

EL PRECIO DEL PETRÓLEO Y LA VOLATILIDAD DE LA ACCIÓN DE ECOPETROL

EDWARD ENRIQUE PANIAGUA SERNA

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y ECONÓMICAS
PROGRAMA ACADÉMICO DE ECONOMÍA
SANTIAGO DE CALI
2009**

EL PRECIO DEL PETRÓLEO Y LA VOLATILIDAD DE LA ACCIÓN DE ECOPETROL

EDWARD ENRIQUE PANIAGUA SERNA

**Trabajo para optar al título de
Economista**

**Director
Inés María Ulloa
Economista**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y ECONÓMICAS
PROGRAMA ACADÉMICO DE ECONOMÍA
SANTIAGO DE CALI
2009**

RESUMEN

La fluctuación del precio del petróleo en los últimos dos años ha tenido un impacto importante sobre la cotización de la acción de la firma ECOPETROL, la cual a su vez ha influido fuertemente sobre el Índice General de la Bolsa de Colombia (IBGC) desde su ingreso a éste. Dicho comportamiento parte de que los activos mencionados responden a ciertos fundamentales económicos, entre los cuales la cotización del barril de crudo en los mercados mundiales figura, como el más relevante. Este trabajo estudia el comportamiento de la volatilidad de la acción de la empresa petrolera colombiana así como del índice bursátil con base en la variabilidad del precio del petróleo entre noviembre del año 2007 y abril del 2009 a través de la estimación de un GARCH multivariado, el cual muestra las varianzas de las series analizadas así como las covarianzas. Los resultados indican que la variabilidad de las series tratadas fué mayor durante el segundo semestre del 2008, característica que coincide con la caída de la cotización del precio del barril en las principales bolsas del mundo; además muestra que el grado de asociación entre las variables es alto lo cual corrobora la relación teórica existente.

Palabras Claves: Valoración de Activos Financieros, Series Temporales, Modelos GARCH Multivariado.

TABLA DE CONTENIDO

		Pág.
1	INTRODUCCIÓN	1
2	ANTECEDENTES	4
	EL PETROLEO EN LA ECONOMÍA	4
2.1.	MUNDIAL	4
2.2.	IMPORTANCIA DEL PETROLEO EN COLOMBIA	7
	VALORACIÓN DE ACTIVOS	13
3	FINANCIEROS	13
	VALOR PRESENTE DE LOS ACTIVOS	13
3.1.	FINANCIEROS	16
	MODELOS DE VALORACIÓN DE	16
3.2.	ACTIVOS	16
3.2.1	Modelo de Valoración CAPM	18
3.2.2	Modelo APT (Arbitrage Price Theory)	19
	Modelos Multifactoriales (Multifactorial	20
3.2.3	Models).	21
3.3.	MEDICIÓN Y PREDICCIÓN DE LA VOLATILIDAD	21
	DE LOS ACTIVOS	24
	Modelos de Heterocedasticidad	24
3.3.1	Autorregresiva	27
	Condicional generalizada (GARCH).	27
	GARCH Multivariado (MV-	28
3.3.2	GARCH)	31
4.	CASO DE ESTUDIO: ACCIÓN ECOPETROL EN EL	33
	PERIODO NOVIEMBRE 2007—ABRIL	45
	2009	47
	COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DEL PETROLEO EN EL	51
4.1.	2008	51
	COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DE LA ACCIÓN DE	51
4.2.	ECOPETROL	51
	Y DEL IGBC EN EL 2008	51
4.3.	VOLATILIDAD DEL PETRÓLEO Y DE LA ACCIÓN	51
	DE ECOPETROL EN EL 2008	51
5.	CONCLUSIONES	51
6.	BIBLIOGRAFÍA	51
7.	ANEXOS	51

1. INTRODUCCIÓN

El petróleo es uno de los activos más importantes del siglo XX pues constituye la fuente de energía más utilizada en el mundo y es el componente primario de una gran variedad de productos utilizados en ámbitos como el transporte y la química cuyo uso resulta indispensable en la sociedad moderna.

El impacto de la oferta y la demanda de crudo determinan el precio del barril - cantidad que sirve como referencia a nivel mundial- en los mercados internacionales. Por parte de la demanda, este bien es apetecido por consumo y es considerado como un activo con el cual se especula en los mercados financieros. Por parte de la oferta, la cantidad de crudo en el mercado depende de dos aspectos: la capacidad de extracción y refinamiento que posean cada uno de los países petroleros y el control económico que ejerce el cartel de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo).

Estudios recientes del activo como el de Calduch (2004) y Luyo (2008) revelan que la demanda especulativa del crudo está ganando terreno en los mercados financieros - representados por las bolsas de valores del mundo e instituciones financieras cuyas acciones sobrevaloran o subvaloran el precio del barril-. La especulación con el petróleo es manejada por aspectos políticos y de control de la oferta pero también está explicada por la rentabilidad lograda a través de contratos de futuros y de opciones financieras.

El movimiento especulativo del petróleo ha desencadenado variaciones importantes en el precio del mismo, afectando a los productores y a los consumidores del bien. En un escenario de sobrevaloración del barril de crudo, los productores generan grandes ganancias en la venta del activo y los consumidores se ven afectados al elevarse el costo de vida – ya que el petróleo es un referente del nivel de precios de una economía; en cambio, un contexto de subvaloración del activo significa menores ingresos para los

productores lo cual es importante si se tiene en cuenta que en algunos países este bien primario es el más relevante en sus exportaciones.

Una de las fluctuaciones más fuertes del petróleo fue la registrada durante el año 2008. En dicho periodo, el precio más alto del barril fue 147 dólares cotizado el día 11 de julio y el precio más bajo fue de 33 dólares por barril cotizado el día 19 de diciembre - una caída del 340 %; dicha volatilidad del crudo ha sido reconocida como una de las más importantes de los últimos 2 décadas dado el impacto que tuvo sobre la economía mundial.

En Colombia la fluctuación del precio del crudo en el año 2008 tuvo asociados dos fenómenos importantes en el mercado de valores: El primero fue la valorización de la acción de la empresa Colombiana de ECOPETROL, dedicada a la extracción y refinación de petróleo, la cual atrajo un mayor interés por parte de los inversionistas colombianos y extranjeros. La segunda fue un comportamiento de la bolsa de valores del país influenciado por el título de la empresa petrolera dado que esta acción es actualmente la más importante del conjunto de acciones que componen el índice.

La volatilidad de la cotización del barril de petróleo en los mercados internacionales durante el año 2008 fue una variable determinante en la valoración del título de la empresa petrolera colombiana y en el comportamiento del Índice General de la Bolsa de Colombia (IGBC). Por tal razón, el análisis de la volatilidad del precio de la acción de ECOPETROL basado en el comportamiento del precio del crudo, constituye un tema de estudio interesante. El objetivo principal del presente trabajo es revelar el impacto de la volatilidad del precio del barril de crudo en el título de ECOPETROL dado que este depende fundamentalmente del primero y, a su vez, mostrar el grado de asociación de la acción colombiana con el índice bursátil colombiano a través de la variabilidad de ambas series.

El estudio del impacto de la volatilidad precio del petróleo sobre la acción de ECOPETROL y sobre el IGBC (Índice General de la Bolsa de Colombia) está basado en las cotizaciones diarias del crudo en los mercados internacionales, específicamente en el barril referencia del petróleo conocido como el West Texas Intermediate (WTI) que se transa en el continente americano. Este análisis muestra la relación entre la variación del precio del barril y la variación del precio de ECOPETROL y, de la misma manera, observa la relación que posee el comportamiento del crudo y la bolsa colombiana en el periodo de análisis.

La metodología con la que se realiza el estudio se enfoca en los modelos ARCH – modelos de heterocedasticidad autoregresiva condicional - cuyo uso permite la medición de la volatilidad de las series temporales que presentan heterocedasticidad; específicamente el trabajo se centra en el uso de un modelo GARCH multivariado que permite observar el nivel de asociación entre el precio de la acción de ECOPETROL, el índice de la bolsa Colombiana y la cotización del crudo por medio de las covarianzas existentes.

Este trabajo se distribuye como sigue:

En la segunda sección se abordarán algunas consideraciones sobre la importancia del petróleo en los últimas décadas, la relevancia de este bien en Colombia como recurso de exportación y como instrumento bursátil.

En la tercera sección se tratarán algunas teorías de valoración de los activos financieros como punto de partida para explicar los determinantes que afectan directamente los precios de mercado de los activos, destacando la volatilidad o varianza como aspecto fundamental en el análisis de los precios. Además, en esta sección se introducen las técnicas econométricas para el estudio de la volatilidad de los activos financieros mejor conocidos como los modelos ARCH y GARCH para series de tiempo.

En la cuarta sección se mostrará la conducta del precio del petróleo en el año 2008, el comportamiento de la acción de ECOPETROL y la evolución de la bolsa de Colombia en el mismo periodo, así mismo se presentan las estimaciones de la volatilidad del petróleo en el año 2008, la volatilidad de la acción de ECOPETROL, la volatilidad del IGBC y las covarianzas entre estas.

2. ANTECEDENTES

2.1 EL PETRÓLEO EN LA ECONOMIA ACTUAL

La sociedad moderna considera al petróleo como uno de los bienes mas preciados de los últimos tiempos. La amplia utilización de este bien en campos como la energía, la calefacción y el transporte entre otros muchas aplicaciones le han otorgado al crudo una gran importancia en el dinamismo mundial. En general el petróleo es el activo que mueve actualmente al mundo.

En el mercado la demanda de crudo es una variable que está influenciada principalmente por el nivel de actividad económica de los países, las naciones con gran crecimiento económico tienen asociado una mayor utilización de esta fuente primaria de energía (Jiménez, 2002); por otra parte, la oferta de crudo se encuentra concentrada en pocas manos las cuales extraen y refinan el petróleo para venderlo en los mercados internacionales al mejor postor o simplemente exportarlos a otras naciones con las cuales se sostienen acuerdos comerciales específicos (como es el caso actual de Colombia o de otros países latinoamericanos).

La estructura del mercado del petróleo posee uno de los carteles económicos más importantes del mundo, la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Esta institución creada en 1960 por los países con mayores reservas de crudo, controla el 66% de la producción mundial permitiendo a los países integrantes tener cierto poder de mercado. La regulación del precio del petróleo a nivel mundial se da vía

cantidad ofrecida y vía fijación del precio del barril. Por ello, desde su creación, la OPEP ocupó el primer plano de la actividad económica mundial, sus decisiones en materia de precios afectan directamente a las economías de todo el mundo.

Las naciones que pertenecen a este cartel son grandes productores de crudo dadas sus altas dotaciones de este recurso natural. Algunas de ellas son: Irán, Kuwait, Arabia Saudita, Qatar, Irak, Venezuela, Libia e Indonesia, Argelia, Nigeria, Emiratos Árabes Unidos, Ecuador (aunque después abandonó la organización) y Gabón.

La mayoría de los países que pertenecen al cartel poseen en la actualidad una alta dependencia del crudo como base de sus economías, razón por la cual defienden el uso del petróleo como combustible y fuente de energía primaria en el mundo ya que su potencia exportadora es el petróleo. De no regular el precio a su favor, dichas economías entrarían en crisis.

La Tabla 1 muestra las zonas en las cuales la producción es mayor, como el Oriente Medio y Europa, zonas favorecidas en su dotación de crudo gracias a grandes yacimientos encontrados en sus tierras. Dichas zonas concentran la mayoría de los países que pertenecen a la OPEP. Por otro lado, la tabla muestra el consumo porcentual de crudo por zona terrestre mostrando que aquellas regiones con gran desarrollo industrial y económico poseen un consumo mayor, apoyando las ideas de Jiménez (2002).

Tabla 1: Producción y consumo del mundo (porcentajes) Junio 2008

Zona	Producción %	Consumo %
Oriente Medio	31,2	7,2
Europa Y Euro asia	21,6	24,9
América del Norte	16,5	28,9
África	12,1	3,4
Asía Pacífico	9,7	29,5
Sur y Centro América	8,8	6,1

Fuente: BP statistical review of world energy June 2008

La oferta no sólo proviene de los países integrantes de la OPEP sino de pequeños productores cuyos yacimientos petroleros son menores- llamados comúnmente como productores independientes. La particularidad de estos oferentes radica en aceptar los precios impuestos por el mercado mundial, es decir, poseen una condición de ser seguidores de precios. Entre los países que se destacan están: el Reino Unido, Noruega, México, Rusia y algunos países latinoamericanos (entre ellos Colombia).

La fluctuación del precio del petróleo en el mundo es una variable fundamental en el plano económico actual ya que es un referente general del movimiento en los precios de la sociedad. Un aumento del precio del crudo causa una subida general de los precios de los demás bienes y servicios, debido a que la producción de las mercancías depende del costo del transporte y el costo de utilización de la maquinaria – ambos dependientes de alguna fuente de energía, sea un combustible o un derivado del

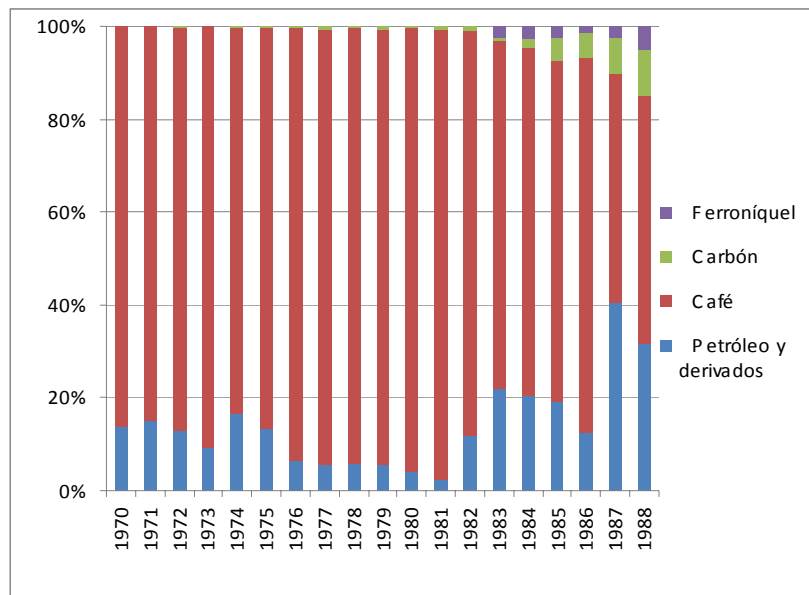
crudo -. Por tanto, un incremento del crudo se traduce en un aumento de los costos para los productores, costo que se transfiere a los precios de los bienes. (Bareño, 2008)

Otro de los aspectos relevantes de la fluctuación del precio del petróleo es el efecto negativo que puede tener una caída del precio del barril para las economías dependientes del bien, ya que al ser naciones altamente influidas por esta mercancía, un descenso en su cotización afecta directamente al crecimiento económico y al desarrollo de este tipo de naciones.

2.2 IMPORTANCIA DEL PETRÓLEO EN COLOMBIA

Dentro de los bienes que son exportados en Colombia el petróleo es uno de los más importantes. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) el petróleo ha representado el 32% de las exportaciones totales en los últimos 12 años siendo el producto primario más importante seguido del carbón y del café. En la actualidad el petróleo representa cerca del 50% de las exportaciones tradicionales colombianas.

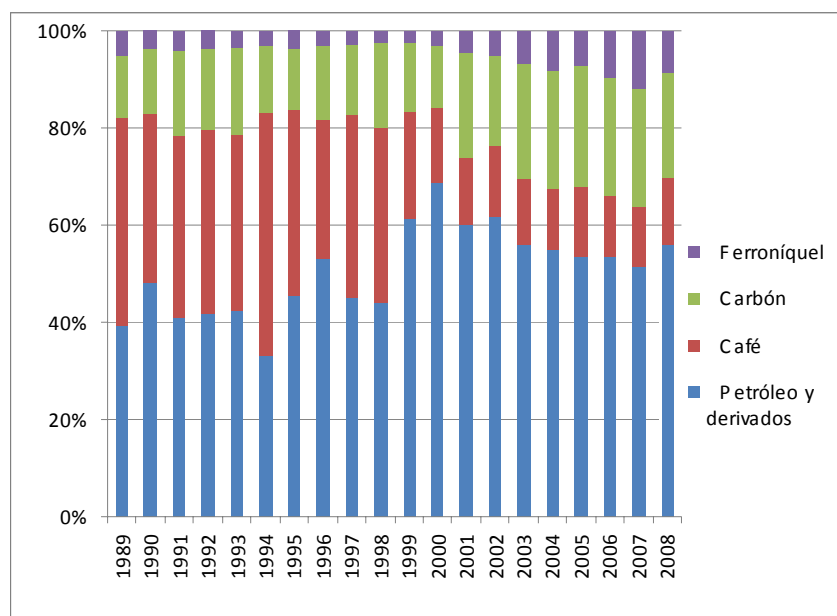
Los gráficos que se presentan a continuación muestran la evolución de la participación de los bienes que componen las exportaciones tradicionales en Colombia entre el año 1970 y el año 2008. En el gráfico 1 – que comprende entre 1970 y 1988 - es posible observar cómo el producto de exportación más apetecido en los mercados internacionales era el café, cuya participación en la década de los setenta fue de un 75% de las exportaciones tradicionales. Históricamente dichos resultados estuvieron asociados al “Boom Cafetero” que vivió Colombia en estos años, los cuales consolidaron al café como el producto más representativo de las exportaciones colombianas.



Fuente: DANE

Gráfico 1: Exportaciones tradicionales de Colombia (participación porcentual por bienes) entre 1970-1988

En el segundo gráfico –1988 y el 2008 - muestra cómo algunos bienes ganaron importancia en el conjunto de productos que comercia el país con el resto del mundo como por ejemplo el petróleo y el carbón; de la misma manera muestra como otros perdieron participación como por ejemplo el café. En general, Colombia ha cambiado sus esquemas de comercio con el resto del mundo convirtiendo a la actividad de extracción y de minería en una de las más relevantes de la actividad económica del país; se observa cómo el petróleo adquiere una importancia considerable entre los productos ofrecidos al mercado mundial.



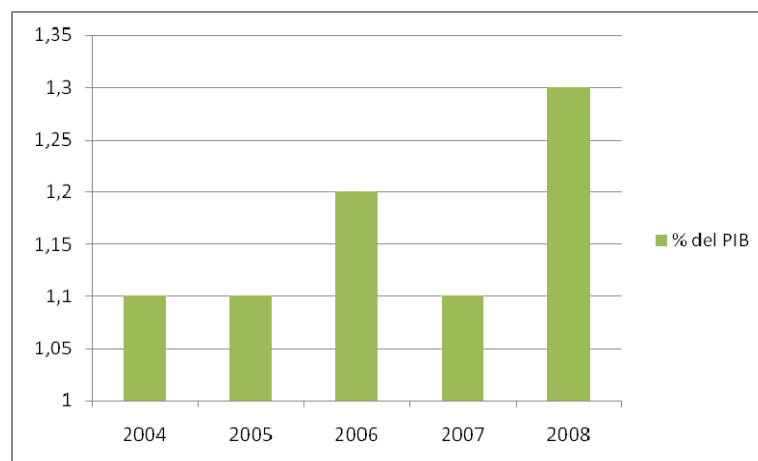
Fuente: DANE

Gráfico 2: Exportaciones tradicionales de Colombia (participación porcentual por bienes) entre 1989-2008

La importancia que ha adquirido el petróleo en la dinámica económica colombiana ha convertido a la actividad de extracción de combustible en una de las más relevantes en los últimos años. ECOPETROL, la empresa dedicada a la extracción y refinación del crudo y derivados en Colombia ha surgido como una firma importante y rentable, la cual cuenta con el apoyo del Estado a través del Ministerio de Minas y Energía.

La relevancia de ECOPETROL para el país radica en los recursos que genera la empresa petrolera a Colombia – a través de las transferencias hechas al país - además del dinamismo económico que dicha empresa genera como sector productivo generador de empleo y productos con alto valor agregado.

Los recursos económicos que transfiere ECOPETROL al Estado son de 2 tipos: El primero tiene que ver con los impuestos cobrados por el Estado sobre el uso y explotación de la tierra para la extracción del bien; el segundo es una transferencia generada por la participación del Estado sobre las utilidades generadas por la empresa petrolera en la venta del bien en los mercados internacionales. Ambos tipos de transferencia logran que esta firma sea una fuente de recursos importantes para Colombia. A continuación se presentan los datos del aporte de ECOPETROL al PIB colombiano en los últimos 5 años:



Fuente: ECOPETROL

Gráfico 3: Aporte al PIB realizado por ECOPETROL

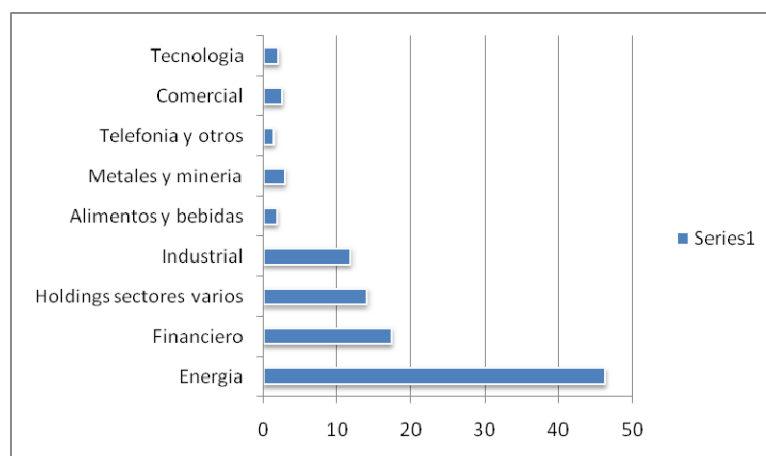
En promedio dicho aporte representa el 1.2% del valor agregado que genera el país. Cabe mencionar que la empresa petrolera es una de las que más aportes realizan a la economía colombiana a la par de la industria de venta de flores, la industria licorera y la industria de textiles.

Además de contribuir con el progreso económico del país, ECOPETROL participa en otros espacios como el mercado bursátil, el cual concentra títulos valores de las firmas más influyentes en la economía colombiana.

En el mercado de capitales colombiano el petróleo tiene un peso importante dentro del índice general de la bolsa de Colombia (IGBC) al tener a ECOPETROL como la empresa principal del IGBC desde el mes de noviembre del 2007. El comportamiento del índice de bolsa colombiana ha sufrido entonces una transformación importante con la inclusión de la empresa petrolera, teniendo como consecuencia cierta vulnerabilidad a lo que sucede con el precio del petróleo en los mercados internacionales, más específicamente con la referencia del WTI.

La composición actual del IGBC se concentra en el sector energético – 46% de la canasta de acciones del índice- mostrando un mayor interés bursátil en este tipo de empresas. Una de las razones más importantes de la actual composición es la acogida que ha tenido

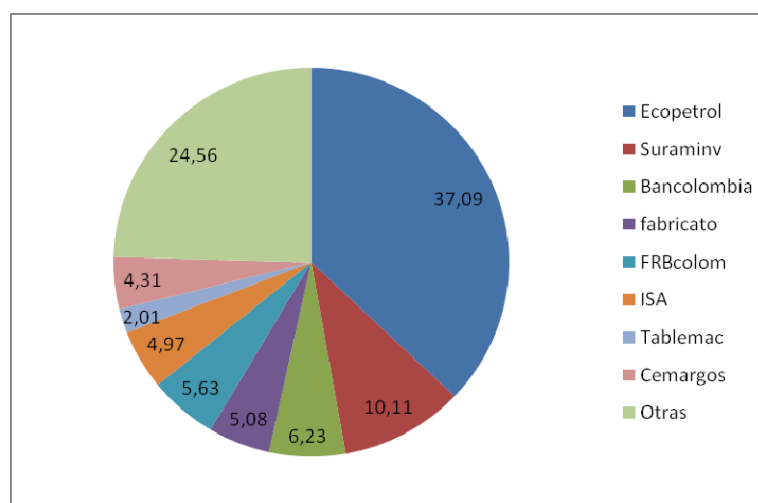
el petróleo y el carbón en los últimos años en la economía colombiana, logrando que la inversión nacional y extranjera fluya hacia este tipo de firmas en busca de rentabilidad en el mediano y largo plazo.(Ramírez, 2006)



Fuente: Bolsa de Valores de Colombia

Gráfico 4: Composición del IGBC por sectores en el año 2008

La constitución del IGBC por empresas permite mostrar en detalle la participación del sector energético y en particular el sector petrolero en el índice. Como se puede apreciar en el gráfico 4 el sector energético posee aproximadamente una participación del 46% teniendo como sucesor el sector financiero con una ponderación del 17%. La diferencia entre las participaciones de ambas muestra evidentemente la importancia de ECOPETROL en el mercado bursátil. El gráfico por acciones es el siguiente:



Fuentes: Bolsa de Valores de Colombia

Gráfico 5: Participación porcentual de las acciones del IGBC en el año 2008

El cuadro de participación por acciones muestra claramente que ECOPETROL tuvo en el 2008 una participación del 37% siendo la empresa más importante dentro de las actividades bursátiles colombianas. Dicha participación es medida no solo en términos de la cantidad de acciones puestas a disposición de los inversionistas sino que además es un reflejo del volumen de transacciones de la acción en el año.

La inversión en acciones de ECOPETROL ha tenido un gran auge desde que la empresa petrolera se involucró en la Bolsa de Valores de Colombia por lo que es uno de los títulos más apetecidos por los inversionistas, tanto de corto como de largo plazo.

La importancia del petróleo en el mercado bursátil es considerable por lo cual es necesario comprender teóricamente en qué se basa la valoración del título de ECOPETROL y su relación con el precio del petróleo en los mercados internacionales.

3. VALORACIÓN DE LOS ACTIVOS FINANCIEROS

Para analizar el movimiento de la acción de ECOPETROL es necesario comprender los conceptos subyacentes a la valoración de los activos, en especial la valoración de acciones, cuya particularidad reside en su capacidad de generar una rentabilidad variable al inversionista o poseedor de dicho título.

En general, el valor de una acción o de otro activo responde a ciertas características del mercado denominadas fundamentales, las cuales en su conjunto determinan el valor base o valor fundamental del título. Cabe mencionar que cada título posee sus propios fundamentales a partir de los cuales se determina su valor. Por tanto el análisis de cada uno conlleva al análisis detallado de sus fundamentales.

Las teorías sobre las cuales se basan la valoración de activos financieros están relacionadas con los siguientes conceptos: la rentabilidad esperada del activo y la volatilidad medida del mismo. A continuación se presentan las teorías sobre las cuales se fundamenta la valoración de activos.

3.1 VALOR PRESENTE DE LOS ACTIVOS FINANCIEROS

La valoración de los activos es un campo de estudio importante en la construcción de los precios. Una de las formas de valorar un activo consiste en traer a valor presente los [flujos](#) futuros que ha de generar. El método utilizado es conocido como el valor presente de un activo.

Cada uno de los activos existentes posee sus propias características en el momento de utilizar el método en cuestión. La particularidad de las acciones reside en el manejo de los dividendos entregados al poseedor del título.

El concepto de valoración de los activos parte de la noción de rentabilidad generada por la tenencia del activo. En una versión sencilla de la rentabilidad para una acción se define como sigue:

$$R_{i,t} = \frac{Div_{i,t} + P_{i,t} - P_{i,t-1}}{P_{i,t-1}} \quad (1)$$

Donde:

$R_{i,t}$ Es la rentabilidad de la acción i en el periodo t

$Div_{i,t}$ Son los dividendos de la acción i recibidos en el periodo t

$P_{i,t}$ Es el precio de la acción en el periodo t

$P_{i,t-1}$ Es el precio de la acción en el periodo t-1

La rentabilidad del activo i en el periodo t es equivalente a los flujos generados en relación al precio pagado en t-1 (con el fin de hallar una tasa).

El valor presente – valor del activo en el periodo inicial- se calcula de la siguiente manera:

$$P_{i,0} = \sum_{t=1}^{\infty} \frac{Div_t}{(1+R)^t} \quad (2)$$

La ecuación (2) muestra que el valor de un activo depende de 2 variables fundamentales: Los dividendos y la tasa de descuento (R_i). Esta versión sencilla del cálculo del valor del activo no tiene en cuenta algunas modificaciones como por ejemplo la variabilidad de los dividendos – dividendos no constantes o crecientes a una tasa específica. Conceptualmente la expresión (2) permite entender los factores que afectan al precio de una acción.

La rentabilidad de la acción calculada por medio de (1) es un cálculo a posteriori en el que se conocen las variaciones del precio y el comportamiento de los dividendos de la compañía. Dejando de lado ese esquema, los inversionistas realizan algunas estimaciones sobre la rentabilidad futura de sus acciones periodos antes de la obtención del título, esto les permite estimar el riesgo y las ganancias en sus portafolios.

La rentabilidad de la acción es intrínsecamente una variable aleatoria que responde a los movimientos del mercado, Zabos (2008). Los rendimientos de un título pueden tomar distintos valores, cada uno de los cuales tiene una probabilidad de ocurrencia. Ante la incertidumbre sobre los rendimientos, los agentes económicos tratan de establecer cual será la rentabilidad esperada del activo en los siguientes periodos y, para ello, deben tener en cuenta el comportamiento de la acción basado en dos aspectos: la rentabilidad media del título y la volatilidad o riesgo del mismo.

Las teorías de valoración de activos que apoyan el concepto de rentabilidad esperada son: El modelo de fijación de precios para activos de capital (Capital Asset Pricing Model o CAPM model), La Teoría del Arbitraje (Arbitrage Pricing Theory) y las teorías basadas en la valoración de los activos vía fundamentales económicos. Los modelos mencionados son métodos para establecer la rentabilidad esperada del activo de acuerdo a la volatilidad del mercado e intuitivamente establecen el valor de los activos de acuerdo a sus fundamentales económicos.

3.2 MODELOS DE VALORACIÓN DE ACTIVOS

3.2.1 Modelo de Valoración CAPM. El modelo de fijación de precios para activos de capital desarrollado por William Sharpe (1964) y Jack Treynor (1962) sostiene que en un mercado eficiente la rentabilidad esperada de cualquier activo es proporcional a un riesgo sistemático, conocido también como riesgo del mercado.

Cuando mayor es el riesgo sistemático, mayor es la prima de riesgo exigida por los inversionistas, lo cual aumenta la rentabilidad potencial del activo. El grado de influencia del riesgo del mercado sobre el activo está determinado por el coeficiente β_i ; un indicador de sensibilidad del rendimiento del activo al movimiento del mercado. La teoría implica que el riesgo de mercado o riesgo sistemático está determinado por la volatilidad del mercado y que, por tanto, es imposible de reducir por completo.

La ecuación fundamental de la teoría es la siguiente:

$$E(R_i - R_f) = \beta \times E(R_m - R_f) \quad (3)$$

Donde,

R_i Es el rendimiento del activo

R_f Es el rendimiento de un activo libre de riesgo (caso títulos de deuda del gobierno)

R_m Es el rendimiento del mercado

La ecuación (3) nos dice que el valor esperado de un activo con un rendimiento mayor al rendimiento libre de riesgo es proporcional al riesgo sistemático, definido como la esperanza estadística del diferencial entre el riesgo del mercado y el activo libre de riesgo.

Transformando (3), tenemos:

$$E(R_i) = R_f + \beta \times E(R_m - R_f) \quad (4)$$

La ecuación (4) nos dice que la rentabilidad esperada de un activo es aproximadamente la rentabilidad libre de riesgo mas una prima de riesgo inherente al mercado.

El modelo CAPM no intenta establecer variables específicas que determinan la volatilidad del mercado y, por tanto, no explica los determinantes específicos de la rentabilidad de un activo cualquiera. La utilidad de este modelo radica en que constituye una herramienta conceptual que transmite lo siguiente: El aumento del riesgo de un activo es, desde otra faceta, una posibilidad de un aumento de la rentabilidad del mismo.

Los inversionistas tienden a considerar un trade – off entre rentabilidad y el riesgo en el momento de elegir sus títulos y formar sus carteras. En esta teoría, activos que posean una sensibilidad mayor al riesgo sistemático – un β_i mayor - tienen la posibilidad de tener una mayor rentabilidad. De la misma forma, activos con poca sensibilidad a los movimientos sistemáticos del mercado tienen una probabilidad más pequeña de realizar una rentabilidad. Los inversionistas tienden a evaluar el riesgo y la rentabilidad de los activos de la economía con el fin de formar los mejores portafolios posibles.

En el caso de un activo con un $\beta_i = 0$, la sensibilidad al riesgo generado por el movimiento del mercado es nula, por lo que no respondería a sus movimientos y su rendimiento sería fijo en todo momento. El ejemplo más representativo de estos activos son los títulos de deuda del gobierno cuya promesa de pago o rentabilidad es considerada de muy bajo riesgo.

Al estimar una rentabilidad esperada R_i por medio del método CAPM, es posible utilizar el método de descontar los flujos futuros del activo y así hallar un valor presente del título que corresponda a la situación del mercado en general.

3.2.2 Modelo APT (Arbitrage Price Theory). Este método fue desarrollado por Stephen Ross (1976). La rentabilidad de una acción depende de distintos factores macroeconómicos (nivel de inflación, tasa de interés, crecimiento del PIB, entre otros), cada uno de los cuales afecta positiva o negativamente a los retornos de los activos. La sensibilidad a cada uno de los factores está determinada por el coeficiente b_i que acompaña a cada variable. La ecuación fundamental es la siguiente:

$$R_i = a + \sum_{i=1}^n b_i R(f_i) + e_i \quad (5)$$

La rentabilidad del activo i está determinada por la sumatoria de los productos de la rentabilidad aportada por cada factor considerado y el coeficiente b_i de sensibilidad de la rentabilidad total al factor en consideración.

El procedimiento para obtener la rentabilidad de una acción por este método es en primer lugar determinar los factores macroeconómicos que afectan a la acción de estudio. En segundo lugar se calcula la prima al riesgo de cada uno de los factores y la sensibilidad del activo a cada uno de estos (los b_i) y, por último, se obtiene la esperanza de los rendimientos del activo.

Según la teoría, el precio de la acción derivado de la utilización de la rentabilidad hallada por este método corresponde con el valor de equilibrio del activo, al valor fundamental en el periodo de análisis. Si en un momento el valor de la acción diverge del que se obtiene por el método APT, los arbitrajistas - agentes que aprovechan los desequilibrios de los activos del mercado para generar ganancia – se encargan de devolver el valor del activo a su fundamental por medio de constantes transacciones.

Una ventaja importante de este modelo con respecto al CAPM es la inclusión de factores específicos que puedan explicar el rendimiento de una determinada acción. Las variables explicativas pueden ser determinadas a priori por la teoría económica. Es decir, cada acción responde a ciertos factores que pueden ser establecidos por las condiciones de mercado en las que se desenvuelvan.

3.2.3 Modelos Multifactoriales (Multifactorial Models). En los modelos multifactoriales la rentabilidad de la acción es explicada por variables específicas ya sea del mercado en general o de la empresa o institución. “En general, cualquier variable que intuimos puede tener influencia en la rentabilidad de la acción” Martínez Abascal (2005).

El modelo multifactorial es un esquema sencillo de estimación de la rentabilidad de un activo pero advierte que puede llevar a estimaciones erróneas del rendimiento de este si se escogen las variables inadecuadas para la estimación. Los problemas econométricos para analizar la rentabilidad esperada por este método están relacionados a la mala especificación del modelo a utilizar, donde los estimadores (β_i) no serán eficientes y harán una sobre estimación o subestimación del rendimiento del título.

La rentabilidad del activo i está definida como:

$$R_i = \alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + e_i \quad (6)$$

La ecuación (6) es estimada mediante una regresión lineal. Este método está basado en el grado de asociación histórica entre el rendimiento del activo y cada variable regresora escogida. Se aconseja utilizar con datos históricos de los últimos cinco años para obtener un resultado confiable de mediano plazo.

Como cualquier regresión lineal el R^2 nos muestra cual es la bondad del modelo estimado y en este caso nos dice qué porcentaje de la rentabilidad de la acción es explicada por las variables del modelo. Abascal (2005) menciona que este método debe estar acompañado de otros como el CAPM para lograr un rango de consenso en la rentabilidad esperada del activo; también recomienda el uso de intervalos de confianza para los parámetros β .

En general el uso de este método muestra requiere conocer los fundamentos económicos externos o internos que afectan al activo. Entre los factores internos tenemos el comportamiento de la empresa a nivel contable, nivel de posicionamiento y proyección son las principales variables; entre los factores externos las variables macroeconómicas y la volatilidad de la bolsa en general.

3.3 MEDICIÓN Y PREDICCIÓN DE LA VOLATILIDAD DE LOS ACTIVOS

La inversión en un activo financiero posee cierto riesgo inherente a él, es decir, al invertir en un título existe la probabilidad de que la tenencia del activo genere pérdidas al poseedor.

El riesgo de los activos está asociado a la incertidumbre que posee el mercado financiero sobre el estado de la economía en el futuro. Un activo será más riesgoso al poseer una distribución con mayor grado de dispersión en sus valores. El grado de incertidumbre sobre el rango de valores que toma un activo puede asociarse con la alta variabilidad de éste. Por ello, una alta variabilidad del activo le hace riesgoso en términos de la posible rentabilidad esperada. En la mayoría de los estudios de los activos la varianza o dispersión cumple un papel fundamental pues le muestra al inversionista el rango de valores que ha de tomar el título.

La variabilidad que puede tomar el activo se manifiesta como una dualidad entre el riesgo y la rentabilidad del activo. Los inversionistas amantes al riesgo saben que un

gran porcentaje de los activos que poseen un alto riesgo son los que generan a su vez grandes rentabilidades mientras que los títulos que poseen poco riesgo tienden a generar rendimientos limitados. La disyuntiva entre la elección de dichos activos – de bajo y alto riesgo- ha hecho que los estudios de elección de cartera hayan alcanzado gran popularidad los últimos años.

Abascal (1999) menciona que la elección de los activos de un portafolio requiere conocer su variabilidad representada comúnmente por la varianza (σ^2) con el fin de estimar la rentabilidad esperada. El desarrollo de los estudios econométricos ha llevado a establecer métodos para modelar la variabilidad de activos financieros cuya particularidad consiste en que la varianza no es constante, aumentando en ciertos periodos y disminuyendo en otros. Los modelos econométricos para analizar dichos tipos de datos son la familia de modelos de Heterocedasticidad Autorregresiva Condicional (ARCH) y son expuestos a continuación.

3.3.1 Modelos de Heterocedasticidad Autorregresiva Condicional generalizada (GARCH). El origen de los modelos GARCH se encuentra Engle (1982), quien trata de estimar la varianza de una serie de tiempo que presenta problemas de heterocedasticidad. Las razones principales de su uso son las aglomeraciones de volatilidad que se manifiestan regularmente en las series temporales financieras, indicando acumulación de volatilidad en ciertos periodos. En general, el comportamiento de las series financieras presenta una alta variabilidad de los datos en ciertos periodos de tiempo consecutivos y poca variabilidad en otros.

El modelo lleva el nombre de heterocedasticidad autoregresiva condicional - denominado ARCH -. La volatilidad de varios periodos pueden estar correlacionados, por ello, este esquema plantea una varianza que es explicada principalmente por el comportamiento de los residuales.

La fórmula que caracteriza este tipo de modelos es:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \epsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_{t-q}^2 \quad (7)$$

Como se aprecia en (7), la varianza del periodo actual sigue un esquema autorregresivo y es explicada por las dispersiones experimentadas en los periodos pasados - recogidas por los errores del modelo a través de una combinación lineal -. El número de periodos q determina la cantidad de periodos que explican la volatilidad actual. Por tanto, el modelo muestra que tan duradero – en términos de periodos - es un shock de volatilidad y como afecta a los periodos futuros. A mayor q, más duradero serán los impactos de volatilidad.

Una generalización del modelo presentado por Engle es el modelo propuesto por Bollerslev en 1986 el cual presenta la volatilidad de una serie de tiempo financiera en términos de los errores y las volatilidades en los periodos anteriores. Dicho esquema se considera una mejora al modelo original pues muchas series econométricas poseen largos periodos de volatilidad correlacionada – un orden q bastante elevado – lo que genera problemas en la estimación y análisis de muchos parámetros.

Un proceso de estimación GARCH para una serie está definido como sigue:

$$\sigma_t^2 = \sum_{i=1}^q \alpha_i \epsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2 + e_t \quad (8)$$

La ecuación (8) está definida como modelo GARCH (p, q), un proceso de estimación autorregresivo de orden q y p periodos en los cuales se introduce las varianzas pasadas. El término de error e_t posee propiedades a priori ideales para la modelación, propiedades definidas de la siguiente manera:

$$e_t|y_{t-1} \sim N(0, \sigma^2) \quad (9)$$

A nivel estadístico se espera que el término de error derivado del modelo cumpla con las condiciones “ruido blanco” con lo cual posean un valor medio de cero y una varianza constante. El carácter condicional de la familia de modelos ARCH está en el hecho de que los errores con los cuales se construye el modelo autoregresivo están condicionados a la información pasada, lo cual genera estimaciones con alto poder predictivo.

– Modelos TARCH y EGARCH

Los mercados bursátiles tienden a mostrar asimetrías en los que los movimientos a la baja son - por lo general - más volátiles que los movimientos al alza. Los datos negativos en las series temporales parecen ser predictores de la volatilidad más importantes que los positivos. Por esto, los investigadores introducen con mucho éxito la asimetría en los modelos GARCH, precisamente para recoger este tipo de comportamientos. Los modelos más importantes son el TARCH y el EGARCH.

El Threshold GARCH (TGARCH), creado por Glosten, Jagannathan y Runkle (1993) y por Zakoian (1994). Este modelo se usa con frecuencia para estimar efectos de asimetría o apalancamiento (leverage).

La estructura del modelo es la siguiente:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \epsilon_{t-i}^2 + \sum_{n=1}^r \gamma_n \epsilon_{t-n}^2 k_{t-n} + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_j^2 + e_t \quad (10)$$

Donde los parámetros alpha y beta deben ser positivos, siguiendo condiciones similares a las de los modelos GARCH. En la estimación del modelo TGARCH, es

necesario que el parámetro asimétrico sea positivo ($\gamma_n > 0$) y significativo, ya que este parámetro es el que permite que exista un efecto de apalancamiento o efecto leverage.

El modelo exponencial EGARCH, creado por Nelson (1991) puede escribirse como:

$$\ln(\sigma_t^2) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \frac{|\epsilon_{t-i}| + \gamma_i \epsilon_{t-i}}{\sigma_{t-i}^2} + \sum_{j=1}^p \beta_j \ln(\sigma_{t-j}^2) + e_t \quad (11)$$

Este modelo obtiene una estimación más precisa de la volatilidad de las series que presentan efectos asimétricos al transformar el patrón de la volatilidad por medio de logaritmos. Este modelo se diferencia de los demás en que los errores están ponderados por la misma varianza, lo cual asigna un peso mayor a aquellos que sean mayores y resta significancia a los errores menores- por tanto refleja de mejor forma las desviaciones relevantes estadísticamente. Los efectos de apalancamiento pueden ser estimados mediante la hipótesis de que $\gamma_i < 0$. La razón principal es que de ser negativo, indicaría que los retornos de la serie financiera analizada se inclinan más hacia valores negativos significativos que hacia los valores positivos.

3.3.2 GARCH Multivariado (MV-GARCH). La familia de modelos GARCH puede incluir modelos multivariantes. La utilización de los modelos GARCH multivariantes ha tenido una gran aceptación en el mundo académico y financiero ya que permite modelar las covarianzas entre las variables escogidas para el análisis, la cuales arrojan información sobre el grado de asociación de las mismas.

La aplicación de este tipo de modelos no difiere conceptualmente de la versión univariada. La única diferencia radica en que la estimación se realiza de forma simultánea por medio del uso de una matriz de varianzas – covarianzas, denominada comúnmente como H_t .

El modelo general es el siguiente:

$$H_t = \gamma_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \epsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^n \beta_j H_{t-j} \quad (12)$$

Donde,

H_t es la matriz de varianzas – covarianzas

ϵ_{t-i}^2 son los errores del modelo

$$\alpha_i \text{ y } \beta_j > 0, \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i + \sum_{j=1}^n \beta_j < 1, \quad \gamma_0 > 0$$

Una de las ventajas más importantes de este tipo de esquemas es el cálculo de la función de covarianza entre las series temporales de estudio para todos t.

La bibliografía especializada en este tipo de modelos se refieren a distintos métodos de cálculo, entre ellos están el modelo VECM y el modelo BEKK como los más representativos.

– Modelo VECM

Este modelo es una variante del modelo original en el que sólo se estima una parte de la matriz de varianzas – covarianzas. Este modelo posee la ventaja de que la estimación de los parámetros necesarios se reduce y la interpretación de los coeficientes es más sencilla que las que corresponden al modelo original.

La ecuación fundamental es:

$$\text{vec}^h(H_t) = \text{vec}^h(C) + \sum_{i=1}^q A_i \text{vec}^h(e_{t-i} e_{t-i}^T) + \sum_{j=1}^p B_j \text{vec}^h(H_{t-j}) \quad (13)$$

Donde,

$vec^h(H_t)$ Vectorización de la matriz triangular inferior Var-Cov

$vech^h(C)$ es el vector de las constantes o interceptos del modelo

$vech^h(e_{t-i}e_{t-i}')$ es el vector de los residuales al cuadrado para cada una de las variables (nótese que es el producto entre la matriz de los errores y su transpuesta)

$vech^h(H_{t-i})$ es el vector de la matriz de varianzas – covarianzas de los periodos pasados

Como se puede ver esta variante del modelo original aplica un operador matemático para extraer de la matriz las variables y datos relevantes. Dicho modelo tiene en cuenta que la matriz de varianzas – covarianzas es simétrica y por ello aplica el operador al modelo, reduciendo así los parámetros a estimar.

– Modelo BEKK

Este planteamiento formulado por Baba, Engle, Kraft, Kroner en el año 1995 fue realizado con el fin de evitar que los parámetros del modelo $\alpha, \square$ fuesen negativos violando uno de los supuestos del modelo general. La estimación de este modelo crea el producto de cada matriz por su transpuesta creando una forma cuadrática para las ecuaciones y asegurando valores positivos en los parámetros. La formulación general es la siguiente:

$$H_t = CC' + \sum_{i=1}^q A_i' e_{t-i} e_{t-i}' A_i + \sum_{j=1}^p B_j' H_{t-j} B_j \quad (14)$$

Un inconveniente de la formulación BEKK es que los elementos ya no proporcionan una interpretación directa del impacto de una particular varianza rezagada.

Una vez estimado el modelo GARCH multivariado es posible analizar el comportamiento de la varianza de las series de tiempo escogidas. Dicho análisis permite saber cual es el nivel de variabilidad del activo en el periodo escogido para el estudio y muestra cuales fueron los periodos de alta y baja volatilidad. La estimación de este modelo autoregresivo en varias variables permite obtener las covarianzas entre las series utilizadas por lo que es posible estudiar el grado de asociación entre la volatilidad de las series para un periodo determinado.

En este estudio, el modelo GARCH multivariado da una idea de la variabilidad en el precio del petróleo, el precio de la acción de ECOPETROL y del índice general de la bolsa de Colombia con lo cual se establecen las pautas necesarias para el análisis del impacto de la volatilidad del crudo sobre la volatilidad de la acción de ECOPETROL. y, a su vez, el impacto de la acción petrolera sobre el índice bursátil colombiano.

4. CASO DE ESTUDIO: ACCIÓN ECOPETROL EN EL PERIODO NOVIEMBRE 2007—ABRIL 2009

La participación de ECOPETROL en la bolsa de valores colombiana comienza a partir de noviembre del 2007 con la emisión de acciones. Estas acciones se colocaron en el mercado creando un espacio para la empresa petrolera en el ámbito bursátil del país.

La acción está influenciada por el precio del petróleo ya que la gestión principal de la empresa es la venta del petróleo extraído y refinado en los mercados internacionales. Por tanto, las fluctuaciones del precio del petróleo en el mercado afectan las expectativas de los inversionistas y por consiguiente la valoración de la empresa a través de las acciones. A priori se esperaría que la volatilidad de la acción de ECOPETROL tuviese una relación fuerte con la volatilidad del precio del barril en los

mercados internacionales – este es el aspecto económico fundamental más importante al estudiar la acción de ECOPETROL- .

Los dividendos que la empresa petrolera reparten entre los socios o accionistas dependen de la gestión que haya realizado en un periodo de 3 meses – dividendos trimestrales-, al cabo de los cuales la junta directiva de la firma realiza una reunión entre los miembros con el fin de fijar el monto de los dividendos que se han de repartir. Como todos los títulos, un aumento de la rentabilidad esperada en el corto y largo plazo – medida por los dividendos - tiende a elevar el valor fundamental de la acción y su precio en el mercado.

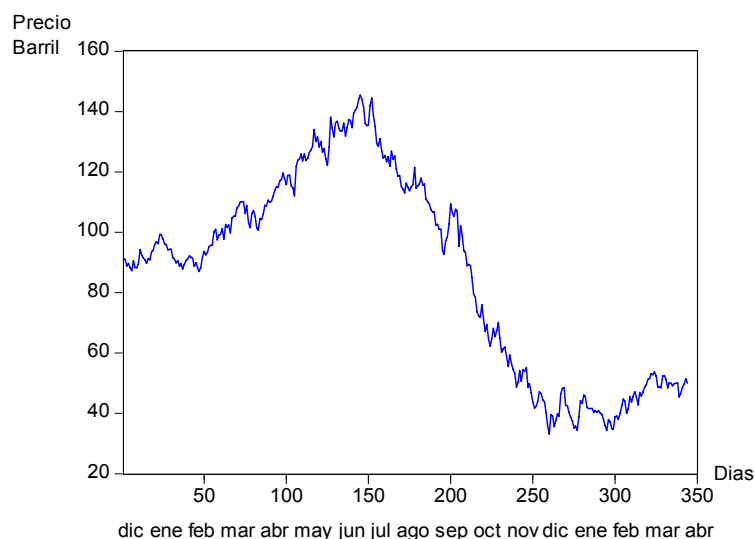
Los inversionistas que ponen su capital en la empresa petrolera colombiana tienden a observar el comportamiento del crudo ya que este es un posible indicador de lo que va a suceder con el valor de la acción de ECOPETROL en el mercado. La variabilidad del precio del petróleo – la referencia WTI manejada en Norteamérica – explica en mucha medida lo que sucede con la acción colombiana.

El periodo de análisis del estudio presentado a continuación está comprendido entre diciembre del año 2007 y abril del año 2009 en el cual cada dato representa la cotización diaria de la acción de ECOPETROL al cierre para un total de 346 observaciones. Para cumplir el objetivo del trabajo se observan también los cierres diarios del barril de petróleo y los cierres de la bolsa de valores colombiana durante el mismo periodo.

4.1 COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DEL PETROLEO EN EL 2008

El comportamiento del crudo en el año 2008 se puede dividir en 2 fases: la fase alcista que corresponde al primer semestre del año (fase comprendida entre el 2 de enero y el 13 de julio del 2008) y la fase bajista comprendida entre el 14 de julio y el 31 de

diciembre. El siguiente gráfico muestra el comportamiento del activo en el periodo de análisis:



Fuente: Bloomberg Crude stocks

Gráfico 6: Comportamiento diario del precio del barril de crudo WTI (Diciembre 2007 – Abril 2009)

La referencia de petróleo WTI operó en los mercados internacionales alcanzando nuevos niveles históricos. El primer semestre estuvo caracterizado por una fuerte tendencia alcista que llevó al barril de crudo al precio de 147 dólares el 11 de julio. Las razones por las cuales se le atribuye esta subida es el hecho de que este activo se ha convertido en refugio para muchos inversionistas, dado su valor intrínseco, creando una ola compradora excesiva que llevó el precio hacia nuevos niveles nunca antes vistos.

El segundo semestre estuvo caracterizado por una tendencia bajista clara – a partir del día 15 de julio el año 2008, generada por la ruptura de la burbuja especulativa que se había iniciado meses atrás. El comportamiento del precio alcanzó así un rango estable: entre 40 y 60 dólares. Luyo (2008) afirma que la debilidad de la economía mundial y las

expectativas de una caída en la demanda de petróleo generaron la caída del precio del crudo hasta un nivel de 33 dólares en el mes de diciembre.

El comportamiento del petróleo en este año es considerado como extraordinario pues el precio del barril de crudo nunca había rebasado el nivel de 100 dólares. Dadas las condiciones económicas del mundo, la conducta del crudo muestra fuertes patrones de especulación en el primer semestre del año ya que la fase alcista que experimentó no correspondía a aumentos de la demanda por consumo del activo; es decir, el aumento de precio no estuvo relacionado con un aumento de la demanda por consumo (Vernon, 2008)

Otro aspecto importante que desencadenó el incremento del precio del barril tuvo que ver con el manejo de los futuros financieros que se transan en las bolsas internacionales y que le permiten a cualquier inversionista comprar o vender todo tipo de activos o títulos en un futuro establecido (un mes, dos meses..., etc.) obteniendo el bien al vencimiento de dicho plazo. En el caso del barril de crudo en el primer semestre del 2008, los futuros financieros de mediano y largo plazo se transaban por un precio superior a los futuros de corto plazo. De esta forma, cada vez que se vencía un futuro se transaba el siguiente al precio que este tenía y, como su precio era superior, elevaban el monto al cual se cotizaba el activo.

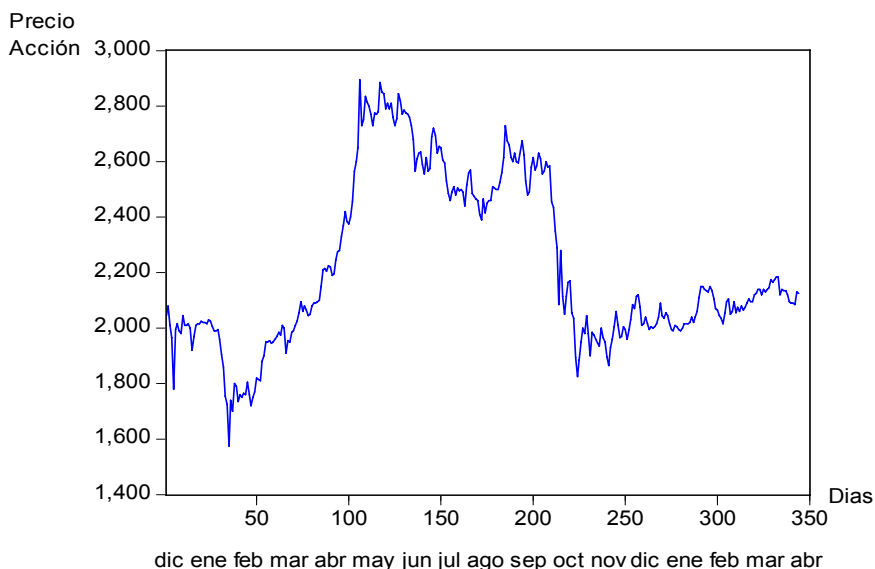
El manejo de los futuros financieros también explica el descenso de la cotización del barril en el segundo semestre del año de estudio. Una vez el movimiento bajista empezó en el mes de julio, los inversionistas comenzaron a transar los futuros de agosto, septiembre y octubre a unos precios inferiores lo cual llevó a que el precio del crudo descendiera por debajo de los 40 dólares, llegando a la cotización de 33 dólares.

Dado que este precio del Barril WTI es un referente a nivel mundial de la cotización del petróleo, las fluctuaciones de este llevaron a que el resto del mundo tomara las mismas

posiciones con respecto al crudo. Otras referencias del crudo como el Brent Crude o el Dubai Crude siguieron el mismo patrón del WTI logrando comportamientos parecidos.

4.2 COMPORTAMIENTO DEL PRECIO DE LA ACCIÓN DE ECOPETROL Y DEL IGBC EN EL 2008

El mercado bursátil colombiano estuvo caracterizado por fuertes movimientos durante el año 2008 entre los cuales se destaca el movimiento de la acción de ECOPETROL, cuya conducta afectó al comportamiento del Índice General de la Bolsa de Colombia. A continuación se presenta el movimiento de ambas variables:



Fuente: Bolsa de Valores de Colombia

Gráfico 7: Comportamiento diario del precio de la acción de ECOPETROL (Noviembre 2007 – Abril 2009)

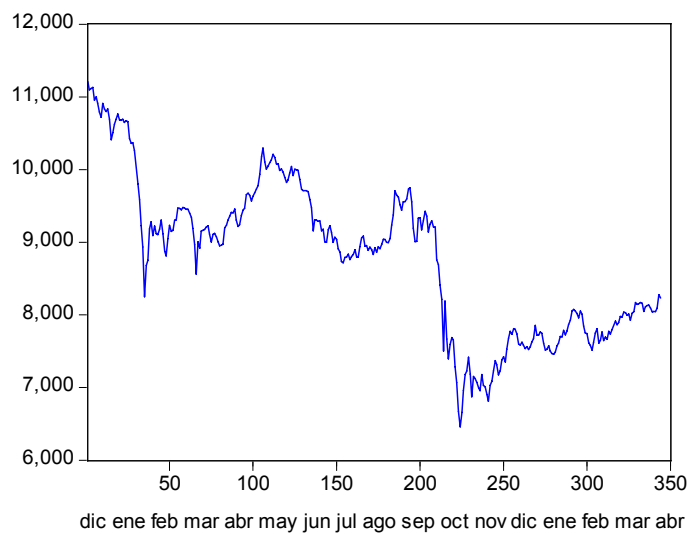
En el mes de noviembre del año 2007, el precio al cual se cotizó la acción de ECOPETROL (llamado comúnmente precio de emisión) fue 1.700 pesos. En el

movimiento alcista del precio del barril de petróleo, la acción comenzó a responder a su variable explicativa fundamental teniendo un comportamiento alcista cuyo máximo fue 2.845 pesos por acción, representando un alza del 50 % aproximadamente y un nuevo precio histórico del activo. Después del movimiento alcista, la acción de ECOPETROL desciende hasta 2.400 pesos, aumenta de precio ligeramente y por último cae a un valor de 1.800, con la caída de los precios del petróleo en el segundo semestre del año 2008.

Gráficamente puede verse que la acción de ECOPETROL en el periodo analizado tiende a responder fuertemente a los movimientos del petróleo – gráfico 6 -, anticipando en algunos casos el movimiento del precio del barril. La comparación entre los gráficos muestra rasgos de especulación en el valor de la acción de la empresa petrolera alrededor del mes de enero (día 100 en el análisis) y alrededor del mes de julio (día 200 en el análisis) ya que existen diferencias en el comportamiento de ambas series. El análisis econométrico revelará el grado de asociación entre la acción de ECOPETROL y el precio del crudo y además mostrará el comportamiento de la volatilidad de cada una de ellas.

Por último, el comportamiento general del IGBC – representado en el gráfico 8 - muestra una tendencia bajista durante el periodo analizado, la cual comienza el año alrededor de los 11000 puntos, continuando con un descenso escalonado que le lleva a un nivel de 6500 aproximadamente. Esto representó para el ámbito bursátil una caída del 40% hacia el mes de octubre del 2008. Luego comienza una lenta recuperación hasta el fin del año 2008.

En general, los factores que determinaron la tendencia bajista tuvieron que ver con la coyuntura económica que se presentó en el año de estudio, la cual llevó a la mayoría de las economías del mundo a un proceso de caída en sus índices de bolsa. Aspectos como la recesión económica iniciada en los Estados Unidos en este año fue uno de los aspectos definitivos en el comportamiento de las bolsas del mundo.



Fuente: Bolsa de Valores de Colombia

Gráfico 8: Comportamiento diario del Índice General de la Bolsa de Colombia (Noviembre 2007 – Abril 2009)

4.3 VOLATILIDAD DEL PETRÓLEO Y DE LA ACCIÓN DE ECOPETROL EN EL 2008

Los datos analizados presentan distintos problemas entre los que se encuentran la heterocedasticidad. El conjunto de datos no presentan una variabilidad constante pues poseen periodos de alta volatilidad así como periodos de poca volatilidad. Tanto la serie de tiempo del precio del petróleo en ese año, la serie temporal de la acción de ECOPETROL y la serie del comportamiento diario IGBC presentan esta característica.

El estudio de la volatilidad de las series requiere trabajar con los retornos logarítmicos de cada una de las variables. Dicho procedimiento elimina las tendencias que posean las series y les brinda un punto fijo medio cero, siendo comprobado por medio de las pruebas de raíces unitarias. La transformación a la cual se somete cada serie es descrita por la siguiente ecuación:

$$r_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) \quad (15)$$

Donde,

r_t es el rendimiento en el periodo t.

P_t es el precio o cotización del activo en el periodo t.

Las variables con las cuales se ha de trabajar en el estudio de la volatilidad son las siguientes:

- Rencrudo: retornos de la cotización del petróleo calculados para el periodo diciembre 2007 – abril 2009.
- Renecop: retornos de la acción de ECOPETROL en el periodo diciembre 2007 – abril 2009.
- Renigbc: retornos del Índice General de la Bolsa de Colombia en el periodo diciembre 2007 – abril 2009

En el análisis presentado a continuación también se encuentran las covarianzas cuyo estudio es fundamental en el estudio de la variabilidad de las series temporales aquí tratadas. Los gráficos de las covarianzas medirán el nivel de asociación entre la variabilidad de una serie y la variabilidad de otra.

Para efectos prácticos se estudiarán los resultados mediante los gráficos generados por el software Eviews de la estimación del modelo GARCH sobre las varianzas y las covarianzas.

El gráfico de cada una de las series en retornos logarítmicos se presenta a continuación:

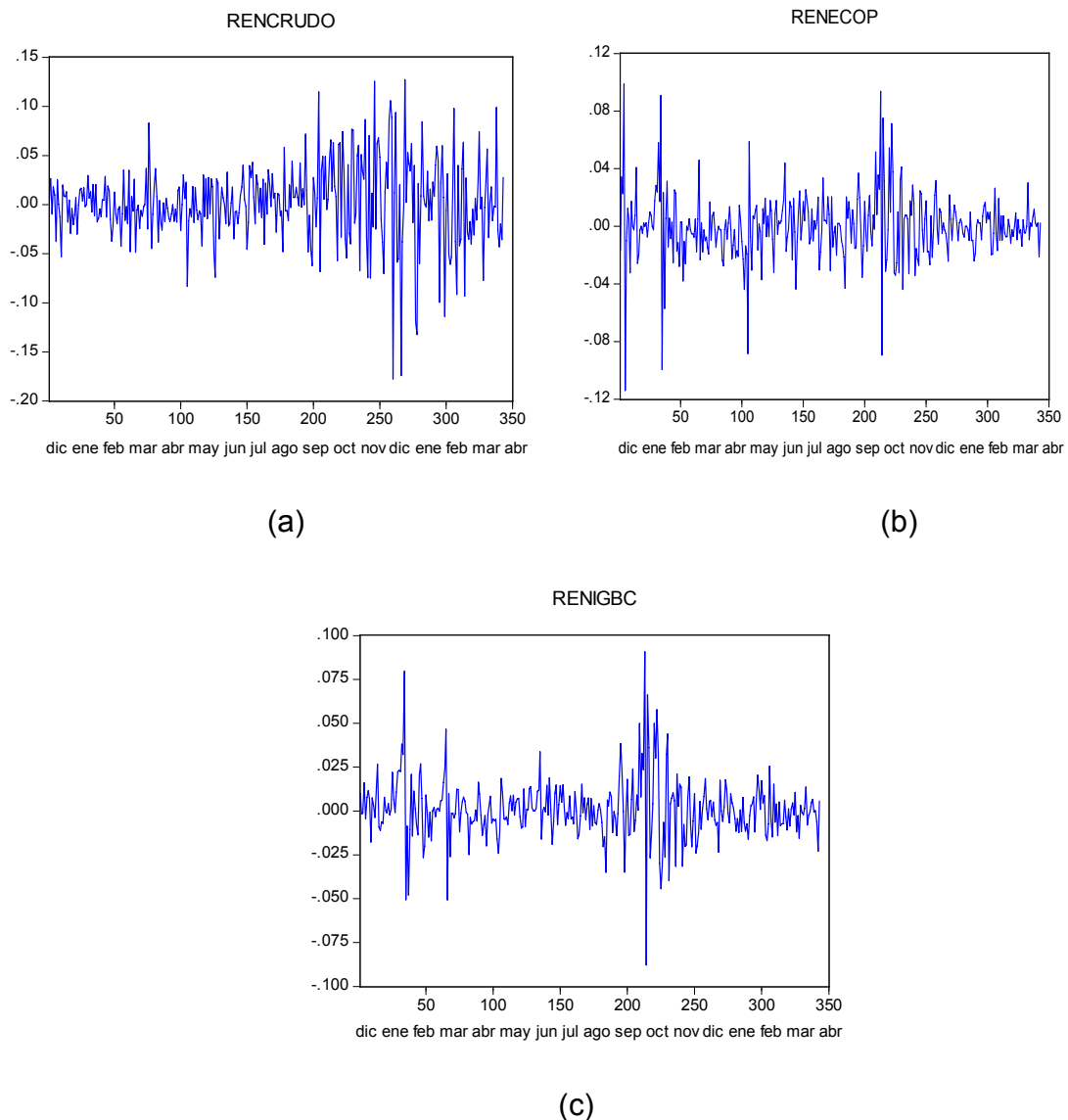


Gráfico 9: retornos del precio del petróleo, la acción de ECOPETROL y el IGBC

Uno de los aspectos a mencionar es la similitud entre el retorno del Índice General de la Bolsa de Colombia - (c) - y el retorno de la acción de ECOPETROL - (b) - los cuales tienden a poseer fuertes choques de volatilidad alrededor del mes de septiembre, evidenciando la dependencia que posee el IGBC del comportamiento de la acción de la empresa petrolera o su asociación con una tercera variable latente.

Al trabajar con los retornos de las variables, y no con sus contrapartes en niveles, se logra que la autocorrelación que posee cada una de ellas disminuya. En los anexos se encuentran los correlogramas de cada una de las series después de la transformación, reduciendo con esto los problemas de auto correlación entre los datos.

El correlograma de los rendimientos de ECOPETROL muestra que no existen rezagos significativos a un nivel del 5% por lo que es posible afirmar que la transformación hecha a la variable funcionó para disminuir la autocorrelación. El correlograma para los retornos de los precios del crudo no posee rezagos significativos al 5%, lo que indica que la transformación de la variable logra eliminar la autocorrelación entre los datos. (Ver correlogramas en las tablas anexas).

Individualmente se analizaron el comportamiento de los histogramas de cada una de las tres series y ninguna tuvo los indicadores ideales de una distribución normal. Los niveles de kurtosis de las series temporales distan de la kurtosis de una distribución normal ($K = 3$); dichos resultados son confirmados por la prueba del Jarque Bera en la cual se rechaza individualmente la hipótesis de normalidad al 5%. La sugerencia más adecuada para tratar estas series es utilizar una distribución de colas pesadas como la GED (generalized distribution). A continuación se presentan los resultados:

Tabla No 2: Indicadores de la distribución de las series temporales

	KURTOSIS	SKNEWNESS	JARQUE BERA	P value
Retornos del precio del petróleo	5,4282853	-0,370019	92,1194	0,0000
Retornos del precio de la acción de ECOPETROL	8,379719	-0,043068	413,7266	0,0000
Retornos del IGBC	8,564158	0,473814	455,3018	0,0000

Fuente: Elaboración propia

El aspecto definitivo para la utilización del modelo GARCH fue la confirmación de la existencia del efecto ARCH en las series temporales (regresadas mediante un esquema autorregresivo de primer orden). Individualmente se probó la presencia de dicho efecto mediante el test ARCH o test de multiplicadores de Lagrange (dicha prueba se encuentra en el anexo 5). La prueba individual arrojó un estadístico F significativo al 5% con lo cual se aceptó la hipótesis nula de heterocedasticidad.

Tabla 3: Prueba del efecto ARCH en las series temporales analizadas

Serie Analizada	Modelo estimado	F stadistic	P value.
Retornos del precio del Petróleo	Autorregresivo de primer orden	79,758421	0,0000
Retornos del precio de la acción de ECOPETROL	Autorregresivo de primer orden	80,729640	0,0000
Retornos del IGBC	Autorregresivo de primer orden	68,45485	0,0000

Fuente: Elaboración propia

Una vez definidas las variables a trabajar se estimó un modelo GARCH Multivariado con el cual se obtendrán las volatilidades condicionadas de todas las variables siguiendo el proceso autorregresivo descrito en la sección 3.2. La estimación del modelo Garch multivariado tipo VECM obtuvo los valores de Akaike y Schwarz más bajos por lo cual se escogió como el mejor modelo. Los parámetros estimados son los siguientes:

Tabla 4: parámetros del modelo GARCH multivariado tipo VECM

Variable dependiente	α	P valor del estadístico de significancia	β	P Valor del estadístico de significancia
Varianza precio petróleo	0.040124598216 6	0.0000	0.959875401783 3	0.0189
Varianza Precio acción ECOPELROL	0.122438600304	0.0236	0.877561399696	0.0000
Varianza IGBC	0.146413614065	0.0224	0.848946877047	0.0000
Covarianza entre el precio del petróleo y la acción de ECOPELROL	0.070091366397	0.0348	0.922446824283	0.0114
Covarianza entre el precio del petróleo y el IGBC	0.076647161968 4	0.0000	0.904931304561	0.0000
Covarianza entre la acción ECOPELROL y el IGBC	0.133890544743	0.0357	0.865378782644	0.0000

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4 muestra los valores estimados para cada una de las ecuaciones - tanto de las varianzas como de las covarianzas – donde los valores alpha son los parámetros asociados a la varianza proveniente de los residuales y los parámetros beta son los asociados a las varianzas anteriores. El modelo estimado arroja las siguientes

ecuaciones para la varianza del precio del petróleo, la varianza del precio de la acción de ECOPETROL y la varianza del IGBC respectivamente:

$$\sigma_t^2 = 6.70e^{-06} + 0.0401245982166 \epsilon_{t-1}^2 + 0.9598754017833 \sigma_{t-1}^2 \quad (16)$$

$$\sigma_t^2 = 6.70e^{-06} + 0.122438600304 \epsilon_{t-1}^2 + 0.877561399696 \sigma_{t-1}^2 \quad (17)$$

$$\sigma_t^2 = 6.70e^{-06} + 0.146413614065 \epsilon_{t-1}^2 + 0.848946877047 \sigma_{t-1}^2 \quad (18)$$

Las ecuaciones resultantes cumplen con las especificaciones de estacionalidad en la cual los parámetros $\alpha + \beta < 1$ para todas las ecuaciones de la varianza.

La modelación arroja el primer resultado importante: el impacto de la varianza del periodo anterior es muy fuerte en las ecuaciones (16), (17) y (18) – las 3 primeras estimaciones de la tabla 4-, cuyo resultado puede observarse en los valores β de los modelos. En la modelación de la varianza del precio del petróleo dicho parámetro toma el valor de 0.9598 aproximadamente lo cual nos dice que la varianza del precio del petróleo posee una fuerte influencia de la volatilidad de los periodos anteriores; de la misma forma los parámetros beta del modelo de volatilidad de la acción de ECOPETROL y del IGBC confirman la existencia de una fuerte influencia de los periodos pasados sobre las series tratadas, los valores de estos parámetros son 0.8821 y 0.8489 respectivamente.

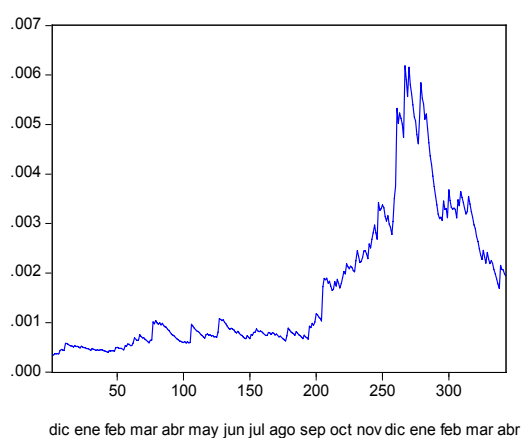
Como era de esperarse, el grado de asociación entre las variables medido por las covarianzas depende en gran medida del comportamiento de las covarianzas de periodos pasados; de manera similar a las ecuaciones de la varianza dichos resultados se confirman con los parámetros beta en el modelo.

Los resultados que arrojan las estimaciones del modelo corroboran la hipótesis sobre el comportamiento de los activos según fundamentales económicos. Entre las covarianzas

analizadas, el precio de la acción de ECOPETROL y el precio del crudo poseen la relación estadística más fuerte sugiriendo que en casi la totalidad de la muestra la acción de la empresa petrolera estuvo influida por la variación de la cotización del petróleo en los mercados mundiales.

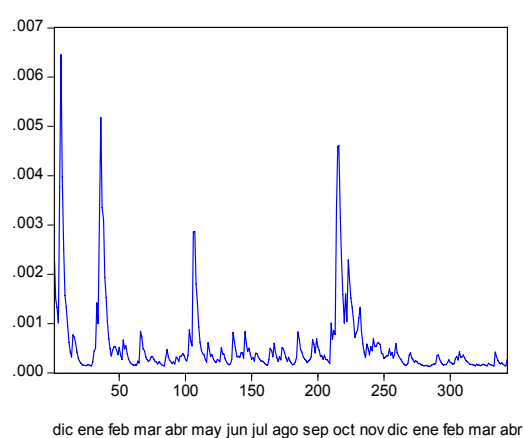
El modelo permite una vista de la volatilidad del precio del petróleo, la volatilidad de la cotización de la acción de ECOPETROL y la volatilidad del IGBC para el periodo comprendido entre diciembre del 2007 y abril del 2009, de acuerdo con el modelo GARCH multivariado. Dichos gráficos enriquecen el análisis econométrico ya realizado al mostrar los periodos de mayor y menor variabilidad, así como los niveles máximos y mínimos de la misma. Estos son los gráficos:

Varianza del petróleo WTI



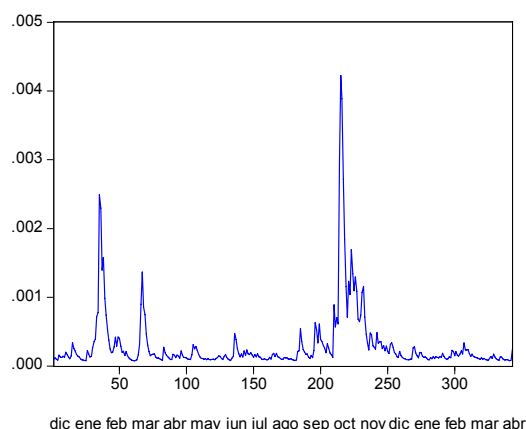
(a)

**Varianza de la acción
ECOPETROL**



(b)

Varianza del IGBC



(c)

Gráfico 10: Varianzas Estimadas del Modelo GARCH Multivariado

En el gráfico (a) se muestra el comportamiento de la varianza del precio del crudo en el periodo analizado. Este esquema sencillo revela un aspecto importante: la volatilidad del petróleo en el primer semestre del año fue baja en comparación al choque de volatilidad se dió en el segundo semestre. El gráfico muestra que la tendencia alcista que sostuvo el crudo durante el primer semestre no estuvo asociada a una fuerte volatilidad por lo que el movimiento de compra de los inversionistas reflejado en los precios de cierre diarios del petróleo fue pausado. El segundo semestre del año estuvo caracterizado por un fuerte movimiento del activo que se manifiesta como una ola de ventas masivas del mismo lo que logró que el barril cayera en su cotización en 3 meses. El gráfico muestra que el segundo semestre presenta la mayor volatilidad.

El Gráfico (b) muestra la volatilidad de la acción de ECOPETROL revelando ciertos picos donde su movimiento fue pronunciado. Dichos momentos concretos son los siguientes: El primer punto fue una fuerte ola bajista alrededor del mes de enero que llevó el precio del acción de 2000 a 1600 pesos cada una. El segundo punto de fuerte movimiento fue entre el mes de abril y mayo el cual valora a la acción de 2400 a 2900

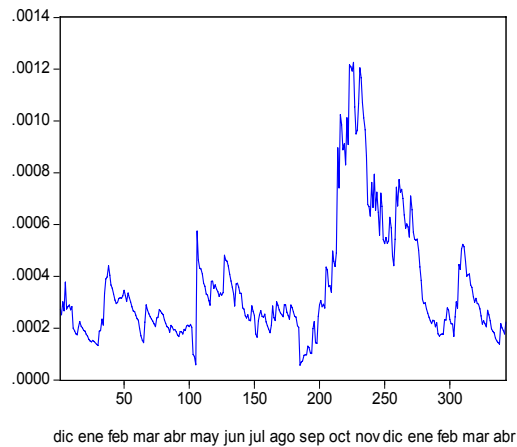
pesos – dicho periodo coincide con el movimiento alcista del precio petróleo-. El tercer punto de alta volatilidad fue registrado en los meses de septiembre, octubre y noviembre y coincidió con la caída de los precios internacionales, teniendo como resultado un desplome del precio de la acción de 2800 a 1600 pesos.

Uno de los aspectos más interesantes del análisis de la volatilidad condicional de la acción de ECOPETROL es el hecho de que su comportamiento difiere en algunos tramos del comportamiento del precio del crudo - gráfico (a) - lo cual da señales importantes acerca de movimientos de compra y de venta de la acción que no estuvieron asociados al movimiento del precio del petróleo. Dichos periodos por meses son: el mes de diciembre (2007), el mes de febrero y el mes de mayo. Entre las razones bajo las cuales este comportamiento es posible es la especulación sobre el título de la empresa petrolera ante futuros movimientos del crudo en los mercados internacionales.

Dado que la volatilidad del precio del petróleo posee un comportamiento diferente a la volatilidad en el precio de la acción de ECOPETROL - en algunos tramos - es posible pensar que el valor de este título no correspondió totalmente a sus fundamentales en toda la muestra y, por tanto, estuvo sujeto a las expectativas de los inversionistas cuyas compras y ventas del título distorsionaron el precio de mercado de su valor fundamental.

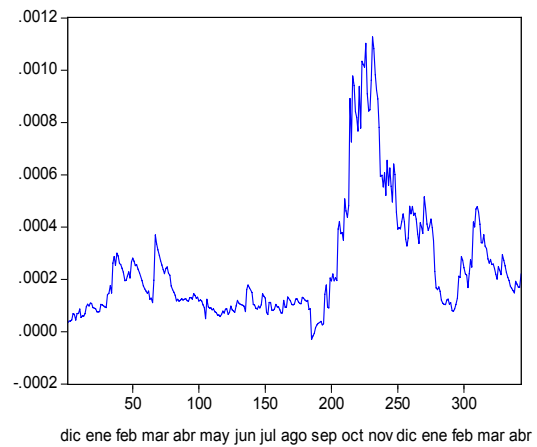
El Gráfico (c) del Índice General de la Bolsa de Colombia muestra un comportamiento similar al de la acción de ECOPETROL en el que el descenso de los precios del petróleo en el segundo semestre del 2008 explica en mayor medida la alta volatilidad del Índice – manifestándose en una caída-. La similitud entre el comportamiento de la volatilidad de la acción de ECOPETROL y la volatilidad del IGBC evidencia la fuerte dependencia que posee el índice colombiano a los cambios del precio del barril. Con el fin de observar el grado de asociación entre la varianzas de las variables estudiadas, se presentan las covarianzas derivadas del modelo GARCH multivariado tipo VECH:

**Covarianza entre el
Precio del Petróleo – Precio acción
ECOPETROL**



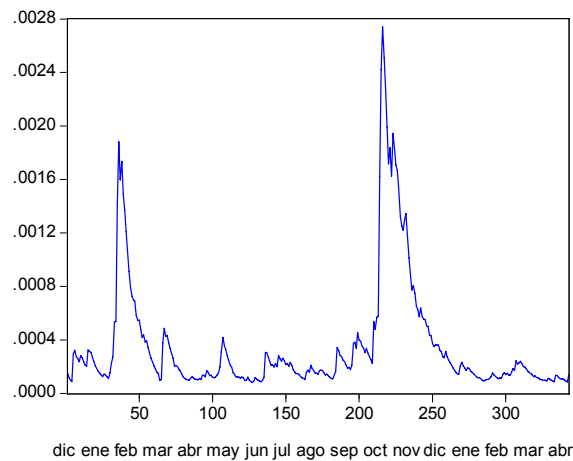
(d)

**Covarianza entre el
Precio del petróleo y el IGBC**



(e)

**Covarianza entre el
Precio de la acción de ECOPETROL y el IGBC**



(f)

**Gráfico 11: Covarianzas Obtenidas de la estimación del modelo GARCH
Multivariado**

En general el modelo utilizado revela que el grado de asociación entre cada par de varianzas analizadas es alto durante el periodo agosto – noviembre del 2008. Los gráficos (d), (e) y (f) muestran que durante la segunda mitad del año 2008 el grado de asociación de la variabilidad entre las variables analizadas fue alto mientras que el primer semestre estuvo caracterizado por un grado de asociación menos pronunciado.

El gráfico (d) revela un comportamiento interesante: el grado de asociación en el primer semestre es sorpresivamente bajo indicando que el movimiento de compra o movimiento alcista del precio de la acción estuvo poco asociado con el movimiento de los precios del barril de petróleo en los mercados internacionales. En otras palabras, los datos revelan que la volatilidad de la acción respondió en menor medida a la volatilidad de los precios del crudo en el periodo alcista, por lo que es posible pensar que la variabilidad en el movimiento de compra del primer semestre del año 2008 sucedió previamente a los movimientos del barril de crudo. Dichos resultados indican la existencia de especulación por parte de los compradores y vendedores de la acción de la empresa petrolera.

El gráfico (e) revela una condición similar al del gráfico (d); el grado de asociación entre la cotización de la acción de ECOPETROL y el IGBC es más fuerte durante el segundo semestre del 2008. Dicho gráfico confirma el impacto que posee el movimiento del barril de crudo sobre el índice bursátil colombiano, el cual se hace evidente durante los meses septiembre, octubre y noviembre que corresponden a la caída de la cotización del petróleo en los mercados internacionales.

Por último, el grado de asociación entre la volatilidad del índice general de la bolsa de valores y la acción de ECOPETROL durante el primer semestre del año 2008 (representado por el gráfico f) tuvo dos momentos fuertes: el primero de ellos tuvo lugar en el mes de febrero que coincidió con el alza del precio de petróleo alcanzando una covarianza alta; el segundo tuvo lugar en el segundo semestre del año cuyo grado de

asociación considerable y corresponde al movimiento bajista del precio del petróleo en el meses de octubre y noviembre.

5. CONCLUSIONES

El comportamiento del petróleo en el año 2008 evidencia el impacto que posee el movimiento del precio del barril de petróleo en el mercado bursátil colombiano. Dada la importancia que posee el petróleo como recurso natural de exportación y como activo de especulación, el estudio realizado a través de la modelación de la varianzas y covarianzas condicionales de cada una de las series evidenció dos aspectos fundamentales en el periodo analizado:

La variación experimentada en la cotización del barril de crudo - durante la muestra escogida – muestra que los retornos del precio del petróleo en el primer semestre del año tuvo un bajo grado de asociación con los retornos del precio de la acción de ECOPETROL y, por lo tanto, un efecto bajo sobre la variabilidad del Índice General de la Bolsa de Colombia. En cambio, el segundo semestre – específicamente los meses septiembre, octubre y noviembre – estuvo caracterizado por un alto grado de asociación entre las volatilidades de las 3 series analizadas, lo que indica que el movimiento bajista que caracterizó al petróleo en el periodo agosto – diciembre impactó fuertemente al mercado bursátil colombiano y al precio de mercado de la acción de la empresa colombiana.

El movimiento del precio de la acción de ECOPETROL da indicios de especulación en algunos de los periodos analizados en los cuales el precio de la acción no corresponde al movimiento del precio de barril de crudo. El precio de la empresa petrolera mostró dos particularidades durante el periodo analizado: la primera es que los movimientos fuertes del precio de la acción fueron previos a los movimientos del precio del petróleo; la segunda es que los movimientos de la acción petrolera contienen cambios fuertes ante pequeñas variaciones del precio del crudo – específicamente en el segundo

semestre del año 2008. Dichos aspectos evidencian la existencia de una especulación considerable en el título, lo cual desvió el precio de mercado de la acción de su valor fundamental, cuyo determinante es la cotización del barril de petróleo.

Los datos escogidos para el análisis se acogieron a la modelación de un GARCH multivariado simple tipo VEC. Sin embargo, es posible que existan efectos asimétricos en la volatilidad del precio de la acción de ECOPETROL frente a la volatilidad de los precios del petróleo los cuales se puedan analizar con una mayor cantidad de datos por medio de un modelo TAR o EGARCH. Por medio de estos modelos es posible comprobar si el título de la empresa petrolera colombiana se comporta de igual manera ante comportamientos alcistas y bajistas de la cotización del petróleo en los mercados mundiales.

6. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, Carlos (2003). "La Situación Internacional y el Petróleo en Colombia". *Coloquio Internacional "Energía, Reformas Institucionales y Desarrollo en América Latina"*. Universidad Autónoma de Occidente.

Arce, Rafael (1998). *Introducción a los Modelos Autorregresivos con Heterocedasticidad Condicional (ARCH)*. I.L Klein.

Baba, Yoshihisa y Engle, Robert (1987). "Multivariate Simultaneous Generalized ARCH". *Discusión Paper*, University of California at San Diego.

Bareño, Jose (2008). "El petróleo como referente económico mundial" *Ensayos de Economía*. Universidad distrital de México, Pág. 33-42.

Bollerslev, Tim (1986). "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity." *Journal of Econometrics*. April, 31:3, pp. 307–27.

Calduch, Rafael. (2004). "Guerra, petróleo y especulación". *Revista Opinión*. Vol. 250. Mes Agosto.

Casas, Martha y Cepeda, Edilberto (2008). "Modelos ARCH, GARCH y EGARCH: Aplicaciones a series financieras". *Cuadernos de Economía*, Vol. XXVII – No 48, Pág. 287 – 319.

De Arce, Rafael (1998). *Introducción a los modelos autorregresivos con heterocedasticidad condicional (ARCH)*. Universidad Autónoma de Madrid, Instituto L. R. Klein, Madrid.

Duque, Laura (2007). "Balance: Capitalización de ECOPETROL". *Documentos de Economía y Análisis Financiero*. EAFIT, Pág. 20- 24.

Engle, Robert. (1982). "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation". *Econometrica*, 50(4), 987-1008.

Engle, Robert (2001). "GARCH 101: The Use of ARCH/GARCH Models in Applied Econometrics". *Journal of Economics Perspectives* – Vol. 15, No 4, Pág. 157-168.

Engle, Robert. (2003). "Riesgo y volatilidad: Modelos econométricos y práctica financiera". *Revista Asturiana de Economía RAE N° 31 (2004)*. pp. 221-252.

Enríquez, Emmanuel (2009). "Informe de Sector: Petróleo en Colombia". *SPAN 306* Rice University.

Fernández, Laurentino (2008). "Sistema Univariante y Multivariante de Predicción de la Volatilidad para los Mercados Financieros". Universidad Pontificia Comillas, ICAI.

Glosten, Lawrence, Jagannathan Ravi y Runkle, David. (1993). "On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks". *Federal Reserve Bank of Minneapolis*. Research Department Staff Report 157.

Jiménez, Pablo (2002). "Energía y Desarrollo Económico de los Países Industrialización". *Revista sociedad moderna*, ITRP, artículo 3.

Ludow, Jorge/ Mota Beatriz (2006). "Volatilidad del IPC, Nasdaq y S&P 500: Un Modelo Multivariado" *Análisis Económico*, tercer cuatrimestre, año/Vol. XXI, número 408. Pág. 215-227

Luyo, Jaime (2008). "El shock del precio del petróleo en el 2008" *Instituto para la competitividad y el Desarrollo Sostenible (CSDI)*.

Madroñal, Eduardo (2007). "Tres determinantes sobre el precio del petróleo". *Revista de UPyD en Asturias*. Vol. 30.

Martínez Abascal, Eduardo (1999). *Invertir en Bolsa.*, Mc Graw-Hill, Barcelona Pág. 170.

Nelson, Daniel (1991). "Conditional heteroskedasticity in asset returns: A new approach". *Econometrica* 59: 347-370.

Ospina, Federico y Giraldo, David (2009). "Aplicación de los modelos GARCH a Acciones Colombianas" *Revista Soluciones de Postgrado EIA*, Número 3. Pág, 11-24 Medellín, Enero.

Pulido, Antonio y Pérez, Julián (2001). *Modelos Econométricos*. Ediciones Pirámide, Madrid.

Ramírez, Leonardo (2008). "Acción de ECOPETROL, en primer lugar de canasta del Índice General de Bolsa de Colombia (Igbc)". *Composición del IGBC*. Corredores asociados S.A.

Ross, Stephen (1976). "The Determination of Financial Structure: The Incentive-Signalling Approach", *Bell Journal of Economics* 8, summer., pp. 23-40.

Ruiz, Juan (2008). "¿Es realmente responsable la especulación financiera del incremento reciente del precio del petróleo?". *Ari N 85*. Real Instituto Elcano.

Sharpe, William (1964). "Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk". *Journal of Finance*, 19 (3), 425-442

Treynor, Jack Treynor, Jack L. (1962). "Toward a Theory of Market Value of Risky Assets. in Asset Pricing and Portfolio Performance: Models". *Strategy and Performance Metrics.: Risk Books*, pp. 15-22.

Vernon, Andrés (2008). "Factores especulativos en la trayectoria del precio del petróleo" El financiero. Mes Julio.

Vigueras, Juan H. (2007). "Los precios del petróleo en mercados globales, financiarizados y opacos". Comité científico de Attac-España.

Zabos, Enrique (2008) Apuntes de Economía y Técnica Bursátil. Editorial Ledesma.

Zakoïan, Jean. (1992). "Threshold heteroskedastic models". *Journal of Economic dynamics and Control*. 18: 931-955.

7. ANEXOS

Anexo 1: Correlograma de los rendimientos IGBC

Date: 08/03/09 Time: 22:57

Sample: 1 350

Included observations:
343

Rezago	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.036	0.036	0.4438	0.505
2	0.043	0.041	10.726	0.585
3	-0.042	-0.045	16.736	0.643
4	-0.022	-0.021	18.455	0.764
5	-0.037	-0.032	23.143	0.804
6	-0.065	-0.063	37.942	0.705
7	0.118	0.125	87.261	0.273
8	0.038	0.033	92.485	0.322
9	0.061	0.042	10.556	0.307
10	-0.007	-0.008	10.575	0.392
11	-0.025	-0.027	10.796	0.461
12	0.033	0.046	11.193	0.512
13	-0.022	-0.003	11.359	0.581
14	0.005	-0.006	11.367	0.657
15	-0.075	-0.076	13.414	0.570
16	0.034	0.024	13.830	0.611
17	0.127	0.135	19.720	0.289
18	-0.017	-0.027	19.828	0.343
19	0.034	0.016	20.261	0.379
20	0.029	0.038	20.569	0.423
21	-0.077	-0.097	22.765	0.357
22	-0.035	0.004	23.221	0.389
23	-0.069	-0.044	24.972	0.352
24	0.036	0.008	25.450	0.382
25	-0.010	-0.010	25.485	0.436
26	0.050	0.022	26.419	0.440
27	0.052	0.048	27.443	0.440
28	-0.006	-0.005	27.459	0.493
29	-0.056	-0.070	28.660	0.483
30	-0.066	-0.034	30.306	0.450
31	-0.072	-0.069	32.292	0.403
32	-0.134	-0.109	39.151	0.180
33	0.048	0.053	40.040	0.186
34	0.029	0.000	40.356	0.210
35	0.019	0.006	40.492	0.241
36	-0.059	-0.089	41.837	0.232

Anexo 2: Correlograma de los retornos de la acción de ECOPETROL

Date: 07/16/09 Time: 22:59

Sample: 1 350

Included observations:

343

Rezago	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	-0.115	-0.115	45.921	0.032
2	0.019	0.006	47.152	0.095
3	-0.043	-0.041	53.625	0.147
4	0.037	0.028	58.407	0.211
5	-0.029	-0.021	61.398	0.293
6	-0.069	-0.078	77.937	0.254
7	0.120	0.109	12.874	0.075
8	0.021	0.046	13.034	0.111
9	-0.000	0.001	13.034	0.161
10	0.040	0.055	13.616	0.191
11	0.012	0.014	13.667	0.252
12	0.089	0.094	16.504	0.169
13	-0.050	-0.009	17.409	0.181
14	-0.001	-0.021	17.409	0.235
15	-0.044	-0.045	18.094	0.258
16	0.011	-0.002	18.139	0.316
17	0.093	0.097	21.259	0.215
18	-0.015	0.006	21.337	0.263
19	0.055	0.029	22.431	0.263
20	0.015	0.028	22.510	0.314
21	-0.050	-0.058	23.423	0.322
22	-0.034	-0.034	23.861	0.355
23	-0.034	-0.032	24.282	0.388
24	0.046	0.008	25.052	0.403
25	-0.014	0.005	25.124	0.455
26	0.048	0.039	25.972	0.465
27	-0.027	-0.032	26.240	0.505
28	0.033	0.021	26.641	0.538
29	-0.051	-0.055	27.605	0.539
30	0.043	0.042	28.304	0.554
31	-0.097	-0.092	31.904	0.421
32	-0.016	-0.031	32.003	0.467
33	-0.036	-0.032	32.507	0.492
34	0.017	0.000	32.620	0.535
35	0.065	0.075	34.267	0.503
36	0.020	0.020	34.418	0.544

Anexo 3: Correlograma de los rendimientos del precio del petróleo

Date: 07/16/09 Time: 23:05

Sample: 1 350

Included observations:
343

Rezago	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	-0.027	-0.027	0.2539	0.614
2	-0.105	-0.106	40.914	0.129
3	0.057	0.051	52.092	0.157
4	0.045	0.038	59.286	0.205
5	-0.169	-0.158	15.883	0.107
6	-0.042	-0.046	16.492	0.154
7	0.058	0.021	17.690	0.203
8	-0.047	-0.041	18.482	0.218
9	-0.029	-0.008	18.777	0.237
10	0.040	0.005	19.351	0.336
11	0.015	-0.001	19.428	0.364
12	0.124	0.150	24.937	0.415
13	0.102	0.106	28.669	0.437
14	-0.017	0.001	28.773	0.448
15	-0.001	0.017	28.773	0.451
16	-0.016	-0.032	28.868	0.456
17	0.013	0.049	28.925	0.535
18	-0.027	0.018	29.190	0.546
19	0.066	0.072	30.792	0.493
20	0.049	0.060	31.660	0.517
21	-0.064	-0.046	33.178	0.544
22	-0.006	-0.003	33.191	0.559
23	0.066	0.047	34.821	0.524
24	0.003	0.001	34.824	0.541
25	0.198	0.229	49.483	0.562
26	0.017	0.008	49.593	0.554
27	-0.021	0.005	49.765	0.565
28	-0.060	-0.045	51.105	0.558
29	0.026	-0.001	51.352	0.601
30	-0.050	-0.006	52.291	0.587
31	-0.086	-0.076	55.093	0.575
32	0.017	-0.045	55.198	0.527
33	0.082	0.081	57.793	0.485
34	-0.080	-0.063	60.218	0.547
35	0.123	0.135	66.025	0.561
36	0.081	0.022	68.527	0.559

Anexo 4: Valores Histogramas de las series analizadas

	KURTOSIS	SKNEWNESS	JARQUE BERA	P value
Retornos del precio del petróleo	5,4282853	-0,370019	92,1194	0,0000
Retornos del precio de la acción de ECOPETROL	8,379719	-0,043068	413,7266	0,0000
Retornos del IGBC	8,564158	0,473814	455,3018	0,0000

Fuente: Elaboración propia.* las variables se encuentran en retornos Logarítmicos donde *rencrudo* es la abreviación de los retornos para el precio del petróleo, *renecop* son los retornos del precio de la acción de ECOPETROL y *renigbc* son los retornos del índice Colombiano.

Anexo 5: Test Multiplicadores de Lagrange

	F stadistic	P value.
Rencrudo	79,758421	0,0000
Renecop	80,729640	0,0000
RenIGBC	68,45485	0,0000

Fuente: Elaboración propia.* La prueba consiste en evaluar el estadístico F con una hipótesis nula: homocedasticidad en la serie temporal Vs. La hipótesis alternativa: Heterocedasticidad en la serie. Para las 3 series la Prueba del estadístico indica la existencia del efecto ARCH pues se rechaza la La hipótesis nula a un nivel de significancia del 5%

Anexo 6: Estimación de GARCH Multivariado

System: SYSTEMARENDIMIENTOS
 Estimation Method: ARCH Maximum Likelihood (Marquardt)
 Covariance specification: Diagonal VEC
 Date: 07/16/09 Time: 16:07
 Sample: 1 343
 Included observations: 343
 Total system (balanced) observations 1029
 Presample covariance: backcast (parameter =0.7)
 Convergence achieved after 28 iterations

	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C(1)	1.11E-05	0.001575	8.007.049	0.0444
C(2)	-0.000320	0.000802	6.399.020	0.0299
C(3)	-0.000458	0.000703	4.651.209	0.0549

Variance Equation Coefficients

C(4)	6.70E-06	1.64E-06	4.077.502	0.0000
C(5)	0.200311	0.024457	8.190.235	0.0498
C(6)	0.349912	0.018292	1.912.907	0.0345
C(7)	0.382640	0.019893	1.923.523	0.0448
C(8)	0.982144	0.003976	2.469.974	0.0120
C(9)	0.939217	0.004583	2.049.480	0.0000
C(10)	0.921383	0.006664	1.382.652	0.0000

Log likelihood	2.735.769	Schwarz criterion	-1.578.181
Avg. log likelihood	2.658.667	Hannan-Quinn criter.	-1.584.913
Akaike info criterion	-1.589.370		

Anexo 7: Transformación estimadores del Garch multivariado tipo VEC

Covariance specification: Diagonal VEC

GARCH = M + A1.*RESID(-1)*RESID(-1)' + B1.*GARCH(-1)

M is a scalar

A1 is a rank one matrix

B1 is a rank one matrix

Tranformed Variance Coefficients

	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
M	6.70E-06	1.64E-06	4.077.502	0.0145
A1(1,1)	0.040125	0.009798	4.095.118	0.0000
A1(1,2)	0.070091	0.010407	6.734.724	0.0348
A1(1,3)	0.076647	0.011146	6.876.771	0.0000
A1(2,2)	0.122439	0.012801	9.564.535	0.0236
A1(2,3)	0.133891	0.013488	9.926.880	0.0357
A1(3,3)	0.146414	0.015223	9.617.614	0.0224
B1(1,1)	0.959875	0.007811	1.234.987	0.0189
B1(1,2)	0.922447	0.006820	1.352.601	0.0114
B1(1,3)	0.904931	0.008336	1.085.627	0.0000
B1(2,2)	0.877561	0.008608	1.024.740	0.0000
B1(2,3)	0.865379	0.010157	8.520.132	0.0000
B1(3,3)	0.848947	0.012280	6.913.261	0.0000