída mayor en los precios.

Chen & Lai (1997) estudiaron la causalidad de Granger entre: (1) el consumo de energía y el crecimiento económico y, (2) entre el consumo de energía y el empleo en Taiwán. Chen & Lai utilizaron en su estudio la versión de Hsiao's de causalidad de Granger y el criterio FPE[6] con la finalidad de calcular el tamaño óptimo de los rezagos. Subsecuentemente realizaron pruebas de causalidad bivariadas de Granger, las cuales mejoraron la estimación estadísticas de las relaciones causales entre las dos variables. Los resultados del estudio revelan causalidad en dirección del consumo de energía al empleo sin retroalimentación. También se encontró que existe una relación causal en dirección del crecimiento económico al crecimiento del consumo en la energía pero no viceversa.

Los autores concluyeron que en general para los países recientemente industrializados, la energía es un ingrediente importante para el desarrollo económico. La producción en industrias como la manufactura construcción y la transportación demandan una cantidad sustancial de energía. Taiwán es considerado una economía recientemente industrializada la cual se encuentra bien desarrollada pero no altamente desarrollada. Consecuentemente, un incremento en la producción influye en el consumo de energía, la cual a su vez impulsa el empleo. Adicionalmente, un incremento en el consumo de energía también afecta directamente al empleo.

Escribano & Granger (1998) utilizaron datos mensuales del periodo de 1971:1 a 1990 para estudiar la relación de largo plazo entre los precios del oro y de la plata.

[6] Criterio Final de Predicción de Error de Akaike.

Analizaron la influencia de la gran burbuja de 1979:9 a 1980:3 en la relación de cointegración, el grado en el cual al incluir los términos de corrección de errores en forma no lineal puede mejorar el modelo de caminata aleatoria fuera de la muestra y la existencia de relaciones simultaneas fuertes entre las tasas de retorno entre el oro y la plata. Los autores concluyeron que durante la burbuja y en periodos posteriores a la misma, encontraron evidencia de cointegración pero con diferentes intercepciones. En la muestra los modelos no lineales para la plata se desempeñan mejor que las caminatas aleatorias, pero su capacidad predictiva se pierde fuera de la muestra, principalmente debido al cambio estructural que ocurre con la reducción de la varianza del modelo, durante el periodo posterior a la muestra. Para el oro, los modelos no lineales se desempeñan mejor dentro y fuera de la muestra. La capacidad predictiva de los modelos no lineales se reduce cuando los modelos cuando los modelos son logarítmicos.

Kwon & Shin (1999) utilizaron 156 observaciones mensuales del periodo de Enero de 1980 a Diciembre de 1992 del precio de acciones ponderado, del Índice Coreano Compuesto de Precio de Acciones (KOSPI), del Índice de Precio de Acciones de Tamaño Pequeño (SMLS) y la prueba de causalidad de Granger para estudiar si las actividades económicas en Corea puede explicar el retorno del mercado de acciones, sobre la base de respuesta del precio de las acciones a las fluctuaciones macroeconómicas.

El Vector de Corrección de Error ilustra que el precio de las acciones están cointegradas con un conjunto de variables macroeconómicas, esto es, tipos de cambio, balanza comercial, niveles de producción y flujo de dinero. Esta relación de cointegración indica relaciones directas de equilibro y de largo plazo entre estas variables. Sin embargo, es importante destacar que la variabilidad del precio de las acciones está fundamentalmente ligada a las variables económicas y cambios en los rezagos del precio de las acciones detrás de las actividades económicas. A pesar de que el índice de precios de acciones y el índice de producción se afectan simultáneamente, en general el índice de precios de acciones no es el principal indicador de las variables económicas y finalmente, las percepciones de los inversionistas acerca del movimiento del precio de las acciones son un poco diferentes a las percepciones de los inversionistas de Japón y de los Estados Unidos, sugiriendo que el

mercado coreano es más sensible a las actividades comerciales internacionales que a la inflación y a las tasas de interés.

Stern (2000) extendió su trabajo previo de análisis de la relación causal entre el Producto Interno Bruto (PIB) y el uso de la energía en el periodo de la postguerra en los Estados Unidos, integrando variables relevantes que justifican el análisis de cointegración. Los resultados demuestran que la cointegración ocurre y que la energía no puede ser excluida del espacio de cointegración. Estos resultados fueron similares a los de su análisis previo de causalidad de Granger y contradicen a las afirmaciones en la literatura (basados en modelos bivariados) que indican que no existen cointegración de Granger entre la energía y su suministro.

Asafu-Adjaye (2000) utilizó técnicas de cointegración para analizar la relación causal entre el consumo de energía y el ingreso para cuatro países en vías de desarrollo dependientes de energía asiáticos: India, Indonesia, Filipinas y Tailandia. Estos países fueron seleccionados debido a que tienen importante dependencia de energía y a que están preparados para el despegue a la fase de industrialización. Este enfoque ofrece la oportunidad de investigar otros canales en la relación causal entre el consumo de energía y el crecimiento económico. Se utilizaron datos de series de tiempo anuales: que para India e Indonesia cubren el periodo de 1973 a 1995, mientras que las de Tailandia y Filipinas cubren el periodo de 1971 a 1995. Los datos fueron obtenidos de los Indicadores Mundiales de Desarrollo (WDI) de 1998 publicados por el Banco Mundial. La selección del periodo de inicio fue restringida por la disponibilidad de los datos de consumo de energía. El autor concluyó que en el caso de India e Indonesia existe causalidad unidireccional de la energía al ingreso y para el caso de Tailandia y Filipinas es bidireccional. Los hallazgos son consistentes con las expectativas de que las economías dependientes de energía son relativamente más vulnerables a choques energéticos. Indonesia es el único exportador neto de energía en la muestra y por lo tanto se encontró neutralidad [7] en el corto plazo entre la energía y el ingreso. Por lo cual, en el caso de Indonesia es relativamente mayor la

[7] A la falta de relevancia del dinero sobre las variables reales se le denomina neutralidad monetaria. Este fenómeno se explica porque la Oferta Agregada de Largo Plazo es inelástica por lo que un cambio en la oferta monetaria puede desplazar la Demanda Agregada y con ello modificar el nivel de precios, pero el nivel de producto permanece constante. Sin embargo, en el corto plazo tanto el nivel de producto como el de precios sí pueden variar. Así, el supuesto de que el dinero es neutral implica que un cambio permanente e inesperado en la cantidad de dinero afecta a las variables nominales, pero no a las variables reales.

pendiente para medidas más drásticas de conservación de energía sin impactos severos en su crecimiento económico.

Yang (2000) estudió la causalidad entre el Consumo de Energía y el Producto Interno Bruto (PIB) de Taiwán en el periodo de 1954 a 1997 así mismo, investigó la relación causal entre el PIB y algunas categorías desagregadas del consumo de energía incluyendo el carbón, petróleo, gas natural, y electricidad. El autor encontró una relación bidireccional de causalidad entre el Consumo de Energía y el Producto Interno Bruto (PIB) de Taiwán en el periodo de 1954 a 1997.

Soytas & Sari (2003) utilizaron técnicas de cointegración y el vector de corrección de errores para estudiar la relación causal entre el Producto Interno Bruto y el Consumo de Energía de los 10 principales mercados emergentes y los países del G-7. Los autores utilizaron datos anuales de consumo de energía y producto interno bruto per cápita (EC). [8] las fuentes de datos fueron: varios tomos del Libro Anual de Estadísticas de las Naciones Unidas. Para todos los países se utilizó el periodo de 1950 a 1992, excepto para Argentina (1950 a 1990), Indonesia (1960 a 1992), Corea (1953 a 1991) y Polonia (1965 a 1994). En todos los países ambas series (PIB y Consumo de Energía) parecer ser no estacionarias, pero estacionaria en las primeras diferencias. Para siete países existe una relación de cointegración estacionaria lineal entre las variables. En Turquía, Francia, Alemania y Japón, la causalidad va del Consumo de Energía al PIB. En el caso de Argentina, se encontró causalidad bidireccional lo que indica que la conservación de la energía en el largo plazo puede dañar el crecimiento económico en el largo plazo. Para el caso de Italia y Corea, la relación de causalidad es inversa.

Altinay & Karagol (2005) investigaron la relación causal entre la electricidad y el Producto Interno Bruto real, en Turquía, utilizando observaciones anuales que cubren el periodo de 1950 a 2000. Los datos fueron medidos a precios constantes de 1987 y denominados en Lira Turca; se obtuvieron de dos fuentes: Los datos reales del Producto Interno Bruto fueron extraídos de la Organización Estatal de Planeación (2001) y de los Indicadores Económicos y Sociales (1950 a 2000). Los datos del consumo total de energía fueron expresados en términos de Giga-watt hora (GW-h) y fueron obtenidos del Instituto

8 EC representa el equivalente a un millón de toneladas métricas de carbón.

Estatal de Estadística (2003) y de los Indicadores Estadísticos (1923 a 2002). Todos los datos fueron transformados a logaritmos naturales. Los autores concluyeron que la causalidad que ocurre del consumo de energía eléctrica al ingreso puede ser interpretada como que el consumo de energía eléctrica precede al crecimiento económico en Turquía. El consumo de energía puede ser visto como el principal indicador del crecimiento económico, lo cual implica que el suministro de electricidad es vitalmente importante para continuar con el crecimiento del consumo de electricidad y por lo tanto hacer sustentable el crecimiento económico de Turquía.

Narayan & Smyth (2008) estudió la relación causal entre el consumo de energía, exportaciones y el Producto Interno Bruto. El análisis empírico está basado en seis países del medio Este: Irán, Kuwait, Omán, Arabia Saudita, Israel y Siria. Se utilizaron series de tiempo anuales para el periodo de 1974 a 2002. La muestra fue restringida para a aquellos países cuyos datos se encontraban disponibles para dicho periodo. El consumo per cápita de electricidad, fue medido en KWh, el PIB per cápita y las exportaciones fueron medidas en dólares estadounidenses a precios de 1995 basándose en la paridad del poder de compra. Los datos del PIB y de la electricidad fueron obtenidos del EIA (2003) mientras que los datos de las exportaciones fueron obtenidos del IMF (2003). Previo a su análisis empírico, todos los datos fueron convertidos a logaritmos naturales. Los principales hallazgos del estudio para la muestra de países del medio este, es que existe causalidad de Granger bidireccional entre el consumo de electricidad y el ingreso real, así como en el sentido de las exportaciones al ingreso real y de las exportaciones al consumo de energía. Estos resultados indican que el consumo de electricidad y el ingreso real mejoran el poder predictivo de las otras series de tiempo y que las exportaciones mejoran el poder predictivo del consumo de energía eléctrica y el ingreso real. La causalidad bidireccional de Granger entre el consumo de energía eléctrica y el ingreso real implica que el consumo de electricidad y el crecimiento económico están conjuntamente determinados y afectados al mismo tiempo. Por otro lado, una expansión en el PIB real incrementa el consumo de energía en Israel, Omán y Siria y en general para toda la muestra. Un incremento en el consumo de energía eléctrica genera como resultado un mayor ingreso real para toda la muestra así como para los resultados individuales de Israel, Omán y Siria. Los resultados sugieren para toda la muestra, que estos países deben adoptar una estrategia energética

Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México
Biblioteca

dual, de incremento en la inversión eléctrica y de establecimiento de políticas de ahorro energético con la finalidad de reducir los desperdicios innecesarios de electricidad con la finalidad de evitar un efecto negativo de la reducción de consumo de electricidad en el crecimiento económico.

Al revisar la literatura se detectó que a partir de que Granger publicó en 1969 su artículo "Investigating Causal Relations by Econometric Modelos and Cross-spectral Methods" con la finalidad de dar a conocer a la comunidad científica sus investigaciones acerca del análisis de causalidad, la técnica ha sido ampliamente utilizada con la finalidad de identificar si dos series de datos se encuentran relacionadas, definir si dicha relación es unidireccional y su dirección o en su caso identificar la existencia de una relación entre ambas variables.

En los artículos anteriores se puede observar que en todos los casos las variables involucradas son del tipo económico – financieras, lo cual se debe a que dichas variables varían con el tiempo y son medidas periódicamente dependiendo de la naturaleza y contexto de la variable. El análisis de correlación de Granger podrá ser utilizado en el análisis cuantitativo de la presente investigación con la finalidad de estudiar la relación entre las variables de interés, las cuales inciden en la dinámica de rendimiento de los precios de los metales preciosos.

Debido al interés de estudiar la dinámica del rendimiento de precios de los metales preciosos y no únicamente la relación de dos variables se propone complementar el estudio revisando los modelos autoregresivos multivariados, los cuales permitirán considerar múltiples variables así como el efecto de sus rezagos. El conocer sus características y aplicaciones en investigaciones previas permitirá considerar a los modelos autoregresivos como una herramienta complementaria y determinar qué modelo de la familia GARCH es más indicado para el estudio del rendimiento de precios de los metales preciosos de interés.

Capítulo 4

4. Modelos Autoregresivos

Los mercados financieros son un sistema complejo de variables en los que el estudio de la volatilidad es de suma importancia debido a su gran influencia en el mercado. Se denomina volatilidad a la desviación estándar de los precios, la cual es dependiente del tiempo y cambia en función de la información y de los agentes heterogéneos (Mantegna & Stanley, 2004). A partir de la introducción del modelo Heterocedástico Autoregresivo Condicional (ARCH), por Engle (1982), el modelado de las series de tiempo financieras ha sido objeto de gran atención.

4.1. El modelo ARCH

De acuerdo con Mantegna & Stanley (2004), un enfoque que permite describir un proceso estocástico caracterizado por su varianza dependiente del tiempo, es el proceso ARCH (AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity), propuesto por Engle en 1982 en su artículo titulado "Autoregressive Conditional Heterocedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation" para capturar la volatilidad persistente en la inflación. El modelo ARCH se ajusta a muchas aplicaciones de series de tiempo financieras, lo que conllevó a que en 2003 le fuera otorgado a Robert Engle el premio nobel por sus aportaciones a la ciencia. El modelo ARCH introducido por Engle ha sido ampliamente extendido por muchos investigadores entre los que destacan, Bollerslev (1986) y Bollerslev, Engle and Wooldrige (1988), entre otros.

Un proceso estocástico con heterocedasticidad autoregresiva condicional también denominado proceso estocástico con varianza condicional no constante, pero con varianza incondicional constante, es un proceso ARCH definido por la ecuación:

$$h_t = \omega + \sum_{j=1}^{q} \alpha_j E_{t-j}^2$$

Donde $\sigma^2 = h_t$ y los primeros rendimientos son:

$$r_t = \mu + E_t,$$

$$E_t = \sqrt{h_t} z_t$$

Donde z_t es ruido blanco, $z_t \sim$ D (0,1), donde D es una distribución normal. El proceso es escalado por ht, la varianza condicional, la cual a su vez es el cuadrado de los residuales de los retornos.

Las condiciones $\omega > 0$ y $\alpha_j \geq 0$ son establecidas para asegurar una varianza estrictamente positiva. Típicamente, q es de orden mayor debido al fenómeno de volatilidad persistente[9] en los mercados financieros, ht depende del pasado hasta en *t-1*.

La varianza incondicional de r_t es:

$$\sigma^2 = \frac{\omega}{1 - \sum_{j=1}^{q} \alpha_j}$$

El proceso es estacionario en la covarianza si y solo si la suma de los parámetros autoregresivos es menor que uno $\sum_{j=1}^{q} \alpha_j < 1$.

4.2. El modelo GARCH

En algunas aplicaciones se vuelve necesario utilizar valores grandes de p en el modelo lineal ARCH (p), lo cual posee algunos problemas en la determinación del parámetro p + 1 óptimo que mejor describe la evolución del tiempo dada una serie de tiempo financiera. Para superar dicha dificultad, se creó el proceso generaliza al ARCH, denominado GARCH (p,q), introducido por Bollerslev en 1986, donde es permitida la dependencias de los p rezagos p de la varianza condicional h_t. El modelo dependiente de p rezagos de la varianza condicional y de q rezagos de la varianza incondicional se escribe:

[9] Volatilidad Persistenste si la mayor o menor volatilidad en el periodo t, implica mayor o menor volatilidad en el primer rezago.

$ht = \omega + \sum_{i=1}^{p} \beta_i h_{t-1} + \sum_{j=1}^{q} \alpha_j E_{t-j}^2$

y $\omega > 0$

Como ejemplo para el GARCH (1,1), con la finalidad de asegurar que h_t sea estrictamente positiva se requiere que las constantes $\alpha_1 \geq 0$ y $\beta_1 \geq 0$,

La varianza incondicional de r_t es:

$$\sigma^2 = \frac{\omega}{1 - \sum_{i=1}^{p} \beta_i - \sum_{j=1}^{q} \alpha_j}$$

El modelo GARCH (p,q) tiene varianza estacionaria si y solo si $\sum_{i=1}^{p} \beta_i - \sum_{j=1}^{q} \alpha_j < 1$.

El pronóstico de la volatilidad del modelo GARCH (1,1) puede ser realizado por sustitución repetida.

Primeramente hágase uso de la siguiente relación para proveer una estimación:

$$r_t = \mu + E_t,$$

$$E_t = \sqrt{h_t} z_t$$

para los residuales cuadrados esperados:

$$E[E_t^2] = h_t E[z_t^2] = h_t$$

La varianza condicional h_{t+1} y el siguiente pronóstico es conocido en el tiempo t,

$$\hat{h}_{t+1} = \omega + \alpha_1 \varepsilon_t^2 + \beta_1 h_t$$

El pronóstico de h_{t+2} hace uso del hecho de que $E[E_{t+1}^2] = h_{t+1}$ de lo que se obtiene que:

$$\hat{h}_{t+2} = \omega + \alpha_1 E_{t+1}^2 + \beta_1 h_{t+1}$$

$$= \omega + (\alpha_1 + \beta_1) h_{t+1}$$

Similarmente:

$$= \omega + (\alpha_1 + \beta_1) h_{t+2}$$

$$= \omega + (\alpha_1 + \beta_1) + (\alpha_1 + \beta_1)^2 h_{t+1}$$

$$= \omega + \omega(\alpha_1 + \beta_1) + \omega(\alpha_1 + \beta_1)^2 + (\alpha_1 + \beta_1)^2 [\alpha_1 E_t^2 + \beta_1 h_t]$$

Para el pronóstico en el horizonte de τ retardos se tiene que:

$$\hat{h}_{t+\tau} = \frac{\omega}{1 - (\alpha_1 + \beta_1)} + (\alpha_1 + \beta_1)^{\tau} [\alpha_1 E_t^2 + \beta_1 h_t]$$

Si $\alpha_1 + \beta_1 < 1$, el segundo término en la ecuación anterior tiende a cero y $\hat{h}_{t+\tau}$ converge a $\frac{\omega}{1-(\alpha_1+\beta_1)}$, la varianza no condicional.

Si se escribe $v_t = E_t^2 - h_t$ y se sustituye $h_t = \varepsilon_t^2 - v_t$ en la ecuación $\hat{h}_{t+1} = \omega + \alpha_1 E_t^2 + \beta_1 h_t$ se tiene que:

$$E_t^2 - v_t = \omega + \alpha_1 E_{t-1}^2 + \beta_1 E_{t-1}^2 - \beta_1 v_{t-1}$$

$$E_t^2 = \omega + (\alpha_1 + \beta_1) E_{t-1}^2 + v_t - \beta_1 v_{t-1}$$

Por lo tanto, E_t^2, el cuadrado del residual del rendimiento sigue un proceso ARMA con parámetros autoregresivos $(\alpha_1 + \beta_1)$. Si $\alpha_1 + \beta_1$ es cercano a cero, el proceso autoregresivo en la ecuación anterior tiende a cero lentamente, como se puede observar en la siguiente gráfica.

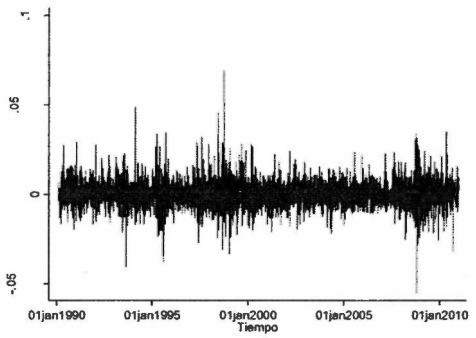


Figura 2: Rendimiento del Platino *Spot*

4.3. El Modelo GARCH Multivariado

El primer modelo GARCH que considera la matriz de covarianzas condicional fue el publicado por Bollerslev, Engle and Wooldrige en 1988, el cual es conocido como modelo VEC, por sus siglas en ingles de *Vector Error Correction.*

El modelo VEC es una generalización sencilla del modelo GARCH univariado. Cualquier varianza y covarianza condicionales son funciones de todos los rezagos de las varianzas y covarianzas condicionales, de los rezagos de los rendimientos al cuadrado así como de los productos cruzados de los rendimientos. El modelo escrito de la siguiente forma:

$$VectorH_t = c + \sum_{j=1}^{q} A_j vector(r_{t-j} r'_{t-j}) + \sum_{j=1}^{p} B_j vector(H_{t-j})$$

Donde el vector (·) es un operador que apila las columnas de la parte triangular inferior de la matriz cuadrada, c es un vector de dimensiones N(N+1) y las A_j j =1,2…q y B_j para j = 1,2, …. p, son $\frac{N(N+1)}{2} * \frac{N(N+1)}{2}$ parámetros de las matrices.

Este modelo será retomado en el siguiente capítulo con la finalidad de estudiar los rendimientos de los precios de los metales preciosos de interés, así como las variables económicas que influyen en la dinámica de sus precios.

4.4. Aplicaciones del Modelo GARCH – M

A continuación se presentan algunos trabajos que emplean el modelo GARCH para el estudio de series de tiempo con aplicaciones financieras, entre las que se encuentran investigaciones de medias y varianzas de la inflación, del rendimiento de acciones, de tasas de interés y de tasas de tipo de cambio.

Elyasiani & Mansur (1998) utilizaron datos mensuales de enero de 1970 a diciembre de 1992 de 56 bancos comerciales negociados en los intercambios de acciones de Nueva York para investigar el efecto de la tasa de interés y su volatilidad en el proceso de generación del retorno de las reservas del banco, utilizando el Modelo Generalizado, Heterocedástico Autoregresivo a la media (GARCH-M) y descartando las asunciones restrictivas de linealidad, independencia y varianza condicional constante. Los autores concluyeron que de acuerdo con sus hallazgos las tasas de interés de largo plazo tienen impacto significativo negativo en los retornos de las reservas del banco. Así mismo, se encontró que la volatilidad de las tasas de interés es un importante determinante del retorno de las reservas de los bancos y de la prima de riesgo de las reservas de los bancos para los portafolios de los bancos centrales y de los bancos grandes, pero no para los portafolios de los bancos regionales. Se deduce que en los periodos inmediatos posteriores a condiciones de tasas de interés inestables, la distribución de los retornos de los portafolios de los bancos centrales y de los bancos grandes se vuelve menos dispersa y tiene una media mayor, mientras que en el caso de los bancos regionales permanece inalterada. En otras palabras, cuando las tasas de interés se vuelven más volátiles se incrementa en la misma magnitud la prima de riesgo de los portafolios de los bancos centrales y de los grandes bancos. El grado de persistencia de los choques es sensible a la naturaleza del portafolio de los bancos. Se ha encontrado persistencia para los portafolios de los bancos grandes más sólidos que para los portafolios de los bancos centrales o regionales. Para los bancos centrales los choques se manifiestan como menos persistentes.

Kim (2000) estudió la relación entre la tasa de cambio o régimen monetario y la ruta de salidas utilizando la experiencia japonesa del periodo entre guerras al periodo de tipo de cambio flotante posterior a Bretton Woods y tratando de determinar si la adherencia a un

régimen de tipo de cambio flotante ayudó a la economía japonesa a absorber los choques originados por fuentes internas y externas o asuntos empeorados.

En su estudio Kim utilizó el modelo multivariado GARCH-M para resolver los problemas que preocuparon en los estudios empíricos previos. El modelo multivariado GARCH-M no solo extrajo la volatilidad esperada de la volatilidad total, también descompuso las fuentes de volatilidad observadas en factores internos y externos y movimientos de tipo de cambio.

El autor proveyó los siguientes hallazgos acerca de dos hipótesis alternativas en relación con los regímenes monetarios japoneses y su desempeño. Primero, las estimaciones de los coeficientes de la varianza condicional del tipo de cambio proveyeron resultados mezclados acerca de la hipótesis del efecto del flujo de negocios. El efecto negativo del rendimiento es significativo, mientras que el efecto positivo de la volatilidad no es significativo. Siguiente, los coeficientes estimados que representan la respuesta a los choques externos decrementan y esto, es significativo bajo un sistema de tipo de cambio flotante. Esta respuesta reducida a los choques externos puede ser una evidencia clara para la hipótesis del efecto de aislamiento, lo cual no es evidente en resultados empíricos previos e implica que a pesar de las frecuentes intervenciones de las autoridades financieras japoneses, en el mercado externo, las tasas de cambio flotantes actuaron como reguladoras de los choques externos y produjeron autonomía de las políticas monetarias y fiscales requeridas para lograr un balance interno y externo.

Malik & Edwing (2009) utilizaron el modelo GARCH bivariado para estudiar la volatilidad y los mecanismos de transmisión y choque entres los precios del petróleo y los cinco principales índices de sector de los Estados Unidos. Específicamente, los autores se enfocaron en la relación entre los precios del petróleo y los mercados financiero, industrial, de consumo, de salud y en el sector de tecnología, para lo cual utilizaron datos de rendimientos semanales del 1° de enero de 1992 al 30 de abril de 2008. Los datos del mercado de acciones fueron obtenidos de los rendimientos semanales del índice Dow Jones, calculados a partir de precios diarios. Los precios del petróleo fueron obtenidos del intermediario "Texas West". Los resultados para el modelo petróleo-mercado financiero reveló que la volatilidad de los rendimientos del petróleo es significativamente afectada por

sus propias noticias y por su volatilidad pasada, un choque positivo en los mercados financieros es asociado con un decline en los rendimientos del petróleo. La volatilidad de los rendimientos en el sector financiero es afectada por sus propias noticias y volatilidad, sin embargo no existe evidencia de impactos directos o indirectos de los rendimientos del petróleo. En el modelo petróleo-tecnología se observó que la volatilidad de los retornos de la tecnología es directamente afectada por sus propias noticias y volatilidad e indirectamente afectada por choques y la volatilidad de los retornos del petróleo. En términos del modelo de petróleo – consumo de servicios, los hallazgos sugieren que la volatilidad de los rendimientos del petróleo es afectada por sus propias noticias y volatilidad y también por los rendimientos de la volatilidad del sector del consumo de servicios, así mismo existe un impacto directo e indirecto del sector de consumo en la volatilidad de los rendimientos del petróleo. En lo que respecta al modelo industrial – petróleo, los autores encontraron que la volatilidad de los rendimientos del petróleo es afectada indirectamente por la volatilidad de los rendimientos industriales y directamente por sus propias noticias y volatilidad. Los resultados del estudio de Malik & Edwing son de gran importancia para los inversionistas interesados en mantener una visón cercana de los mercados y proveen información importante y útil para construir modelos precisos de valuación de activos, administración de riesgos y pronóstico de la volatilidad futura del sector. Es de gran importancia para los participantes en los mercados financieros comprender los mecanismos de transmisión de volatilidad a lo largo del tiempo y entre series con la finalidad de tomar decisiones óptimas en la composición de su portafolio.

Chavallier, Le Pen & Sévi (2011) investigaron el efecto en la volatilidad de precios a partir introducción del mercado de opciones en los ETS de EUA, para lo cual utilizaron 756 observaciones del precio del carbón diarias de abril del 2005 a abril del 2008 tomadas de las bases de datos de ECX, Bloomberg y Reuters. A través de instrumentar varios modelos GARCH, pruebas de rotura endógena y estimaciones de ventana móvil considerando 200 observaciones, concluyeron que la introducción del mercado de opciones presenta un efecto decreciente al impactar la dinámica de los ETS de EUA.

Chang, McAleer & Tansuchat (2011) utilizaron datos diarios del 4 de noviembre de 1997 al 4 de noviembre de 2009 de los precios síncronos de cierre y los contratos futuros

más próximos de precios de petróleo crudo de los dos mercados principales de petróleo llamados Brent y WTI, para estimar los modelos alternativos multivariados de volatilidad condicional denominados CCC, VARMA-GARCH, DCC, BEKK y BEKK Diagonal para los retornos de los precios futuros y *spot* de los mercados del Brent y WTI. Posteriormente calcularon los pesos del portafolio óptimo y los OHRs de la matriz de covarianza condicional para el diseño de portafolios óptimos y estrategias de cobertura; finalmente investigaron y compararon el desempeño de los OHRs de los modelos de modelos multivariados estimados de volatilidad condicional. Los resultados empíricos mostraron para el mercado del Brent, que los precios óptimos del portafolio de todos los modelos multivariados de volatilidad evaluados sugieren poseer futuros en una mayor proporción que productos de contado. Por el contario, para el mercado del WTI, el modelo BEKK recomienda posser producto de contado en mayor proporción que futuros, sin embargo los modelos CCC, VARMA-GARCH y DCC poseer futuros en una mayor proporción que contratos a precio de contado. Los OHRs calculados de cada modelo multivariado de volatilidad condicional presentaron las razones de cobertura variantes en el tiempo coberturas en corto a los contratos futuros de petróleo y recomendaron coberturas en corto con una proporción de un dólar largo por cada contrato a precio de contado. La efectividad de la cobertura indica que el modelo Bekk Diagonal fue el mejor para los cálculos de OHR en términos de reducción de la varianza del portafolio.

Arshanapally, Fabozzi & Nelson (2013) utilizaron una combinación de modelos difusos y Garch en la ecuación de la media y los excesos de retorno mensuales de julio de 1926 a mayo de 2010 definidos como los rendimientos promedio ponderados del valor de todas las acciones del NYSE, AMEX y NASDAQ registradas en el Centro de Investigación de Precios de Valores (CRSP, siglas en ingles) menos la tasa de libre de riesgo mensual. Los datos fueron tomados del sitio web de Kenneth French para probar la relación de los retornos de las acciones los Estados Unidos analizando su relación de rendimiento de riesgo de capital y utilizando una medición de riesgo que incluye no solo la variancia condicional sino también sus saltos.

Los autores proponen que los modelos Garch toman en cuenta cambios suaves y persistentes de la volatilidad a lo largo del tiempo, mientras que los modelos ARJI se

ocupan de los picos en los retornos. Los modelos ARJI no solo se encargan de los picos, también toman en cuenta los clústeres de los picos, por otra parte, los modelos ARJO permiten que los saltos varíen en tamaño. Arshanapally, Fabozzi & Nelson consideran que una combinación de ambos modelos mantendrá la habilidad de los modelos GARCH para tomar en cuenta los clústeres de volatilidad y la habilidad de los modelos ARJI para tomar en cuenta los saltos bruscos de los retornos. Solo cuando son tomados en cuenta los saltos los modelos GARCH-M pueden detectar las relaciones de riesgo en los retornos, finalmente concluyeron que utilizando datos mensuales, su estimación ARJI-GARCH-M encontró significancia estadística de intercambio de riesgo de retorno para el periodo posterior a 1951 sugiriendo que los saltos juegan un rol importante para explicar la relación de riesgo-retorno. Los resultados empíricos muestran que el componente de los saltos es estadísticamente significativo sugiriendo que los componentes de los saltos impactan la relación riesgo - retorno a través de su influencia en la varianza condicional. Los hallazgos indican que los elementos de salto influencian el riesgo y el retorno del mercado de acciones sugiriendo que los inversionistas deben estar alerta de esta amplia medición de riesgo en un portafolio y en la medición del riesgo propio del portafolio, además, los resultados confirman la existencia de una relación positiva de riesgo - retorno en un nivel agregado para el mercado de acciones, así mismo se debe prestar atención a la presencia de la relación de riesgo - retorno a nivel individual en el mercado de acciones.

Edwing & Malik (2013) utilizaron datos diarios del 1° de julio de 1993 al 30 de junio de 2010 para estudiar la dinámica de la volatilidad del oro y de los futuros de petróleo crudo, encontrando en la volatilidad de ambas series (oro y petróleo) saltos estructurales significativos. Los autores introdujeron dichos saltos estructurales en el modelo GARCH univariado para estimar con mayor precisión la dinámica de los excedentes de la volatilidad entre los mercados. Edwing & Malik encontraron evidencia sólida de la transmisión significativa de volatilidad entre los mercados del oro y del petróleo.

Varella & Abebe (2013) utilizaron datos diarios de tipo de cambio dólar- euro y dólar - yen, tasa de interés de corto y largo plazo en EUA y el precio de las acciones utilizadas para calcular los rendimientos diarios de los índices: S&P 500, DJIA, Nasdaq y Rusell 2000, enero de 1999 a diciembre de 2011 y los modelo GARCH (1,1) y MGARCH-

DCC con la finalidad de estudiar los precios del petróleo y su relación con el rendimiento de las acciones de las principales empresas de EUA. Para realizar su estudio, los autores se centraron en la crisis de 2007 y dividieron los datos en tres periodos de estudio, el primero de enero de 1999 a diciembre de 2007, al que consideraron como el periodo previo a la crisis. El segundo periodo empieza principios de 2008, justo después del inicio de una de las mayores crisis de los Estados Unidos en diciembre de 2007, alrededor de seis meses más tarde, a mediados de 2008 se dispararon los precios del petróleo en los mercados internacionales y los rendimientos de las acciones de las principales empresas de EUA sufrieron periodos de volatilidad severa hasta tocar fondo en marzo de 2009. La recesión de los Estados Unidos oficialmente culminó en junio de 2009, aunque desde entonces, el crecimiento económico ha sido lento. El tercer periodo de estudio fue de julio de 2009 en adelante el cual se refiere a la fase de recuperación de la economía de EUA, este periodo de cuatro años desde el inicio de la principal recesión de 2008 – 2009 provee una excelente ventana para reexaminar las fuerzas macroeconómicas (domesticas e internacionales) que influyen en los rendimientos diarios del mercado de acciones de EUA. Varella & Abebe concluyeron que el periodo previo a la crisis difiere del segundo periodo al igual que el tercer periodo de estudio, proponiendo que debido a la correlación cambiante entre el mercado de acciones y el del petróleo y entre el mercado de acciones y la tasa de tipo de cambio. En el periodo I (Enero 1999 – Diciembre 2007) y en el periodo II (Enero 2008 – Junio 2009) los rendimientos de las acciones de EUA no se encuentran muy asociadas con los precios del petróleo, sin embargo en el periodo III (Julio 2009 – Diciembre 2011) esta relación se torna positiva y estadísticamente significativa. Así mismo los autores encontraron que la respuesta de las acciones al euro es completamente plausible desde el punto de vista de que los inversionistas reaccionan a los altos ingresos debido a bajo precio del dólar y al incremento del intercambio comercial con la Unión Europea.

Al revisar la literatura análisis de series de tiempo, se puede afirmar que Engle publicó en 1982 al publicar su artículo "Autoregressive Conditional Heterocedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation" con la finalidad de dar a conocer a la comunidad científica sus investigaciones acerca del análisis de la volatilidad de series de tiempo financieras en el Reino Unido. La técnica ha sido ampliamente estudiada, aplicada y mejorada por diversos autores, con la finalidad de proponer innovaciones que permitan

incorporar multiples variables, varios rezagos entre otras innovaciones que han desarrollado la utilidad de la técnica.

Como se afirmó previamente, en los artículos anteriores se pueden observar estudios económico – financieros del la volatilidad del rendimiento de series de tiempo mediante aplicaciones del modelo GARCH multivariado a investigaciones de medias y varianzas de la inflación, investigaciones del rendimiento de acciones, de tasas de interés y de tasas de tipo de cambio.

El modelo GARCH multivariado podrá ser utilizado en el análisis cuantitativo de la presente investigación con la finalidad de estudiar la dinámica del rendimiento de los precios de los metales preciosos.

Capítulo 5

5. Análisis de Datos

El presente capítulo se centra en el estudio de la dinámica del rendimiento de los precios de los metales preciosos de interés: oro, plata y platino, así como el análisis de las variables que influyen en su dinámica de precios: tipo de cambio Dólar – Yen, tipo de cambio Dólar – Euro, Índice Dow Jones, Índice Standard & Poors y los precios futuros del Oro, Plata y Platino.

El análisis cuantitativo utilizará como herramientas estadísticas, la estadística descriptiva, la cual permite conocer las características básicas de las observaciones consideradas en la muestra; posteriormente se utilizará el análisis de correlación, el cual muestra el grado de variación conjunta entre un par de variables. Se considerará también el análisis de causalidad, el cual se basa en la idea de que en el tiempo la causa siempre precede a los efectos: si una serie de tiempo causa a otra, el conocimiento del primer proceso ayudaría a predecir los valores futuros del otro después de que hayan sido tomadas en cuenta las influencias de otras variables.

Finalmente se utilizará el modelo GARCH multivariado, donde la varianza y covarianza condicionales son funciones de todos los retardos de las varianzas y covarianzas condicionales de los rezagos de los rendimientos al cuadrado y permiten determinar las variables que tienen efecto en la dinámica de otra.

A continuación se presenta el análisis cuantitativo de la dinámica de los rendimientos de los metales preciosos de interés, el cual considera las variables y técnicas estadísticas comentadas previamente.

5.1. Fuente de Datos

Los precios *spot* del Oro, Plata y Platino, el tipo de cambio Dólar – Yen y Dólar-Euro y los índices Standard & Poors y Dow Jones fueron obtenidos de la base de datos de Bloomberg, los precios futuros del Oro, Plata y Platino, fueron obtenidos de la base de datos Datastream.

5.2. Periodo de Estudio

El periodo de datos para todas las variables consideradas es del 1° de febrero de 1990 al 31 de diciembre de 2010, a excepción del Euro que fue considerado a partir del 08 de mayo del año 2000 de acuerdo con la disponibilidad de los datos a partir del surgimiento de la moneda.

5.3. Estadística Descriptiva

A continuación se presenta la estadística descriptiva de los rendimientos de las variables de interés, donde a excepción de la media del rendimiento del Yen, todas las medias son negativas, así mismo se puede notar que las observaciones consideradas en el estudio para todas las variables son las mismas (5457), en el caso del tipo de cambio Dólar-Euro, se consideraron únicamente 2780 observaciones. Las desviaciones estándares en todos los casos son pequeñas de dos a tres dígitos decimales y los máximos y mínimos de las variables en todos los casos tienden a ser simétricos y se ubica entre -3.735451 y 3.741168, siendo el precio *spot* de la plata el mayor rendimiento tanto positivo como negativo.

Tabla 2: Estadística Descriptiva					
Variable (Rendimiento)	Obs	Media	Desv. Est.	Min	Max
Oro *Spot*	5457	-0.000226	0.0099239	-0.1024258	0.0723972
Plata *Spot*	5457	-0.0003334	0.0736472	-3.735451	3.741168
Platino *Spot*	5457	-0.0002276	0.0132464	-0.1004187	0.0967313
Dow Jones	5457	-0.0002722	0.0436677	-2.212425	2.205388
Standard & Poors	5457	-0.000244	0.0117486	-0.1547862	0.1467333
Yen	5457	0.0001059	0.0070246	-0.0550424	0.0694984
Euro	2780	-0.0001439	0.0066132	-0.0346541	0.0252181
Futuro de Oro	5457	-0.0001052	0.0203053	-0.693546	0.6927485
Futuro de Plata	5457	-0.0001815	0.0679874	-3.412561	3.411951
Futuro de Platino	5457	-0.0002056	0.022458	-0.6958922	0.6904097

5.4. Análisis de Correlación

La correlación muestra el grado de variación conjunta entre un par de variables, es decir, mide la asociación que existe entre los diferentes rendimientos de las variables consideradas en el estudio. Nótese que las variables con un mayor porcentaje de correlación se verán reflejadas posteriormente en el análisis de causalidad y el análisis mediante el GARCH multivariado; dentro de su correspondiente par de variables, podrán ser origen o destino de la causalidad.

Tabla 3: Análisis de Correlación

(Rendimiento)	Oro *Spot*	Plata *Spot*	Platino *Spot*	Dow Jones	Standard & Poors	Yen	Euro	Futuro de Oro	Futuro de Plata	Futuro de Platino
Oro *Spot*	1									
Plata *Spot*	0.7619	1								
Platino *Spot*	0.2081	0.2015	1							
Dow Jones	-0.0226	0.1155	0.1089	1						
Standard & Poors	-0.0038	0.1334	0.1259	0.9716	1					
Yen	-0.1906	-0.105	0.0103	0.3163	0.317	1				
Euro	0.4414	0.3918	0.125	0.063	0.0793	-0.2715	1			
Futuro de Oro	0.8632	0.6826	0.1897	-0.0426	-0.026	-0.1918	0.3589	1		
Futuro de Plata	0.6668	0.8845	0.1766	0.0702	0.085	-0.1141	0.3312	0.764	1	
Futuro de Platino	0.4391	0.4702	0.4201	0.0978	0.1126	-0.0234	0.2192	0.4855	0.5146	1

5.5. Gráficas del Rendimiento de los Metales Preciosos

::

Figura 3: Rendimiento del Oro *Spot*

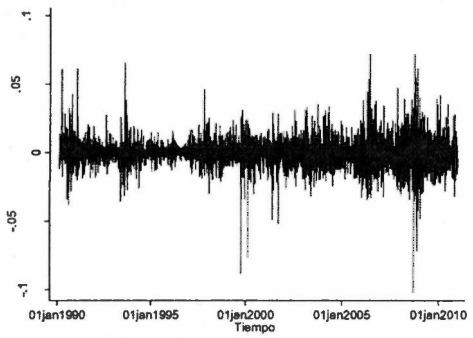


Figura 4: Rendimiento de la Plata *Spot*

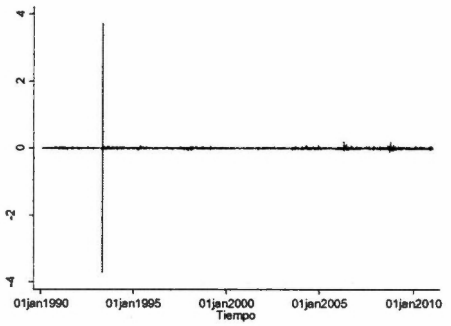


Figura 5: Rendimiento del Platino *Spot*

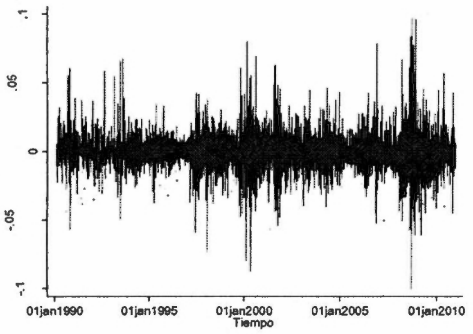


Figura 6: Rendimiento del Dow Jones

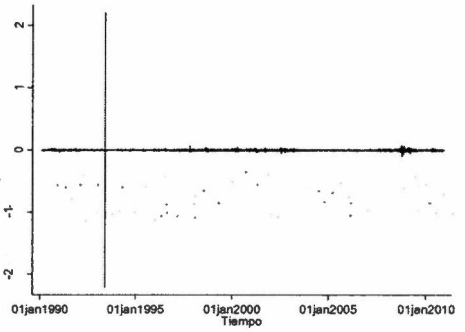


Figura 7: Rendimiento del tipo de Cambio Dólar – Euro

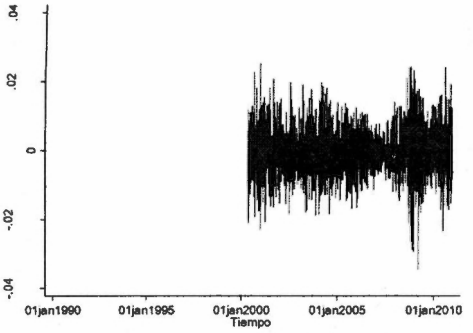


Figura 8: Rendimiento del Futuro del Oro

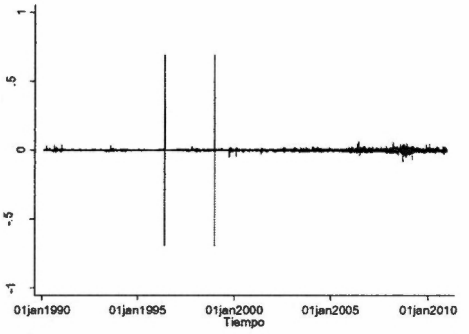


Figura 9: Rendimiento de la Plata

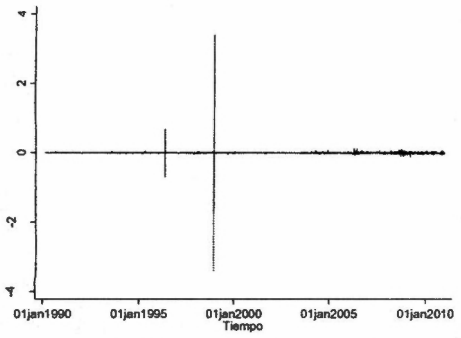
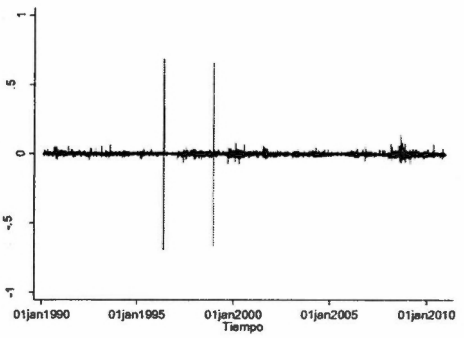


Figura 10: Rendimiento del Futuro del Platino



5.6. Análisis de Causalidad

Causalidad del rendimiento del Oro

Como se puede observar en la siguiente tabla al realizar el análisis de Causalidad de Granger, las variables que causan en el sentido de Granger al rendimiento del oro *Spot*, son la plata *spot*, el platino *spot* y los rendimientos futuros del oro y de la plata, el nivel de significancia bajo el cual se realiza esta afirmación es inferior al 1%.

Tabla 4: Causalidad del Oro

Ecuación (Rendimiento)	Excluidos (Rendimiento)	chi2	df Prob > chi2
Oro *Spot*	Plata *Spot*	15.353	0.000
Oro *Spot*	Platino *Spot*	99.028	0.000
Oro *Spot*	Futuro de Oro	11.96	0.003
Oro *Spot*	Futuro de Plata	14.958	0.001

Causalidad del rendimiento de la Plata

En lo que respecta al rendimiento de la plata *spot*, es causado en el sentido de Granger por el rendimiento del oro y platino *spot*, así como por el rendimiento del Standard & Poors y por el rendimiento del futuro del oro. Nuevamente observamos que el nivel de significancia es inferior al 1%.

Tabla 5: Causalidad de la Plata			
Ecuación (Rendimiento)	**Excluidos (Rendimiento)**	**chi2**	**df Prob > chi2**
Plata *Spot*	Oro *Spot*	13.618	0.001
Plata *Spot*	Platino *Spot*	119.99	0.000
Plata *Spot*	Standard & Poors	8.9121	0.012
Plata *Spot*	Futuro de Oro	9.4271	0.009

Causalidad del rendimiento de la Platino

El rendimiento del platino, únicamente es causado en el sentido de Granger por el rendimiento del tipo de cambio Dólar –Yen. En este caso se puede observar que el nivel de significancia es inferior al 5%

Tabla 6:Causalidad del Platino			
Ecuación (Rendimiento)	**Excluidos (Rendimiento)**	**chi2**	**df Prob > chi2**
Platino *Spot*	Yen	6.9461	0.031

Causalidad del rendimiento del Dow Jones

El rendimiento del Índice Dow Jones es causado en el sentido de Granger a un nivel de significancia inferior a 1% por el rendimiento del oro y platino *spot*, así como por el rendimiento del futuro del oro.

Tabla 7: Causalidad del Dow Jones			
Ecuación (Rendimiento)	**Excluidos (Rendimiento)**	**chi2**	**df Prob > chi2**
Dow Jones	Oro *Spot*	16.707	0.000
Dow Jones	Platino *Spot*	25.801	0.000
Dow Jones	Futuro del Oro	22.148	0.000

Causalidad del rendimiento del Standard & Poors

El rendimiento del Índice Standard & Poors es causado en el sentido de Granger a un nivel de significancia inferior al 1% por el rendimiento del oro y platino *Spot*, así como por el rendimiento del tipo de cambio Dólar - Euro y del futuro del oro.

Tabla 8: Causalidad del Standard & Poors			
Ecuación (Rendimiento)	**Excluidos (Rendimiento)**	**chi2**	**df Prob > chi2**
Standard & Poors	Oro *Spot*	16.506	0.000
Standard & Poors	Platino *Spot*	36.674	0.000
Standard & Poors	Euro	6.641	0.000
Standard & Poors	Futuro del Oro	21.537	0.000

Causalidad del rendimiento del tipo de cambio Dólar - Yen

El rendimiento del tipo de cambio Dólar-Yen es causado en el sentido de Granger con un nivel de significancia inferior al 5% por el rendimiento platino *spot*, así como por el rendimiento del futuro del oro.

Tabla 9: Causalidad del Tipo de Cambio Dólar -Yen			
Ecuación (Rendimiento)	**Excluidos (Rendimiento)**	**chi2**	**df Prob > chi2**
Yen	Platino *Spot*	6.5291	0.038
Yen	Futuro del Oro	7.6639	0.022

Causalidad del rendimiento del tipo de cambio Dólar - Euro

El rendimiento del tipo de cambio Dólar - Euro es causado en el sentido de Granger con un nivel de significancia inferior al 1% por el rendimiento del tipo de cambio Dólar-Yen, el futuro del oro y de la plata.

Tabla 10: Causalidad del Tipo de Cambio Dólar - Euro			
Ecuación (Rendimiento)	**Excluidos (Rendimiento)**	**chi2**	**df Prob > chi2**
Euro	Tipo de cambio Dólar - Yen	6.1197	0.047
Euro	Futuro del Oro	14.263	0.001
Euro	Futuro de la Plata	10.062	0.007

Causalidad del rendimiento del Futuro del Oro

El rendimiento del precio futuro del oro es causado en el sentido de Granger con un nivel de significancia inferior al 5% por los rendimientos *Spot* del oro, de la plata y del platino, así como por el rendimiento del futuro de la plata.

Tabla 11: Causalidad del Futuro del Oro			
Ecuación (Rendimiento)	**Excluidos (Rendimiento)**	**chi2**	**df Prob > chi2**
Futuro del Oro	Oro *Spot*	19.002	0.000
Futuro del Oro	Plata *Spot*	6.4213	0.040
Futuro del Oro	Platino *Spot*	94.611	0.000
Futuro del Oro	Futuro de la Plata	14.454	0.001

Causalidad del rendimiento del Futuro de la Plata

El rendimiento del precio futuro de la plata es causado en el sentido de Granger por los rendimientos *spot* del oro, de la plata y del platino, así como por el rendimiento del Standard & Poors y de por los rendimientos de los futuros del oro y del platino, lo cual se puede observar que tiene un nivel de significancia inferior al 5%.

Tabla 12: Causalidad del Futuro de la Plata			
Ecuación (Rendimiento)	**Excluidos (Rendimiento)**	**chi2**	**df Prob > chi2**
Futuro de la Plata	Oro *Spot*	9.5963	0.008
Futuro de la Plata	Plata *Spot*	20.059	0.000
Futuro de la Plata	Platino *Spot*	94.426	0.000
Futuro de la Plata	Standard & Poors	8.413	0.015
Futuro de la Plata	Futuro del Oro	11.838	0.003
Futuro de la Plata	Futuro del Platino	6.6768	0.035

Causalidad del rendimiento del Futuro del Platino

El rendimiento del precio futuro del platino es causado en el sentido de Granger con un nivel de significancia inferior al 5% por los rendimientos *Spot* del platino, el rendimiento del Dow Jones, del Standard & Poors y del tipo de cambio Dólar - Yen.

Tabla 13: Causalidad del Futuro del Platino			
Ecuación (Rendimiento)	**Excluidos (Rendimiento)**	**chi2**	**df Prob > chi2**
Futuro del Platino	Platino *Spot*	165.71	0.000
Futuro del Platino	Dow Jones	7.3907	0.025
Futuro del Platino	Standard & Poors	14.89	0.001
Futuro del Platino	Yen	6.675	0.036

En todos los cuadros anteriores se encontró evidencia de causalidad en el sentido de Granger, es decir, se puede afirmar que las variables correspondientes en el periodo previo influyen sobre el nivel de variación en el periodo siguiente, esto indica que el nivel de asociación de las variables puede vincularse con periodos anteriores.

Retroalimentación de la Causalidad

De acuerdo con Granger & Escribano (1998), existe retroalimentación en la causalidad si $\sigma^2(x|\bar{v}) < \sigma^2(x|\overline{v-y})$, $\sigma^2(y|\bar{v}) < \sigma^2(y|\overline{v-y})$, lo cual es denotado como $y_t \Leftrightarrow x_t$. Se dice que ocurre retroalimentación si x_t causa y_t, y también y_t causa x_t, lo cual se puede observar en la siguiente tabla con un nivel de significancia inferior al 5%.

Tabla 14: Retroalimentación de la Causalidad			
Ecuación (Rendimiento)	**Excluidos (Rendimiento)**	**chi2**	**df Prob > chi2**
Oro *Spot*	Plata *Spot*	15.353	0.000
Plata *Spot*	Oro *Spot*	13.618	0.001
Oro *Spot*	Futuro del Oro	11.96	0.003
Futuro del Oro	Oro *Spot*	19.002	0.000
Oro *Spot*	Futuro de la Plata	14.958	0.001
Futuro de la Plata	Oro *Spot*	9.5963	0.008
Plata *Spot*	Futuro de la Oro	9.4271	0.009
Futuro del Oro	Plata *Spot*	6.4213	0.040
Platino *Spot*	Tipo de Cambio Dólar - Yen	6.9461	0.031
Tipo de Cambio Dólar - Yen	Platino *Spot*	6.5291	0.038
Futuro del Oro	Futuro de la Plata	14.454	0.001
Futuro de la Plata	Futuro del Oro	11.838	0.003

5.7. Prueba Dickey Fuller

Los resultados de la prueba Dickey Fuller que se presentan en la siguiente tabla, permiten determinar que las series de tiempo de las variables en diferencias en el estudio son estacionarias y por lo tanto pueden ser consideradas para su análisis mediante los modelos de causalidad de Granger y el GARCH multivariado. Recuérdese que para realizar la prueba de causalidad de Granger y la estimación mediante máxima verosimilitud del modelo GARCH se requiere estacionariedad.

Tabla 15: Prueba Dickey-Fuller					
Variable (Rendimiento)	**Valor P para Z(T)**	**Prueba Estadística**	**Crítico al 1%**	**Crítico al 5%**	**Crítico al 10%**
Oro *Spot*	0	-127.788	-3.43	-2.86	-2.57
Plata *Spot*	0	-164.534	-3.43	-2.86	-2.57
Platino *Spot*	0	-121.406	-3.43	-2.86	-2.57
Dow Jones	0	-162.418	-3.43	-2.86	-2.57
Standard & Poors	0	-128.495	-3.43	-2.86	-2.57
Tipo de Cambio Dólar-Yen	0	-127.885	-3.43	-2.86	-2.57
Tipo de Cambio Dólar - Euro	0	-91.147	-3.43	-2.86	-2.57
Futuro del Oro	0	-127.522	-3.43	-2.86	-2.57
Futuro de la Plata	0	-98.835	-3.43	-2.86	-2.57
Futuro del Platino	0	-125.962	-3.43	-2.86	-2.57

5.8. Análisis Multivariado mediante el Modelo GARCH

La volatilidad del rendimiento de los precios *Spot* del oro, del platino y del futuro de la plata en *t-1*, con un nivel de significancia inferior al 5%, tiene un impacto significativo sobre el nivel de rendimiento del precio *spot* del oro. En este caso rendimiento del coeficiente de variación se encuentra entre -0.6161163 y -0.4534608, lo que permite afirmar que cuando el rendimiento del precio de la oro *spot* sube, tendrá un efecto negativo debido al efecto del rendimiento del precio del oro *spot* en *t-1*.

Tabla 16: GARCH Multivariado Oro *Spot*

Variable (Rendimiento)	Afectada por (Rendimiento)	Coef.	Error Est.	Z	P>|z|	[95% Intervalo de Confianza]	
Oro *Spot*							
	Oro *Spot* (L1)	-0.5230063	0.0396571	-13.19	0	-0.6007327	-0.4452799
	Platino *Spot* (L1)	0.0733838	0.0135282	5.42	0	0.046869	0.0998986
	Futuro de la Plata (L1)	-0.0617061	0.0291879	-2.11	0.035	-0.1189132	-0.0044989

Nota: L1 indica que se trata del rezago de orden 1 de la variable.

La volatilidad del rendimiento de los precios *spot* de la plata y del platino así como la volatilidad del índice Standard & Poors y el precio futuro del platino en *t-1*, con un nivel de significancia inferior al 5% tienen un impacto significativo sobre el nivel de rendimiento del precio *spot* de la plata. En este caso rendimiento el coeficiente de variación se encuentra entre -0.6161163 y -

0.4534608, lo que permite afirmar que cuando el rendimiento del precio de la plata *spot* sube: tendrá un efecto negativo debido al efecto del rendimiento del precio de la Plata *spot* en *t-1*.

Tabla 17: GARCH Multivariado Plata *Spot*

Variable (Rendimiento)	Afectada por (Rendimiento)	Coef.	Error Est.	Z	P>|z|	[95% Intervalo de Confianza]	
Plata *Spot*							
	Plata *Spot* (L1)	-0.5347885	0.0414945	-12.89	0	-0.6161163	-0.4534608
	Platino *Spot* (L1)	0.1454256	0.022324	6.51	0	0.1016713	0.1891798
	Standard & Poors (L1)	0.2925383	0.1033878	2.83	0.005	0.089902	0.4951747
	Futuro del Platino (L1)	-0.0626365	0.027886	-2.25	0.025	-0.1172922	-0.0079809

Nota: L1 indica que se trata del rezago de orden 1 de la variable.

La volatilidad del rendimiento de los precios *spot* del platino así como la volatilidad rendimiento del tipo de cambio Dólar- Yen en *t-1*, con un nivel de significancia inferior al 1%, tiene un impacto significativo sobre el nivel de rendimiento del precio *spot* del platino. En este caso el coeficiente de variación con respecto al Yen, se encuentra entre -0.201855 y -0.0427534, lo que permite afirmar que el rendimiento del tipo de cambio Dólar – Yen tendrá un efecto negativo en el precio del platino *spot*.

Tabla 18: GARCH Multivariado Platino *Spot*							
Variable (Rendimiento)	**Afectada por (Rendimiento)**	**Coef.**	**Error Est.**	**Z**	**P>|z|**	**[95% Intervalo de Confianza]**	
Platino *Spot*							
	Platino *Spot*(L1)	-0.4562456	0.0172696	-26.42	0	-0.4900934	-0.4223977
	Tipo de Cambio Dólar - Yen	-0.1223042	0.0405879	-3.01	0.003	-0.201855	-0.0427534

Nota: L1 indica que se trata del rezago de orden 1 de la variable

La volatilidad del rendimiento de los precios *spot* del platino y futuros del oro, plata y platino, así como la volatilidad del Dow Jones en *t-1*, con un nivel de significancia inferior al 5% tienen un impacto significativo sobre el nivel de rendimiento del índice Dow Jones.

Tabla 19: ARCH Multivariado Dow Jones							
Variable (Rendimiento)	**Afectada por (Rendimiento)**	**Coef.**	**Error Est.**	**Z**	**P>|z|**	**[95% Intervalo de Confianza]**	
Dow Jones							
	Platino *Spot*(L1)	0.0459421	0.0148945	3.08	0.002	0.0167495	0.0751347
	Dow Jones (L1)	-0.4657828	0.0735703	-6.33	0	-0.609978	-0.3215877
	Futuro del Oro (L1)	0.153549	0.0512224	3	0.003	0.0531549	0.2539431
	Futuro de la Plata (L1)	-0.0765126	0.0321356	-2.38	0.017	-0.1394972	-0.0135279
	Futuro del Platino(L1)	-0.0732682	0.0186054	-3.94	0	-0.1097341	-0.0368022

Nota: L1 indica que se trata del rezago de orden 1 de la variable.

La volatilidad del rendimiento de los precios *spot* del platino y futuros del oro, plata y platino, así como la volatilidad del Standard & Poors en *t-1*, con un nivel de significancia inferior al 5% tienen un impacto significativo sobre el nivel de rendimiento del índice Standard & Poors.

Tabla 20: GARCH Multivariado Standard & Poors							
Variable (Rendimiento)	**Afectada por (Rendimiento)**	**Coef.**	**Error Est.**	**Z**	**P>|z|**	**[95% Intervalo de Confianza]**	
Standard & Poors							
	Platino *Spot* (L1)	0.0584619	0.0159823	3.66	0	0.0271373	0.0897866
	Standard & Poors (L1)	-0.497274	0.0740176	-6.72	0	-0.6423466	-0.3522029
	Futuro del Oro (L1)	0.1592323	0.0549634	2.9	0.004	0.0515061	0.2669585
	Futuro de la Plata (L1)	-0.0768613	0.0344826	-2.23	0.026	-0.1444459	-0.0092766
	Futuro del Platino (L1)	-0.075494	0.0199642	-3.78	0	-0.1146231	-0.0363648

Nota: L1 indica que se trata del rezago de orden 1 de la variable

La volatilidad del rendimiento de los precios *spot* del platino y de la plata y futuros del oro, así como la volatilidad del rendimiento del tipo de cambio Dólar – Y en *t-1*, con un nivel de significancia inferior al 5%, tienen un impacto significativo sobre el nivel de rendimiento del índice tipo de cambio Dólar – Yen.

Tabla 21: GARCH Multivariado Tipo de Cambio Dólar Yen							
Variable (Rendimiento)	**Afectada por (Rendimiento)**	**Coef.**	**Error Est.**	**Z**	**P>|z|**	**[95% Intervalo de Confianza]**	
Tipo de Cambio Dólar - Yen							
	Plata *Spot* (L1)	-0.0362087	0.0143967	-2.52	0.012	-0.0644257	-0.0079916
	Platino *Spot* (L1)	0.0278559	0.0077454	3.6	0	0.0126751	0.0430366
	Tipo de Cambio Dólar – Yen (L1)	-0.4885237	0.0182037	-26.84	0	-0.5242022	-0.4528452
	Futuro del Oro (L1)	0.055379	0.0266367	2.08	0.038	0.003172	0.1075859

Nota: L1 indica que se trata del rezago de orden 1 de la variable.

La volatilidad del rendimiento del precio *spot* de la plata en *t-1*, con un nivel de significancia inferior al 1%, tiene un impacto significativo sobre el nivel de rendimiento del índice tipo de cambio Dólar – Euro.

Tabla 22: GARCH Multivariado Tipo de Cambio Dólar - Euro							
Variable (Rendimiento)	**Afectada por (Rendimiento)**	**Coef.**	**Error Est.**	**Z**	**P>|z|**	**[95% Intervalo de Confianza]**	
Tipo de Cambio Dólar - Euro							
	Plata *Spot*	-0.503739	0.0187706	-26.84	0	-0.5405286	-0.4669494

Nota: L1 indica que se trata del rezago de orden 1 de la variable.

La volatilidad del rendimiento de los precios *spot* del oro y del platino y futuros del oro, en *t-1*, con un nivel de significancia inferior al 1% tienen un impacto significativo sobre el nivel de rendimiento de los precios futuros del oro.

Tabla 23: GARCH Multivariado Futuro del Oro							
Variable (Rendimiento)	**Afectada por (Rendimiento)**	**Coef.**	**Error Est.**	**Z**	**P>|z|**	**[95% Intervalo de Confianza]**	
Futuro del Oro							
	Oro *Spot* (L1)	0.1525722	0.0335111	4.55	0	0.0868918	0.2182527
	Platino *Spot*(L1)	0.0323065	0.0114316	2.83	0.005	0.0099009	0.0547121
	Futuro del Oro (L1)	-0.5982077	0.0393136	-15.22	0	-0.675261	-0.5211544

Nota: L1 indica que se trata del rezago de orden 1 de la variable.

La volatilidad del rendimiento de los precios *spot* del platino y de la plata, del índice Standard & Poors y el precio futuro de la plata, en *t-1*, con un nivel de significancia inferior al 1% tienen un impacto significativo sobre el nivel de rendimiento precio futuro de la plata.

Tabla 24: GARCH Multivariado Futuro de la Plata

Variable (Rendimiento)	Afectada por (Rendimiento)	Coef.	Error Est.	Z	P>|z|	[95% Intervalo de Confianza]	
Futuro de la Plata							
	Plata *Spot*	0.1150853	0.0357633	3.22	0.001	0.0449906	0.18518
	Standard & Poors	0.0448257	0.0192406	2.33	0.02	0.0071148	0.0825366
	Platino *Spot* (L1)	0.2582468	0.0891078	2.9	0.004	0.0835987	0.432895
	Futuro de la Plata	-0.6838691	0.0415127	-16.47	0	-0.7652324	-0.6025058

Nota: L1 indica que se trata del rezago de orden 1 de la variable

La volatilidad del rendimiento de los precios *spot* del platino y de la plata, del índice Standard & Poors y el tipo de cambio Dólar - Yen en *t-1*, con un nivel de significancia inferior al 5%, tienen un impacto significativo sobre el nivel de rendimiento precio futuro del platino.

Tabla 25: GARCH Multivariado Futuro del Platino							
Variable (Rendimiento)	**Afectada por (Rendimiento)**	**Coef.**	**Error Est.**	**Z**	**P>|z|**	**[95% Intervalo de Confianza]**	
Futuro del Platino							
	Plata *Spot*	0.0738113	0.029229	2.53	0.012	0.0165235	0.1310991
	Platino *Spot*	0.094112	0.0157252	5.98	0	0.0632912	0.1249328
	Standard & Poors	0.1999867	0.0728271	2.75	0.006	0.0572483	0.3427252
	Tipo de Cambio Dólar - Yen	-0.0844238	0.0369581	-2.28	0.022	-0.1568602	-0.0119873

Nota: L1 indica que se trata del rezago de orden 1 de la variable.

En los cuadros de arriba se presentan los coeficientes significativos del modelo GARCH Multivariado. El nivel de significancia considerado en el estudio es de 5%; en cada caso el coeficiente mide el impacto de la variación de un rendimiento en una variable, sobre el nivel de variación del rendimiento en otra. De esta forma se cuantifica el impacto entre las diferentes volatilidades de los rendimientos.

6. Conclusiones

A través del análisis de datos diarios para el periodo de 1990 a 2010 de las variables previamente mencionadas, mediante la estadística descriptiva, análisis de correlación, análisis de causalidad y el modelo GARCH multivariado, se concluye lo siguiente:

A partir del estudio de causalidad de Granger de los metales preciosos de interés, oro, plata y platino respectivamente, se concluye con un nivel de significancia del 5% que el oro es causado en el sentido de Granger por el rendimiento del platino *spot* y que existe una relación bidireccional en el sentido de Granger con la misma significancia entre el oro y la plata, entre el oro y su futuro, y entre el oro y el futuro de la plata.

Lo anterior concuerda con el análisis realizado mediante el modelo GARCH multivariado, el cual muestra con un nivel de significancia del 5% que la volatilidad del rendimiento de los precios del oro *spot*, es afectadada por el primer rezago del rendimiento de los precios del mismo oro *spot*, así como por el del platino y el del futuro de la plata. Lo que implica que tanto la actividad económica representada por el rendimiento del precio del oro, como la actividad industrial representada por el platino *spot* y sus expectativas representadas el futuro de la plata, afectan el rendimiento del precio del oro.

Aunque el estudio de causalidad de Granger indica que la plata *spot* y el futuro del oro afectan el rendimiento de los precios del oro, al realizar el estudio mediante el modelo GARCH considerando los rezagos de las variables de interés no fueron significativos.

El rendimiento de la plata, es causado en el sentido de Granger con un nivel de significancia del 5% por el rendimiento de oro y platino *spot*, índice Standard & Poors y el precio futuro del oro; lo cual concuerda con el análisis realizado mediante el modelo GARCH multivariado, que muestra con un nivel de significancia del 5% que la volatilidad del rendimiento de los precios de la plata *spot* es afectadada por el primer rezago del rendimiento de los precios de la plata y platino *spot*, índice Standard & Poors y el precio futuro del platino.

Al estudiar el rendimiento de la plata *spot* de mediante el modelo de Granger, el rendimiento futuro del oro incorpora las expectativas futuras sin embargo, cuando se realiza el estudio mediante el modelo GARCH incorporando los rezagos de las mismas variables consideradas en el modelo de Granger, la variable que incorpora la expectativas futuras es remplazada por el primer rezago del rendimiento del precio futuro del platino.

El rendimiento del platino es causado en el sentido de Granger con un nivel de significancia del 5% por el rendimiento del tipo de cambio Dólar – Yen, lo cual es concordante con el análisis realizado mediante el modelo GARCH mutivariado que indica con el mismo nivel de significancia del 5%, que la volatilidad del rendimiento de los precios *spot* del platino, así como la volatilidad del tipo de cambio Dólar – Yen en *t-1*, tienen un impacto significativo sobre el rendimiento del precio *spot* del platino. Lo que indica que existe una relación bidireccional entre el tipo de cambio Dólar – Yen y el rendimiento de de precios *spot* del platino.

Las afirmaciones anteriores con respecto al platino, concuerdan con el nivel de consumo del metal en Japón, que aunque es relativamente menor al consumo de Europa Norteamérica y el resto del mundo (véase Apéndice, Tablas 2, 3, 4 y 6). El PIB de Japón de 2010 (4.41 billones de dólares), es significativamente menor con respecto al PIB conjunto de Estados Unidos, Canadá y México (17 billones de dólares) y al de Europa de (15.15 billones de dólares).

El Platino tiene mayor importancia en la economía Japonesa con respecto a las otras regiones debido al alto nivel de consumo de la industria automotriz y a la industria de la joyería. Como se observó en el análisis de causalidad de Granger y en el modelo GARCH, un descalabro en la economía japonesa afectará a los precios del platino spot y futuros, así como una caída en los mismos afectaría a la economía japonesa.

7. Bibliografía

1. Altinay, G. & Karagol E. Electricity consumption and economic growth: Evidence from Turkey. Energy Economics 27 (2005) 849 – 856
2. Ashley, R; Granger, C. W. J. & Schmalensse, R. Advertising and Aggregate Consumption: An Analysis of Causality, Econometrica, Vol 48, No. 5. (Julio, 1980), pp. 1149 – 1167.
3. Arshanapally, Fabozzi & Nelson (2013), "The role of jump dynamics in the risk-return relationship", International Review of Financial Analysis.
4. Batten, J. Ciner, C. & Lucey,B. (2010) The macroeconomic determinants of volatility in precious metals markets, Resources Policy, Volume 35, Issue 2.
5. Black, F. (1975) The Pricing of *Commodity* Contracts, Journal of Financial Economics.
6. Bollerslev, T. (1986) "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity", Journal of Econometrics 31 (1986) 307-327, North-Holland, Inglaterra.
7. Bollerslev, T. Engle, R. and Wooldrige, J. (1988), "A Capital Asset Pricing Model with Time-Varying Covariances", The Journal of Political Economy, Vol 96, No 1. (Feb,1988), pp. 116-113
8. Carruthers, B. & Babb, (1996) S. The Color of Money and the Nature of Value: Greenbacks and Gold in Postbellum America; The American Journal of Sociology.
9. Chang, C. McAleer, M, & Tansuchat, R. (2011), "Crude oil hedging strategies using dynamic multivariate GARCH" Jpurnal of Energy Economics 33 (2011) 912-923.
10. Chavallier, J; Le Pen, Y & Sévi, B. (2011) Options introduction and volatility in the EU ETS, Resource and Energy Economics 33 (2011) 855-880

11. Cheng, B. & Wei Lai, T. An investigation of co-integration and causality between energy consumption and economic activity in Taiwan. Energy Economics 19 (1997) 435 – 444.

12. Ciner, C. (2001) On the long run relationship between gold and silver prices; Global Finance Journal

13. Cooper, R.N; Dornbusch, R. & Hall, E. R. (1982) The Gold Standard: Historical Facts and Future Prospects Brookings Papers on Economics Activity, Vol 1982, No. 1. Pp 1 -56

14. Colin, L. (2003), Why is gold different from other assets: An empirical investigation?; World Gold Council

15. Dirk G. Baur & Duy Tran, (2012) The Long-run Relationship of Gold and Silver revisited: A Co-integration approach, Working Paper January 2012.

16. Dufofsky, D. & Miller, T. (2003) Derivatives: Valuation and Risk Management; Oxford University Press, United States Of America.

17. Edwing, B. & Malik, F. (2013) Volatility transmission between gold and oil futures under structural breaks, International Review of Economics and Finance 25 (2013) 113-121

18. Elyasiani & Mansur (1998), "Sensivity of the bank stock returns distrinution to changes in the level and volatility of interest rate: A GARCH-M model, Journal of Banking & Finance 22 (1998) 535-563.

19. Engle, R. (1982), "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of Variance of United Kingdom Inflation", The Journal of Political Economy, Vol. 96, No.1 (Feb, 1988), pp. 116-131

20. Escribano, Á. & Granger, C.W.J. "Investigating the Relationship between Gold and Silver Prices, (1998) "Open Access publications from Universidad Carlos III de Madrid.

21. Escribano, A. & Pfann, G. (1998) Non-linear error correction, asymmetric adjustment and cointegration. Economic Modeling.

22. Geman, H, (2005) *Commodities* and *Commodity* Derivatives: Modelling and Pricing for Agricultural, Metals and Energy; John Wiley & Sons. EUA.
23. Ghosh, D. Levin, E. MacMillan, P. and Wright, R. (2004) *Gold as an inflation hedge?* Studies in Economics and Finance.
24. Govett, M. H. & Govett G. J. S (1982) "Gold demand and supply"; Resouce Policy.
25. Granger, C. W. J. Investigating Causal Relations by Econometric Modelos and Cross-spectral Methods, Econometrica, Vol 37, No. 3. (Agosto, 1969), pp. 424 - 438
26. Harris, M. and Stulz, R. (2003) "Anomalies and Market Efficiency." Chapter 15 in Handbook of the Economics of Finance, eds. George Constantinides, , North-Holland 937-972.
27. Hiller, D. Drapper, P & Faff, R. (2006) Do Precious Metals Shine? An Investment Perspective. Financial Analyst Journal.
28. Hmmoundeh, S, Yuan, Y, McAleer, M & Thompson, M. (2010) Precious metals-exchange rate volatility transmissions and hedging strategies. International Review of Economics and Finance.
29. Hull, J. (2009) Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones, Prentice Hall, 6ª ed.
30. Kutan, A. & Aksoy, T. (2004) Public Information Arrival and Gold Market Returns in Emerging Markets: Evidence from Istanbul Gold Exchange. Scientific Journal of Administrative Development.
31. Kim, J. (2000) The relationship between the monetary regime an output volatility: a multivariate GARCH-M model of the Japanese experience, 1919-1996, Japanese and the World Economy 12, 49-69
32. Kwon, Chung & Shin, Tai. Cointegration and causality between macroeconomic variables and stock market returns. Global Finance Journal 10:1 (1999) 71 – 81
33. Levin, E. & Wright, R. (2006) Short-run and Long-run Determinants of the Price of Gold. Research Study No 32; World Gold Council.

34. Lucas, A. (1928) Egypt Exploration society; Silver in Ancient Times; The Journal of Egyptian Archaeology.

35. Lucey, B. & Tully, E (2006) The evolving relationship between gold and silver 1978-2002: evidence from a dynamic co integration analysis: a note. Applied Financial Economic Letters.

36. Luke, M & Mountain, C. (1988) The Interactive and Causal Relationships Involving Precious Metal Price Movements: An Analysis of Gold and Silver Markets. Journal of Business and Economic Statistics.

37. Malik & Edwing (2009), "Volatility transmission between oil prices and equity sector returns" International Review of Financial Analysis 18 (2000) 95-100.

38. Manage, N. & Marlow, M. (1986) The Causal Relation between Federal Expenditures and Receipts. Southern Economic Journal, Vol 52, No 3 (Enero, 1986) pp. 617 -629

39. Mantegna & Stanley (2004), An Introduction To Econophysics: Correlations And Complexity In Finance, 1ed, Cambridge University Press.

40. Marshall, A. The Principles of Economics. History of Economic Thought Books, 1980.

41. Narayan, P. & Smyth, R. Multivariate Granger causality between electricity consumption, exports and GDP: Evidence from a panel of Middle Easterns countries. Energy Policy 37 (2009) 229 – 236

42. Ram, R. Evidence on Causality between Government Revenue And Government Expenditure. Southern Economic Journal, Vol 54, No 3 (Enero, 1988) pp. 763 - 769

43. Redetzki, M. (1989) Precious metals; The fundamental determinants of their price behavior. Butterworth & Co.

44. Schoenberger, E (2010) Why is gold valuable? Nature, social power and the value of things; SAGE.

45. Sheehan, R. & Grieves, R. (1982) Sun*Spot*s and Cycles: A Test of Causation, Southern Economic Journal, Vol 48, No 3 (Enero, 1982) pp.775-777

46. Simpson, M. Svendsen, A. & Pui, Chan (2007) Demand and Supply in the International Finance Market: An Empirical Analysis. City University of Hong Kong.
47. Solt, M & Swanson, P. On the Efficiency of the Markets for Gold and Silver. Chicago Journals.
48. Soytas, U. & Sari, R. Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. Energy Economics 25 (2003) 33-37
49. Stern, D. A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. Energy Economics 22 (2000) 267 – 283.
50. Srinivasan, S. (2008) Futures Trading in Agricultural *Commodities*: Is the Government ban on *commodities* trading logical?; working Paper No 193; Summer Research Intership Programme 2008; Centre of Civil Society
51. Tully, E. Lucey, B. (2007) A power GARCH examination of the gold market, Research in International Business and Finance.
52. Varella & Abebe (2013) U.S. stock returns and oil prices: The tale from daily and the 2008-2009 financial crisis, Journal of Energy Economics 36 (2013) 1-18.
53. Wisniak, Jaime (200x) Platinum –From exotic to *commodity* ; Indian Journal of Chemical Technology.
54. Xu, X. & Fung, H. (2005) Cross-market linkages between U.S. and Japanese precious metals futures trading, Journal of International Financial Markets, Institutions and Money.
55. Yang, H. A note on the causal relationship between energy and GDP in Taiwan. Energy Economics 22 (2000) 309 – 317

8. Apéndice

Tabla 1: Producción del Platino a Nivel Mundial de 1990 a 2012

Año/País	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Sudáfrica	2,760	2,770	2,750	3,360	3,160	3,370	3,390	3,700	3,680	3,900	3,800	4,100	4,450	4,630	5,010	5,115	5,295	5,070	4,515	4,635	4,635	4,860	4,095
Rusia	720	1,100	750	680	1,010	1,280	1,220	900	1,300	540	1,100	1,300	980	1,050	845	890	920	915	805	785	825	835	800
Norteamérica	185	220	200	220	220	240	240	240	285	270	285	360	390	295	385	365	345	325	325	260	200	350	295
Otros	65	70	120	130	140	100	130	120	135	160	105	100	150	225	250	270	270	290	295	345	390	440	450

Fuente: http://www.platinum.matthey.com (2013).

Tabla 2: Consumo de Platino en Japón de 1990 a 2012

Industria/Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Autocatálisis	400	380	350	320	290	270	245	255	240	250	290	340	430	500	615	600	605	610	610	395	550	500	600
Química	25	20	20	15	15	20	20	20	20	20	20	25	30	40	40	50	50.01	55	55	45	50	35	35
Eléctrica	50	50	50	45	45	45	45	65	55	75	90	80	55	40	50	65	55	35	35	30	30	25	20
Vidrio	50	35	20	30	80	105	80	85	80	65	65	85	60	85	90	95	100	85	65	40	90	130	10
Inversiones	140	305	150	235	280	305	155	85	130	110	-95	45	40	-10	15	-15	-65	-60	385	160	45	250	100
Joyería	1190	1260	1290	1350	1450	1480	1480	1390	1290	1320	1060	750	780	660	560	670	585	540	530	335	325	310	310
Petróleo	15	15	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	5	5	5
Otras	15	20	25	20	25	25	25	30	30	35	35	35	55	40	40	45	40	45	45	35	60	60	60
Total	**1850**	**2050**	**1870**	**1975**	**2145**	**2215**	**2005**	**1885**	**1795**	**1820**	**1470**	**1365**	**1455**	**1360**	**1415**	**1515**	**1375.01**	**1315**	**1735**	**1050**	**1155**	**1315**	**1140**

Fuente: http://www.platinum.matthey.com (2013).

Tabla 3: Consumo de Platino en Norteamérica de 1990 a 2012

Industria/Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Autocatálisis	690	620	525	600	790	820	850	800	775	535	620	795	570	885	800	820	705	850	505	370	405	370	405
Química	50	100	90	75	65	70	80	80	80	95	100	100	100	95	90	100	100.03	95	95	65	100	95	105
Eléctrica	80	65	55	65	75	115	130	100	105	120	145	120	100	85	90	95	75	55	30	25	25	25	20
Vidrio	25	20	15	15	20	25	30	45	20	25	50	35	30	-30	-10	5	10	25	-5	-35	10	-5	10
Inversiones	5	40	65	40	65	25	75	145	175	60	35	45	40	25	25	25	20	30	60	105	465	10	190
Joyería	20	20	35	45	55	65	90	160	270	330	380	280	310	310	290	285	270	225	200	135	175	185	185
Petróleo	40	50	35	40	5	40	60	50	40	40	35	40	45	40	35	35	35	30	25	15	25	50	60
Otras	55	65	65	80	95	115	140	160	170	190	210	250	265	215	205	220	225	215	235	180	195	200	205
Total	**790**	**815**	**705**	**760**	**940**	**1015**	**1180**	**1250**	**1325**	**1080**	**1575**	**1665**	**1460**	**1625**	**1525**	**1585**	**1440.03**	**1525**	**1145**	**860**	**1400**	**930**	**1180**

Fuente: http://www.platinum.matthey.com (2013).

Tabla 4: Consumo de Platino en Europa de 1990 a 2012

Industria/Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Autocatálisis	375	480	575	610	605	560	515	510	545	560	680	1060	1210	1455	1680	1960	2060	2055	1970	970	1495	1505	1330
Química	60	55	50	40	50	55	60	70	60	80	100	105	115	105	115	100	99.96	110	105	70	110	120	110
Eléctrica	40	30	30	20	25	25	25	45	45	70	80	65	40	35	40	40	25	15	20	20	15	20	15
Vidrio	25	20	15	15	30	35	40	20	25	20	20	10	10	10	5	10	10	15	-25	5	10	30	5
Inversiones	40	40	35	25	45	10	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	195	105	385	140	155	135
Joyería	80	85	85	105	100	120	125	150	160	185	190	170	160	190	195	195	200	200	205	185	175	175	180
Petróleo	40	30	20	25	25	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	25	30	25	20	35	20
Otras	45	50	55	60	65	75	75	85	85	90	105	155	190	185	190	175	175	185	200	170	190	185	185
Total	**705**	**785**	**860**	**895**	**935**	**880**	**840**	**875**	**910**	**995**	**1190**	**1580**	**1740**	**1995**	**2240**	**2495**	**2589.96**	**2800**	**2610**	**1830**	**2155**	**2225**	**1980**

Fuente: http://www.platinum.matthey.com (2013).

Tabla 5: Consumo de Platino en China de 1998 a 2012																							
Industria/Año	**1990**	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**
Autocatálisis										5	10	15	35	60	75	120	155	175	145	85	100	105	105
Química									20	15	20	10	10	10	10	10	65	70	60	40	80	100	90
Eléctrica									20	20	20	15	15	15	20	25	45	20	30	20	30	30	25
Vidrio									30	25	35	65	40	30	60	70	50	180	85	-90	130	10	70
Inversiones										5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
Joyería									620	950	1100	1300	1480	1200	1010	1205	1060	1070	1060	2080	1650	1680	1950
Petróleo									15	10	15	15	5	5	5	5	10	10	10	10	15	15	10
Otras									5	5	5	5	5	5	5	10	10	15	20	20	35	40	55
Total									**710**	**1035**	**1205**	**1425**	**1590**	**1325**	**1185**	**1450**	**1395**	**1540**	**1410**	**2165**	**2040**	**1980**	**2305**

Fuente: http://www.platinum.matthey.com (2013).

Tabla 6: Consumo de Platino en el Resto del Mundo de 1990 a 2012																							
Industria/Año	**1990**	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**
Autocatálisis	60	70	85	100	155	185	200	270	265	240	260	290	310	345	370	320	295	380	455	425	365	525	705
Química	45	80	65	55	50	60	70	70	65	100	110	55	50	70	70	70	65	80	90	85	70	100	120
Eléctrica	30	35	30	30	35	40	55	75	95	75	85	120	105	105	85	100	135	160	130	115	95	130	130
Vidrio	35	35	45	30	20	30	60	105	115	65	65	85	95	95	115	145	180	235	165	195	90	145	350
Inversiones	10	15	30	5	5	5	5	5	5	5		0	0	0	0	5	0	5	5	5	10	5	45
Joyería	55	75	105	100	115	135	145	295	460	90	95	100	90	90	150	105	110	80	75	65	75	95	125
Petróleo	25	45	55	55	30	55	60	105	100	50	45	40	55	60	55	90	110	110	135	165	150	105	105
Otras	5	5	5	5	5	5	10	15	20	15	15	20	20	25	25	30	25	40	35	35	35	50	65
Total	**265**	**360**	**420**	**380**	**415**	**510**	**600**	**935**	**1120**	**640**	**660**	**710**	**725**	**790**	**870**	**865**	**920**	**1090**	**1090**	**1090**	**890**	**1155**	**1645**

Fuente: http://www.platinum.matthey.com (2013).