

**TRABAJO DE GRADO**

**ANALISIS DE LOS DETERMINANTES DEL PRECIO DEL DIESEL ULTRA  
BAJO AZUFRE COMERCIALIZADO EN LA COSTA DEL GOLFO DE LOS  
ESTADOS UNIDOS**

**Adriana Paola Guevara Trujillo**

*apguevarat@eafit.edu.co*

**Asesores:**

**Jhon Jairo García**

**Gustavo A. García**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**MAESTRIA EN ECONOMÍA APLICADA**

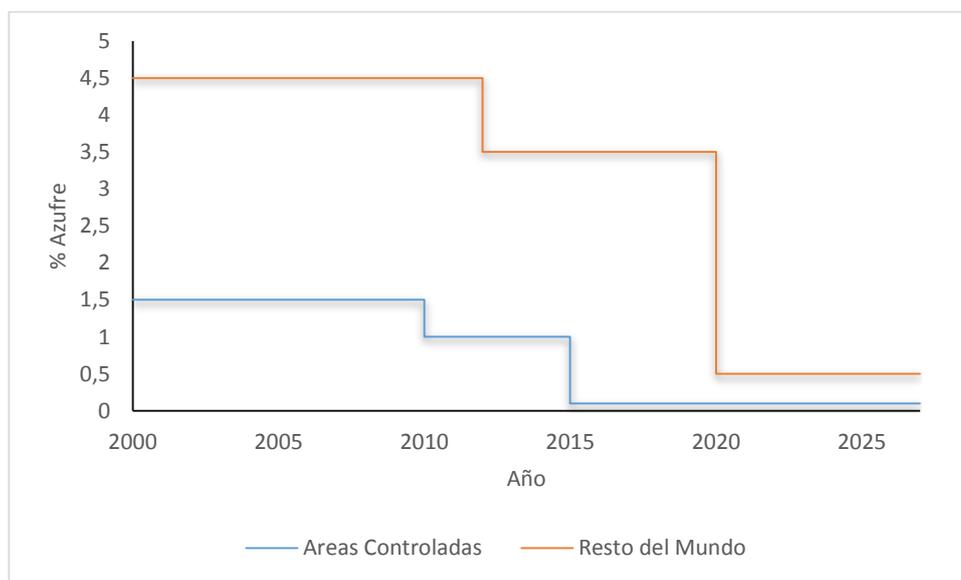
**ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS**

**ENERO DE 2019**

## 1. INTRODUCCION

La Organización Mundial de la Salud determinó que el principal riesgo ambiental para la salud es la contaminación atmosférica, principalmente asociada al material particulado que resulta de la quema de combustibles fósiles (World Health Organization, 2016). Dado lo anterior, los estados desarrollan políticas públicas que permitan disminuir o eliminar los riesgos que afecten la salud de las comunidades y como ejemplo de ello la Organización Marítima Internacional inició el control de contaminantes como azufre y dióxido de nitrógeno en las emisiones de buque tanques que operan en aguas abiertas, también llamada Política de Contaminación Marina o “MARPOL”. En el gráfico 1 se observa como en términos de la regulación los combustibles marinos han disminuido su contenido de contaminantes en áreas controladas y su principal cambio se presentará en áreas no controladas donde las emisiones pasarán de un 4,5% de porcentaje de azufre a máximo un 0,5% en el año 2020 (U.S. Energy Information Administration, 2015).

Gráfica 1. MARPOL regulación de contenido de azufre en combustibles marinos (2000-2027)



Fuente: U.S. Energy Information Administration (2015)

Dado que el combustible marino o combustóleo es un producto residual de los procesos de refinación y pocas refinerías son capaces de retirar toda la cantidad de azufre requerido, se estima que el diesel de ultra bajo azufre será utilizado como componente en la mezcla para garantizar el cumplimiento de la nueva regulación. Lo anterior, implica un cambio en la estructura de mercado del diesel de ultra bajo azufre que en la actualidad es

utilizado en la industria especialmente como combustible para medios de transporte, generación eléctrica, perforación de pozos y calefacción, entre otros, impactando así el sector industrial y precios al consumidor final en los distintos países. Por tanto, el presente estudio tiene como objetivo analizar cuáles son los principales determinantes que influyen en el comportamiento del precio del diesel de ultra bajo azufre de tal manera que se constituya en una guía para realizar la planeación macroeconómica de los países.

Existen estudios donde se investigan los determinantes del precio de la gasolina por ser un producto con alta demanda en los Estados Unidos pero no existen muchos estudios relacionados con la formación del precio del diesel. Este trabajo, por tanto, busca centrar su objeto de estudio sobre el análisis de las variables que afectan el comportamiento del precio del diesel ultra bajo azufre comercializado en la Costa del Golfo de los Estados Unidos en el periodo comprendido entre enero del año 2008 y septiembre del año 2018.

Esta investigación se desarrolla utilizando un modelo de mínimos cuadrados en tres etapas y un sistema de ecuaciones simultáneas para estimar el precio del diesel de ultra bajo azufre. Los principales resultados muestran que el precio del diesel de ultra bajo azufre está fuertemente relacionado con el precio del petróleo Brent por ser el principal insumo de la cadena de valor, es decir, si el precio del Brent aumenta en un 1% el precio del diesel de ultra bajo azufre se incrementa en el 0,91%. Por su parte, se presenta una relación inversa con el nivel de inventarios, es decir, que el incremento de un 1% del inventario conlleva a que el precio del diesel disminuya en 0,23%. Otra variable que también es determinante del precio del diesel de ultra bajo azufre es la tasa de cambio, por un incremento de un 1% en el periodo anterior de la tasa de cambio el precio del diesel de ultra bajo azufre disminuirá en un 0,12% dado que los flujos de intercambio son sensibles al tipo de cambio.

Este trabajo de investigación está organizado de la siguiente manera: después de esta introducción, en la sección dos se realiza la revisión de literatura. En la sección tres y cuatro se describen las principales variables utilizadas en el modelo y la metodología utilizada en la investigación. Por último, se analizan los resultados y se presentan las conclusiones del trabajo de investigación.

## 2. REVISION DE LITERATURA

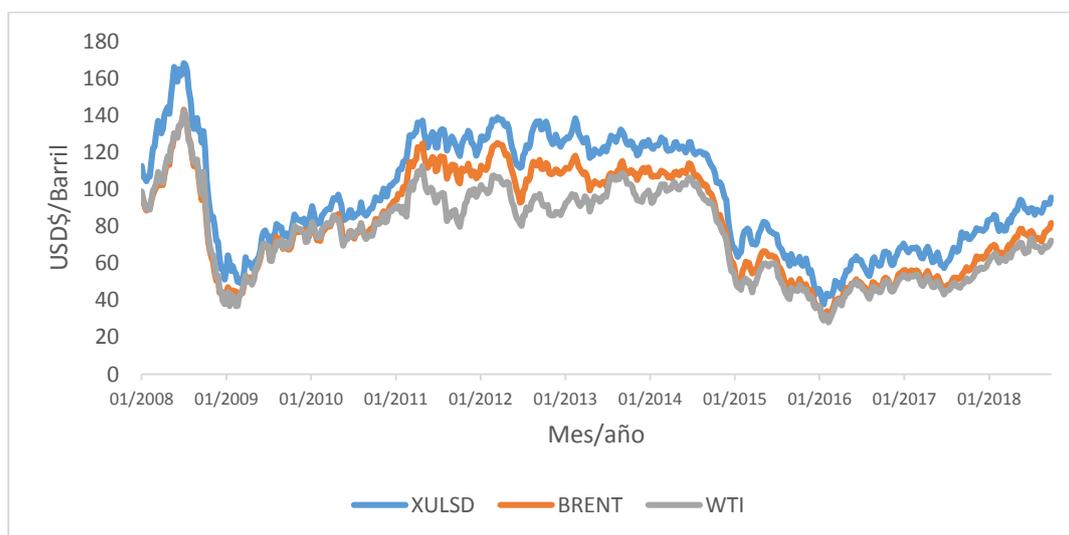
Existen muchos estudios que analizan los determinantes del precio de los combustibles líquidos por su actual nivel de volatilidad y su alto impacto en las economías de los países. La mayoría de los estudios coinciden en que existe una alta correlación entre el precio de los productos refinados y el precio del petróleo crudo, puesto que éste último es la principal materia requerida para su producción indicando que ante un incremento en el precio del petróleo debe ocurrir un incremento en el precio de los productos refinados.

En el estudio realizado por Li Liu (2014) se analizó la correlación cruzada entre el precio del petróleo y de los productos refinados a partir de una prueba estadística propuesta por Podobnik. El autor encuentra que las correlaciones cruzadas son significativas al 95% de nivel de confianza, especialmente para escalas de tiempo más grandes, confirmando que existe una correlación directa entre el precio del crudo y los productos refinados. Lo anterior conlleva a que la dinámica del precio histórico del crudo puede ayudar a predecir el precio futuro de los productos refinados. Por su parte, Atil, Lahiani y Nguyen (2014) encontraron que existe una fuerte simetría entre el precio del crudo y la gasolina (producto refinado) en el largo plazo mientras que la hipótesis en el corto plazo fue rechazada. Así como en el caso del diesel, se explica la correlación existente entre el precio de la gasolina y el petróleo en el largo plazo dado que cerca del 60% del costo de la gasolina está explicado por el precio del petróleo. Entre otros resultados los autores encontraron que en el corto plazo existen otros factores que afectan el comportamiento del precio de la gasolina como son las presiones gubernamentales que, con el fin de mantener el precio del combustible estable, interfiere aumentando discrecionalmente el gasto público. El Departamento de Información de Energía de los Estados Unidos (2017) estimó que en el año 2017 el precio del crudo representó cerca del 56% de los costos totales de producción del diesel, lo que ratifica que éste es el costo más representativo en el proceso productivo de los combustibles líquidos refinados.

La Organización de Países Exportadores de Petróleo (2007) encontró que existe un fuerte impacto del precio del crudo sobre la formación del precio de los productos refinados y que es posible relacionarlos a marcadores de precio internacionales como son el crudo Brent o WTI. Sin embargo, considera la importancia de verificar la calidad de los crudos que correlacionan con cada uno de los productos, es decir, que para productos

de alta calidad como lo son las gasolinas, diesel y jet se deben utilizar crudos livianos como pueden ser el Brent y WTI; mientras que para productos de menor calidad como combustibles de alto azufre se debe correlacionar con crudos más pesados. En el estudio además se encontró que existe una fuerte correlación entre el precio del crudo y el precio de los productos refinados en los países de la antigua Unión Europea EU-15, es decir, que estos mercados europeos se encuentran integrados con los mercados de energía global y se consideran parte de la infraestructura internacional de poliductos, buquetanques, puertos, entre otros. En esta relación entre el precio del crudo y el precio de productos refinados, en la gráfica 2 se presenta el comportamiento del precio del ULSD, Brent y WTI en el periodo 2010-2018, donde se puede observar que la serie histórica del precio del diesel presenta una tendencia similar al precio del petróleo Brent.

Gráfica 2. Precio del ULSD vs. Petróleo Brent y WTI (\$USD/BL)



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en estudios realizados por la Agencia Internacional de Energía de los Estados Unidos (2017), existen otros aspectos que se relacionan como determinantes del precio del diesel distribuido en Estados Unidos, los cuales se detallan a continuación:

- a- Demanda internacional del diesel: Europa representa casi una cuarta parte de la demanda de diesel mundial y su principal uso es calefacción, China que representa una alta porción del mercado utiliza el diesel como combustible para transporte y en otros lugares del mundo el diesel es utilizado como fuente alterna de generación eléctrica. En el primer semestre del año 2018, Estados Unidos exportó alrededor de 1,3 millones de barriles por día de destilados medios (diesel y jet) especialmente a

mercados de Centro y Sur América. Las exportaciones de destilados medios desde Estados Unidos se realizan principalmente con destino a México, Europa, Brasil, Chile y Perú, entre otros (U.S. Energy Information Administration , 2018).

- b- Balance de oferta y demanda: el precio de los combustibles utilizados en la industria de transporte en Estados Unidos por lo general son más volátiles que otros commodities, dado que si hay un recorte inesperado en la producción o en los flujos de importación de combustibles, se presenta una reducción de inventarios y rápidamente los mayoristas ofrecen un mayor precio. De otra parte, los combustibles son transportados por poliductos y si no existe suficiente capacidad para transportar el producto de un área a otra se presentan fluctuaciones en el precio de los mismos.
- c- Estacionalidad de la demanda: En época de otoño e invierno el incremento de demanda del diesel para calefacción afectando los precios, se considera que típicamente la demanda del diesel se incrementa entre los meses de octubre a marzo por este concepto, se estima que el consumo para hogares del Noreste está entre 850 y 1200 galones en un invierno típico mientras que en el resto del año el consumo es mínimo (U.S. Energy Information Administration, 2018). Por otra parte, la industria agrícola también afecta la estacionalidad del precio del diesel ya que en época de cosechas se incrementa su demanda como combustible de maquinaria pesada, es decir, que la demanda del diesel tiene un componente estacional y refleja de cierta manera la fortaleza de la economía.
- d- Costos de transporte: los costos de transporte y distribución se incrementan en la medida en que la distancia entre el centro de refinación y el punto de distribución sea mayor, por eso las áreas lejanas a la Costa del Golfo, tienen precios de venta del diesel al consumidor a un nivel superior que el diesel que se comercializa en la Costa del Golfo.
- e- Costos operacionales regionales y competencia local: los precios de venta del diesel también reflejan las condiciones del mercado local, por ejemplo: algunos refinadores son propietarios de centros de distribución mientras que otros deben comprar el diesel para luego realizar su distribución.

Tal como lo menciona la Agencia Internacional de Energía de Estados Unidos y autores como Li Liu (2014), Pindyck (2001) y Thaís C. Azevedo (2015), coinciden que

los precios del sector energético son afectados por los choques de oferta y demanda. El efecto de la demanda puede ser en parte predecible, por ejemplo, dependerá de la estacionalidad, nivel de ingreso de la población, el nivel de precio spot y para el caso de la gasolina dependerá del número de carros, entre otros. Sin embargo, existen variables impredecibles que pueden generar choques en la demanda como son las fluctuaciones en el clima (huracanes, terremotos, fuerte invierno, etc). Ahora bien, lo mismo sucede con la oferta que en el mercado físico dependerá del precio de venta spot del producto, costos de producción como energía y costo de materia prima (petróleo) e inversiones de capital en infraestructura como son nuevas facilidades para poliductos, refinerías, plataformas, taladros para perforación de pozos, entre otros, pero podrían presentarse choques en la oferta como huelgas, paradas no programadas de refinerías y cambios imprevistos en los rendimientos de las mismas (Pindyck, 2001). En estudios realizados por Li Liu (2014) y Thaís C. Azevedo (2015), se presentan casos relacionados con fluctuaciones en la oferta y la demanda. Este es el caso que se presentó a comienzos del año 1999, donde los precios alcanzaron el nivel más bajo debido a un choque negativo de la demanda ocasionado por la crisis financiera Asiática. Otro caso fue la creciente demanda de economías emergentes que presionó al alza los precios del sector energético en el periodo 2003-2008. La depresión económica global debido a la crisis financiera en el año 2008, la crisis de la deuda Europea en el año 2010 y el terremoto de Japón en el año 2011 se consideran que han sido responsables de la volatilidad en los precios del sector energético en los últimos años.

Por su parte, la Agencia Internacional de Energía de Estados Unidos afirma que antes del año 2004 el precio de la gasolina solía estar por encima del precio del diesel y solo en algunas épocas de invierno, cuando la demanda del diesel para calefacción se incrementaba, el precio del diesel lograba superar el precio de la gasolina. A partir del mes de septiembre de 2004 la tendencia es que el precio del diesel supere el precio de la gasolina por su mayor demanda en economías como China, Europa, India y Estados Unidos. Adicionalmente, en Estados Unidos las exenciones de impuestos para el diesel son 6 centavos por galón superior que la exención sobre la gasolina haciendo este combustible más atractivo para su uso como medio de transporte en autopistas (U.S. Energy Information Administration, 2018).

A partir del año 2006, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos inició gradualmente a imponer medidas tendientes a mejorar la calidad del aire logrando

que en la actualidad casi todo el diesel comercializado sea de menos de 15 ppm de azufre o “Ultra Low Sulfur Diesel” (U.S. Energy Information Administration, 2018). Por su parte, Serletis y Xu (2018) menciona como se han producido cambios significativos en la dinámica de precios de los combustibles fósiles y los productos básicos agrícolas después que Estados Unidos promulgara el “Estándar de Combustible Renovales”, también llamado Mandato de Etanol que busca además de disminuir el impacto por contaminación del medio ambiente, garantizar la seguridad energética del país. Dicha obligación promueve la mezcla de combustibles generados a partir de materias primas como maíz, la soja y azúcar con combustibles de origen fósil como son la gasolina y el diesel. El estudio finalmente concluye que ambos mercados están estrechamente relacionados y el mandato de etanol ha fortalecido sus vínculos en términos de volatilidad.

En línea con la hipótesis de que la variación en la demanda afecta el comportamiento del precio del diesel, Himola (2015) consideró que era bastante probable que los mercados de diésel de bajo azufre se enfrentaran al alza de precios a principios del año 2015 en la región del Mar Báltico, como consecuencia de la entrada en vigencia de la regulación de emisiones de barcos en áreas controladas. Lo anterior, basado principalmente en la alta inversión requerida para instalar depuradores en buques a gran escala en un corto período de tiempo lo cual se convertiría en un desafío técnico y financiero; y por otro lado, el diesel sería utilizado como combustible dado que estaría libre de impuestos.

Ahora bien, Pindyck (2001) en su artículo sobre la dinámica de los commodities comenta que debido a la alta volatilidad del precio de estos mercados, tanto los productores como los consumidores tienden a buscar operaciones de cobertura. Con el fin de manejar el nivel de riesgo se utilizan instrumentos financieros como son los contratos forward, futuros, opciones, swaps y otros derivados. Se considera que los contratos futuros son instrumentos que proveen información muy valiosa sobre los mercados, así como lo menciona Nicolau y Palomba (2015) en su artículo sobre la relación dinámica entre los precios futuros y spot para los mercados de energía y oro, donde se evidenció la relación existente entre los precios futuros y los precios spot mencionando que dicha relación depende específicamente del tipo de commodity y de la madurez de los contratos futuros. Para el caso de commodities que son almacenables, como podría ser el caso del diesel, los inventarios juegan un rol importante en la formación de precios, debido a que son utilizados para reducir los costos asociados a fluctuaciones en la demanda, riesgo de desabastecimiento y se utiliza para dar flexibilidad a la programación y cumplir los

tiempos de entrega de los productos. Entonces, los productores determinan su nivel de producción al mismo tiempo que se proyecta el nivel de inventarios, y la decisión de disminuir o construir inventario dependerá del diferencial entre el precio de venta según contratos futuros y los precios de venta spot de dicho commodity. En dicho estudio se observó que la volatilidad en los precios incrementa cuando el nivel de inventarios es bajo. La determinación del precio de equilibrio dependerá no solo del nivel de producción y consumo, sino también de los cambios en los niveles de inventario de dicho producto.

Por su parte en el estudio de Wang y Hu (2015) se evidencia que existe una correlación entre la tasa de interés y los mercados de commodities, lo que sugiere que un choque en la tasa de interés real impacta directamente los precios de los commodities. Los precios de los commodities responden rápidamente a las condiciones de la economía, por tanto, proveen información instantánea sobre el estado de la misma. En algunos sectores industriales los precios de los commodities afectan el costo de producción, debido a que son materia prima importante, es decir, que un incremento en los precios de commodities implicaría un mayor costo de producción de bienes y esto finalmente causaría un incremento de la inflación.

Según el Departamento de Energía de Estados Unidos, los precios del petróleo están dados por la balanza entre la oferta y demanda mundial. Esta última tiene una alta relación con el crecimiento económico mundial ya que las economías en crecimiento requieren un mayor consumo de energía. Henle (2017) mediante un modelo autorregresivo VAR encontró que existe una relación estadística existente entre el precio de petróleo WTI y el índice del sector industrial S&P500. Por su parte, Villada, Arroyabe y Villada (2014) concluyen que el efecto de incluir el grado de aversión al riesgo de los inversionistas por medio de los índices DXY y S&P500, mejoró en forma apreciable el desempeño del modelo de predicción del precio del petróleo WTI mediante redes neuronales artificiales.

A la luz de la anterior revisión de literatura el precio del diesel ultra bajo azufre depende de variables estructurales del mercado como son el precio del petróleo, los contratos futuros del diesel, el nivel de inventarios, la demanda, la fortaleza de las economías y es afectado por choques económicos, ambientales y geopolíticos. Este estudio pretende aportar cuáles son los principales determinantes del precio del diesel ultra bajo azufre basado en una metodología cuantitativa.

### 3. DATOS

En este trabajo se utilizan diferentes fuentes de información para construir las variables, con periodicidad semanal para el periodo comprendido entre enero de 2008 y septiembre de 2018. La variable dependiente, el precio del diesel de ultra bajo azufre (XULSD), se obtuvo de la publicación diaria de S&P Global Platts en dólares por barril (USD/BI). Para realizar el cálculo semanal se promedian las cotizaciones del indicador diario.

Las variables independientes incluidas en el modelo de determinantes del precio del diesel de ultra bajo azufre son: el precio del crudo Brent (BRENT), el índice del número de contratos futuros del diesel (CONTHEAT), el nivel de inventarios de diesel ultra bajo azufre en los Estados Unidos (STOCKULSD), el volumen de producción total de destilados medios en los Estados Unidos (PRODT), el índice “Bloomberg Dollar Spot Index” (DXY) y el índice industrial S&P500 (S\_P500). En el estudio, se definió como determinantes del precio del crudo Brent las variables de nivel de inventario de crudo en Estados Unidos (STOCKUSA), nivel de carga de crudo a las refinerías de Estados Unidos (INPUTSUSA), el índice “Bloomberg Dollar Spot Index” (DXY) y el índice industrial S&P500 (S\_P500). En la tabla 1 se presenta el detalle de las definiciones de las variables con el signo esperado, la fuente de información y unidad de medida.

Tabla 1. Variables utilizadas en el estudio

Variable	Definición	Fuente	Unidad de Medida	Signo Esperado
BRENT	Información de cierre de precios diarios de crudo Brent para contratos de entrega a 1 mes.	S&P Global Platts	USD/BI	+
CONTHEAT	Índice de contratos futuros de Heating Oil (combustible utilizado para calefacción y quema) a 1 mes.	Bloomberg	No. contratos	+
STOCKULSD	Nivel de inventarios de diesel de ultra bajo azufre de Estados Unidos	Bloomberg	Miles de barriles	-
PRODT	Producción total de destilados medios en Estados Unidos	Bloomberg	Miles de barriles por día	+
DXY	Índice “Bloomberg Dollar Spot Index” ponderado de la tasa de cambio entre el dólar americano contra las monedas más fuertes del mundo tomando información de cerca de 500 bancos.	Bloomberg	Índice	-

S_P500	Índice que indica la capitalización bursátil de 500 grandes empresas industriales que poseen acciones y cotizan en las bolsas NYSE o NASDAQ.	Bloomberg	Índice	+
STOCKUSA	Nivel de inventario de crudo en Estados Unidos	Bloomberg	Miles de barriles	-
INPUTSUSA	Nivel de carga de crudos de las refinerías de Estados Unidos	Bloomberg	Miles de barriles por día	+

Fuente: Elaboración propia.

Se cuenta con 561 observaciones con periodicidad semanal correspondientes al periodo comprendido entre enero del año 2008 y septiembre del año 2018. En la tabla 2 se presentan las principales estadísticas descriptivas de las variables incluidas en análisis y en el gráfico 3 se muestra su comportamiento en el tiempo.

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de las variables incluidas en el modelo

Variable	Observaciones	Media	Desv. Est.	Mínimo	Máximo
XULSD	561	96,3	29,8	37,8	168,4
BRENT	561	81,9	27,0	29,3	146,1
COONTHEAT	561	22275,1	14954,6	2227	69142
STOCKULSD	561	104460	19176,5	65051	148764
PRODT	561	4611,0	428,9	3258	5592
DXY	561	1067,1	99,6	909,7	1272,7
S_P500	561	1692,8	550,0	695,2	2913,8
STOCKUSA	561	376699,9	68121,2	265361,0	535543,0
INPUTSUSA	561	15451,8	1022,1	11504,0	17981,0

Fuente: Elaboración propia

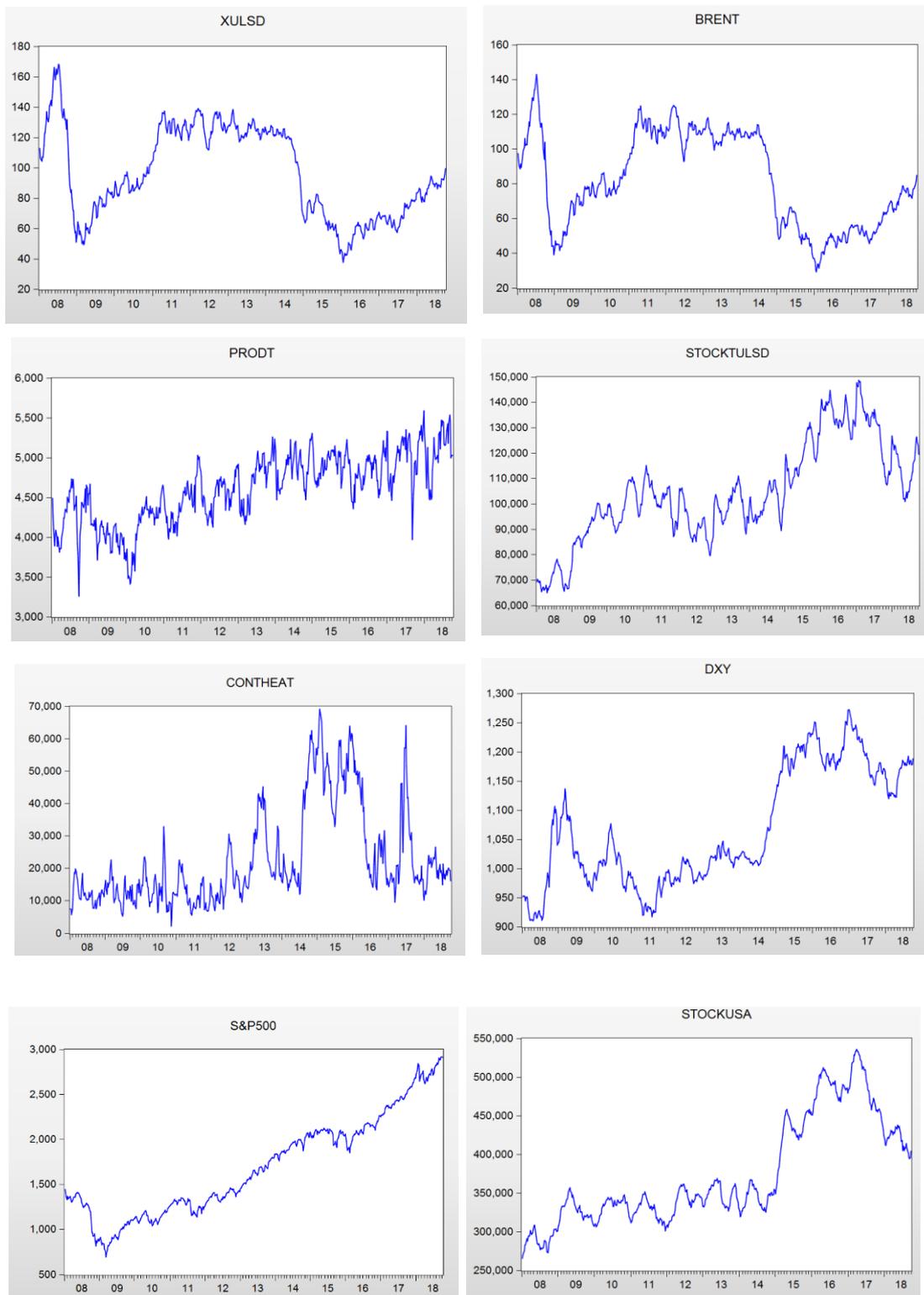
Se observa que en promedio el precio del diesel de ultra bajo azufre (XULSD) ha sido de 96,3 USD/Bl, alcanzando un precio máximo de 168,4 USD/Bl, que de acuerdo con el gráfico 3 se obtuvo en la primera semana de julio del año 2008 coincidiendo con el precio máximo alcanzado por el crudo Brent (BRENT) que fue de 146.1USD/Bl para esa misma semana. En Junio-Julio del año 2008 se presentaron atentados de grupos armados a una de las principales bases productoras en Nigeria que bombea aproximadamente 200.000 barriles de crudos diarios, afectando los niveles de oferta en el mercado. A finales de enero de 2016 el precio del crudo Brent y del diesel de ultra bajo azufre llegaron a su mínimo alcanzando un precio de 29,8 USD/Bl y 37,8 USD/Bl respectivamente. Analistas

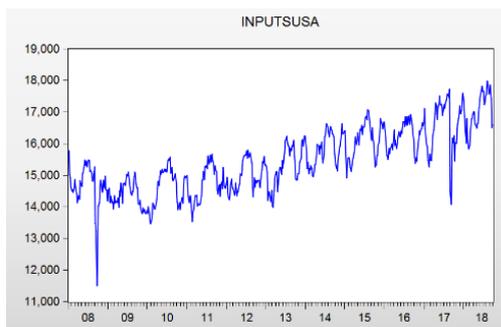
consideran que el primer trimestre del año 2016 fue de alta volatilidad en los precios del petróleo y sus derivados debido a inestabilidad geopolítica y crisis transfronterizas donde la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) no logró intervenir, la incertidumbre sobre un menor crecimiento económico mundial, especialmente de China y otros países emergentes, las proyecciones de altos niveles de producción de crudo no convencional de Estados Unidos y restricciones de almacenamiento de petróleo afectaron negativamente el precio del crudo (Energy Administration Agency, 2016).

Por otro lado, el promedio de cargas a refinerías en Estados Unidos (INPUTSUSA) es de 15,452 millones de barriles por día, alcanzando su máximo nivel en agosto del año 2018 con 17,981 millones de barriles por día como resultado de la alta demanda de gasolina y diesel. Los inventarios de crudo en Estados Unidos (STOCKUSA) son en promedio de 377 millones de barriles, llegando a un máximo de 536 millones en marzo del año 2017.

Al graficar las series de tiempo se observa una fuerte disminución de los precios de diesel de ultra bajo azufre (XULSD) y del crudo BRENT (BRENT) a finales de 2008 e inicios del año 2009 debido a un cambio estructural del mercado resultante de la crisis financiera ocurrida en Estados Unidos (Burgos, 2016). A finales del año 2010 se presenta un aumento en los precios del crudo y sus derivados como consecuencia de un aumento de la oferta monetaria por parte de la FED, además de los altos niveles de demanda por parte de los países en vía de desarrollo. A finales del año 2014 se presenta una fuerte disminución de precios del crudo y sus derivados que algunos analistas atribuyen al conflicto bélico entre Ucrania y Rusia, situación política y económica de Venezuela, el menor crecimiento económico de Europa y China afectando los niveles de demanda y el aumento de la oferta de petróleo mundial provocado por incremento en los niveles de extracción no convencional de este bien por parte de países como Estados Unidos, Canadá y Brasil. Lo anterior indica que en el periodo de tiempo estudiado existieron cambios estructurales que impactaron el comportamiento del precio del Brent y del diesel de ultra bajo azufre.

Gráfica 3. Comportamiento de series de tiempo incluidas en el modelo.





Fuente: Elaboración propia

Los inventarios de diesel ultra bajo azufre en promedio es de 104 millones de barriles, se puede observar como a partir de diciembre del año 2014 ha tenido una tendencia creciente por la implementación de regulaciones que buscan controlar las emisiones contaminantes al medio ambiente y las altas cargas de refinería que quieren capturar los altos márgenes de refinación. A finales del año 2017 se observa una fuerte reducción en los inventarios y en las cargas de refinerías debido al paso del Huracan Harvey que afectó la operación de varias refinerías, reduciendo así la oferta de este combustible.

#### 4. METODOLOGIA

Tal como se revisó en la literatura, el precio del diesel ultra bajo azufre depende de variables estructurales del mercado como son el precio del petróleo, los contratos futuros del diesel, el nivel de inventarios, la demanda y la fortaleza de la economía. Se plantea entonces un modelo econométrico de regresión uniecuacional que presenta la siguiente estructura:

$$LXULSD_t = \alpha_0 + \alpha_1 LBRENT_t + \alpha_2 LSTOCKULSD_t + \alpha_5 LPRODT_t + \alpha_4 LCONTHEAT_t + \alpha_5 LS\_P500_t + \alpha_6 LDXY_{t-1} + \alpha_7 D1 + \alpha_8 D2 + U_t \quad (1)$$

El modelo se estima con las variables en logaritmos con el fin de eliminar la tendencia exponencial de las mismas y sus resultados interpretarlos en términos de elasticidades. Adicionalmente, se incorporan variables dummies asociadas a dos cambios estructurales que están relacionados con el incremento de producción de petróleo mediante métodos de extracción no convencional en Estados Unidos, Canadá y Brasil y al cambio en la calidad de combustibles marinos que pasaron de un contenido de 1% a 0,1% máximo de azufre en enero de 2015 (D1) y la inestabilidad geopolítica en oriente por referendo sobre

la independencia de Kurdistán que ocasionó incremento en los precios de petróleo y combustibles acompañado por el Huracán Harvey que ocasionó el cierre de varias refinerías y desabastecimiento de combustibles en septiembre de 2017 (D2).

Con el fin de evitar que el modelo estimado sea una regresión espuria que conlleve a una estimación errónea, es decir, que aparentemente represente una alta correlación entre las variables aun cuando no exista relación real entre las mismas, se debe validar que exista una relación de cointegración entre las variables del modelo (Gujarati, 2010). El concepto de cointegración hace referencia a un equilibrio estable en el sentido estadístico entre las variables analizadas, es decir, que las desviaciones de las relaciones entre las variables no pueden ser fuertes ni crecer ilimitadamente. Por tanto, existe una validez del modelo en el largo plazo si las variables están cointegradas (López, 2008).

Para ajustar entonces un modelo no espurio y válido en el largo plazo (que exista una relación de cointegración) se hace necesario determinar si las variables son integradas en el mismo orden y si efectivamente las variables cointegran. La primera condición se corrobora determinando si las series son o no estacionarias y en que transformación se convierten en estacionarias (procesos estacionarios en diferencias o procesos estacionarios en tendencias). La segunda condición se comprueba estimando la ecuación (1) y comprobando que los residuales estimados son estacionarios. Si estos residuales no son estacionarios las variables del modelo no cointegran y éste puede ser espurio.

La primera tarea para determinar la estacionariedad de las series es realizar un análisis gráfico de cada una de las variables intentando determinar si su media, varianza y autocovarianza son constantes en el tiempo. Luego, se generan los correlogramas y finalmente, se ejecutan pruebas formales de raíces unitarias como son los test de Dicky Fuller Aumentado (DFA) y de Phillips-Perron (PP) para determinar el orden de integración de las variables implicadas. En estos test la hipótesis nula es que existe una raíz unitaria, es decir, que las series son no estacionarias. Para la segunda tarea, encontrar que las variables del modelo cointegran, se realiza la prueba de Engle-Granger Aumentada (EGA), que consiste en obtener los residuos de la regresión y aplicar las pruebas de raíces unitarias.

Dado que pueden existir problemas de endogeneidad, se procede a estimar el modelo por mínimo cuadrados en tres etapas (MC3E) cuya técnica corrige estos problemas en caso de presentarse. Adicionalmente, como el Brent es un insumo de la cadena de valor

del diesel ultra bajo azufre y puede estar determinado por otras variables, es posible estimar un modelo de ecuaciones simultáneas que considere otra regresión, representada por la ecuación (2). La estimación se realiza a través de un sistema de ecuaciones aparentemente relacionadas (SUR) dado que las series presentan altos niveles de volatilidad y puede existir autocorrelación serial.

$$LBRENT_t = \alpha_0 + \alpha_1 LSP500_t + \alpha_2 LDXY_{t-1} + \alpha_3 LINPUTSUSA_t + \alpha_4 LSTOCKUSA_t + \alpha_5 D1 + \alpha_6 D3 + U_t \quad (2)$$

En términos de las variables explicativas del modelo se incluyeron: el índice industrial S&P500 (LSP500), el índice de tasa de cambio (LDXY), el nivel de inventarios de petróleo en Estados Unidos (LSTCOKUSA) y el nivel de carga de petróleo a refinerías en Estados Unidos (LINPUTSUSA). También se incorpora la variable dummie (D3) asociada a la crisis financiera de Estados Unidos que a finales del año 2008 afectó el precio del petróleo y sus derivados.

## **5. ANALISIS DE RESULTADOS**

Esta sección presenta los resultados obtenidos de las pruebas de raíces unitarias y cointegración así como la estimación de los modelos MCO, MC3E y SUR.

### **5.1. Análisis de Raíces Unitarias y cointegración**

En los gráficos del Anexo No. 1 se muestran las variables en logaritmos y se observa que no son estacionarias ya que tienen una media y varianza que no son constantes en el tiempo y la mayoría presenta una tendencia. En términos de los correlogramas, que se muestran en el Anexo No. 2, se observa que para todas las series de tiempo los coeficientes de la función de autocorrelación no decaen rápidamente, indicando que no hay estacionariedad alrededor de la media, así que en general las series de tiempo presentan una estructura autorregresiva (AR) de primer o segundo orden.

En la tabla 3 se muestran los resultados de las pruebas de raíces unitarias Dicky Fuller Aumentado (DFA) y Phillips-Perron (PP). Se observa que todas las variables a excepción de los números de contratos futuros del diesel (LCONTHEAT), producción total de diesel de bajo azufre (LPRODT) y el nivel de cargas a refinerías (LINPUTSUSA) no se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria, lo cual indica que las series son no estacionarias. Por su

parte, las variables LCONTHEAT, LPRODT y LINPUTSUSA son procesos estacionarios en tendencia, lo que se corrobora con los gráficos y las pruebas de estacionariedad en los residuos de la regresión de estas variables sobre el tiempo (ver en la parte de debajo de la tabla 3). En la tabla 3 también se observa que todas las variables en su primera diferencia son estacionarias, es decir, que son I(1).

Tabla 3. Pruebas de Raíces Unitarias con intercepto y tendencia.

Variable	Variable en serie			Variable en primera diferencia		
	DFA	PP	Ho: no estacionaria	DFA	PP	Ho: no estacionaria
LXULSD	-1,793	-1,721	No se rechaza	-18,083***	-18,083***	Se rechaza
LBRENT	-1,597	-1,889	No se rechaza	-18,352***	-19,042***	Se rechaza
LCONTHEAT	-4,467***	-4,587***	Se rechaza	-15,300***	-26,588***	Se rechaza
LSTOCKTULSD	-3,255	-3,046	No se rechaza	-15,664***	-15,586***	Se rechaza
LPRODT	-7,139***	-7,191***	Se rechaza	-26,936***	-29,938***	Se rechaza
LS&P500	-3,716	-3,831	No se rechaza	-16,447***	-16,261***	Se rechaza
LDXY	-2,308	-2,045	No se rechaza	-16,435***	-16,254***	Se rechaza
LSTOCKUSA	-2,266	-1,933	No se rechaza	-11,652***	-17,808***	Se rechaza
LINPUTSUSA	-7,185***	-7,514***	Se rechaza	-23,460***	-27,347***	Se rechaza
Residuales de las regresiones contra una tendencia Y= LCONTHEAT, LPRODT, LINPUTSUSA						
RESIDLCONTHEAT	-4,516***	-4,644***	Se rechaza	-15,280***	-26,738***	Se rechaza
RESIDLPRODT	-7,135***	-7,187***	Se rechaza	-26,887***	-29,874***	Se rechaza
RESIDLINPUTSUSA	-7,185***	-7,514***	Se rechaza	-23,460***	-27,347***	Se rechaza
Residuales de las regresiones con las variables integradas de orden (1)						
RESIDLXULSD	-5,693***	-5,693***	Se rechaza	-24,590***	-26,312***	Se rechaza
RESIDLBRENT	-4,843***	-4,224***	Se rechaza	-15,773***	-16,880***	Se rechaza

\* p<0,1, \*\* p<0,05, \*\*\* p<0,01.  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se muestran los resultados de la estimación de las ecuaciones (1) y (2) por mínimos cuadrados ordinarios y en tres etapas. Como se mencionó en la sección anterior, para comprobar que las variables efectivamente cointegran se realiza la prueba de raíces unitarias sobre los residuos estimados de este modelo. En la parte baja de la tabla 3 se muestran los resultados de los test DFA y PP, encontrando que los residuos del modelo son estacionarios, por tanto, las variables del modelo cointegran y las estimaciones son correctas, es decir, libres de resultados espurios

## 5.2. Estimación de modelo por sistemas de ecuaciones simultáneas

Todas las variables resultan estadísticamente significativas con los signos esperados acorde a la teoría económica y al funcionamiento de estos mercados. En la tabla 4 columna c se pueden observar estos resultados. La variable que presenta mayor impacto sobre el precio del diesel ultra bajo azufre es el precio del petróleo Brent (LBRENT),

donde si este aumenta en un 1% el precio del diesel se incrementa en el 0,91%. Esto es consistente con lo mencionado anteriormente, donde Li Liu (2014), Atil, Lahiani y Nguyen (2014) y la Organización de Países Exportadores de Petróleo (2007) en estudios previos encontraron una fuerte correlación entre el precio del petróleo y sus derivados ya que éste es el insumo que mayor impacto tiene sobre los costos de producción. Seguido por los volúmenes de inventario (LSTOCKTULSD), mostrando una relación inversa, que para este caso con el incremento de un 1% del inventario conlleva a que el precio del diesel disminuya en 0,23%. Por un incremento de un 1% en el periodo anterior de la tasa de cambio (LDXY) el precio del diesel de ultra bajo azufre se disminuirá en un 0,12% dado que los flujos de intercambio son sensibles al tipo de cambio.

Tabla 4. Resultado de la estimación de las ecuaciones (1) y (2).

Variable	Ecuación (1)			Ecuación (2)		
	Variable independiente LXULSD			Variable independiente LBRENT		
	MCO (a)	MC3E (b)	SUR (c)	MCO (d)	MC3E (e)	SUR (f)
LBRENT	0.9131187 (0.012617)***	0.9131187 (0.0125152)***	0.910655 (0.0125147)***			
LSTOCKTULSD	-0.2335811 (0.013533)***	-0.2335811 (0.0134238)***	-0.2333637 (0.0134235)***			
LPRODT	0.0552738 (0.0257398)**	0.0552738 (0.0255321)**	0.0556501 (0.0255316)**			
LCONTHEAT	0.0064078 (0.0037129)*	0.0064078 (0.0036829)*	0.0064327 (0.0036828)*			
LS&P500	0.065244 (0.0140287)***	0.065244 (0.0139155)***	0.0668024 (0.0139152)***	0.6842514 (0.0322046)***	0.6842514 (0.0320027)***	0.6833203 (0.0320025)***
LDXY <sup>1</sup>	-0.1111199 (0.0594209)*	-0.1111199 (0.0589415)*	-0.1197908 (0.0589402)**	-3.606174 (0.152723)***	-3.606174 (0.1517655)***	-3.609345 (0.1517645)***
LINPUTSUSA				0.2825538 (0.1402961)**	0.2825538 (0.1394165)**	0.2882154 (0.1394139)**
LSTOCKUSA				-0.2350528 (0.0853474)***	-0.2350528 (0.0848123)***	-0.2329827 (0.0848099)***
D1	0.0771616 (0.0103084)***	0.0771616 (0.0102252)***	0.0763216 (0.0102251)***	-0.2497276 (0.0355687)***	-0.2497276 (0.0353457)***	-0.2499123 (0.0353454)***
D2	-0.0405736 (0.0069311)***	-0.0405736 (0.0068752)***	-0.0404327 (0.006875)***			
D3				0.1163229 (0.0267185)***	0.1163229 (0.0265509)***	0.1164194 (0.0265503)***
Constante	2.985033 (0.3935335)***	2.985033 (0.3903583)***	3.039007 (0.3903511)***	24.68959 (1.547299)***	24.68959 (1.537598)***	24.6374 (1.537571)***

\* p<0,1, \*\* p<0,05, \*\*\* p<0,01. La desviación estándar está en paréntesis.

<sup>1</sup> Corresponde a la variable rezagada un periodo.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4 columna c las variables que menor impacto tienen en el precio del diesel bajo azufre son el volumen de producción total (LPRODT), los contratos futuros (LCONTHEAT) y el índice S&P500 (LSP500). Es importante resaltar que el índice S&P500, el cual representa un índice del sector industrial para Estados Unidos tiene una relación positiva y estadísticamente significativa con el precio del diesel

de bajo azufre como era de esperarse dada la relación económica entre estas variables (Henke, 2017) y (Fernando Villada, 2014). Además, las variables dummy que representan los choques aleatorios referentes a cambio en la calidad del combustible marino que busca disminuir el impacto ambiental y el incremento de producción de petróleo mediante métodos de extracción no convencional (D1), así como, eventos climáticos como el paso del huracán Harvey que ocasionó el cierre de refinerías en Estados Unidos (D2) ocasionan un impacto estadísticamente significativo sobre el precio del diesel de ultra bajo azufre acorde con lo estudiado en la revisión de literatura por autores como Li Liu (2014) y Pindick (2001).

En lo referente a la estimación del precio del Brent en la tabla 4 columna f se puede observar que la variable que mayor impacto tiene es la tasa de cambio (LDXY) indicando que por un incremento del 1% en la tasa de cambio el precio del crudo Brent disminuirá en un 3,60%. En segundo lugar, por cada incremento del 1% del índice S&P500 (LSP500) el precio del Brent se incrementa en 0,68%. También se puede observar que el nivel de inventarios de crudo (LSTOCKUSA) y el volumen de crudo cargados a las refinerías en Estados Unidos (LINPUTSUSA) influyen en el precio del Brent, ya que resultaron estadísticamente significativas.

La estimación también considera dos choques estructurales que afectan este precio, los cuales corresponden al incremento de producción de petróleo mediante métodos no convencionales como el fracking en el año 2015 (D1) y la crisis financiera internacional presentada a finales del año 2008 (D3), los cuales resultan estadísticamente significativos. Es importante resaltar que una limitación en la estimación de la segunda ecuación es no poder incluir variables como reservas internacionales de petróleo, expectativas de producción y precios futuros del crudo Brent, esto por falta de información sobre estas variables.

## **6. CONCLUSIONES**

Este trabajo de investigación analiza los determinantes del precio del diesel ultra bajo azufre comercializado en la Costa del Golfo de los Estados Unidos (ULSD). Para ello se utiliza un modelo por sistema de ecuaciones simultáneas conformado por una estimación del precio del diesel ultra bajo azufre y la estimación del precio del crudo Brent ya que

éste es el insumo que mayor peso tiene en la cadena de valor del diesel, con lo cual se pueden encontrar los resultados que permiten cuantificar los coeficientes del modelo.

Las estimaciones se realizan con la metodología de mínimos cuadrados en tres etapas (MC3E) dado que por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) los resultados pueden tener problemas de endogeneidad y resultar inconsistentes. Como son series de tiempo que presentan alta volatilidad y puede existir autocorrelación serial se utiliza también la metodología de sistema de ecuaciones aparentemente relacionadas (SUR).

A partir de las metodologías MC3E y SUR se obtienen resultados alineados con la revisión de literatura, la teoría económica y la dinámica del sector. El precio del diesel ultra bajo azufre de la Costa del Golfo de los Estados Unidos está fuertemente relacionado por el precio del crudo Brent, donde si este aumenta en un 1% el precio del diesel se incrementa en el 0,91%. Tiene una relación inversa con los niveles de inventario, es decir, que cuando se incrementa en un 1% el nivel de inventarios el precio del diesel ULSD disminuye en un 0,23%. Por un incremento de un 1% en el periodo anterior de la tasa de cambio el precio del diesel de ultra bajo azufre se disminuirá en un 0,12% dado que los flujos de intercambio son sensibles al tipo de cambio. Adicionalmente, los contratos futuros, el volumen de producción y el índice industrial S&P 500 tienen una relación positiva y estadísticamente significativa con el precio del diesel de bajo azufre como era de esperarse desde la teoría económica (Henke, 2017) y (Fernando Villada, 2014).

En lo referente a la estimación del precio del Brent la variable que mayor impacto tiene es la tasa de cambio indicando que por un incremento del 1% en la tasa de cambio el precio del crudo Brent disminuirá en un 3,60%. Adicionalmente, por cada incremento del 1% del índice S&P500 el precio del Brent se incrementa en 0,68%. Se puede observar que el nivel de inventarios de crudo y el volumen de crudo cargados a las refinerías en Estados Unidos influyen en el precio del Brent, ya que resultaron estadísticamente significativas.

Los resultados encontrados en esta investigación indican que la variable dummy que recoge el cambio regulatorio ocurrido en el año 2015 relacionado con menores emisiones al medio ambiente, resultó estadísticamente significativa. Lo anterior resulta relevante dado que el diesel de ultra bajo azufre es un sustituto de combustibles como el fuel oil dado que aporta una menor cantidad de contaminantes. El fuel oil o combustóleo es un producto residual del proceso de refinación y es ampliamente utilizado en la industria

como combustible para plantas de energía, calderas, hornos y combustibles marinos; lo que significa que si la regulación ambiental cada vez es más estricta en lo relacionado con emisiones al medio ambiente, la industria migrará a utilizar el diesel de ultra bajo azufre desplazando así la demanda de combustóleo. Dentro de las variables explicativas del modelo se intentó incluir otras variables como las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), con el fin de recoger y medir el impacto de la contaminación ambiental sobre el precio del diesel. No fue posible encontrar la información sobre emisiones de CO<sub>2</sub> para el periodo de análisis lo que lo hace objeto de investigación para estudios futuros.

Muchas de las decisiones económicas de un país se realizan con base en las variaciones del Índice de Precio al Consumidor que se impacta en la medida en que exista una variación significativa en el costo de fletes de transporte. Por tanto, es importante continuar adelantando estudios que permitan evaluar el impacto que las regulaciones medioambientales tienen sobre los combustibles fósiles y combustibles de origen vegetal (biocombustibles).

## Referencias

- Apostolos Serletis, Libo Xu. (2018). The ethanol mandate and crude oil and biofuel agricultural commodity price dynamics. *Journal of Commodity Markets*, 1-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2018.07.001>
- Atil A, L. A. (2014). Asymmetric and nonlinear pass-through of crude oil prices to gasoline and natural gas prices. *Energy Policy*, 65(C), 567-573. doi: 10.1016/j.enpol.2013.09.064.
- Burgos, N. A. (2016). Modelos de pronóstico del precio del crudo: Un acercamiento desde las redes neuronales artificiales (Tesis de grado de Maestría en Ciencias Económicas). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, D.C.
- Greene, W. H. (2002). *Ecnometric Analysis*. New Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall.
- Gujarati, P. (2010). *Econometría*. México D.F., México: Mc Graw Hill.
- Henke, A. (2017). La relación entre el precio del petróleo WTI y los índices bursátiles S&P 500 y el S&P 500 del sector energético. Universidad de San Andrés. Buenos Aires. Obtenido de <http://repositorio.udesa.edu.ar/jspui/bitstream/10908/15649/1/%5BP%5D%5BW%5D%20M.%20Fin.%20Henke%2C%20Agustin.pdf>
- Himola, O.-P. (2015). Shipping sulphur regulation, freight transportation prices and diesel markets in the Baltic Sea region. *International Journal of Energy Sector Management*, 9 (1), 120-132. Obtenido de [www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/IJESM-11-2013-0001](http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/IJESM-11-2013-0001)
- Li Liu, G. M. (2014). Cross-correlation between crude oil and refined product prices. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 413(C), 284-293. doi: 10.1016/j.physa.2014.07.007
- López, C. P. (2008). *Econometría avanzada. Técnicas y herramientas*. Madrid, España: Pearson Educación S.A.
- Mihaela Nicolau, G. (2015). Dynamic relationships between spot and futures prices. The case of energy and gold commodities. *Resources Policy*, 45, 130-143, doi: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2015.04.004>
- Natural Resources Canada. (Julio de 2005). Overview of the Canadian downstream petroleum industry, technical report. Obtenido de [http://publications.gc.ca/site/archieve-archived.html?url=http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2016/rncan-rncan/M4-126-2005-eng.pdf](http://publications.gc.ca/site/archieve-archived.html?url=http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/rncan-rncan/M4-126-2005-eng.pdf)
- Organization of the Petroleum Exporting Countries. (2007). Crude oil – end-product linkages in the European petroleum markets. *OPEC Review*, 31 (2), 73-90. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1468-0076.2007.00177.x>

- Pindyck, R. S. (2001). The Dynamics of Commodity Spot and Futures Markets: A Primer. *The Energy Journal*, 22, 1-29. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol22-no3-1>
- Qing Wang, Yiming Hu . (2015). Cross-correlation between interest rates and commodity prices. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 428 (C), 80-89. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437115001594>
- Thaís C. Azevedo, F. L. (2015). The behavior of West Texas Intermediate crude-oil and refined products prices volatility before and after the 2008 financial crisis; an approach through analysis of futures contracts. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 23 (3), 395-405.
- U.S Energy Information Administration. (11 de Octubre de 2012). *U.S Energy Information Administration - Today in Energy*. Obtenido de U.S Energy Information Administration - Today in Energy: U.S Energy Information Administration - Today in Energy
- U.S Energy Information Administration. (16 de Julio de 2012). *U.S Energy Information Administration - Today in Energy*. Obtenido de U.S Energy Information Administration - Today in Energy: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=7110>
- U.S Energy Information Administration. (28 de Junio de 2013). *U.S Energy Information Administration-Today in Energy*. Obtenido de U.S Energy Information Administration-Today in Energy: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=11891>
- U.S Energy Information Administration. (16 de Mayo de 2016). *Crude oil volatility decreases as prices rise from early 2016 levels*. Obtenido de U.S Energy Information Administration-Today in Energy: [eia.gov/todayenergy/detail.php?id=26172](http://eia.gov/todayenergy/detail.php?id=26172)
- U.S, Energy Information Administration. (21 de 06 de 2018). *Diesel Fuel Explained*. Obtenido de [https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=diesel\\_use](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=diesel_use): [https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=diesel\\_use](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=diesel_use)
- U.S. Energy Information Administration . (6 de Septiembre de 2018). *Petroleum Supply Monthly*. Obtenido de <https://www.eia.gov/petroleum/weekly/>
- U.S. Energy Information Administration. (07 de Febrero de 2012). *PADD regions enable regional analysis of petroleum product supply and movements*. Obtenido de <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=4890>
- U.S. Energy Information Administration. (9 de Octubre de 2015). *With increased regulation, continued decline in residual fuel oil demand is expected* . Obtenido de With increased regulation, continued decline in residual fuel oil demand is expected : <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=23292>
- U.S. Energy Information Administration. (11 de Agosto de 2017). *Factors affecting diesel prices*. Obtenido de Factors affecting diesel prices:

[https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=diesel\\_factors\\_affecting\\_prices](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=diesel_factors_affecting_prices)

U.S. Energy Information Administration. (28 de Septiembre de 2018). *Diesel fuel is refined from oil*. Obtenido de Diesel fuel is refined from oil:  
[https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=diesel\\_home](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=diesel_home)

U.S. Energy Information Administration. (06 de Marzo de 2018). *Diesel Prices and Outlook*. Obtenido de Diesel Prices and Outlook:  
[https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=diesel\\_prices](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=diesel_prices)

U.S. Energy Information Administration. (1 de Mayo de 2018). *Why do heating oil prices fluctuate?* Obtenido de  
[https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=heating\\_oil\\_factors\\_affecting\\_prices](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=heating_oil_factors_affecting_prices)

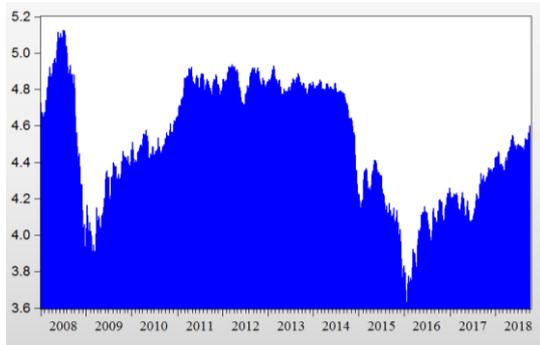
Villada, Fernando, Arroyave, Daniel, & Villada, Melissa. (2014). Pronóstico del Precio del Petróleo mediante Redes Neuronales Artificiales. *Información tecnológica*, 25(3), 145-154. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000300017>

World Health Organization. (2016). *Preventing disease through healthy environments*. Francia: Vivien Stone.

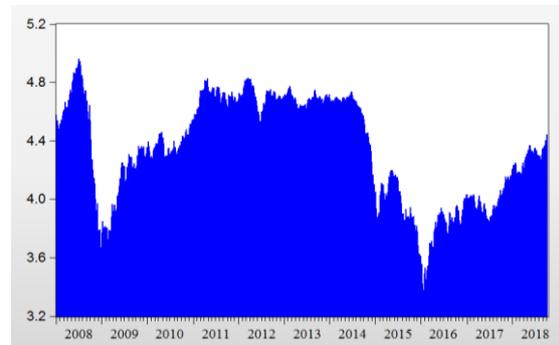
## ANEXOS

Anexo 1. Análisis gráfico de estacionariedad de las variables en logaritmo natural

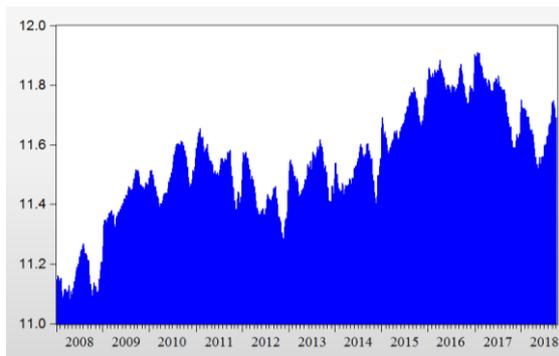
Anexo 1.1. Gráfico LXULSD



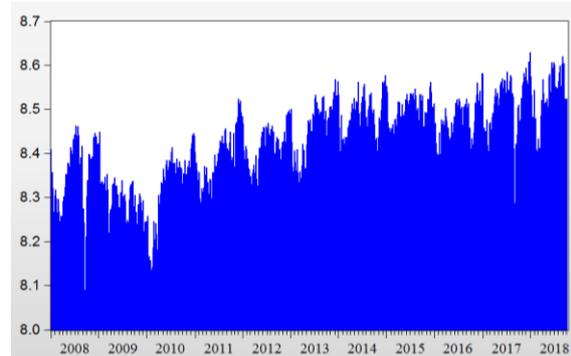
Anexo 1.2. Gráfico LBRENT



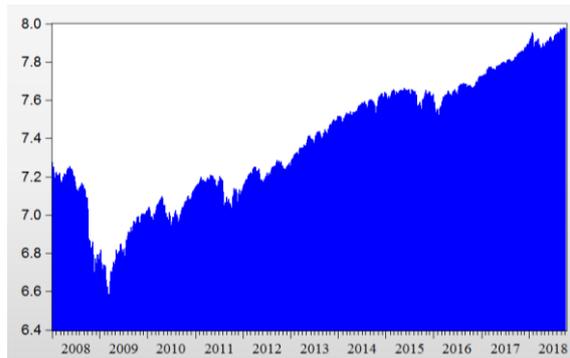
Anexo 1.3. Gráfico LSTOCKTULSD



Anexo 1.4. Gráfico LPRODT



Anexo 1.5. Gráfico LSP500



Anexo 1.6. Gráfico LDXY

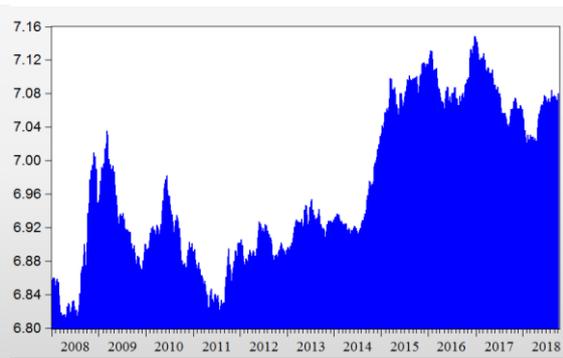


Gráfico 1.7. Gráfico LCONTHEAT

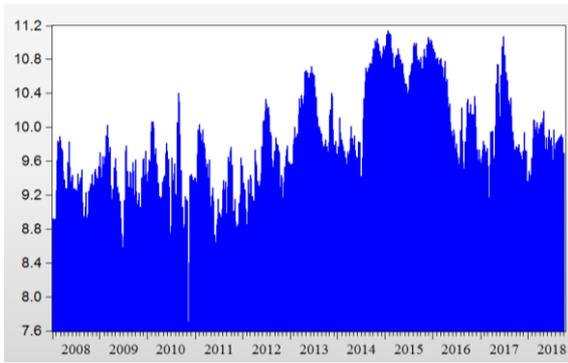


Gráfico 1.8. Gráfico LINPUTSUSA

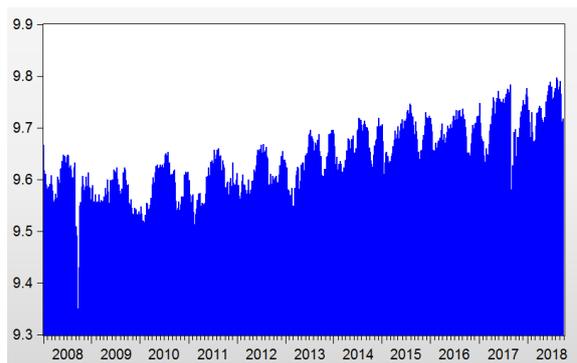
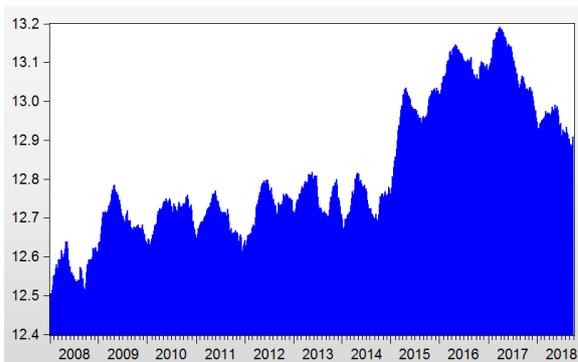


Gráfico 1.9. Gráfico LSTOCKUSA



Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 2. Prueba de autocorrelación

### Anexo 2.1. Correlograma LXULSD

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.993	0.993	557.12	0.000
		2	0.983	-0.233	1103.8	0.000
		3	0.973	0.063	1640.4	0.000
		4	0.962	-0.060	2166.4	0.000
		5	0.952	0.005	2681.8	0.000
		6	0.941	-0.038	3186.2	0.000
		7	0.928	-0.081	3678.5	0.000
		8	0.916	-0.013	4158.2	0.000
		9	0.901	-0.111	4623.9	0.000
		10	0.886	-0.018	5075.0	0.000
		11	0.870	-0.107	5510.3	0.000
		12	0.852	-0.037	5929.1	0.000
		13	0.835	-0.006	6331.4	0.000
		14	0.818	0.053	6718.2	0.000
		15	0.801	-0.036	7089.5	0.000
		16	0.784	0.101	7446.6	0.000
		17	0.768	-0.034	7789.8	0.000
		18	0.752	-0.014	8118.9	0.000
		19	0.734	-0.066	8433.2	0.000
		20	0.716	0.007	8732.9	0.000
		21	0.698	-0.032	9018.1	0.000
		22	0.680	0.054	9289.7	0.000
		23	0.664	0.030	9548.8	0.000
		24	0.648	0.012	9796.1	0.000
		25	0.632	-0.008	10032.0	0.000
		26	0.618	0.052	10258.0	0.000
		27	0.604	0.028	10474.0	0.000
		28	0.590	0.010	10680.0	0.000
		29	0.576	-0.005	10878.0	0.000
		30	0.563	-0.012	11067.0	0.000
		31	0.549	-0.049	11247.0	0.000
		32	0.536	0.021	11419.0	0.000
		33	0.524	0.012	11583.0	0.000
		34	0.512	0.000	11741.0	0.000
		35	0.502	0.041	11892.0	0.000
		36	0.492	0.074	12038.0	0.000

### Anexo 2.2. Correlograma LBRENT

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.994	0.994	558.22	0.000
		2	0.985	-0.217	1107.8	0.000
		3	0.976	0.009	1648.4	0.000
		4	0.966	-0.112	2178.6	0.000
		5	0.955	-0.004	2698.0	0.000
		6	0.943	-0.094	3205.4	0.000
		7	0.930	-0.061	3699.7	0.000
		8	0.917	-0.032	4180.4	0.000
		9	0.901	-0.108	4646.1	0.000
		10	0.885	-0.006	5096.3	0.000
		11	0.869	-0.026	5530.9	0.000
		12	0.852	-0.021	5949.4	0.000
		13	0.835	-0.021	6351.8	0.000
		14	0.818	0.062	6738.7	0.000
		15	0.801	-0.008	7110.4	0.000
		16	0.785	0.078	7467.8	0.000
		17	0.769	0.010	7811.7	0.000
		18	0.753	-0.027	8142.1	0.000
		19	0.737	-0.013	8459.0	0.000
		20	0.721	0.010	8763.1	0.000
		21	0.705	-0.018	9054.6	0.000
		22	0.690	0.030	9334.3	0.000
		23	0.676	0.016	9602.9	0.000
		24	0.662	-0.016	9860.7	0.000
		25	0.647	-0.021	10108.0	0.000
		26	0.634	0.051	10346.0	0.000
		27	0.622	0.027	10575.0	0.000
		28	0.610	0.048	10796.0	0.000
		29	0.599	-0.027	11009.0	0.000
		30	0.588	0.030	11215.0	0.000
		31	0.578	0.009	11414.0	0.000
		32	0.568	0.017	11608.0	0.000
		33	0.559	-0.013	11795.0	0.000
		34	0.550	0.002	11977.0	0.000
		35	0.542	0.015	12154.0	0.000
		36	0.535	0.050	12327.0	0.000

### Anexo 2.3. Correlograma LSTOCKULSD

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.989	0.989	553.19	0.000
		2	0.974	-0.228	1090.5	0.000
		3	0.957	-0.058	1610.0	0.000
		4	0.939	-0.039	2110.5	0.000
		5	0.919	-0.049	2591.2	0.000
		6	0.899	-0.026	3051.5	0.000
		7	0.878	0.005	3491.8	0.000
		8	0.859	0.053	3913.6	0.000
		9	0.841	0.065	4319.2	0.000
		10	0.826	0.078	4711.1	0.000
		11	0.814	0.058	5092.0	0.000
		12	0.803	0.011	5463.3	0.000
		13	0.793	0.040	5826.7	0.000
		14	0.786	0.038	6184.2	0.000
		15	0.780	0.031	6537.1	0.000
		16	0.775	-0.019	6886.0	0.000
		17	0.771	0.047	7231.8	0.000
		18	0.767	-0.009	7574.5	0.000
		19	0.764	0.051	7915.1	0.000
		20	0.761	0.031	8254.1	0.000
		21	0.759	0.015	8591.6	0.000
		22	0.756	-0.002	8927.5	0.000
		23	0.754	0.040	9261.9	0.000
		24	0.752	0.012	9595.0	0.000
		25	0.749	-0.039	9926.0	0.000
		26	0.744	-0.073	10253.0	0.000
		27	0.737	-0.025	10575.0	0.000
		28	0.728	-0.041	10890.0	0.000
		29	0.719	-0.010	11197.0	0.000
		30	0.709	0.016	11496.0	0.000
		31	0.699	0.011	11788.0	0.000
		32	0.686	-0.084	12069.0	0.000
		33	0.673	-0.029	12341.0	0.000
		34	0.659	-0.019	12601.0	0.000
		35	0.645	-0.031	12851.0	0.000
		36	0.630	-0.047	13090.0	0.000

### Anexo 2.4. Correlograma LPRODT

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.932	0.932	491.25	0.000
		2	0.882	0.094	931.34	0.000
		3	0.834	0.008	1325.4	0.000
		4	0.790	0.016	1680.0	0.000
		5	0.755	0.051	2004.5	0.000
		6	0.719	-0.011	2298.9	0.000
		7	0.692	0.062	2572.7	0.000
		8	0.659	-0.043	2821.5	0.000
		9	0.633	0.028	3051.0	0.000
		10	0.607	0.006	3262.5	0.000
		11	0.585	0.025	3459.0	0.000
		12	0.579	0.125	3652.3	0.000
		13	0.573	0.037	3841.9	0.000
		14	0.566	0.005	4027.4	0.000
		15	0.561	0.035	4210.0	0.000
		16	0.557	0.026	4389.9	0.000
		17	0.566	0.125	4576.1	0.000
		18	0.572	0.035	4766.7	0.000
		19	0.579	0.022	4962.1	0.000
		20	0.579	-0.014	5158.0	0.000
		21	0.581	0.041	5355.8	0.000
		22	0.585	0.041	5556.6	0.000
		23	0.590	0.061	5761.0	0.000
		24	0.596	0.031	5970.1	0.000
		25	0.602	0.043	6184.2	0.000
		26	0.608	0.026	6402.8	0.000
		27	0.606	-0.017	6620.3	0.000
		28	0.597	-0.023	6831.8	0.000
		29	0.583	-0.031	7034.3	0.000
		30	0.574	0.017	7230.3	0.000
		31	0.565	0.011	7420.8	0.000
		32	0.560	0.039	7608.4	0.000
		33	0.556	0.027	7793.4	0.000
		34	0.552	0.022	7976.0	0.000
		35	0.542	-0.035	8152.4	0.000
		36	0.527	-0.046	8319.8	0.000

Anexo 2.5. Correlograma LS&P500

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.995	0.995	559.75	0.000	
2	0.990	-0.064	1114.6	0.000	
3	0.985	-0.003	1664.6	0.000	
4	0.980	-0.004	2209.6	0.000	
5	0.974	0.005	2749.8	0.000	
6	0.969	-0.024	3284.9	0.000	
7	0.963	-0.020	3814.9	0.000	
8	0.958	0.023	4339.8	0.000	
9	0.952	-0.038	4859.5	0.000	
10	0.947	0.024	5374.2	0.000	
11	0.942	0.028	5884.2	0.000	
12	0.937	0.006	6389.6	0.000	
13	0.932	0.012	6890.7	0.000	
14	0.927	0.010	7387.6	0.000	
15	0.922	-0.031	7880.0	0.000	
16	0.916	-0.071	8367.3	0.000	
17	0.910	-0.025	8849.1	0.000	
18	0.904	-0.011	9325.5	0.000	
19	0.898	0.004	9796.4	0.000	
20	0.892	-0.030	10262.0	0.000	
21	0.885	-0.030	10721.0	0.000	
22	0.879	-0.006	11174.0	0.000	
23	0.872	0.019	11622.0	0.000	
24	0.866	-0.003	12064.0	0.000	
25	0.860	0.002	12500.0	0.000	
26	0.853	0.012	12931.0	0.000	
27	0.847	0.007	13356.0	0.000	
28	0.842	0.028	13777.0	0.000	
29	0.836	-0.018	14192.0	0.000	
30	0.830	-0.008	14603.0	0.000	
31	0.824	0.021	15008.0	0.000	
32	0.819	-0.028	15409.0	0.000	
33	0.813	0.022	15805.0	0.000	
34	0.807	-0.003	16196.0	0.000	
35	0.802	0.016	16583.0	0.000	
36	0.796	-0.071	16965.0	0.000	

Anexo 2.6. Correlograma LDXY

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.904	0.904	558.08	0.000	
2	0.985	-0.186	1107.8	0.000	
3	0.977	0.014	1648.9	0.000	
4	0.968	-0.031	2181.1	0.000	
5	0.959	0.004	2704.6	0.000	
6	0.950	0.011	3219.5	0.000	
7	0.941	-0.064	3725.2	0.000	
8	0.931	-0.033	4221.1	0.000	
9	0.921	-0.033	4707.0	0.000	
10	0.910	0.004	5182.6	0.000	
11	0.900	0.004	5648.4	0.000	
12	0.889	-0.037	6103.9	0.000	
13	0.878	-0.020	6549.1	0.000	
14	0.866	-0.054	6983.3	0.000	
15	0.854	-0.023	7406.2	0.000	
16	0.842	0.005	7817.8	0.000	
17	0.830	0.001	8218.5	0.000	
18	0.818	0.011	8608.5	0.000	
19	0.807	0.009	8988.3	0.000	
20	0.795	-0.017	9357.7	0.000	
21	0.783	0.006	9717.0	0.000	
22	0.772	0.046	10067.0	0.000	
23	0.761	0.013	10408.0	0.000	
24	0.751	0.029	10740.0	0.000	
25	0.741	0.013	11065.0	0.000	
26	0.731	-0.090	11380.0	0.000	
27	0.719	-0.047	11687.0	0.000	
28	0.708	0.042	11985.0	0.000	
29	0.697	-0.015	12274.0	0.000	
30	0.687	0.010	12555.0	0.000	
31	0.676	0.018	12828.0	0.000	
32	0.667	0.094	13094.0	0.000	
33	0.660	0.122	13355.0	0.000	
34	0.654	-0.002	13612.0	0.000	
35	0.647	-0.013	13864.0	0.000	
36	0.642	0.057	14112.0	0.000	

Anexo 2.7. Correlograma LCONTHEAT

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.942	0.942	501.54	0.000	
2	0.875	-0.117	934.40	0.000	
3	0.826	0.144	1321.3	0.000	
4	0.789	0.049	1675.4	0.000	
5	0.768	0.131	2011.1	0.000	
6	0.750	0.022	2331.7	0.000	
7	0.730	0.024	2636.4	0.000	
8	0.702	-0.064	2918.0	0.000	
9	0.675	0.048	3179.3	0.000	
10	0.656	0.029	3426.0	0.000	
11	0.639	0.019	3660.9	0.000	
12	0.630	0.065	3889.8	0.000	
13	0.621	0.000	4112.2	0.000	
14	0.600	-0.071	4320.1	0.000	
15	0.573	-0.026	4510.2	0.000	
16	0.544	-0.040	4681.9	0.000	
17	0.526	0.069	4842.8	0.000	
18	0.514	-0.003	4996.7	0.000	
19	0.513	0.108	5150.5	0.000	
20	0.517	0.038	5306.8	0.000	
21	0.513	0.000	5460.8	0.000	
22	0.512	0.083	5615.0	0.000	
23	0.511	0.008	5768.7	0.000	
24	0.512	0.040	5923.1	0.000	
25	0.514	0.014	6079.3	0.000	
26	0.512	-0.028	6234.2	0.000	
27	0.512	0.064	6389.6	0.000	
28	0.514	0.039	6546.5	0.000	
29	0.513	-0.005	6703.2	0.000	
30	0.502	-0.084	6853.3	0.000	
31	0.492	0.029	6997.5	0.000	
32	0.489	0.016	7140.4	0.000	
33	0.485	-0.016	7281.4	0.000	
34	0.481	-0.011	7420.0	0.000	
35	0.479	0.036	7557.9	0.000	
36	0.478	0.031	7695.4	0.000	

Anexo 2.8. Correlograma LINPUTSUSA

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
1	0.944	0.944	502.98	0.000	
2	0.888	-0.033	948.75	0.000	
3	0.835	-0.007	1343.0	0.000	
4	0.791	0.065	1697.9	0.000	
5	0.756	0.051	2022.4	0.000	
6	0.724	0.016	2320.8	0.000	
7	0.692	-0.014	2593.6	0.000	
8	0.659	-0.009	2841.7	0.000	
9	0.631	0.037	3069.7	0.000	
10	0.611	0.062	3284.0	0.000	
11	0.598	0.051	3489.4	0.000	
12	0.589	0.044	3689.2	0.000	
13	0.584	0.050	3885.7	0.000	
14	0.579	0.030	4079.6	0.000	
15	0.572	-0.001	4269.0	0.000	
16	0.568	0.042	4455.9	0.000	
17	0.569	0.067	4643.8	0.000	
18	0.571	0.027	4833.4	0.000	
19	0.572	0.019	5024.3	0.000	
20	0.571	0.011	5214.7	0.000	
21	0.567	0.010	5403.1	0.000	
22	0.563	0.017	5588.8	0.000	
23	0.563	0.060	5775.1	0.000	
24	0.562	0.002	5961.1	0.000	
25	0.558	-0.012	6144.5	0.000	
26	0.558	0.066	6328.1	0.000	
27	0.548	-0.066	6505.6	0.000	
28	0.545	0.078	6681.7	0.000	
29	0.548	0.069	6860.1	0.000	
30	0.553	0.027	7042.2	0.000	
31	0.564	0.073	7231.5	0.000	
32	0.565	-0.041	7422.4	0.000	
33	0.571	0.070	7617.4	0.000	
34	0.564	-0.088	7807.9	0.000	
35	0.552	-0.037	7991.0	0.000	
36	0.545	0.046	8169.9	0.000	

## Anexo 2.9. Correlograma LINPUTSUSA

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.994	0.994	557.65	0.000
		2	0.988	-0.098	1108.8	0.000
		3	0.980	-0.076	1652.4	0.000
		4	0.972	-0.029	2188.0	0.000
		5	0.964	-0.017	2715.5	0.000
		6	0.955	-0.055	3234.0	0.000
		7	0.946	-0.000	3743.8	0.000
		8	0.937	0.019	4244.8	0.000
		9	0.927	-0.034	4736.9	0.000
		10	0.919	0.034	5220.5	0.000
		11	0.910	0.025	5696.1	0.000
		12	0.902	0.000	6163.7	0.000
		13	0.894	0.067	6624.5	0.000
		14	0.886	-0.053	7078.0	0.000
		15	0.878	-0.012	7524.3	0.000
		16	0.871	0.025	7963.8	0.000
		17	0.864	0.042	8397.1	0.000
		18	0.857	0.024	8824.7	0.000
		19	0.852	0.039	9247.2	0.000
		20	0.846	0.009	9665.0	0.000
		21	0.840	-0.025	10078.	0.000
		22	0.835	-0.006	10486.	0.000
		23	0.828	-0.066	10889.	0.000
		24	0.822	-0.004	11287.	0.000
		25	0.816	0.008	11679.	0.000
		26	0.809	-0.031	12065.	0.000
		27	0.802	-0.048	12446.	0.000
		28	0.795	0.017	12820.	0.000
		29	0.787	-0.003	13188.	0.000
		30	0.780	0.000	13549.	0.000
		31	0.773	0.035	13905.	0.000
		32	0.766	0.006	14255.	0.000
		33	0.760	0.076	14600.	0.000
		34	0.754	0.023	14941.	0.000
		35	0.749	-0.006	15277.	0.000
		36	0.743	-0.029	15609.	0.000

Fuente: Elaboración propia.