



**VOLATILIDAD EN LOS FUTUROS DE CARBONO ANTE
SHOCKS MACROECONÓMICOS: UNA MIRADA A LA
COMERCIALIZACIÓN DE DERECHOS DE EMISIÓN EN LA
UNIÓN EUROPEA**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN FINANZAS**

**Alumna: Marisol Espinosa Mejía
Profesor Guía: José Luis Ruiz**

Santiago, Noviembre 2018

RESUMEN EJECUTIVO

Los *Allowances* o Futuros de Carbono son activos financieros comercializados en la Unión Europea desde el año 2005, que surgen como respuesta a los compromisos suscritos en 1997 en el Protocolo de Kioto, y han sido catalogados en la literatura como un activo commodity con fines de diversificación. Este trabajo evalúa el impacto de los shocks macroeconómicos en los precios de los Futuros de Carbono que se transan en el Sistema de Comercialización de Emisiones de la Unión Europea (EU ETS) en su Fase III (2013 a 2020), basado en el estudio de Chevallier 2009 que evaluó la Fase II de comercialización de emisiones.

Se utilizaron distintas técnicas econométricas para evaluar la estacionariedad de las series, como los modelos econométricos de heterocedasticidad condicional autorregresiva ARCH y sus distintas especificaciones para el modelamiento de la volatilidad. En la ecuación de la media se incluyeron variables que incorporan factores del riesgo sistemático asociados al mercado de activos financieros y commodities, variables específicas del mercado de carbono estudiadas previamente en la literatura, además se evaluó un Garch en Media, ARIMA e impacto del Brexit.

A diferencia de la Fase II (Chevallier, 2009), La Fase III de comercialización de emisiones se caracteriza por el alineamiento con los factores de riesgo macroeconómico, poca relevancia en la gestión de carteras con propósitos de diversificación respecto a los demás commodities. Se encuentra evidencia de la transmisión de los shocks macroeconómicos al mercado del carbono a través de los efectos directos e indirectos de la volatilidad entre lo macro y lo energético, los resultados fueron robustos para para las seis regresiones.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, y a mi familia.

A todos los que me ayudaron a hacer este camino posible...

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCION	5
2. REVISION LITERATURA.....	8
Gráfico 1: Net carry cost (NCC) de los futuros de carbono con vencimiento al 18 de diciembre de 2017.	10
3. DATA.....	13
Gráfico 2: Precios de los Futuros de Carbono con vencimiento desde el año 2017 al 2020.	13
Drivers del Mercado de Carbono.	15
Gráfico 3: Drivers del Mercado de Carbono.	17
Variables de Riesgo Macroeconómico.	17
Gráfico 4: Variables de Riesgo Macroeconómico.....	18
Tabla 1: Tests de Raíz Unitaria Dickey-Fuller Aumentado y Phillips-Perron, Series En Niveles	21
Tabla 2: Tests de Raíz Kwiatkowski-Phillips-Schmidt- Shin o KPSS, Series En Niveles.....	22
Tabla 3: Estadísticas de las series en retornos logarítmicos:.....	22
Gráfico 5: Retornos logarítmicos de los Futuros de Carbono con vencimiento desde el año 2017 al 2020.	23
Gráfico 6: Retornos logarítmicos de los drivers del Mercado de Carbono.....	23
Gráfico 7: Retornos logarítmicos de las variables de Riesgo Macroeconómico.	24
Tabla 4: Matriz de Correlación cruzada entre la variables macroeconómicas y de energía.....	24
Tabla 5: Tests Raiz Unitaria Dickey-Fuller Aumentado y Phillips-Perron, Serie En Retornos Logarítmicos.	25
Tabla 6: Tests de Raíz Kwiatkowski-Phillips-Schmidt- Shin o KPSS, Series retornos logarítmicos.	25
4. MODELO.....	26
Ecuación de la media.....	26

Especificación de la varianza	27
5. RESULTADOS	31
Tabla 6: Ecuación de la Media GARCH (1,3)	33
Tabla 7: Ecuación de la Varianza GARCH (1,3)	35
¿Y QUE VIENE PARA LA FASE IV DE COMERCIALIZACIÓN DE EMISIONES?	36
Gráfico 8: Precios de los Futuros de Carbono con vencimiento desde el año 2021 al 2025.	36
6. CONCLUSIONES	37
ANEXOS	38
REFERENCIAS	45

1. INTRODUCCION

La contaminación generada en los procesos económicos, sociales y culturales tienen importantes repercusiones en el cambio climático, latente y evidente en aumento de la temperatura del planeta, en la elevación de los niveles de los mares asociados al derretimiento de glaciares, modificación en los patrones de lluvias y sequias; con marcadas consecuencias ambientales y financieras que desafían hoy a estados, empresas y comunidades. Es por ello que, en noviembre de 1997 nace El Protocolo De Kioto, y es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC); como acuerdo internacional su principal objetivo es la reducción de gases de efecto invernadero (*Greenhouse Gases* -GHGs) causantes del calentamiento global. En el Protocolo de Kioto se establecieron tres *mecanismos de flexibilidad* para el cumplimiento de los objetivos de reducción que son: Mecanismos de Desarrollo Limpio, Comercio Internacional de Emisiones y Mecanismos de Implementación Conjunta

Desde el año 2005, la Unión Europea cuenta con un Sistema de Comercialización de Emisiones (*The EU Emissions Trading System*¹ - EU ETS), el cual ha tenido tres fases: 2005 a 2007 *proyecto piloto*, Fase II 2008 a 2012 y Fase III 2013 a 2020, y la siguiente será 2021 a 2028. El objetivo 20-20-20 de la Fase III es reducir las emisiones de GHGs en un 20% para el año 2020, aumentando la eficiencia energética en un 20% e incrementando las acciones en energías renovables en un 20%. En la Fase III del EU ETS, se incluyen industrias de gran consumo de energía, especialmente centrales eléctricas, plantas de combustión con gran potencia térmica, las refinerías de petróleo, la aviación comercial, la producción de hierro y acero, cemento, vidrio, cal, entre otros (ladrillos, productos de cerámica, pasta de papel, papel y cartón, aluminio, productos petroquímicos, amoníaco, ácido nítrico, ácido adípico, ácido de glioxal y ácido glioxílico); en resumen, emisores de dióxido de carbono CO₂, óxido nitroso N₂O y perfluorocarbonos PFC².

En el EU ETS se transan los Futuros de Carbono o *European Union Allowances* - EUA, catalogado en la literatura financiera como un activo commodity, representa una tonelada de GHGs que puede ser emitida a la atmósfera por el tenedor del *Allowance* entre otras por:

- Programa NER300 para la financiación de proyectos innovadores de demostración de energías hipocarbónicas: tecnologías CAC (Captura y Almacenamiento de Carbono) y tecnologías FER (Fuentes de Energías Renovables innovadoras); a noviembre de 2017 se habían financiado 38 proyectos FER y un proyecto CAC por 2.100 millones de euros.
- Modernización del sector energético, instalaciones más eficientes.

¹ EU ETS está en funcionamiento en los 31 países del Espacio Económico Europeo (EEE). Limita las emisiones de casi 11 000 centrales eléctricas e instalaciones de fabricación, así como las de algo más de 500 operadores de aeronaves que vuelan entre los aeropuertos del EEE. Cubre alrededor del 45 % de las emisiones de GEI de la UE. (Comisión Europea, 2017)

² Aunque la participación en el RCDE UE es obligatoria, en algunos sectores solo se incluyen las instalaciones por encima de un tamaño determinado. Además, los países participantes pueden excluir del régimen a las pequeñas instalaciones, siempre y cuando haya medidas que permitan reducir sus emisiones en una cantidad equivalente a la cantidad de emisiones que se habría logrado reducir en caso de que estas instalaciones hubieran estado incluidas en el RCDE UE. Los países participantes también pueden agregar más sectores y GEI al RCDE UE. (Comisión Europea, 2017)

- CER: Una empresa perteneciente a países en “vía de desarrollo” implementó un Mecanismo de Desarrollo Limpio dentro de su sistema productivo, esto, legitimado ante la ONU, la cual otorga un Certificado de Reducción de Emisiones (*Certified Emission Reductions* - CER).

Los Futuros de Carbono o Allowance aparecen en el año 2005 generando una particular importancia en la industria bancaria y energética en un contexto institucional en movimiento. Con las crisis económicas de la última década y la caída de precios de commodities como el petróleo, los precios de los Futuros de Carbono pasaron de 28€ en el año 2007, a 5€ en el 2016. Pero las perspectivas de este mercado son positivas tras la Firma del Acuerdo de Paris en el 2015: China, el mayor emisor de GHGs en el mundo, tras firmar el Acuerdo está desarrollando un proyecto piloto de comercialización de emisiones, lo que reactiva a nivel mundial la importancia y los precios de los Futuros de Carbono.

Los Futuros de Carbono, como activo financiero, además de procurar beneficios económicos y ambientales, también incentivan la inversión en tecnología e innovación generando oportunidades de negocio en América Latina y contribuyendo a la competitividad de la región: México en el mes de agosto de 2016 empezó con un programa Piloto de comercialización de Emisiones; Panamá proyecta ser líder en la región con la comercialización de estos activos financieros, subrayando la importancia de la ampliación del canal de Panamá en la reducción de emisiones al disminuir los tiempos de recorrido de buques de carga; lo anterior planteado en el Foro Latinoamericano y del Caribe del Carbono que se llevó a cabo en Panamá del 28 al 30 de septiembre de 2016, previo a conferencia sobre cambio climático de la ONU -COP22 en Marrakech Marruecos.

El objetivo de esta tesis es evaluar económicamente el impacto en el retorno de los futuros de carbono de variables que incorporan factores del riesgo sistemático asociados al mercado de activos financieros y commodities; además de revisar el impacto del Brexit; evaluar el premio por riesgo a través de un GARCH en Media y el modelamiento de la volatilidad a través de los modelos GARCH, controlando por

los drivers propios del mercado de carbono estudiados previamente en la literatura, para la Fase III de Comercialización de Emisiones de la Unión Europea.

Los resultados sugieren que los precios de los futuros de carbono están mucho más alineados a los medidores de riesgo del mercado de commodities; al encontrar evidencia de la transmisión de los shocks macroeconómicos al mercado del carbono a través de los efectos directos e indirectos de la volatilidad entre lo macro y lo energético, y en contraposición a lo encontrado por Chevallier (2009) en la *Fase II*, se podría concluir que los EUA no tendrían funcionalidad de diversificación para los inversores.

Este trabajo está estructurado de la siguiente forma: sección 1 la Introducción; en la sección 2 se hace una revisión bibliográfica; en la sección 3 se analizan los determinantes de los riesgos macroeconómicos y las variables energéticas conductores de los precios de carbono; en la sección 4 se detallan las especificaciones econométricas; sección 5 se entregan los resultados y por último las conclusiones, anexos y referencias.

2. REVISION LITERATURA

La pregunta fundamental es: ¿se puede identificar estadísticamente la evolución de indicadores macroeconómicos como influencia en la dinámica de los precios de los futuros del carbono? T-bill, Junk Bonds, exceso de retorno, índice de mercados, como variables indicadoras de riesgo macroeconómico poseen un poder predictivo en el precio de commodities, bonos y acciones.

[Sadorsky \(2002\)](#) encontró que los factores de evaluación riesgo macroeconómico como la T-Bill, Índices de mercado y el exceso de retorno sobre el portafolio de mercado, tienen poder de predicción significativo sobre los futuros del petróleo. [Chevallier \(2009\)](#) sugiere que los Futuros de Carbono están operando en un mercado específico de commodities con fundamentales distintos: unidos a la oferta

de permisos de emisión y a la demanda de energía. [Mansanet-Bataller et al. \(2007\)](#) identificaron que los principales drivers de los precios del carbono son los precios de los mercados de energía como petróleo, gas y carbón, y los eventos climáticos extremos. Lo anterior en concordancia con [Alberola et al. \(2008\)](#).

En esta tesis se trabajará con series de tiempo las cuales están caracterizadas, entre otras, por agrupamiento de volatilidades altas y bajas, es decir, heterocedasticidad. La volatilidad en los futuros de carbono por los impactos macroeconómicos será analizada a través de modelos econométricos de heterocedasticidad condicional autorregresiva ARCH, por sus siglas en inglés, propuestos por [Engle \(1982\)](#). [Bollerslev \(1986\)](#) introduce los modelos GARCH o ARCH Generalizados, en los cuales la varianza condicional depende no solo de las perturbaciones al cuadrado, como Engle lo propuso, sino también de las varianzas condicionales de períodos anteriores. [Nelson \(1991\)](#) presenta los modelos EGARCH, modelo que garantiza la no negatividad de la varianza condicional aplicándole un logaritmo natural, además el comportamiento las perturbaciones positivas y negativas es diferenciado incluyendo el coeficiente de asimetría, que no es contemplado en los modelos GARCH. Se analizan también los modelos Threshold ARCH o ARCH con indicador, propuesto por [Glosten, Jaganathan y Runkle en 1993](#), donde la variable indicadora o dummy aporta evidencia si existiese efecto de asimetría. Entre otras variaciones de los Modelos ARCH, como los PARCH, CGARCH, TCGARCH.

Después de testear varias extensiones de los modelos de heterocedasticidad condicional autorregresiva- ARCH, se decidió evaluar la relación empírica entre los Futuros de Carbono y las variables macroeconómicas-energéticas a través de un ARCH Generalizado (1,3) al presentar un mejor ajuste. [Benz y Truck \(2009\)](#) analizaron el comportamiento del precio spot de los derechos de emisión con un modelo de Markov-switching, y un AR(1)-GARCH(1,1) para evaluar la heterocedasticidad de la serie en retornos. [Chevallier \(2009\)](#) analiza la volatilidad de los EUA con un modelo TGARCH (1,1).

Se plantea que los precios futuros son mucho más confiables que los precios spot para propósitos de modelamiento y predicción (Alberola y Chevallier, 2009); La razón detrás del divorcio entre los precios spot y de futuros al final de la Fase I se debe principalmente a la imposibilidad de canalizar las asignaciones restantes de carbono para la Fase II.

Relaciones esperadas con los determinantes de riesgo macroeconómico.

La relación entre las condiciones económicas y los retornos esperados de los activos financieros ha sido estudiada inicialmente en los mercados de renta variable (Fama y French, 1989, 1993). La literatura sobre commodities indica que, el precio de los futuros no está únicamente en función de las expectativas de los precios spot, sino también de los riesgos sistemáticos que prevalecen en la economía (Bailey y Chan, 1993).

Existe una fuerte correlación entre cambios en el futuros de commodities y la variación de los mercados de acciones y bonos; de hecho, la literatura previa demuestra la sensibilidad de los precios de los activos a muchas variables de riesgo macroeconómico. Sin embargo, los signos esperados de la relación estadística entre las variables macroeconómicas y retornos de los futuros depende del commodities en consideración. Por ejemplo, la madera, el petróleo, el cobre son activos sensibles al ciclo económico, mientras el oro y la plata exhiben factores de riesgo poco comunes con los mercados de acciones y bonos por su fácil almacenaje; además el oro es catalogado como activo de refugio para los inversores ante la inestabilidad internacional. Los precios futuros del carbono pueden verse afectados por los cambios en las condiciones macroeconómicas pues los industriales deben adaptar sus capacidades productivas a las condiciones cambiantes del mercado: Cuando la actividad real es alta, las Industrias parecen crecer en demanda y producción, se incrementa la emisión de CO₂ y la demanda por Allowance y viceversa. Los shocks macroeconómicos afectan la demanda relativa de bienes y por ende de los precios.

Si los retornos de los futuros de carbono son sensibles a las mismas variables que los activos financieros, entonces la presencia de factores comunes de conducción de riesgo implica que las mismas variables de activos financieros podrían ser usadas para explicar la variación de los precios de los futuros de carbono. Si los futuros de carbono y los activos financieros son sensibles a diferentes variables de estado, pero que dependen de los mismos determinantes macroeconómicos, entonces es posible utilizar de nuevo variables explicativas comunes para la variación de precios de los futuros. Dichas variables son descritas a continuación:

El comportamiento de los retornos de acciones es representado por el valor ponderado del índice de mercado **Euronext 100**. Si como hipótesis los precios de los futuros de commodities reflejan el riesgo sistemático incrustado en la evolución de las condiciones de las acciones de mercado, se espera encontrar significancia estadística entre los futuros de carbono y el índice de mercado. Las acciones y bonos son contracíclicos, es decir, cuando las expectativas sobre la actividad real son altas, estas variables toman valores bajos y viceversa (Fama y French, 1987). Bailey y Chan (1993) encontraron relación negativa entre el mercado de acciones y el petróleo. Chevallier (2009) encontró significancia estadística y relación negativa entre los futuros de carbono y las acciones.

Para estudiar la influencia de los retornos de los bonos corporativos se usa la variable **Junk bond**, definida como el exceso de la yield de los bonos corporativos de largo plazo calificados por Moody BAA sobre la yield de los bonos calificados como AAA-. Esta variable es sensible al ciclo del de los negocios ya que la diferencia entre bonos de alta y baja calidad representa la compensación por riesgo requerida por los inversores para mantener activos riesgosos. Debido a esto, se espera que esta variable reaccione rápidamente a cambios en las condiciones económicas, y se espera una relación positiva entre el premio de los bonos basura y los retornos de los futuros de carbono.

La variación de las tasas de interés constituye otro factor macroeconómico a considerar como parte de la variación del riesgo sistemático. La **T-Bill** puede ser usada como una proxy de las condiciones económicas actuales: está tiende a ser

baja durante recesiones y alta durante periodos de crecimiento económico. Debido a esto, la sensibilidad del mercado de carbono a la política monetaria podría implicar una relación positiva entre la T-bill de 90 días y el retorno de los futuros de carbono; de hecho, es usada como barómetro de cambios globales en la política monetaria internacional.

La variable **EXC_RET** corresponde TR/CC CRB Excess Return Index es una media aritmética de los precios de los futuros de commodities con un reequilibrio mensual. Este índice captura la influencia de factores de riesgo asociados al mercado global de commodities: metales, agricultura y sector energético (Geman, 2005). Se espera encontrar una relación negativa entre los retornos sobre la variable y los futuros de carbono debido a la naturaleza contracíclica del índice.

Para evitar malas especificaciones en el modelo se introducen las variables energéticas propias del mercado de carbono, de las cuales se ha encontrado significancia estadística en investigaciones anteriores: Factores conductores de riesgo unidos con los con la volatilidad en los precios de la energía, como el Brent, el gas natural y la electricidad. (Mansanet-Bataller et al., 2007; Alberola et al., 2008; Oberndorfer, 2009). Las influencias climáticas han mostrado una relación no lineal con los cambios en los precios de carbono la lógica detrás de este argumento es que sólo cuando la temperatura se incrementa o decrece más allá de ciertos umbrales puede conducir a incrementos en la demanda de energía. Keppler y Mansanet-Bataller (2010) tienen estudió las causalidades entre las variables de CO₂ y electricidad durante la Fase I y II de comercialización de emisiones.

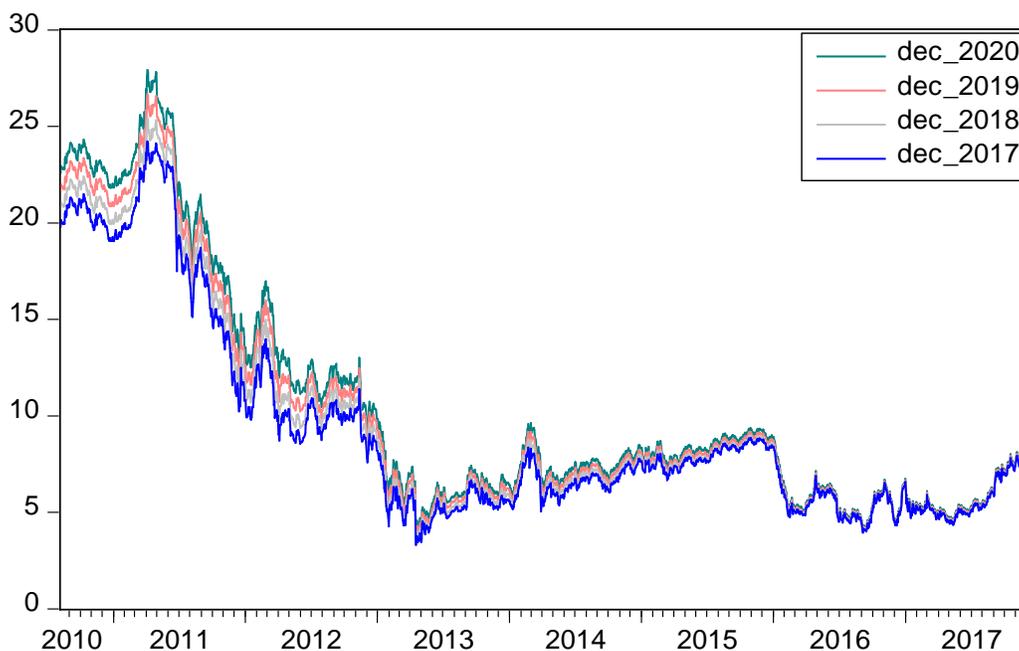
Alberola et al. (2008) muestra la presencia de quiebres estructurales en las series de tiempo de los precios de carbono para cada madurez. Este quiebre en los precios se debe a la revelación de información relacionada las capas de emisión en abril del 2006, para controlar esto se incluye una variable dummy que para la Fase III no presenta un resultado concluyente.

3. DATA

Se analizarán los Allowances/Futuros de Carbono de la Fase III del Sistema de Comercialización de Emisiones de la Unión Europea – EU ETS con madurez a 2018, 2019 y 2020. Se utilizaron datos de frecuencia diaria, extraídos de Thomson Eikon Reuters, el periodo de la muestra va desde 06 de agosto de 2010 al 18⁴ de diciembre del 2017, con un total de 1922 observaciones para cada variable.

A continuación, se presentan los precios de los futuros de carbono para los vencimientos a diciembre del 2017, diciembre del 2018, diciembre del 2019 y diciembre del 2020. La variable dependiente será la de los futuros de carbono con vencimiento al 2018, no obstante, se evaluará la robustez del modelo regresionando los demás futuros con las mismas variables explicativas.

Gráfico 2: Precios de los Futuros de Carbono con vencimiento desde el año 2017 al 2020.



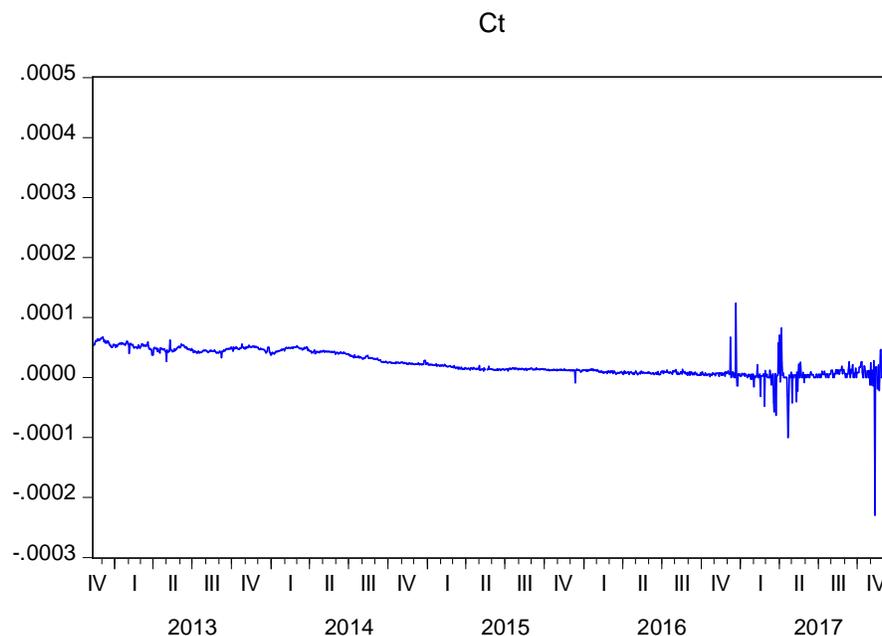
Fuente: Elaboración propia.

⁴ El precio de liquidación de un futuro se establece generalmente a mediados del mes de su fecha de vencimiento prevista.

Se revisa a continuación la volatilidad de los futuros de carbono con madurez al 18 de diciembre del 2017⁵ respecto a la **hipótesis de Samuelson (1965)**, que establece que la volatilidad de los precios de los futuros aumenta a medida que el contrato de futuro se acerca a su vencimiento. Esta hipótesis ha sido probada en las investigaciones en mercados de commodities (Duong y Khalev, 2008). Para evaluar la hipótesis se calcula el net carry cost (C_t), definido por Bessembinder et al. (1995) como la diferencia entre el logaritmo natural del futuro de carbono (f_t) y su precio spot (S_t), ponderado por el tiempo de madurez hasta la expiración del futuro (TTM_t):

$$C_t = \frac{\ln(f_t - S_t)}{TTM_t}$$

Gráfico 1: Net carry cost (NCC) de los futuros de carbono con vencimiento al 18 de diciembre de 2017.



Fuente: Elaboración propia.

⁵ El precio de liquidación de un contrato de futuros se fija generalmente a mediados del mes de su fecha de vencimiento esperada.

Se observa que la volatilidad del contrato de futuro con madurez a 2017 aumenta a medida que la madurez decrece, validando así la hipótesis de Samuelson. De esta propiedad de los futuros de carbono deriva también el análisis de su dependencia a factores de riesgo macroeconómico los cuales han sido establecidos en la literatura previa para acciones, bonos y futuros de commodities.

Drivers del Mercado de Carbono.

Los precios del carbono son impactados por los precios de la energía ya que estos se relacionan con los procesos productivos de las empresas reguladas en EU ETS, sin embargo, los precios varían dependiendo del periodo en consideración y de la influencia de eventos institucionales (Alberola et al. 2008). El petróleo, el gas y la electricidad han sido identificados en la literatura como drivers del mercado de carbono; un aumento en el precio del petróleo o del gas incrementa a su vez el precio de muchos productos manufacturados, ya sea por el uso de estos commodities en su proceso productivo, o en la generación de energía. La influencia de los productores de energía radica también en que anualmente reciben alrededor del 50% de asignaciones de carbono.

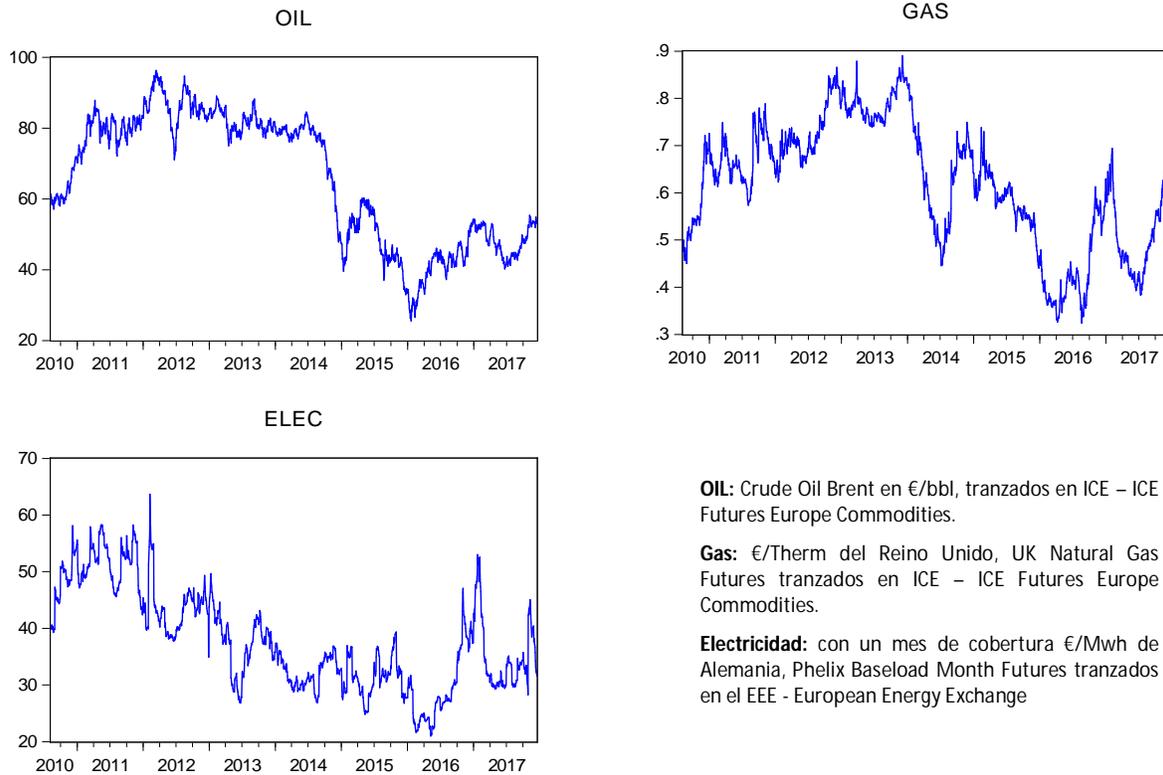
ELECTR corresponde a los retornos diarios de los precios de los futuros de la electricidad con un mes de cobertura €/Mwh de Alemania como proxy de los precios de la electricidad de la Unión Europea al ser su mercado más líquido: Phelix Baseload Month Futures tranzados en el EEX - European Energy Exchange. Se ha incluido esta variable en la literatura porque los productores de energía necesitan cubrir sus emisiones EUA por el incremento en la demanda de calefacción por efecto de la temperatura.

De acuerdo con la literatura previa los precios de los futuros de carbono están vinculados con los combustibles fósiles: Carbón, gas y petróleo.

GAS corresponde a los retornos diarios de los precios de los futuros de Gas Natural con un mes de cobertura €/Therm del Reino Unido como proxy de los precios del Gas de la Unión Europea al ser su mercado más líquido: UK Natural Gas Futures tranzados en ICE – ICE Futures Europe Commodities. Una termia como unidad de medida del gas corresponde a 100.000 Unidades Térmicas Británicas *BTu*; y el tamaño del contrato es de 1.000 termias por día calendario, por tanto, en enero el contrato podría tener 31.000 termias. Sin embargo, el valor del contrato está además en función de la oferta del operador local.

La variable **OIL** (petróleo) corresponde a los retornos diarios de los precios del Crude Oil Brent en €/bbl, tranzados en ICE – ICE Futures Europe Commodities, es representativo de todo petróleo crudo producido en el Mar del Norte, coincidiendo con las demás variables de energía. Tanto el gas como el petróleo se han considerados como drivers del precio de los futuros de carbono. Se espera una relación positiva altos (bajos) precios de los combustibles contribuyen a incrementar (disminuir) los precios de los EUA.

Gráfico 3: Drivers del Mercado de Carbono.



Fuente: Elaboración propia.

Variables de Riesgo Macroeconómico.

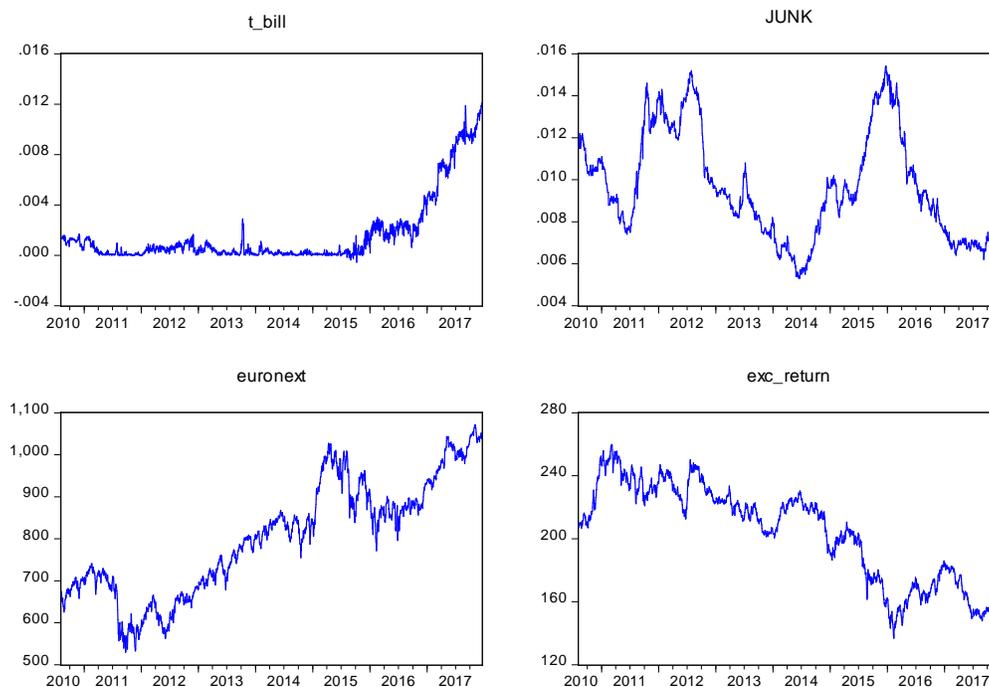
El índice de mercado EURONEXT 100, lanzado el 02 de octubre del 2000 representa las acciones de las cien empresas de mayor capitalización bursátil y mayor liquidez en la Unión Europea (blue-chip o empresas líderes); como se mencionó en la revisión de literatura se espera una relación significativa entre esta variable y los futuros de carbono.

JUNK BONDS se compone como el spread de la Yield de los bonos corporativos de largo plazo calificados como BAA respecto a la Yield de los bonos AAA por Moody's. Esta variable es un proxy del riesgo de default y puede estar asociada como un fuerte predictor de los retornos de los activos (Fama y French, 1989).

T-BILL representa los retornos diarios de los US Treasury Bill con una Yield Curve Rate a 90 días. Esta variable es utilizada comúnmente en el mercado para tasas de descuento de corto plazo, contiene información de la situación económica actual, pues es uno de los indicadores más importantes en la variación del riesgo sistemático y de cambio en el ciclo económico: tiende a ser alta en periodos de crecimiento económico, y baja en periodos de recesión.

EXC_RET corresponde TR/CC CRB Excess Return Index es una media aritmética de los precios de los futuros de commodities con un reequilibrio mensual. Este índice captura la influencia de factores de riesgo asociados al mercado global de commodities: metales, agricultura y sector energético (Geman, 2005).

Gráfico 4: Variables de Riesgo Macroeconómico.

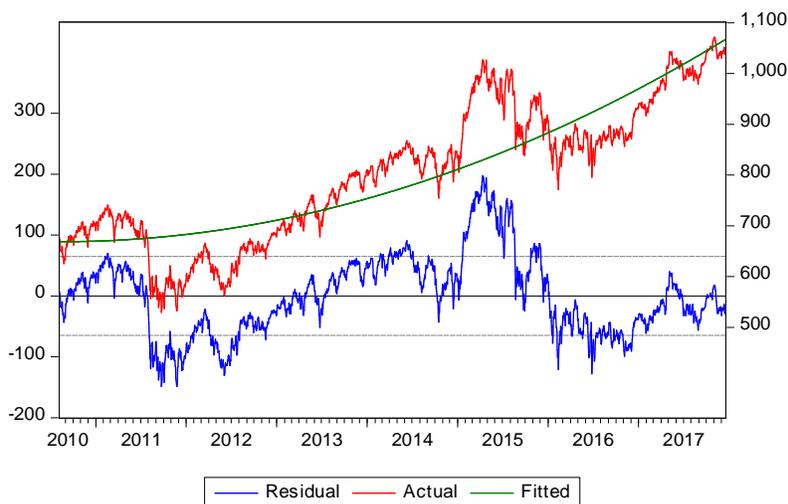


Fuente: Elaboración propia.

Casi todas las series tienen una tendencia estocástica, es decir, su varianza depende de t (tiempo); para buscar la estacionariedad de la serie se aplica primera diferencia.

La serie EURONEXT100 pareciera tener una tendencia determinística, es decir, el valor esperado de la variable no depende de t , no se transformaría la serie, se ajustaría a una función en el tiempo, y se modelaría la diferencia entre la tendencia y la serie original. Examinando la estacionariedad de la serie EURONEXT100 y su tendencia determinística, se regresa contra una tendencia cuadrática. La serie destendenciada (**Residual**) no tiene un claro retorno a la media, lo que significa que la serie sin tendencia tampoco es estacionaria, es decir, el índice de mercado EURONEXT100 no tiene tendencia determinística, sino estocástica, por lo que se debe diferenciar la serie para poderla modelar.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	668.6458	2.213094	302.1317	0.0000
@TREND^2	0.000108	1.34E-06	80.57277	0.0000



Los patrones persistentes de autocorrelación en los Correlogramas de las variables en niveles sugieren que las series tienen raíz unitaria, es decir, no son estacionarias.

La prueba de Raíz Unitaria Dickey Fuller Aumentado y Phillips-Perron, es utilizada para evaluar la estacionariedad de la serie a través de un test de hipótesis:

- *Hipótesis Nula: La serie tiene raíz unitaria, no es estacionaria, el p-value es no significativo.*
- *Hipótesis alternativa: La serie no tiene raíz unitaria, es estacionaria, el p-value es significativo.*

El término significativo indica que el resultado de una prueba lleva a un rechazo de la hipótesis nula, puesto que con el rechazo de la hipótesis nula se asegura su falsedad.

Los resultados de los test de raíz unitaria Dickey Fuller Aumentado y Phillips-Perron indican que las variables T_BILL, EURONEXT, JUNK, GAS, OIL son no estacionarias en niveles, hay un no rechazo de la Hipótesis Nula, como lo muestra la [tabla 1](#) con los valores t-student. Sin embargo, los mismos test para las variables EXC_RET, ELECTR y los Futuros de Carbono sugieren estacionariedad de la serie en niveles a distintos niveles de confianza. Por tanto, se aplica, *el Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin Test, 1992*, o KPSS como test alternativo de Raíz Unitaria. En este, el test de hipótesis tiene lógica contraria a Dickey Fuller Aumentado y Phillips-Perron, se busca la aceptación de la hipótesis nula:

- *Hipótesis nula: los datos son estacionarios, no tiene raíz unitaria.*
- *Hipótesis alternativa: los datos no son estacionarios, tiene raíz unitaria.*

De acuerdo con la [Tabla 2](#), en el KPSS Test se rechaza la hipótesis nula, es decir, las series evaluadas no son estacionaria en el 1%, 5% y 10% de confianza. Se concluye entonces a través de los test de raíz unitaria, que ninguna de las series es estacionaria en niveles, tienen tendencia estocástica, y no determinística.

Tabla 1: Tests de Raíz Unitaria Dickey-Fuller Aumentado y Phillips-Perron, Series En Niveles

P-Value Requerido, Nivel de Confianza:	Dickey-Fuller		Dickey-Fuller		Phillips-Perron	
	Dickey-Fuller Aumentado	Aumentado con intercepto	Aumentado con intercepto y tendencia	Phillips- Perron	Phillips- Perron con intercepto	Phillips- Perron con intercepto y tendencia
0,01	-2,5663	-3,4340	-3,9634	-2,5663	-3,4340	-3,9634
0,05	-1,9410	-2,8630	-3,4124	-1,9410	-2,8630	-3,4124
0,10	-1,6166	-2,5676	-3,1282	-1,6166	-2,5676	-3,1282
EUA_2017	-2,0239	-1,9879	-1,3364	-1,9986	-1,9882	-1,3799
EUA_2018	-2,0809	-1,9703	-1,2961	-2,0517	-1,9689	-1,3426
EUA_2019	-2,1298	-1,9512	-1,2613	-2,0995	-1,9485	-1,3067
EUA_2020	-2,1684	-1,9286	-1,2242	-2,1435	-1,9255	-1,2600
T_BILL	3,9991	3,3747	2,4616	3,1997	2,4616	0,2961
EURONEXT	0,8665	-0,9444	-3,0517	1,0398	-0,7559	-2,9048
JUNK	-0,9233	-1,3208	-1,4559	-0,9048	-1,5029	-1,6604
EXC_RET	-0,7465	-0,8348	-3,7014	-0,7490	-0,8328	-3,7214
ELECTR	-0,7838	-2,7085	-4,0071	-0,7813	-2,7107	-4,0412
GAS	-0,0623	-2,1205	-2,7456	-0,0135	-2,0242	-2,6506
OIL	-0,4611	-1,2119	-2,5749	-0,4526	-1,1614	-2,5276

Tabla 2: Tests de Raíz Kwiatkowski-Phillips-Schmidt- Shin o KPSS, Series En Niveles

P-Value Requerido, Nivel de Confianza:	KPSS	
	con intercepto	con intercepto y tendencia
0,01	0,7390	0,2160
0,05	0,4630	0,1460
0,10	0,3470	0,1190
EUA_2017	3,3824	0,9878
EUA_2018	3,5216	1,0011
EUA_2019	3,6389	1,0129
EUA_2020	3,7419	1,0242
EXC_RET	4,7234	0,4173
ELECTR	3,4796	0,6314

Al trabajar la primera diferencia en los test de raíz unitaria, las series presentan estacionariedad. Dado lo anterior se transforman las series aplicando logaritmo natural al retorno como lo muestra la siguiente ecuación; se obtienen series integradas de orden 1:

$$REUA_{2018} = \ln(EUA_{2018}) - \ln(EUA_{2018,t-1})$$

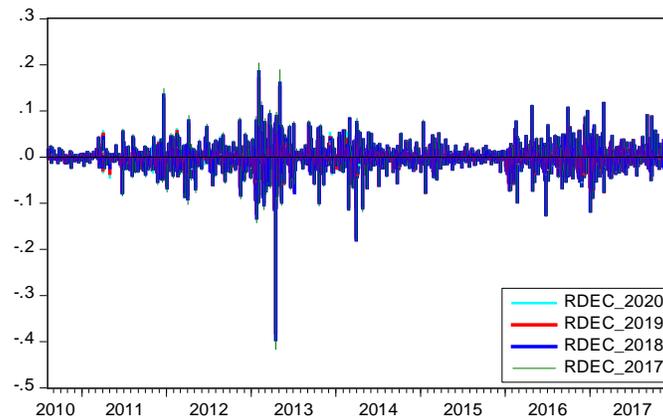
Se observa media constante y varianza no constante (ver [gráficos 5, 6 y 7](#)); se trata entonces series estacionarias en media más no en varianza. La persistencia de las rachas y la varianza dependiente de t es una característica típica de series como la tasa de interés y activos financieros su comportamiento.

A continuación se presentas las estadísticas de las series en retornos logarítmicos:

Tabla 3: Estadísticas de las series en retornos logarítmicos:

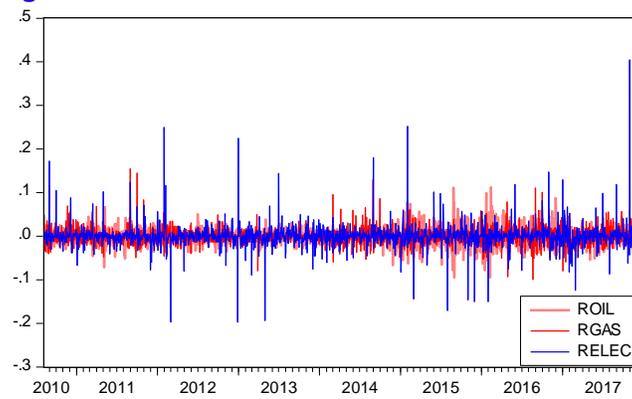
	Mean	Median	Maximum	Minimum	Std. Dev.	Skewness	Kurtosis	N
REUA_2017	-0,0005	0,0000	0,2047	-0,4171	0,0312	-1,1855	23,3738	1921
REUA_2018	-0,0005	0,0000	0,1884	-0,3987	0,0301	-1,2298	22,3979	1921
REUA_2019	-0,0006	0,0000	0,1729	-0,3833	0,0291	-1,2199	21,8359	1921
REUA_2020	-0,0006	0,0000	0,1590	-0,3654	0,0281	-1,1770	20,8819	1921
REXC_RETURN	-0,0001	0,0000	0,0521	-0,0417	0,0091	-0,1151	5,1084	1921
RJUNK	-0,0002	0,0000	0,0953	-0,1335	0,0181	-0,4651	9,3140	1921
REURONEXT	0,0002	0,0004	0,0482	-0,0696	0,0111	-0,2959	6,1079	1921
RT_BILL	0,0009	0,0000	0,9670	-1,0467	0,1234	-0,4712	12,8025	1921
RELEC	-0,0001	0,0000	0,4042	-0,1971	0,0269	2,5196	50,1835	1921
RGAS	0,0002	-0,0005	0,1545	-0,0989	0,0202	0,9452	10,0535	1921
ROIL	-0,0001	0,0000	0,1116	-0,0945	0,0190	0,1860	6,5812	1921

Gráfico 5: Retornos logarítmicos de los Futuros de Carbono con vencimiento desde el año 2017 al 2020.



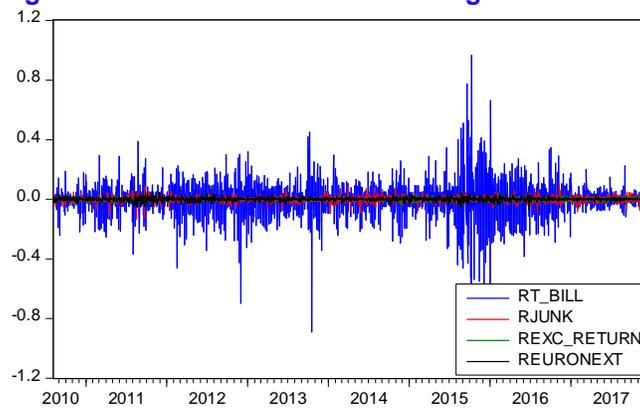
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6: Retornos logarítmicos de los drivers del Mercado de Carbono.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 7: Retornos logarítmicos de las variables de Riesgo Macroeconómico.



Fuente: Elaboración propia.

La [tabla 4](#) muestra la Correlación cruzada entre las variables macroeconómicas y de energía, que no revela grandes problemas entre las variables explicativas, a excepción del Petróleo con el Exceso de retorno que presenta una correlación del 81% sobre su valor absoluto.

Tabla 4: Matriz de Correlación cruzada entre las variables macroeconómicas y de energía.

	RT_BILL	ROIL	RJUNK	RGAS	REXC_RETURN	REURONEXT	RELEC
RT_BILL	1						
ROIL	-0,0089	1					
RJUNK	-0,0162	-0,0039	1				
RGAS	-0,0175	0,1203	0,0136	1			
REXC_RETURN	-0,0118	0,8053	0,0082	0,1223	1		
REURONEXT	-0,0027	0,2668	-0,0361	0,0757	0,3135	1	
RELEC	0,0275	0,0387	-0,0127	0,2624	0,0236	0,0134	1

La [tabla 5](#), muestra los resultados de los test de Raíz unitaria Dickey Fuller Aumentado y Phillips-Perron aplicados a las series en retornos logarítmicos, los resultados son fuertes al indicar la estacionariedad de las variables (se rechaza la hipótesis nula), sin embargo, se aplica el Test alternativo KPSS para corroborar los resultados con aquellas variables que habían sugerido estacionariedad en niveles (EXC_RET, ELECTR y los Futuros de Carbono), se acepta la hipótesis nula, es decir, las series son estacionarias (Ver [tabla 6](#)).

Tabla 5: Tests Raíz Unitaria Dickey-Fuller Aumentado y Phillips-Perron, Serie En Retornos Logarítmicos.

P-Value Requerido, Nivel de Confianza: 0,01	Dickey- Fuller Aumentado con intercepto	Dickey- Fuller Aumentado con intercepto	Dickey- Fuller Aumentado con intercepto y tendencia	Phillips- Perron con intercepto	Phillips- Perron con intercepto y tendencia	Phillips- Perron con intercepto y tendencia
0,01	-2,5663	-3,4340	-3,9634	-2,5663	-3,4340	-3,9634
0,05	-1,9410	-2,8630	-3,4124	-1,9410	-2,8630	-3,4124
0,10	-1,6166	-2,5676	-3,1282	-1,6166	-2,5676	-3,1282
EUA_2017	-33,9279	-33,9341	-33,9556	-43,2540	-43,2553	-43,2705
EUA_2018	-33,7501	-33,7585	-33,7802	-43,1860	-43,1886	-43,2037
EUA_2019	-33,5561	-33,5669	-33,5886	-43,2239	-43,2281	-43,2418
EUA_2020	-33,4508	-33,4640	-33,4861	-43,2473	-43,2526	-43,2627
T_BILL	-12,8559	-12,8968	-13,0774	-82,1421	-82,8085	-86,5375
EURONEXT	-42,4178	-42,4246	-42,4178	-42,8411	-42,8785	-42,8748
JUNK	-47,6225	-47,6196	-47,6075	-47,4863	-47,4851	-47,4737
EXC_RET	-44,5993	-44,5992	-44,6097	-44,5952	-44,5955	-44,6065
ELECTR	-41,4563	-41,4463	-41,4357	-41,4563	-41,4463	-41,4357
GAS	-42,4053	-42,3967	-42,3860	-42,4121	-42,4034	-42,3920
OIL	-46,1064	-46,0950	-46,0867	-46,0944	-46,0831	-46,0749

Tabla 6: Tests de Raíz Kwiatkowski-Phillips-Schmidt- Shin o KPSS, Series retornos logarítmicos.

P-Value Requerido, Nivel de Confianza:	KPSS con intercepto y tendencia	KPSS con intercepto y tendencia
0,01	0,7390	0,2160
0,05	0,4630	0,1460
0,10	0,3470	0,1190
EUA_2017	0,1488	0,0348
EUA_2018	0,1480	0,0356
EUA_2019	0,1468	0,0369
EUA_2020	0,1492	0,0383
EXC_RET	0,1391	0,0529
ELECTR	0,0252	0,0262

4. MODELO

Ecuación de la media

- En la ecuación de la media la variable dependiente corresponde a los Futuros de carbono con vencimiento a 2018 2019 y 2020; como variables explicativas se incorporan factores de riesgo sistemático asociados al mercado de activos financieros y commodities: *Excess Return*, *Euronext 100*, *T-Bill*, *Junk Bonds* descritos en la sesión anterior; Se incluyen también variables específicas del mercado de carbono: electricidad, gas y petróleo estudiadas previamente en la literatura y descritas en la sesión anterior; la ecuación de la media puede ser precesada como sigue:

$$EUA_{2018} = \beta_0 + \beta_{relec} + \beta_{rgas} + \beta_{roil} + \beta_{rexc_return} + \beta_{rjunk} + \beta_{reuronext} + \beta_{rt_bill} + \varepsilon_t$$

- ENGLE, LILIEN y ROBINS (1987) presentan "*Estimating Time Varying Risk Premia in the Term Structure: The Arch-M Model*"; Para esta tesis se introduce una variación en la ecuación de la media con un modelo GARCH-M como se detalla a continuación:

$$EUA_{2018} = \mu + \beta_{relec} + \beta_{rgas} + \beta_{roil} + \beta_{rexc_return} + \beta_{rjunk} + \beta_{reuronext} + \beta_{rt_bill} + \lambda \cdot \sigma_t + \varepsilon_t$$

Introducir la volatilidad en la ecuación de la media es evaluar el premio por riesgo de los futuros de carbono. Donde μ es la media del modelo GARCH, λ es el coeficiente de volatilidad de la media, es decir, el premio por riesgo; y como medida de volatilidad se introduce la desviación estándar condicional en el tiempo t σ_t .

- Además de las variables de riesgo macroeconómico y de las propias del mercado de carbono, se prueba un modelo ARIMA, modelo estocástico de estructura autorregresiva propuesto por Box y Jenkin (1970); la evolución de los futuros de carbono puede explicarse también por su propio pasado $\phi_1 \cdot EUA_{t-1}$ y una perturbación aleatoria $\theta_1 \cdot \varepsilon_{t-1}$.

$$EUA_{2018} = \beta_0 + \beta_{relec} + \beta_{rgas} + \beta_{roil} + \beta_{rexc_return} + \beta_{rjunk} + \beta_{reuronext} + \beta_{rt_bill} + \phi_1 \cdot EUA_{t-1} + \varepsilon_t + \theta_1 \cdot \varepsilon_{t-1}$$

- Se evalúa el impacto del Brexit en el precio de los futuros de carbono a través de una variable indicadora dummy, que va desde el 23/12/2015 6 meses antes de las votaciones del referéndum hasta el 29/30/2017 donde el Reino Unido anuncia oficialmente su salida de la Unión Europea:

$$EUA_{2018} = \beta_0 + \beta_{relec} + \beta_{rgas} + \beta_{roil} + \beta_{rexc_return} + \beta_{rjunk} + \beta_{reuronext} + \beta_{rt_bill} + dum_{Brexit} + \varepsilon_t$$

Especificación de la varianza

Para el modelamiento de la volatilidad se testearon las siguientes extensiones de los modelos de heterocedasticidad condicional autorregresiva- ARCH, su especificación econométrica se detalla a continuación, y la regresión que presentó mejor ajuste se detalla en la sesión 5 de resultados.

Modelo ARCH

El modelo ARCH “heterocedasticidad condicional autorregresiva” (por sus siglas en inglés), propuesto por Robert Engle (1982) es el siguiente:

$$\sigma^2 = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-2}^2 \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2$$

La varianza condicional está en función del primer término ω que es el intercepto, un segundo término α coeficiente normalmente entre cero y uno representa la influencia de dicho valor inmediatamente anterior de la variable en el factor actual

ε_{t-1}^2 ; el cuadrado establece la relación entre magnitudes absolutas de las variables sin considerar el signo de las mismas.

Modelo GARCH tradicional

Bollerslev (1986) introduce los modelos GARCH(p,q) o ARCH Generalizados, en los cuales la varianza condicional depende de las perturbaciones(p) al cuadrado como Engle lo propuso, y de de las varianzas condicionales(q) de períodos anteriores; puede ser escrito como:

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i \cdot \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \cdot \sigma_{t-j}^2$$

Con la varianza condicional σ_t^2 , que es función de un término constante ω , del término ARCH ε_{t-i}^2 y del termino GARCH σ_{t-j}^2 .

Modelo GARCH en Componente

El modelo GARCH(p,q) estándar se puede reescribir como:

$$\sigma_t^2 = \bar{\omega} + \alpha \cdot (\varepsilon_{t-i}^2 - \bar{\omega}) + \beta \cdot (\sigma_{t-j}^2 - \bar{\omega})$$

Si la varianza condicional muestra reversión a la media a $\bar{\omega}$, se puede precisar el modelo CGARCH como sigue:

$$\sigma_t^2 - m_t = \bar{\omega} + \alpha \cdot (\varepsilon_{t-i}^2 - \bar{\omega}) + \beta \cdot (\sigma_{t-j}^2 - \bar{\omega})$$

$$m_t = \omega + \rho \cdot (m_{t-1} - \omega) + \phi \cdot (\varepsilon_{t-i}^2 - \sigma_{t-j}^2)$$

Donde ω es la variación temporal a largo plazo de la volatilidad, m_t es un componente de largo plazo, y $\sigma^2 - m_t$ describe el componente transitorio.

Modelo GARCH exponencial:

A continuación, se muestra la especificación de la varianza condicional propuesta por Nelson (1991):

$$\ln(\sigma_t^2) = \omega + \sum_j^q \beta_j \cdot \ln(\sigma_{t-j}^2) + \sum_{i=1}^p \alpha_i \left| \frac{\varepsilon_{t-i}}{\sigma_{t-i}} \right| + \sum_k^r \gamma \left| \frac{\varepsilon_{t-k}}{\sigma_{t-k}} \right|$$

Donde γ testea la presencia del efecto apalancamiento.

Modelo Potencia ARCH

La especificación PARCH estima en el modelo la desviación estándar en vez de la varianza, esa se puede escribir como (Ding et al., 1993):

$$\sigma_t^\delta = \omega + \sum_{j=1}^q \beta_j \cdot \sigma_{t-j}^\delta + \sum_{i=1}^p \alpha_i \cdot (|\varepsilon_{t-i}| - \gamma \varepsilon_{t-1})^\delta$$

Con $\delta > 0, |\gamma_i| \leq 1 \forall i = 1, \dots, \tau, \gamma_i = 0 \forall i > \tau, \tau < p, \delta$ el parámetro potencia de la desviación estándar, e γ el parámetro que captura asimetría de orden τ .

Modelo Threshold GARCH:

El modelo asimétrico TGARCH de Zakoian (1994) puede ser escrito como:

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i \cdot \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \cdot \sigma_{t-j}^2 + \sum_{k=1}^r \gamma_k \cdot \varepsilon_{t-k}^2 \cdot d_{t-k}$$

Dónde $d_t = 1$ si $\varepsilon < 0$ y es cero si ocurre lo contrario, por otro lado $\varepsilon_{t-i} > 0$ y $\varepsilon_{t-i} < 0$ denotan buenas y malas noticias respectivamente.

5. RESULTADOS

Se testearon 80 modelos de heterocedasticidad condicional autorregresiva: ARCH, GARCH, CGARCH, TGARCH, EGARCH, PGARCH, su especificación econométrica se detalló en la sección 4. En la revisión de estudios anteriores se encontró que [Benz y Truck \(2009\)](#) analizaron el comportamiento del precio spot de los derechos de emisión con un modelo de Markov-switching, y un AR(1)-GARCH(1,1) para evaluar la heterocedasticidad de la serie en retornos. [Chevallier \(2009\)](#) analiza la volatilidad de los EUA con un modelo TGARCH (1,1). Para este estudio el modelo que presentó mejor ajuste fue el GARCH (1,3). Los resultados fueron robustos en cada madurez de los futuros de carbono (2018, 2019 y 2020) tanto en la ecuación de la media como en la ecuación de la varianza, es decir, la significancia y el signo de los coeficientes de las variables se mantuvieron para las tres regresiones.

La [tabla 6](#) muestra los resultados la ecuación de la media, donde se regresionaron los Futuros de Carbono como variable dependiente, respecto a las variables macroeconómicas y las variables propias del mercado de carbono como variables explicativas.

- La T-BILL y el Exceso de retorno son significativas al 5%, a diferencia de Chevallier 2009 en donde las variables no tuvieron significancia estadística. El exceso de retorno tiene una relación negativa con los Futuros de Carbono, signo esperado de acuerdo con la revisión de la literatura al ser una variable contracíclica, ratificando la clasificación de los Futuros de Carbono como activo commodity sin costo de almacenaje por su inexistencia física.
- El EURONEXT presenta una significancia estadística al 1%, en Chevallier 2009 fue la única variable macroeconómica que tuvo significancia estadística.
- Al igual que en el paper base, la prima de los *JUNKS BONDS* no constituye una variable relevante para la variación en los precios de los Futuros de Carbono.

Las variables energéticas (OIL, GAS y ELECTRICITY), consideradas en la literatura previa como drivers del mercado de carbono ([Mansanet-Bataller, 2007](#); [Alberola et al., 2008](#); [Oberndorfer,2009](#)), sugieren impacto en la variación del precio de los *EUA*; se observa una relación positiva lo que confirma que precios altos (bajos) de los combustibles y la electricidad contribuyen a incrementar (disminuir) los precios de los futuros de carbono. OIL y el GAS fueron significativas al 1%; ELECTRICITY es significativa al 10% aunque su coeficiente es muy pequeño, esto a diferencia del estudio de Chevallier (2009) donde la electricidad no tuvo significancia estadística.

A los futuros de carbono con vencimiento a 2018 como variable dependiente y manteniendo el GARCH(1,3) en el modelamiento de la varianza, se incorpora en la ecuación de la media tres perspectivas en diferentes regresiones: GARCH-M, ARIMA(1,1), Brexit.

Como se detalló en la sección anterior el GARCH-M incorpora la volatilidad en la ecuación de la media sea a través de la desviación estándar o de la varianza; el objetivo es la medición del riesgo y el rendimiento esperado de un activo riesgoso. Este método resuelve las limitaciones estructurales de los modelos financieros CAPM como el supuesto de la varianza condicional homocedástica. En la [tabla 6](#) el coeficiente de la volatilidad (-0,1119), es decir, el premio por riesgo, es significativo al 10% y tiene signo negativo, lo que sugiere que el precio de los futuros de carbono está negativamente correlacionado con su volatilidad. La constante o la media del modelo GARCH (0,0022) se vuelve significativa al 10% aunque su coeficiente es muy pequeño. Las demás variables explicativas mantienen la significancia y el signo, comprobando una vez más la robustez del modelo GARCH(1,3).

De los 385 modelos con estructura autorregresiva incorporada en la media, el ARIMA (1,1) presentó mejores criterios de información, los coeficientes son significativos al 1%, las demás variables explicativas mantienen la significancia y el signo, comprobando una vez más la robustez del modelo (Ver [tabla 6](#)). Podría

decirse entonces que la evolución de los futuros de carbono puede explicarse por su propio pasado ($-0,9733 \phi_1 \cdot EUA_{t-1}$) y una perturbación aleatoria ($0,9839 \theta_1 \cdot \varepsilon_{t-1}$).

Se evalúa también el impacto del Brexit en el precio de los futuros de carbono a través de una variable indicadora dummy, que va desde el 23/12/2015 6 meses antes de las votaciones del referéndum, hasta el 29/30/2017 fecha en la cual el Reino Unido anuncia oficialmente su salida de la Unión Europea. La dummy no resulta significativa aunque dado su signo tiene un impacto negativo en la evolución del precio de los futuros de carbono. Las demás variables explicativas mantienen la significancia y el signo, comprobando una vez más la robustez del modelo.

Tabla 6: Ecuación de la Media GARCH (1,3)

	EUA_2018	GARCH-M	ARIMA (1,1)	BREXIT	EUA_2019	EUA_2020
Constante	0,000175 (0,000442)	0,002145* (0,00123)	0,000161 (0,7083)	0,000352 (0,000454)	0,000128 (0,000433)	0,0000743 (0,000421)
EURONEXT	0,204086*** (0,0488)	0,204536*** (0,047558)	0,203482*** (0,048547)	0,202706*** (0,0483)	0,198211*** (0,048057)	0,185033*** (0,045701)
EXC RETURN	-0,190977** (0,087739)	-0,197439** (0,083861)	-0,172225** (0,0457)	-0,189272** (0,087305)	-0,188307** (0,08314)	-0,174516** (0,078543)
JUNK BONDS	0,018739 (0,02777)	0,017321 (0,027418)	0,017163 (0,5529)	0,016705 (0,02768)	0,019585 (0,026883)	0,017207 (0,025608)
T_BILL	0,007218** (0,003003)	0,007245** (0,002934)	0,007204** (0,0198)	0,007217** (0,00294)	0,007182** (0,002974)	0,007128** (0,002865)
ELEC	0,037627* (0,019594)	0,035996* (0,019425)	0,038592* (0,0545)	0,037879* (0,019556)	0,035576* (0,019611)	0,032957* (0,019025)
GAS	0,112627*** (0,029824)	0,114178*** (0,029242)	0,108704*** (0,0002)	0,11218*** (0,02979)	0,110142*** (0,029962)	0,10843*** (0,028826)
OIL	0,157245*** (0,044631)	0,161646*** (0,043917)	0,147106*** (0,001)	0,157112*** (0,044489)	0,154667*** (0,042553)	0,149599*** (0,040883)
GARCH-M		-0,111924* (0,064679)				
AR(1)			-0,973258*** (0)			
MA(1)			0,983903*** (0)			
DUMMY				-0,002772 (0,002014)		

*** significativo al 1%, ** significativo al 5% y * significativo al 10%

La [tabla 7](#) muestra los resultados econométricos de la ecuación de la varianza. Como se mencionó, el modelo que presentó mejor ajuste fue el GARCH (1,3), es decir, la varianza condicional depende de una perturbación al cuadrado, y de tres rezagos de la misma varianza; todos los coeficientes fueron significativos al 1%. Los criterios de información Akaike y Schwarz, son criterios de selección y valoración de ajuste del modelo y dada su fórmula matemática los valores más favorables son los valores menores; para este estudio, se seleccionó el modelo con menor criterio de Schwarz y que a su vez cumpliera con la significancia estadística de los coeficientes de la regresión en la varianza (ver [tabla 7](#)).

Para verificar la modelización de la heterocedasticidad ARCH se revisan:

Los correlogramas de los residuos y los residuos al cuadrado, se estiman con 20 rezagos (Ver anexos), sugieren ausencia de correlación serial, el AC y PAC son cercanos a cero y los estadísticos *Q-Statistic* y *Q-Statistic*² son no significativos (ver [tabla 7](#)).

Durbin-Watson es cercano a 2, para todas las regresiones lo que significa ausencia de correlación serial (ver [tabla 7](#)).

El ARCH LM es un test de heterocedasticidad de los residuos, evalúa presencia de correlación serial, es decir, si en t_0 el valor de los residuos se relacionan con sus rezagos:

- *Hipótesis nula: No existe correlación serial de orden p .*
- *Hipótesis alternativa: Existe correlación serial de orden p .*

El ARCH LM como regresión tiene dos estadísticos a tener en cuenta: el F-Statistic y el Obs*R2, para el análisis se elige este último. Entre menor sea el rezago tomado en la regresión más exigente será el estadístico; se elige un ARCH LM de orden 1, para las tres regresiones de los futuros de carbono (2018, 2019 y 20120) y para las distintas especificaciones de la ecuación de la media (GARCH-M, ARIMA(1,1), BREXIT), se acepta la hipótesis nula, es decir, no existe correlación serial de orden 1; siendo menor la distribución de probabilidad del coeficiente de la regresión de los

rezagos que la distribución de probabilidad del estadístico $Obs \cdot R^2$, cae en la zona de No rechazo de la hipótesis nula, comprobando así la aleatoriedad de los residuos (Ver tabla 7 y anexo):

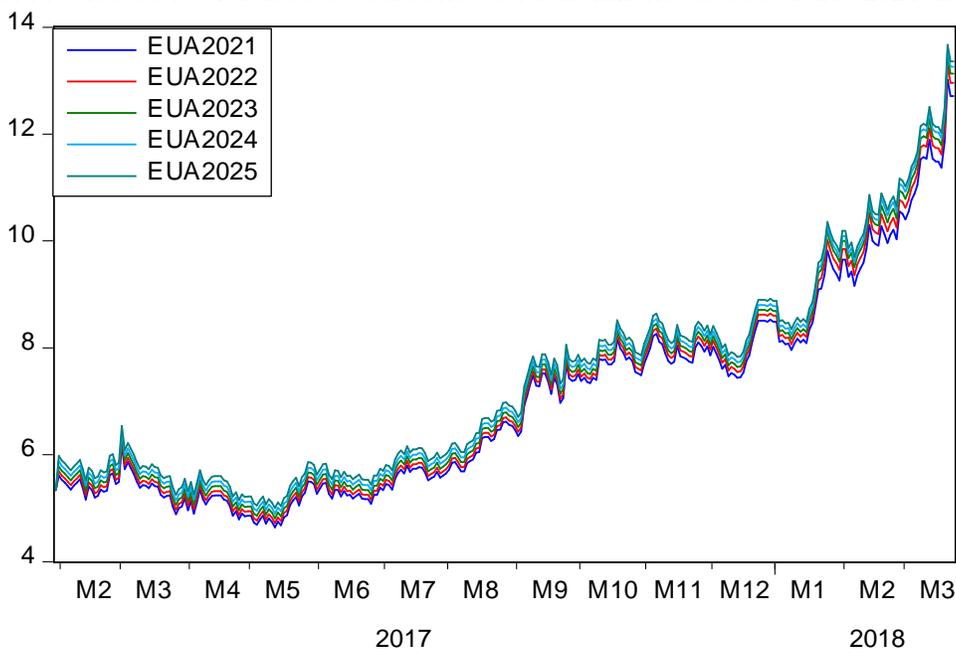
Tabla 7: Ecuación de la Varianza GARCH (1,3)

	DIC_2018	GARCH-M	ARIMA (1,1)	BREXIT	DIC_2019	DIC_2020
Constante	0,00000522* (0,00000306)	0,00000539* (0,00000302)	0,00000591* (0,00000031)	0,00000509* (0,0000003)	0,00000494* (0,00000283)	0,00000447* (0,00000254)
RESID(-1)^2	0,102427*** (0,024726)	0,105446*** (0,024746)	0,108384*** (0,025833)	0,101723*** (0,024523)	0,099622*** (0,022429)	0,096145*** (0,021828)
GARCH(-1)	1,604369*** (0,074089)	1,598468*** (0,062277)	1,589608*** (0,075447)	1,604831*** (0,072812)	1,620232*** (0,076764)	1,635857*** (0,088638)
GARCH(-2)	-1,380971*** (0,223527)	-1,385931*** (0,149476)	-1,34664*** (0,248434)	-1,387671*** (0,214216)	-1,365484*** (0,253854)	-1,374585*** (0,204042)
GARCH(-3)	0,677719*** (0,186006)	0,68548*** (0,122828)	0,652173*** (0,002124)	0,645752*** (0,195949)	0,648922*** (0,235758)	0,645752*** (0,195949)
Q(20)	20,53	19,9250	19,5210	20,3210	20,2580	19,2460
Q²(20)	12,802	12,8460	13,1230	13,0680	13,3330	10,3620
ARCH LM (1)	0,5206	0,6169	0,6086	0,4997	0,4353	0,4190
Log likelihood	4464,999	4467,7170	4463,7880	4466,2650	4516,7610	4568,7800
Durbin-Watson	1,961029	1,9611	1,9755	1,9622	1,9624	1,9637
Akaike info criterion	-4,635085	-4,6369	-4,5907	-4,5948	-4,6890	-4,7431
Schwarz criterion	-4,597455	-4,5963	-4,6182	-4,6205	-4,6513	-4,7055
*** significativo al 1%, ** significativo al 5% y * significativo al 10%						

¿Y QUE VIENE PARA LA FASE IV DE COMERCIALIZACIÓN DE EMISIONES?

Los Futuros de carbono Fase IV⁶ de comercialización de emisiones con madurez a 2021, 2022, 2023, 2024 y 2025 están siendo comercializados desde enero 2017. En el [gráfico 8](#) se puede observar un aumento en los precios de los EUA asociado posiblemente a una reducción de la oferta por parte de los entes regulatorios en la Unión Europea en sus esfuerzos por cumplir el Acuerdo de Paris. Con esta regulación la oferta de Futuros de Carbono podría caer un 44% para el 2019 por lo que las empresas eléctricas están optando por la generación a base de Gas Natural, y desconectando plantas de carbón que emiten mayor cantidad de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Durante el 2018 el aumento en el precio de los Futuros de Carbono puede estar asociado también al aumento del precio del petróleo por recortes en la producción de los países de la OPEP, y por la guerra en medio oriente.

Gráfico 8: Precios de los Futuros de Carbono con vencimiento desde el año 2021 al 2025.



Fuente: Elaboración propia.

⁶ El EU Emissions Trading System - EU ETS presenta la Fase IV como el primer paso para alcanzar el objetivo de reducir para 2030 al menos el 40% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero dentro de la Unión Europea, de conformidad con el marco estratégico de políticas sobre clima y energía para 2030, y como contribución al Acuerdo de París.

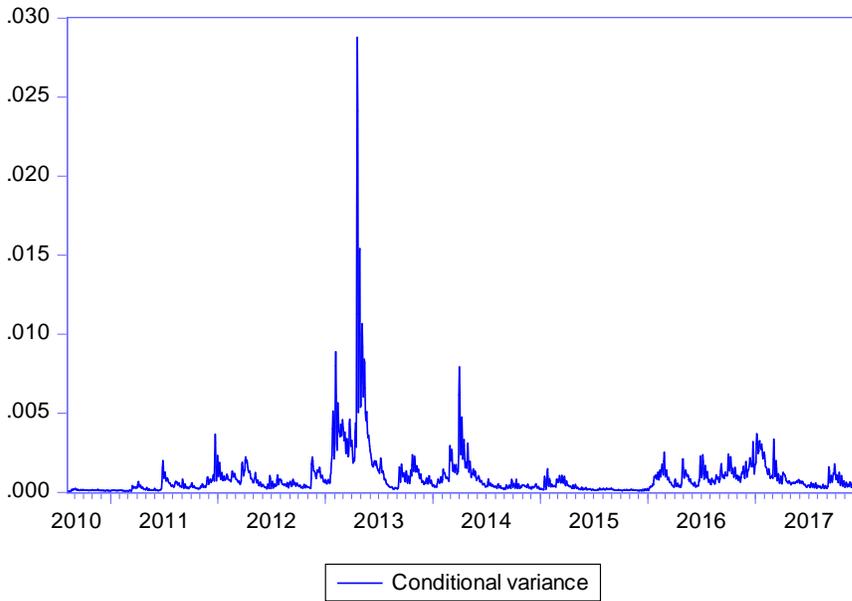
6. CONCLUSIONES

En este trabajo se investigó la relación econométrica entre el precio de los Futuros del carbono y los riesgos macroeconómicos, incluyendo también los drivers específicos del mercado de carbono como lo son la energía, el petróleo y el gas, esto para la *Fase III* de comercialización de emisiones de la Unión Europea. Regresionando con distintas especificaciones de los modelos ARCH y GARCH se encontró que el modelo GARCH(1,3) es el de mejor ajuste, presentando consistencia y robustez para los futuros con madurez a diciembre 2018, diciembre 2019 y diciembre 2020. A diferencia de Chevallier (2009), las variables que miden el riesgo Macroeconómico: T-BILL y Exceso de Retorno son significativas y tienen el signo esperado de acuerdo con la revisión de literatura. Se incorporó también en la ecuación de la media una estructura autorregresiva ARIMA(1,1), encontrando que los rezagos y los rezagos de los errores tienen impacto en el precio de los futuros de carbono.

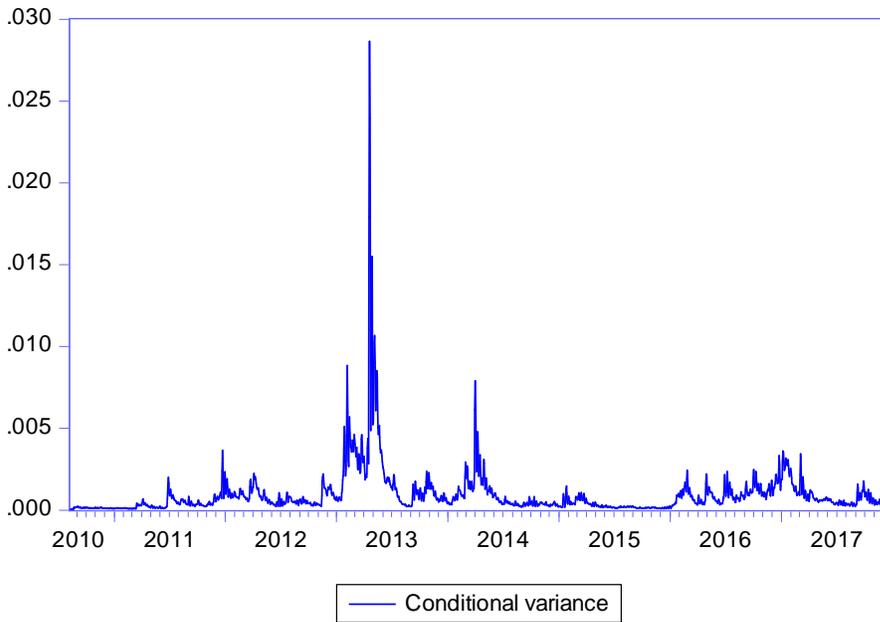
Se evaluó también el premio por riesgo de los futuros de carbono a través de un GARCH en media encontrando una relación negativa, a mayor volatilidad el retorno sobre futuros de carbono disminuye. El Brexit no tuvo impacto significativo en los *EUA*, aunque la variable dummy tuvo signo negativo que podría explicar que en periodo Brexit hubo menor precio en los futuros de carbono.

A diferencia de la Fase II (Chevallier, 2009), La Fase III de comercialización de emisiones se caracteriza por el alineamiento con los factores de riesgo macroeconómico, poca relevancia en la gestión de carteras con propósitos de diversificación respecto a los demás commodities. Se encuentra evidencia de la transmisión de los shocks macroeconómicos al mercado del carbono a través de los efectos directos e indirectos de la volatilidad entre lo macro y lo energético, los resultados fueron robustos para para las seis regresiones.

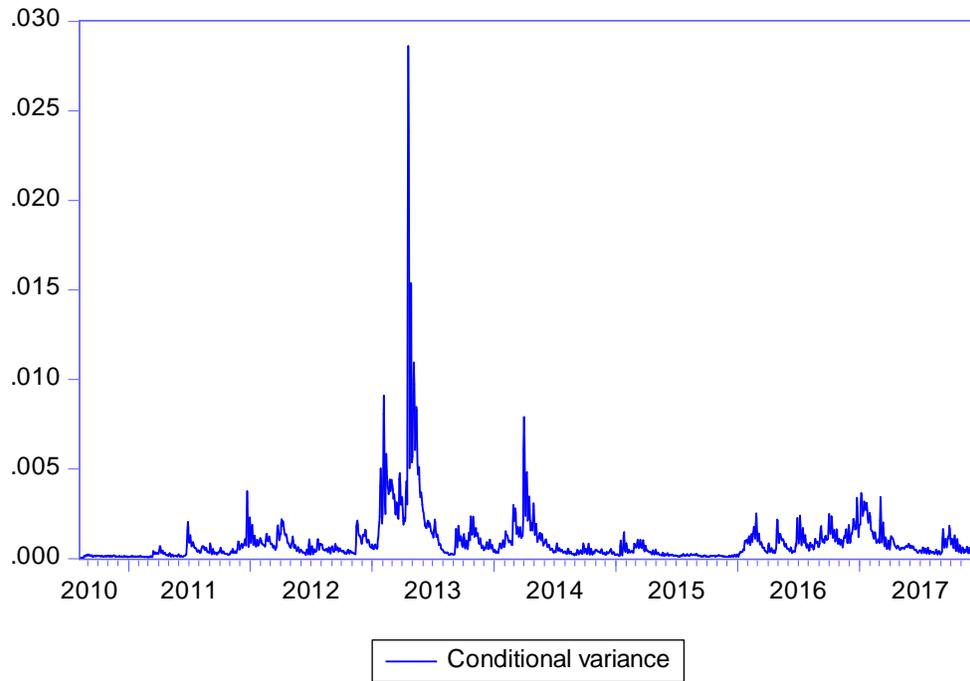
Varianza Condicional modelo EUA 2018



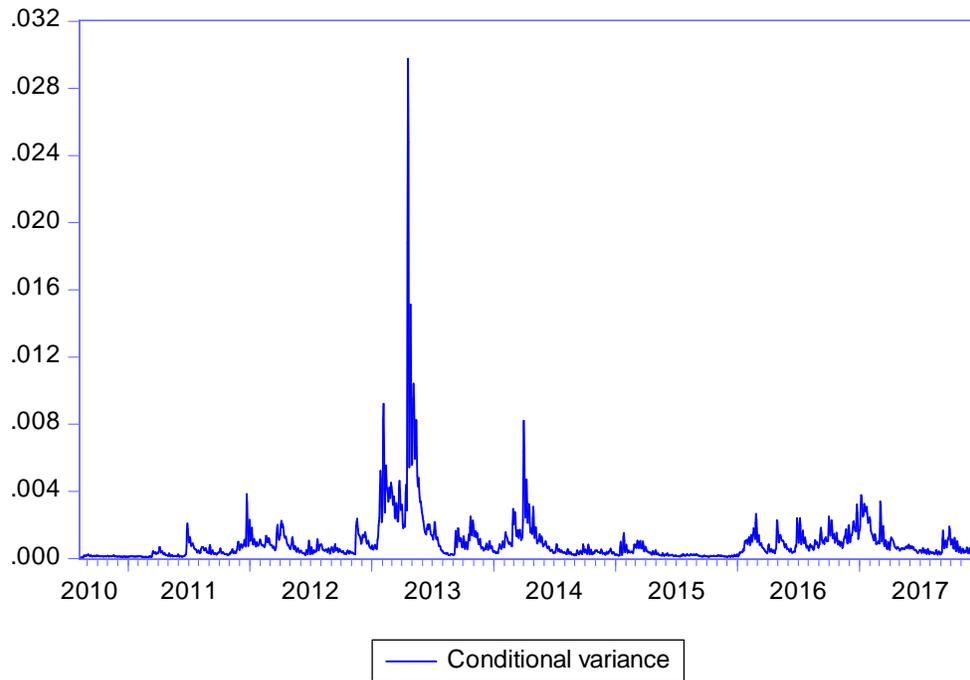
Varianza Condicional modelo Dummy:



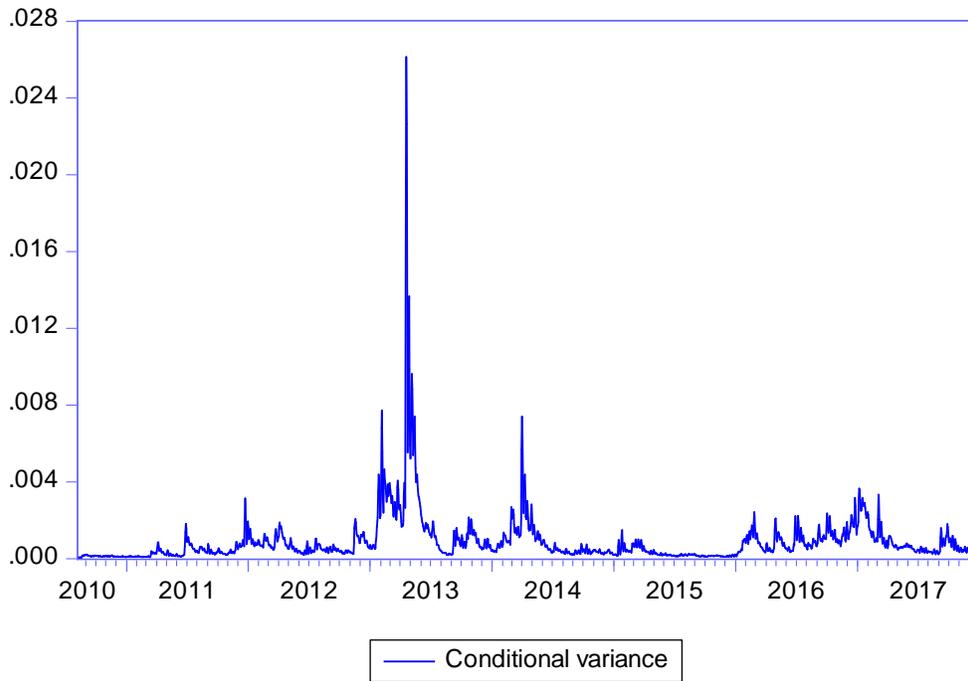
Varianza Condicional modelo Garch-m



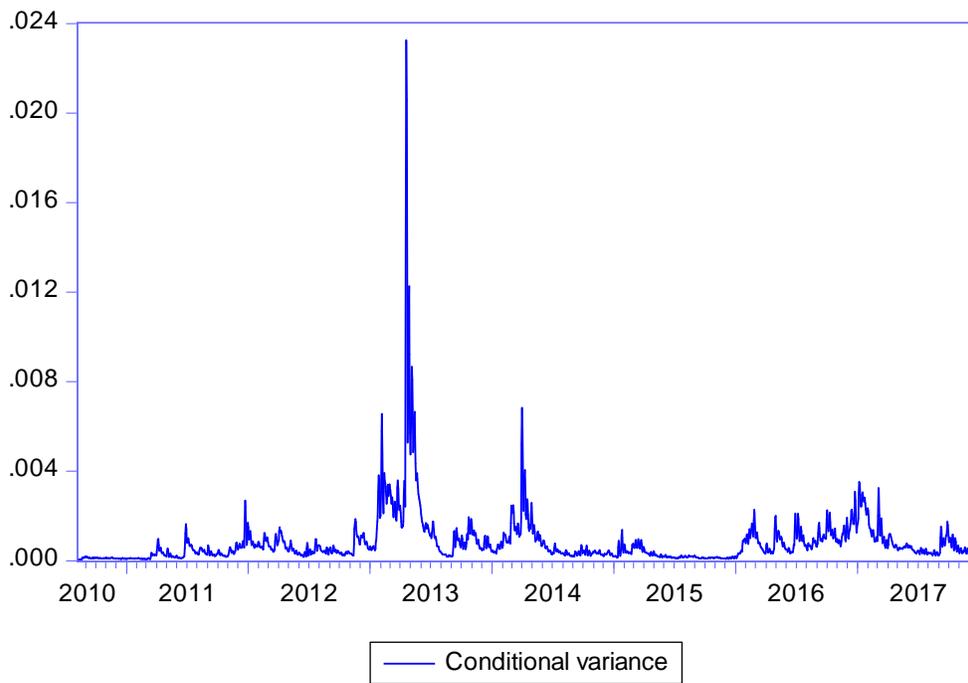
Varianza Condicional modelo Arima



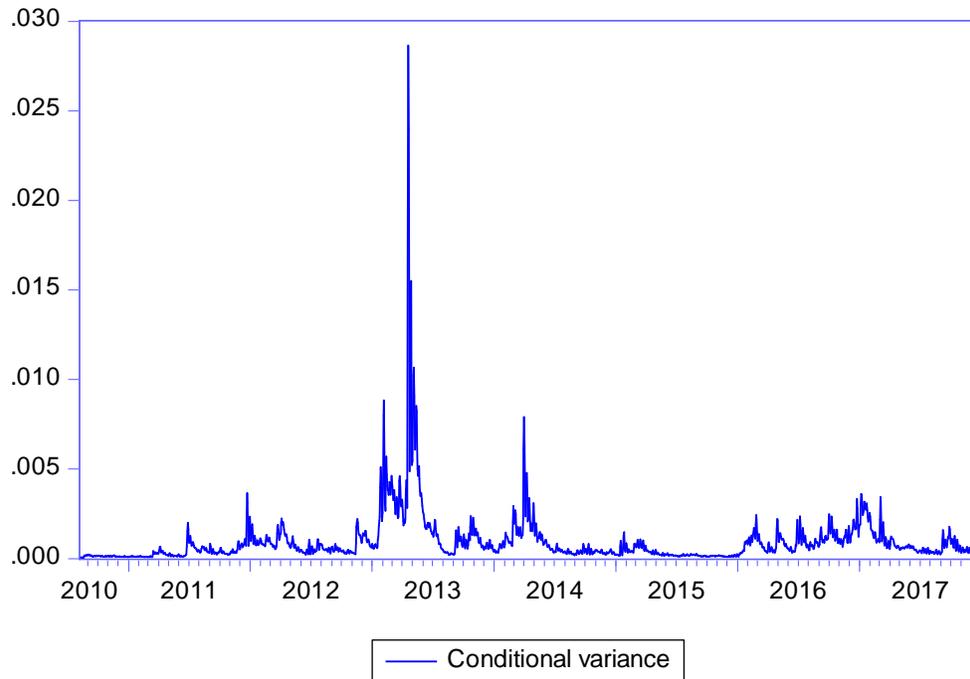
Varianza Condicional modelo EUA 2019



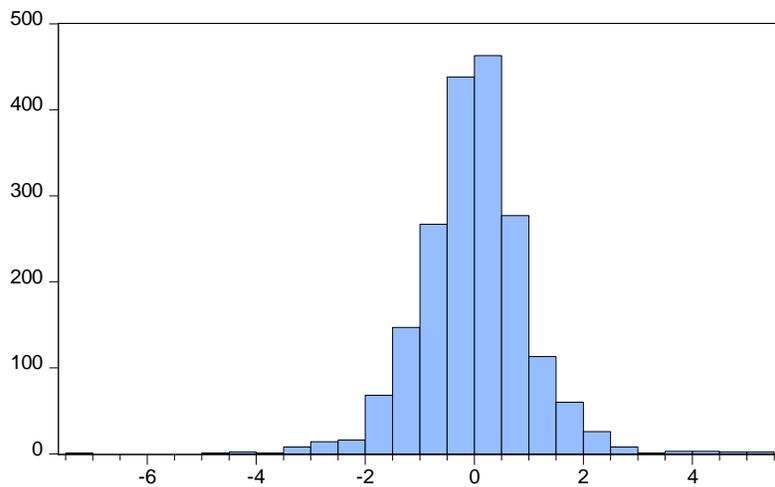
Varianza Condicional modelo EUA 2020



Varianza Condicional modelo Brexit



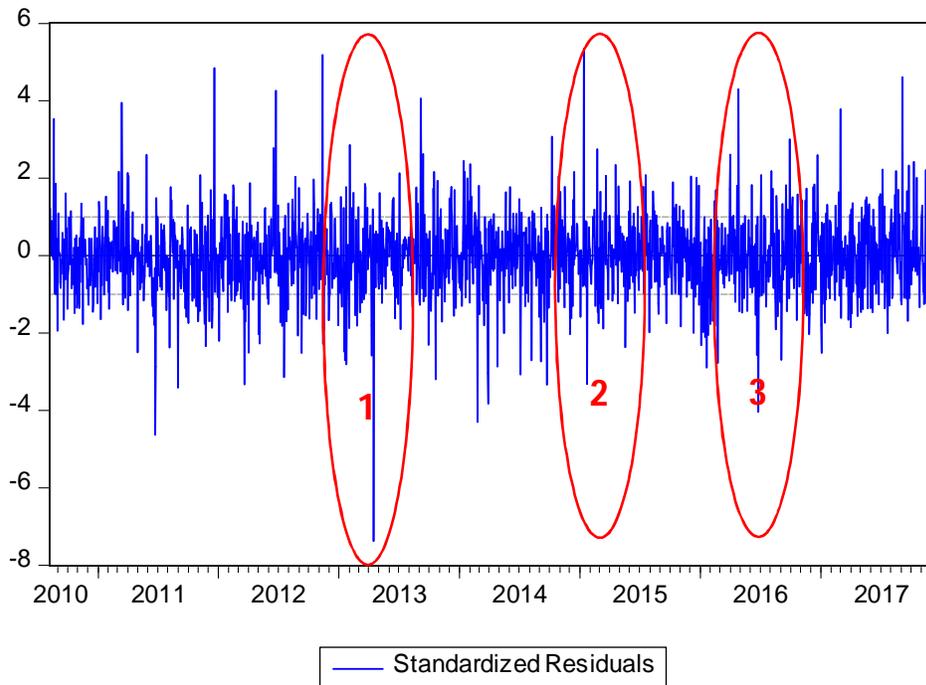
Residuos estandarizados



Series: Standardized Residuals
 Sample 8/09/2010 12/18/2017
 Observations 1921

Mean	-0.024638
Median	-0.002967
Maximum	5.346023
Minimum	-7.375117
Std. Dev.	1.000205
Skewness	-0.027661
Kurtosis	7.002050

Jarque-Bera	1282.225
Probability	0.000000



1. Desequilibrio entre oferta y demanda inicio de la Fase III de comercialización de emisiones.
2. En el 2015 se presentó una propuesta legislativa para reformar la Fase IV de comercialización de emisiones (2021-2030).
3. Brexit – junio 2016.

Dummy

Multiple breakpoint tests

Bai-Perron tests of L+1 vs. L sequentially determined breaks

Included observations: 1921

Breaking variables: C RELEC REXC_RETURN RGAS RJUNK
ROIL REURONEXT RT_BILL

Break test options: Trimming 0.15, Max. breaks 5, Sig. level
0.05

Sequential F-statistic determined breaks: 1

Break Test	F-statistic	Scaled F-statistic	Critical Value**
0 vs. 1 *	3.040975	24.32780	23.70
1 vs. 2	2.871142	22.96914	25.75

* Significant at the 0.05 level.

** Bai-Perron (Econometric Journal, 2003) critical values.

Break dates:

	Sequential	Repartition
1	12/31/2015	12/31/2015

REGRESIÓN DEL ARCH LM

Heteroskedasticity Test: ARCH

F-statistic	0.412337	Prob. F(1,1918)	0.5209
Obs*R-squared	0.412678	Prob. Chi-Square(1)	0.5206

Test Equation:

Dependent Variable: WGT_RESID^2

Method: Least Squares

Date: 05/24/18 Time: 18:31

Sample (adjusted): 8/10/2010 12/18/2017

Included observations: 1920 after adjustments

White-Hinkley (HC1) heteroskedasticity consistent standard errors and covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.985589	0.062675	15.72534	0.0000
WGT_RESID^2(-1)	0.014664	0.021835	0.671567	0.5019

R-squared	0.000215	Mean dependent var	1.000243
Adjusted R-squared	-0.000306	S.D. dependent var	2.451938
S.E. of regression	2.452314	Akaike info criterion	4.632982
Sum squared resid	11534.55	Schwarz criterion	4.638774
Log likelihood	-4445.663	Hannan-Quinn criter.	4.635113
F-statistic	0.412337	Durbin-Watson stat	1.999173

REFERENCIAS

- Alberola, E., and Chevallier, J., (2009). European carbon prices and banking restrictions: evidence from phase I (2005–2007). *The Energy Journal* 30 (3), 107–136.
- Alberola, E., Chevallier, and J., Chèze, B., (2008). Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005–2007. *Energy Policy* 36 (2), 787–797.
- Hilbert Spectra and Empirical Mode Decomposition: A Multiscale Event Analysis Method to Detect the Impact of Economic Crises on the European Carbon Market
- B Zhu, S Ma, R Xie, J Chevallier, YM Wei, (2018). Hilbert Spectra and Empirical Mode Decomposition: A Multiscale Event Analysis Method to Detect the Impact of Economic Crises on the European Carbon Market. *Computational Economics*, Springer. <https://doi.org/10.1007/s10614-017-9664-x>
- Benza, Trücb, (2009). Modeling the price dynamics of CO2 emission allowances. *Energy Economics* 31, 4-15.
- Chevallier, J., (2009). Carbon futures and macroeconomic risk factors: a view from the EU ETS. *Energy Economics* 31, 614–625.
- Chevallier, J., (2012). *Econometric Analysis of Carbon Markets*. Springer Netherlands. e-ISBN 978-94-007-2412-9.
- Comisión Europea, al Parlamento Europeo. (2017). Informe sobre el funcionamiento del mercado europeo del carbono. Bruselas.
- Dales, J. (1968). *Pollution, Property and Prices*. University of Toronto Press, Toronto.
- Daskalakis, G., Psychoyios, D., and Markellos, R.N., (2009). Modeling CO2 emission allowance prices and derivatives: evidence from the European trading scheme. *Journal of Banking and Finance* 33, 1230–1241.
- ENGLE, LILIEN and ROBINS (1987). Estimating Time Varying Risk Premia In The Term Structure: The ARCH-M Model. *Econometrica*, vol 55, Issue 2 p 391-407.
- Germà Bel, and Stephan Joseph, (2015). Emission abatement: Untangling the impacts of the EU ETS and the economic crisis. *Energy Economics* 49, 531-539.
- Graedel, T.E. & Crutzen, P.J. (1993) *Atmospheric change. An Earth System perspective*. Freeman, N. York.

Lo Pretea, Catherine S. Normana, (2013). Rockets and feathers in power futures markets? Evidence from the second phase of the EU ETS. *Energy Economics* 36, 312-321.

Mansanet-Bataller, M., Pardo, A., Valor, E., (2007). CO2 prices, energy and weather. *The Energy Journal* 28 (3), 67–86.

Montgomery, W. (1972). Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs. *Journal of Economic Theory*, 5(3), 395–418.

Oberndorfer, U., (2009). EU emission allowances and the stock market: evidence from the electricity industry. *Ecological Economics* 68 (4), 1116–1126.

Sadorsky, P., (2002). Time-varying risk premiums in petroleum futures prices. *Energy Economics* 24 (6), 539–556.

Sadorsky, P., (2006). Modeling and forecasting petroleum futures volatility. *Energy Economics* 28 (4), 467–488.

World Bank (2010). State and Trends of the Carbon Market 2010 Recuperado de:http://siteresources.worldbank.org/INTCARBONFINANCE/Resources/State_and_Trends_of_the_Carbon_Market_2010_low_res.pdf .

Zhu, B., and Chevallier J.,(2017). Pricing and Forecasting Carbon Markets. Springer Netherlands. ISBN 978-3-319-57618-3.