

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA ECONÓMICAS, A.C.



PRODUCCIÓN, CONSUMO, IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE GAS NATURAL EN MÉXICO.
UN ANÁLISIS DE HETEROSCEDASTICIDAD CONDICIONAL

TESINA

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ECONOMÍA

PRESENTA

AARÓN MISAEL PERCASTRE GÓMEZ

DIRECTOR DE LA TESINA: DR. JUAN ROSELLÓN DÍAZ

CIUDAD DE MÉXICO

2020

*A Dios,
a mis padres,
y a mis hermanos.*

Agradecimientos

Hay varias personas y circunstancias que me han ayudado a llegar hasta este momento. Me gustaría agradecer, en primer lugar, a mi padre y a mi madre quienes sin su apoyo y dedicación nada de esto sería posible. A ellos les digo: “gracias por todo... su esfuerzo ha valido la pena”. También, a mis hermanos que sin saberlo han sido una gran inspiración y motivación.

En segundo lugar, a Maleni cuya ayuda en la elaboración de esta tesina, y a lo largo de estos dos años, ha sido valiosa. A mis amigos de la Facultad de Economía: Emmanuel, Fernando, Joel y Lalito, cuyos consejos y aportaciones han sido de gran importancia en esta maestría.

A los amigos, que hice durante mi estancia en esta gran institución, Aracely y Osvaldo. Su ayuda no sólo fue enriquecedora académicamente, sino también en el día a día y en lo personal. A Alex, Eduardo, Félix, Javier, Iván, Irving y Jonathan que hicieron más llevaderas todas aquellas tardes-noches de estudio. Sin lugar a duda, ha sido un honor y una gran experiencia haber compartido estos dos años con compañeros tan brillantes y excelentes personas.

En tercer lugar, a el Dr. Juan Rosellón por aceptarme como su tesista y por ayudarme en la elección del tema. A el Dr. Ricardo Massa por ayudarme a aterrizar las ideas en la elección del modelo. La dirección, paciencia y asesorías de ambos fueron determinantes para la culminación de este trabajo.

Finalmente, agradezco al CIDE por la experiencia y la educación de excelencia que me brindaron, por medio de sus investigadores y laboratoristas, en esta etapa de mi vida. Y al CONACYT por su apoyo financiero por estos años.

RESUMEN

El presente documento analiza el comportamiento de las variables reales de producción, consumo, importación y exportación de gas natural de 1990.1 a 2019.8, bajo el contexto de las reformas energéticas mexicanas. Las variables seleccionadas muestran comportamientos gráficos y estadísticos característicos de series con presencia de heteroscedasticidad condicional. Ante la limitación de los modelos clásicos para capturar éste de manera correcta, se utiliza la metodología *ARCH* propuesta por Engle (1982) y generalizada por Bollerslev (1986) que suele ser más utilizada para series de índole financiera, manteniendo la hipótesis de estacionariedad en las series.

A pesar de que la literatura se inclina por el uso intensivo de los modelos de heteroscedasticidad condicional sobre el precio de los hidrocarburos; la metodología *ARCH* muestra conveniente el uso de este tipo de modelos para las variables reales y exhibiendo un buen ajuste de las series.

Las series de consumo e importación de gas natural son representadas por un modelo *GARCH* (1,1) implementando la transformación de rendimientos, en tanto la serie de producción y exportación presentan un ajuste *ARCH*(2) y *TGARCH*(1,1,1) , respectivamente. De los resultados de correcta especificación junto con los de estacionariedad se infiere la presencia de reversión a la media. Además, los coeficientes revelan que la volatilidad alrededor de la media no es tan fuerte; mientras que la persistencia de este fenómeno en las series es más prolongada. Finalmente se encuentra evidencia gráfica y estadística de choques en intervalos próximos a los periodos de ocurrencia de las reformas energéticas.

Índice

1. Introducción	1
2. Historia de la industria de gas natural en México.....	1
2.1 Las reformas energéticas de 1995 y 2013.....	5
3. Revisión de literatura para Series de tiempo	8
4. Datos y Selección del modelo.....	12
5. Análisis de resultados.....	19
6. Conclusiones	27
Anexo	30
Bibliografía	38

Índice de Gráficas

4.1 Producción de gas natural en millones de pies cúbicos 1990.1-2019.8.....	12
4.2 Consumo de gas natural en millones de pies cúbicos 1990.1-2019.8	12
4.3 Importación de gas natural en millones de pies cúbicos 1990.1-2019.8 ...	13
4.4 Exportación de gas natural en millones de pies cúbicos 1990.1-2019.8 ...	13
4.5 Primera diferencia del logaritmo de producción de gas natural 1990.1- 2019.8.....	15
4.6 Primera diferencia del logaritmo de consumo de gas natural 1990.1-2019.8	16
4.7 Primera diferencia del logaritmo de importación de gas natural 1990.1- 2019-8	16
4.8 Primera diferencia de exportación de gas natural 1990.1-2019-8	16
5.1 Desviación estándar condicional de la producción de gas natural 1990.1- 2019.8.....	23
5.2 Desviación estándar condicional del consumo de gas natural 1990.1- 2019.8.....	24
5.3 Desviación estándar condicional de la importación de gas natural 1990.1- 2019.8.....	24
5.4 Desviación estándar condicional de la exportación de gas natural 1990.1- 2019.8.....	24

Índice de Cuadros

4.1 Pruebas ADF y PP de raíz unitaria.....	12
4.2 Prueba KPSS de raíz unitaria	14
4.3 Prueba ARCH.....	17
5.1 Coeficientes de la ecuación de la media del modelo ARCH para las series de Producción, Consumo, Importación y Exportación.....	20
5.2 Coeficientes de la ecuación de la varianza del modelo ARCH para las series de Producción, Consumo, Importación y Exportación.....	20
5.3 Prueba ARCH.....	21
A.1 Pruebas de correlograma para series de tiempo	30
A.2 Pruebas de normalidad y estadísticas para las series de tiempo.....	32
A.3 Estimación base de modelos GARCH.....	33
A.4 Pruebas de correlograma para modelos ARCH.....	35
A.5 Prueba de Normalidad y estadísticas para los modelos ARCH	37

1. Introducción

Desde la expropiación petrolera mexicana, PEMEX fue la empresa estatal encargada de exploración, explotación, transportación, distribución, almacenamiento, y más, en materia de hidrocarburos en una época de cambio social, político y económico en México, a lo largo de 57 años. En 1995, la primera reforma energética apareció como un primer intento de liberalizar y dotar de competitividad al sector de hidrocarburos por medio de la incursión de la iniciativa privada en algunas de las actividades exclusivas de PEMEX. En 2013 el sector experimentó otra reforma de mayor importancia con modificaciones constitucionales para permitir una participación más activa de la iniciativa privada en actividades antes reservadas al Estado mexicano (principalmente en inversión).

Bajo ese contexto y dadas las reformas estructurales en el sector energético mexicano se esperan cambios en el comportamiento de diferentes variables, en específico del gas natural, -un *commodity* importante en el mercado energético actual- que permitirían medir el impacto de esas reformas. Autores como Johansen, Mosconi, Nielsen (2000) sugieren que los choques (estructurales) importan al analizar series de tiempo económicas. Sin embargo, en ocasiones una caminata aleatoria describe mejor el comportamiento de una serie de tiempo -alrededor de un punto- que una serie estacionaria.

Si una serie no es estacionaria, el efecto de un choque no desaparecerá y presentará un comportamiento azaroso o una tendencia estocástica (que, a diferencia de un movimiento browniano, aunque no se sabe cómo se comportará en el corto plazo, se puede predecir cómo se moverá en el largo plazo) y, por ende, no tendrá reversión a la media. Existe un comportamiento de reversión a la media cuando a partir de un punto de referencia se puede observar movimientos en dirección hacia él, sin importar si la serie presenta valores por encima o por debajo. Siempre que este comportamiento exista, se observará un comportamiento estable en la serie (Hammoudeh, 1996).

El desconocimiento de la reversión a un punto conocido da pie a una intervención adecuada, por parte de las autoridades, ante choques en las variables para comprender sus efectos permanentes. En cambio, si la serie muestra un proceso de reversión a la media, la

intervención no tendrá sentido ya que las perturbaciones solo serán momentáneas y la serie convergerá a su equilibrio de largo plazo (Li y Thompson, 2010).

Además, en un mercado como el de hidrocarburos, los precios son susceptibles a los efectos de las expectativas de los agentes económicos. Al no cumplirse las suposiciones de los individuos, hay cambios en los precios, de lo contrario habría confianza y, por tanto, estabilidad. Con o sin expectativas, el comportamiento de la serie es estable si existe un proceso de reversión a la media.

Otro punto para considerar es la dependencia a largo plazo, que mencionan Choi y Hammoudeh (2009) existente entre las observaciones de la serie (comportamiento de memoria larga) que debate la eficiencia de los modelos estándar como herramientas para conocer el comportamiento histórico y futuro de las variables económicas con presencia de volatilidad. Asimismo, la metodología ARCH esclarece que solo la presencia de eventos de gran magnitud afecta la volatilidad de forma persistente en el tiempo sin afectar la memoria larga de la serie. Así, conocer la información (pasada) permite una mejor comprensión de la variable, así como una mejor toma de decisiones.

Además, las variables de gas natural examinadas (producción, consumo, importaciones y exportaciones) muestran comportamientos y relaciones estadísticas propias de series de tiempo con problemas de heteroscedasticidad condicional y por tanto son aptas para el marco metodológico ARCH. Las variables que presentan estas relaciones manifiestan un comportamiento donde la varianza condicional (pasada) afecta el comportamiento actual de la variable, debido a periodos en que la varianza es alta seguidos de periodos de varianza baja y viceversa.

De hecho, capturar este tipo de características requiere de funciones no lineales (como el modelo ARCH). Además, esta conducta contradice la hipótesis de homocedasticidad -en los modelos usuales de series de tiempo- que repercute (negativamente) en la eficiencia de los parámetros. Sin embargo, por medio del marco metodológico propuesto es posible establecer el comportamiento de la varianza (actual) incorporando como factores explicativos la información recolectada y su volatilidad observada.

Dicho lo anterior, el presente trabajo busca analizar el comportamiento de las series de tiempo del gas natural, en el contexto de las reformas energéticas de 1995 y 2013. Esto mediante técnicas que ayuden a determinar si las variables en cuestión han presentado cambios en su estructura (en los años de las reformas) manteniendo la hipótesis de estacionariedad. También se evidenciará el uso de los modelos ARCH con variables de índole real -en contra parte al exceso de literatura que relaciona la metodología ARCH con series financieras- y observar las perturbaciones momentáneas y de largo plazo que exhiben las series alrededor de los periodos cuando las reformas entraron en vigor; así como conocer y comprender el comportamiento de las series sólo con información de sus valores pasados, es decir, en ausencia del análisis de causalidad.

Para esto, se da un contexto histórico del mercado de gas natural en México antes y durante las reformas energéticas. Después, se realiza una breve revisión de literatura sobre series de tiempo, pasando por los conceptos de estacionariedad y cambio estructural, hasta llegar a una pequeña introducción de los modelos de la familia GARCH utilizados. El tercer capítulo vincula el comportamiento gráfico y las relaciones estadísticas, aceptadas por la literatura con las series de tiempo en cuestión. A continuación, se exhiben los resultados obtenidos del marco metodológico ARCH y se analiza el comportamiento de las series en el periodo de enero 1990 a agosto de 2019. Finalmente, se encuentran las conclusiones del trabajo.

2. Historia de la industria de gas natural en México

Después de la expropiación petrolera en 1938, la comercialización del gas natural en México era nula. Solo PEMEX abastecía sus instalaciones (Rosellón y Halpern, 2001), por lo tanto, los principales retos de PEMEX (de índole económica y de inversión), en la década de los años cuarenta, se centraron en el desarrollo de transporte y abastecimiento de los mercados.

De acuerdo con Márquez (1988), en la década de los años cincuenta y sesenta, la situación cambió, particularmente por el desarrollo y crecimiento de la industria petroquímica que se volvió un importante consumidor de gas natural. Ello en gran parte gracias a los avances y estímulos logrados por el desarrollo industrial del país a partir de la segunda mitad del siglo, lo que permitió la consolidación de la industria.

En la década de los años setenta, la importancia del gas natural dado el aumento en la producción, ventas internas y externas, y a la conducción y transportación en los gasoductos, llevó a representar alrededor del 30% y 40% de la producción de energía y reservas de hidrocarburos del país, respectivamente. Sin embargo, el panorama no se vislumbraba alentador, el bajo aprovechamiento del gas se asociaba al lento crecimiento de su producción. Por otra parte, las reservas ya exhibían un franco declive, lo que representaba un problema de demanda insatisfecha, pues el consumo había aumentado. Adicionalmente, los recursos financieros de PEMEX eran escasos (Márquez, 1988; Márquez, 1989).

Dado lo anterior, la estrategia era buscar la autosuficiencia (incremento de la producción vía aumento en la actividad exploratoria) de los hidrocarburos, principalmente del crudo, lo que relegaba las actividades ligadas al gas natural subordinadas a las fijadas para el petróleo (en el caso de existir excedentes) (Márquez, 1988; Márquez, 1989; Rosellón y Halpern, 2001).

Para fines de los años setenta e inicio de los años ochenta, la política económica se centró en los hidrocarburos, se propuso incrementar la producción del crudo en un 250%; duplicar la actividad de refinamiento y triplicar la producción petroquímica y de gas natural. Sin embargo, no se consideraba la exportación de gas pues éste se destinaría a la industria petroquímica y como combustible industrial y doméstico. Por lo tanto, el consumo interno

de gas natural aumentó (Márquez, 1988), favoreciendo un mejor aprovechamiento de la capacidad productiva e intentando solucionar el problema del gas asociado, al mantenimiento de las instalaciones. Empero, la producción de gas natural presentó una disminución dado el abatimiento del yacimiento de gas asociado, más el número insuficiente de campos de gas (que representó una disminución de las reservas probadas de gas natural) y su desperdicio.

A finales de los años ochenta, la importancia del gas natural aumentó debido a diferentes circunstancias, como por ejemplo a su bajo costo y a la disminución de su nocividad, pese al estancamiento de la industria de gas en México y la desregulación del gas en Estados Unidos y Canadá. Sumado a esto, hubo una nueva tendencia de política energética. (Villarruel, 2005). Así se dio pie a la desregulación del sector energético en México, agravado por un periodo previo de altas tasas de inflación y estancamiento económico (Rosellón y Halpern, 2001; Villarruel, 2005).

2.1 Las reformas energéticas de 1995 y 2013

Con el nuevo marco legal en la reforma de 1995 culminaron los cambios en política energética a inicio de la nueva década (Rosellón y Halpern, 2001). Históricamente, el gas natural es visto como un producto extra (el petróleo es de máxima importancia para PEMEX), lo que representa falta de inversión. Hasta 1995, PEMEX tuvo el monopolio de las actividades relacionadas con el gas natural; por tanto, a partir de la reforma, PEMEX se fue dedicando solo a la exploración y explotación del gas natural, aunque se le permitió expedir contratos a la iniciativa privada que permiten explorar y explotar reservas de gas sin obtener los derechos por la producción de este bien (motivo por el cual no se tuvo el éxito esperado) (Rosellón, 1998; Villarruel, 2005).

En esta reforma el sector privado podría participar en las actividades de transportación, distribución y comercialización, buscando el desarrollo a largo plazo del sector de gas natural. La inversión privada en generación de electricidad mejoraría la competitividad y el medio ambiente, mediante una mayor oferta y el uso de combustibles más eficientes y limpios en la industria (Gobierno de la república, 1996).

En materia de precios, la regulación optó por anclar el precio del gas en México al precio vigente del gas en Houston, lo cual daría un precio competitivo al gas nacional, pero con el riesgo de una mayor volatilidad ajena al mercado nacional. Para las actividades del sector privado, la tarifa es una combinación entre un precio máximo y el costo de servicios que se ajusta a la inflación (Rosellón, 1998; Rosellón y Halpern, 2001; Villarruel, 2005). Cabe mencionar que la iniciativa privada no tiene influencia sobre la tarifa, aunque se le permite incorporar cierto tipo de gastos.

Los objetivos de la reforma energética de 2013 eran mantener los hidrocarburos como propiedad de la nación fortalecer y modernizar a PEMEX (ante la ausencia de capacidad técnica para extraer hidrocarburos de manera competitiva), reducir riesgos financieros (PEMEX necesita una gran inversión y no cuenta siquiera con la mitad de los recursos en el mejor de los escenarios), ecológicos y ambientales (sustituir terminales eléctricas contaminantes por medio tecnologías limpias y gas natural) (Gobierno de la República, 2014). También se buscaba aumentar la inversión en actividades de exploración y explotación de gas y petróleo (incrementar las reservas probadas y aumentar su producción) en pro del desarrollo, tener un mayor abasto y mejorar los precios de los energéticos (disminuir tarifas de electricidad y gas) (Pérez y Zubicaray, 2017).

Ante la problemática que vivía el sector, el principal problema era el marco constitucional en el que PEMEX estaba obligado a realizar todas las actividades de la industria petrolera por sí solo. En este sentido, la utilidad derivada del petróleo siempre fue superior con respecto a la del gas natural, por lo tanto, PEMEX se dedicó al negocio más rentable. Esto derivó en una disminución significativa de la producción de gas natural (Gobierno de la república, 2014), sin embargo, para mantener la demanda nacional de gas, se importó a precios más caros que el producido en México.

Para tales fines, la reforma constitucional daba a PEMEX la posibilidad de otorgar contratos a la inversión privada, de asociarse con terceros con el fin de modernizar (obtención de tecnologías) el sector e incorporar los recursos ociosos por falta de inversión y así disminuir los riesgos. Para ello también fue necesario la creación o modificación de leyes secundarias, 12 leyes y 25 reglamentos fueron modificados y se crearon 10 leyes (Pérez y Zubicaray,

2017), que regularían los contratos que permitieran el aumento en los ingresos del Estado que en el largo plazo repercutirían en el desarrollo de la nación.

En este sentido, la ley de hidrocarburos (Gobierno de la república, 2014) plantea que los únicos responsables para emitir contratos de exploración y extracción de hidrocarburos son las empresas estatales, las cuales garantizarán que los beneficios derivados de dicho contrato sean los máximos. Por su parte, a sabiendas de que la inversión en infraestructura por parte de la iniciativa privada se ve afectada por el control de PEMEX, se llevó a cabo la reforma del artículo 28 constitucional que mantiene la exploración y explotación de hidrocarburos como exclusividad del Estado, pero que permite la participación de la iniciativa privada en el transporte, almacenamiento y distribución por medio de un permiso otorgado por una entidad reguladora que debe normar las ventas hasta que exista una competencia efectiva.

En síntesis, la reforma de 1995 buscaba a largo plazo que las actividades de transporte, almacenamiento, distribución y comercialización, exportación e importación se llevaran a cabo mediante la iniciativa privada; mientras que el objetivo de la reforma de 2013, en materia de gas natural, fue aumentar la producción ante el aumento de las importaciones de poco más del 25%, comparado con el año 1997, para satisfacer el creciente consumo nacional de gas y restitución al cien por ciento del hidrocarburo mediante el incremento a la inversión en exploración y extracción. Donde se espera que los resultados se vislumbren a mediano y largo plazo (Gobierno de la república, 2014; CEFEP, 2018).

En el contexto de las reformas energéticas de 1995 y 2013, se busca analizar el comportamiento que las series de tiempo del gas natural con técnicas de series de tiempo que ayudan a determinar si las variables en cuestión han presentado cambios en su estructura (en los años de dichas reformas) manteniendo la hipótesis de estacionariedad.

3. Revisión de literatura para Series de tiempo

Una serie de tiempo es una colección de observaciones cronológica generadas en forma secuencial a través del tiempo. Por ejemplo, el precio mensual de la gasolina determinado por el mercado, entre otros (Harol, 1941). Dicho lo anterior, una serie de tiempo es un proceso estocástico con espacio de estados E continuo o discreto y espacio parametral T discreto. La serie de tiempo se denota como $\{X_t\}$. Así, el valor X_t representa la t -ésima observación, es decir, el valor que tendrá la serie de tiempo en el momento t . Este valor puede ser conocido o desconocido, en cuyo caso será una constante o una variable aleatoria. El objeto del análisis de series de tiempo es entonces describir el proceso teórico que subyace en la serie de tiempo de un modelo matemático que tenga propiedades similares al proceso real.

En este campo de conocimiento, un concepto de gran relevancia es el de estacionariedad que está relacionado con el comportamiento de largo plazo (convergente) de la serie de tiempo. Dado que consideramos una serie de tiempo como un proceso estocástico, es indispensable que ésta no dependa del tiempo, sino del intervalo para asegurar que el comportamiento de la serie sea el mismo sin importar el tiempo en que se observe, cuando se logra esto en una serie, se dice que es estacionaria (Guerrero, 2014).

Perron (1989) propone 3 modelos para probar la estacionariedad, cuyas componentes deterministas son alteradas con el fin de probar la hipótesis de raíz unitaria, si una serie de tiempo tiene raíz unitaria, se concluye que no es estacionaria. El primero permite un cambio en el intercepto sin afectar la tendencia lineal; en el segundo modelo la tendencia lineal se ve afectada, pero el intercepto no sufre cambios y, por último, ambas componentes son afectadas cuando ocurre el cambio. Asimismo, concluye que las series macroeconómicas pueden representarse como fluctuaciones estacionarias alrededor de una tendencia

La raíz unitaria de una serie de tiempo es de suma importancia en economía, por lo que la literatura ha desarrollado diversos métodos para probar su hipótesis. Motivo por el cual es importante estudiar los choques repentinos (ocasionando variabilidad en un intervalo alrededor) en la serie de tiempo en periodos determinados. (Perron; 1990).

Perron (1990) explica que, pese a la preocupación de escoger el punto de perturbación, en general basta con una inspección visual. Un resultado, importante, al realizar una extensión de la prueba Dicket-Fuller es que la hipótesis de raíz unitaria es sensible ante cambios en el componente determinista y dado que el procedimiento está condicionado a un cambio exógeno, es mejor que se relacione con eventos (conocidos) que pudieron haber realizado un cambio en la estructura de la serie.

Por otra parte, se tiene que tomar en cuenta que para series económicas la existencia de raíz unitaria está en duda. Esto debido a que a la hora de probar la hipótesis de estacionariedad se puede distinguir series que parecen ser estacionarias y poseer raíz unitaria para los cuales los datos no aseguran que lo son. Por ende, Kwiatkowski, Phillips, Schmied y Shin (1992) proponen una nueva prueba de multiplicadores de Lagrange que es asintóticamente consistente bajo las condiciones generales.

En la ciencia económica es usual pensar que los cambios en la tendencia de una serie de tiempo a eventos cuya ocurrencia es esporádica. Si dichos acontecimientos son los culpables de los cambios permanentes en los datos, entonces un modelo de tendencia segmentada captura los efectos. Sin embargo, concluyen que, un modelo de diferencias segmentada (primera diferencia) realiza un mejor ajuste, ya que los residuos del segmento de tendencia respecto a la línea de tendencia están acotados, a diferencia del modelo de tendencia segmentada en donde los residuos crecen en proporción del tamaño de la muestra (Rappoport y Reichlin; 1989).

Engle (1982) introduce un modelo intentando estimar la varianza de la inflación en Reino Unido, en el cual los valores actuales de la variable aleatoria y_t dependen de la varianza de la información, inmediata anterior, y_{t-1} , a diferencia de los modelos convencionales (modelos ARMA) que no dependen del periodo anterior. Así nace una familia de modelos que, a la postre, serían conocidos como modelos ARCH (*Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*). En palabras de Engle, al permitir que información adicional pasada afecte el pronóstico de la varianza de una serie, se obtendría una mejor predicción de la variable.

Según De Arce (2000), existen tres situaciones por las que Engle justifica los modelos ARCH y son las siguientes: i) periodos de alta varianza en los errores seguidos de periodos de baja varianza donde un modelo capaz de acertar en los valores de la varianza es conveniente para realizar estimaciones; ii) en series financieras el modelo ARCH toma en cuenta la rentabilidad y volatilidad; y iii) este tipo de modelos permiten contrastar la hipótesis de permanencia estructural, deseable para que un modelo econométrico sea válido.

La forma funcional del modelo ARCH, vinculado al pasado de su varianza en el tiempo, es:

$$\begin{aligned} y_t &= \epsilon_t \sqrt{h_t} \\ h_t &= \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1}^2 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Donde y_t es obtenido de una distribución normal con media cero y varianza h_t cuyo valor puede ser descrito de una manera más general como $h(y_{t-i}, \alpha), i = 1, \dots, p$; (p representa el orden del proceso ARCH(p)), notemos que bajo esta generalización, en la ecuación (3.1), tenemos un modelo ARCH(1) y α es un vector de parámetros, obteniendo así, para la varianza, la siguiente representación:

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y_{t-i}^2 \quad (3.2)$$

Además, si se considera el error, expresando a y_t como función de otras variables explicativas, $\epsilon_t = y_t - X_t \beta$ como la diferencia entre el valor de la variable observada y la combinación lineal de variables exógenas y endógenas rezagadas (siendo β un vector de parámetros desconocidos, ϵ_t es función de las variables explicativas por medio de X_t); entonces la forma funcional de la varianza puede ser descrita como:

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \epsilon_{t-i}^2 = h(\epsilon_{t-i}, \alpha), i = 1, \dots, p \quad (3.3)$$

Bollerslev (1986) argumenta que es usual introducir rezagos en la ecuación de la varianza condicional para mantener la memoria a largo plazo del modelo, sin embargo, dichos rezagos son arbitrarios y optar por una estructura sin rezagos rompe con la no negatividad de los parámetros. Para evitar este problema propone una estructura más general, el modelo GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*) que no solo permite una estructura más flexible para los rezagos, sino que también admite una mayor parsimonia

en el modelo (siendo esta extensión análoga a la que ocurre para el modelo AR en el modelo general ARMA).

Bollerslev (1986) a la estructura ARCH incorpora un proceso estocástico de valor real en tiempo discreto h_t , mientras que ε_t representa los errores de un modelo obtenido de la siguiente forma $y_t = X_t\beta + \varepsilon_t$ que es obtenido de un conjunto de información que tiene la siguiente distribución $N(0, h_t)$ y la varianza tiene la siguiente forma funcional:

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^p \beta_i h_{t-i}^2 \quad (3.4)$$

Donde $p \geq 0$, $q \geq 0$ y representa los rezagos que dan el grado al proceso GARCH(p, q), además, se cumple que $\alpha_i \geq 0, \beta_j \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, q$ y $\forall j = 1, \dots, p$. La incorporación de la varianza condicional rezagada permite al modelo GARCH comportarse como un módulo de aprendizaje adaptativo.

Por último, un modelo de la familia ARCH es capaz de incorporar los efectos de “noticias” que pueden tener sobre la volatilidad de las series de tiempo por medio de un umbral. En este sentido los choques por encima de este umbral presentan un efecto diferente de aquellos que se encuentran por debajo de dicho umbral (Enders, 2015). En ese tenor, Zakoian (1994) propone la siguiente extensión al modelo:

$$h_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^s (\alpha_i + \theta_i d_{t-i}) \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^m \beta_j h_{t-j}^2, d_{t-i} = \begin{cases} 1 & \text{si } \varepsilon_{t-i} < 0 \\ 0 & \text{si } \varepsilon_{t-i} \geq 0 \end{cases} \quad (3.5)$$

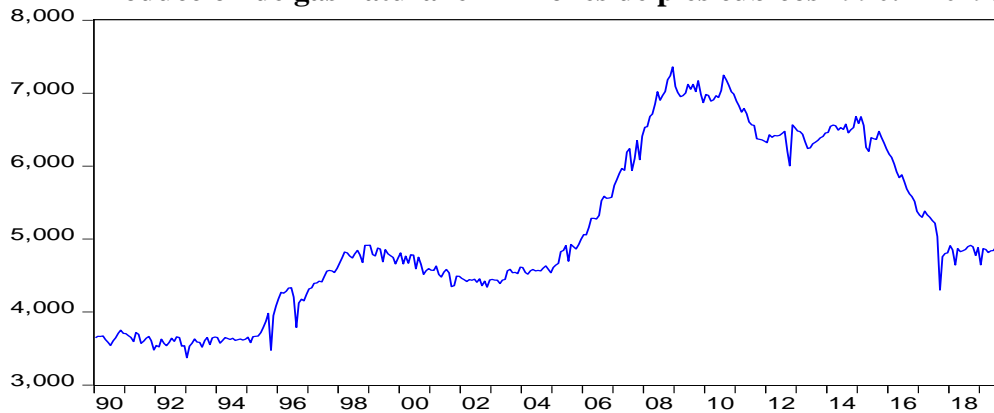
Donde d es una variable *dummy* que captura los efectos, es decir, si $d = 1$ ($\varepsilon_{t-i} < 0$) que implica que el efecto sobre h_t^2 por medio de ε_{t-i} es $(\alpha_i + \theta_i d_{t-i}) \varepsilon_{t-i}^2$. Además, si $\theta_i > 0$ nos indica que un choque negativo tendrá un mayor peso sobre la volatilidad que choques positivos. Por otra parte, si $d = 0$ ($\varepsilon_{t-i} < 0$) el efecto de ε_{t-i} será $\alpha_i \varepsilon_{t-i}^2$ (Enders, 2015).

4. Datos y Selección del modelo

Los datos y variables que se utilizan para el análisis de las series de tiempo son: consumo (C), producción (P), exportaciones (E), e importaciones (I), del gas natural cuya periodicidad mensual e intervalo de tiempo va de enero de 1990 a agosto de 2019. A excepción de la variable de exportaciones, donde los datos inician en septiembre de 2009 por lo que esta variable solo es analizada en el periodo 2006.9 a 2019.8. Es importante señalar que las series cumplen con ser integradas de orden 1 o $I(1)$ como señala Granger (1988), Rappoport y Reichlin (1989), es decir, si a partir de cierto número de diferenciación (en este caso solo fue necesario hacer la primera diferencia) de la serie esta acepta una representación ARMA estacionaria, equivalentemente su primer y segundo momento no dependen del tiempo (Engle y Granger, 1987; Granger, 1988).

Gráfica 4.1

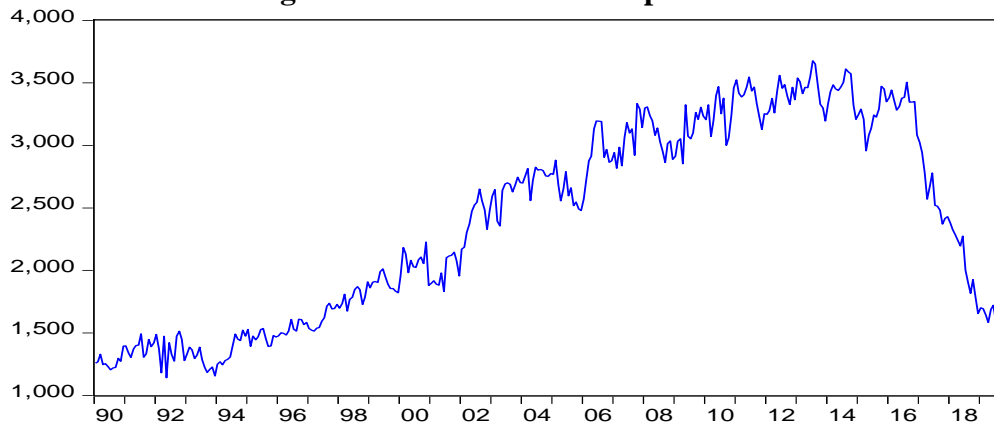
Producción de gas natural en millones de pies cúbicos 1990.1-2019.8



Fuente: elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

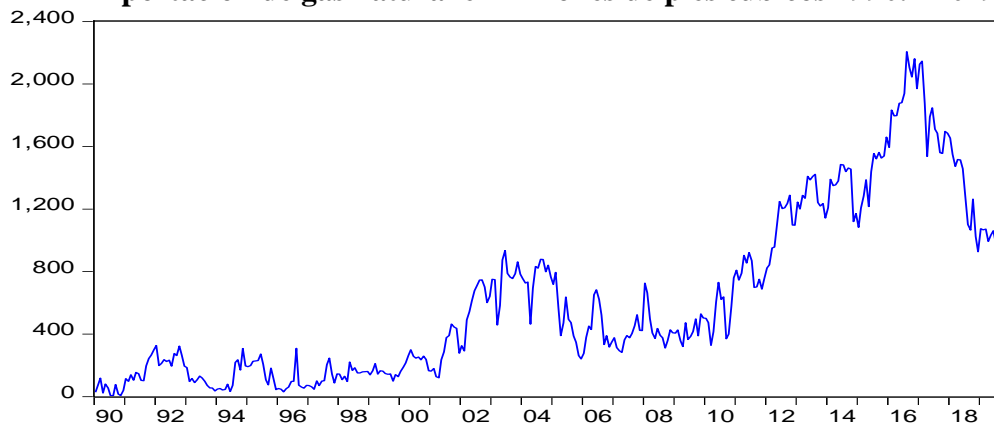
Gráfica 4.2

Consumo de gas natural en millones de pies cúbicos 1990.1-2019.8



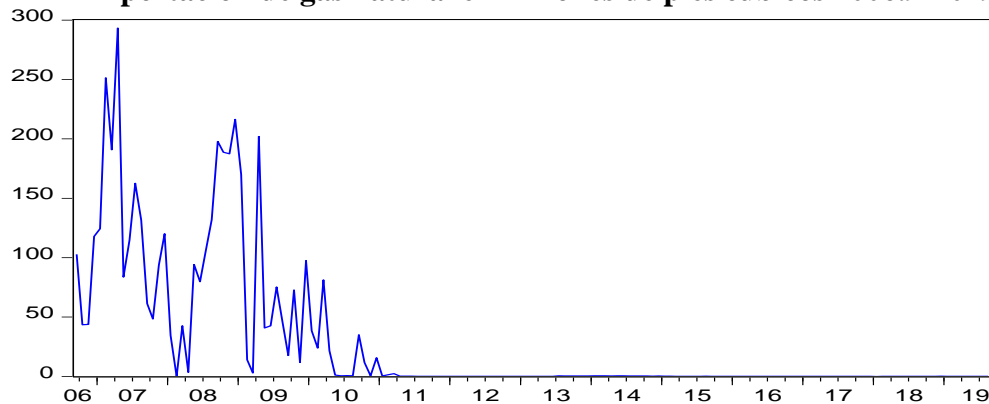
Fuente: elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Gráfica 4.3
Importación de gas natural en millones de pies cúbicos 1990.1-2019.8



Fuente: elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Gráfica 4.4
Exportación de gas natural en millones de pies cúbicos 2006.9-2019.8



Fuente: elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Las pruebas realizadas para corroborar la hipótesis de estacionariedad fueron: Dickey-Fuller Aumentada (ADF), Phillips-Perron (PP) y Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS). Las primeras dos pruebas proponen hipótesis nula de la existencia de una raíz unitaria, motivo por el cual se busca rechazarla para aceptar la hipótesis alterna que expresa la no existencia de dicha raíz unitaria. Por otra parte, la tercera prueba se diferencia por presentar la hipótesis nula que indica la existencia de un proceso estacionario; por lo que se busca aceptarla (ver cuadro 1 y 2).

Enfatizando un poco sobre las variables seleccionadas, debe mencionarse que, aunque la volatilidad no es directamente observable, ésta presenta características que se pueden divisar como: grupos de volatilidad, presencia de saltos inusuales dentro de intervalos definidos,

reacción ante la variación de precios. Dichas características son apropiadas y deben ser capturadas por los modelos de volatilidad (Bollerslev, Engle, Nelson, 1994; Tsay, 2005).

Cuadro 4.1

Pruebas ADF y PP de raíz unitaria												
Variable	ADF						PP(7)					
	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
Consumo	0.47711	(1)	-1.30293	(1)	-0.23600	(1)	0.775169	(8)	-1.28853	(5)	-0.21439	(7)
Δ Consumo	-23.4706		-23.2825		-23.3139		-24.3316	(7)	-23.6661	(3)	-23.6987	(3)
Producción	0.17107	(2)	-1.26436	(2)	0.509498	(2)	-0.37688	(1)	-1.33038	(1)	0.284225	
Δ Producción	-16.6442	(1)	-16.4913	(1)	-16.4802	(1)	-23.155	(3)	-22.9074	(5)	-22.8971	(5)
Importaciones	-2.86586		-1.34365	(2)	-0.40522	(2)	-0.04863		-2.86586	(6)	-0.46806	(8)
Δ Importaciones	-16.6465	(1)	-16.6673	(1)	-16.6695	(1)	-20.5249	(7)	-20.5524	(7)	-20.5502	(7)
Exportaciones*	-3.50635	(2)	-2.50211	(2)	-2.30738	(2)	-6.38947	(7)	-4.59011	(7)	-4.02723	(7)
Δ exportaciones*	-13.0199	(1)	-13.0642	(1)	-13.1047	(1)	-18.4164	(1)	-18.4807	(1)	-18.5409	(1)

Nota: Δ indica primeras diferencias de las variables utilizadas. Los valores en negrillas indican rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia. Los valores entre paréntesis indica el número de rezagos. Los valores críticos al 5% para la prueba Dickey-Fuller Aumentada y Phillips-Perron, para una muestra de T = 356, son de -3.54 incluyendo constante y tendencia (modelo A), -2.94 únicamente la constante (modelo B) y -1.95 sin constante y sin tendencia (modelo C) (Maddala y Kim, 1998).

*El Periodo de observación de esta variable es de 2006.9 - 2019.8, por lo que T= 156, en el cual se mantienen los mismos valores críticos para las pruebas ADF, PP y KPSS

Fuente: Elaboración propia con datos de Sistema de Información Energética y Petróleos Mexicanos (2019)

CUADRO 4.2

Prueba KPSS de raíz unitaria				
KPSS				
Variable	η_{μ}		η_{τ}	
Consumo	1.703146	(15)	0.35352	(15)
Δ Consumo	0.573582	(7)	0.209258	(10)
Producción	1.559177	(15)	0.264239	(15)
Δ Producción	0.307557		0.212181	(3)
Importaciones	1.771289	(15)	0.228285	(15)
Δ Importaciones	0.079755	(9)	0.080839	(9)
Exportaciones*	1.022772	(9)	0.279372	(9)
Δ exportaciones*	0.027718	(4)	0.017608	(4)

η_{μ} y η_{τ} representan los estadísticos de prueba KPSS con constante y con constante y tendencia, donde la hipótesis nula considera que la serie es estacionaria en nivel o alrededor de una tendencia determinística, respectivamente. Los valores críticos al 5% en ambas pruebas son de 0.463 y 0.146 respectivamente (Kwiatkowski et al., 1992). Los valores entre paréntesis representan el número de rezagos utilizados en las pruebas. Período 1990.1 – 2019.8

*El Periodo de observación de esta variable es de 2006.9 - 2019.8, por lo que T= 156, en el cual se mantienen los mismos valores críticos para las pruebas ADF, PP y KPSS

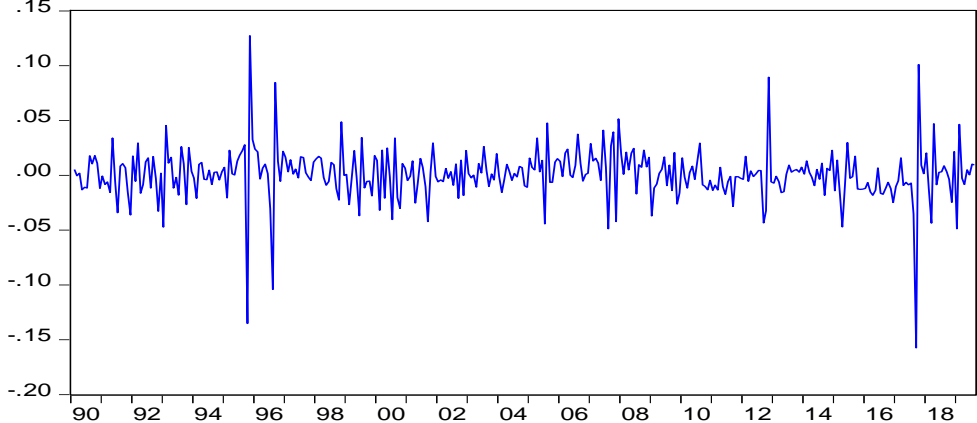
Fuente: Elaboración propia con datos de SIE y PEMEX (2019)

Para Enders (2015) la mayoría de las series muestran una tendencia definida, como lo hacen las variables del presente trabajo, salvo por los últimos años cuya tendencia parece cambiar de dirección. Otro rasgo que presenta este tipo de series es la persistencia que muestran los choques como se observa en las series del gas natural, que incluso, parecen no presentar una tendencia clara en los últimos años.

Otra señal que a menudo aparece es un “vaivén”, -tal como lo muestran las variables aquí utilizadas de consumo, producción e importaciones de gas natural-, visible en el comportamiento. Por otra parte, algunas series pueden mostrar conductas parecidas -como las series de producción e importación de gas natural-, sin que dicho comportamiento exprese necesariamente una relación causal. Adicionalmente, las series susceptibles de ser representadas por modelos de heteroscedasticidad condicional muestran quiebres estructurales (Enders, 2015). También se encuentra que la volatilidad de las series puede estar asociada a noticias y anuncios macroeconómicos (Bollerslev, Engle y Nelson, 1994).

Por otro lado, podemos realizar la siguiente transformación logarítmica a la serie, $y_t = \log(x_t)$ y efectuar la primera diferencia a la serie resultante, las propiedades de la función indican que ésta adquiere la forma de rendimientos logarítmicos usada para ilustrar algunos ejemplos por Bollerslev (1986) y Enders (2015), resulta además, que esta expresión es la forma en la que se expresan los rendimientos de los activos comúnmente utilizados en los modelos ARCH salvo por la escala porcentual, es decir, $y_t - y_{t-1} = \log(x_t) - \log(x_{t-1}) = r_t$

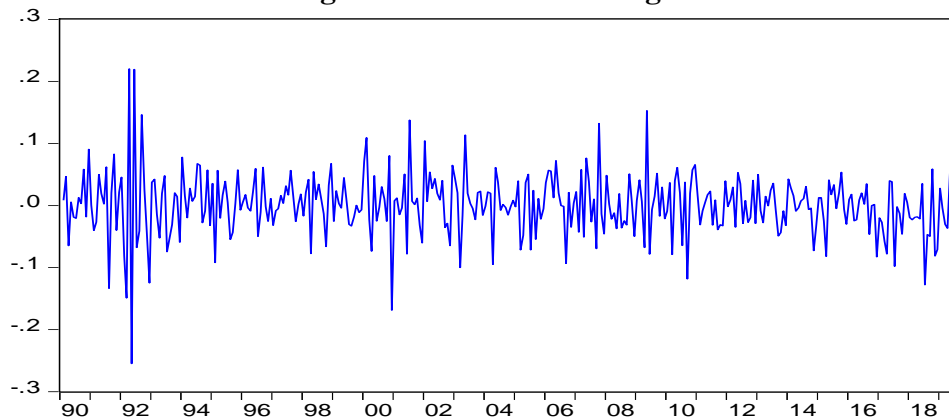
Gráfica 4.5
Primera diferencia del logaritmo de producción de gas natural 1990.1-2019.8



Fuente: elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Gráfica 4.6

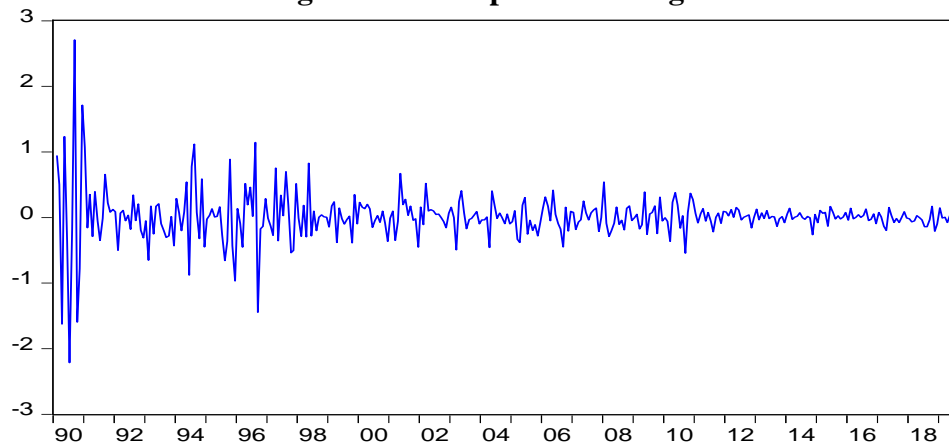
Primera diferencia del logaritmo de consumo de gas natural 1990.1-2019.8



Fuente: elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Gráfica 4.7

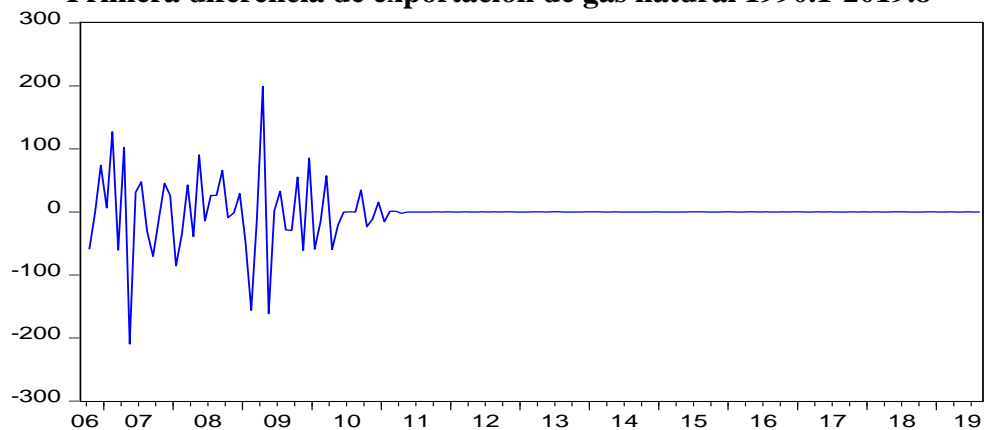
Primera diferencia del logaritmo de importación de gas natural 1990.1-2019.8



Fuente: elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Gráfica 4.8

Primera diferencia de exportación de gas natural 1990.1-2019.8



Fuente: elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

La expresión anterior no solo es utilizada para dar interpretaciones económicas a los resultados, sino que también nos puede servir para justificar algunas propiedades estadísticas que son representativas en mercados cuyas series presentan alta volatilidad y por ello problemas de heteroscedasticidad condicional, vale la pena mencionar que la transformación mencionada no se aplicó en el caso de la serie de exportación debido a que la serie presenta valores cercanos a cero, evidenciando una asíntota para la función. Bajo esta situación la transformación no solo carece de interpretación económica; sino que también, presenta problemas para el software utilizado (Econometric views 10) ya que no reconoce los valores.

Tomando esto en cuenta, las variables que usaremos en la estimación de los modelos son DLP_t , DLC_t , DLI_t que representa la primera diferencia del logaritmo de las variables de producción, consumo e inversión; en tanto que DE_t solo expresa la primera diferencia de la variable de exportación.

Esta transformación nos permite observar otras particularidades como el descenso de la volatilidad en la producción de gas natural antes del año 1995, o después del año 1992 para la serie de consumo; incluso, observar picos que sobre salen del comportamiento a lo largo del tiempo como los ocurridos en 1990 para la serie de importaciones, o bien el que experimentó la serie de exportaciones en el año 2009. Adicionalmente, se notan grupos de volatilidad; periodos donde la volatilidad es alta seguidos de periodos donde la volatilidad es baja y viceversa o incluso apreciar periodos donde se podría indicar que la volatilidad es normal (Bollerslev, Engle y Nelson, 1994).

En cuanto a las relaciones estadísticas que pueden resaltarse, este tipo de series tienden a ser leptocúrticas o a exhibir correlación serial (Bollerslev, Engle y Nelson, 1994). En este sentido las series aquí presentadas rechazaron la hipótesis nula de autocorrelación que plantea $H_0: \rho_i = 0$ (se aceptó $H_a: \rho_i \neq 0$), es decir se acepta la presencia de correlación serial. En lo que respecta a la distribución leptocúrtica se encontró que para todas las series el valor de la curtosis fue mayor a 3, lo que permite corroborar que los datos se acumulan alrededor de su media (ver apéndice).

Además, autores como Pindyck (2003), Mu (2004) German y Ohana (2009) convienen en utilizar el marco metodológico GARCH para estudiar el mercado de gas natural. El primero señala que existe presencia de volatilidad en los precios del gas y del petróleo, aunque dicha

presencia es marginal y caracterizada por que los choques muestran baja duración (por lo que no tienen relevancia económica). El segundo encuentra que una variable de clima, como *proxy* de choques en la demanda afectan la volatilidad condicional de los ingresos futuros del gas natural e incluso afecta la percepción del costo de oportunidad de producción. El tercer autor relaciona la volatilidad en el mercado de gas con el nivel de inventario en sentido negativo, es decir, en periodo de escasas la volatilidad aumenta.

Dado lo anterior y considerando que las series de tiempo cumplen con ser estacionarias (en primera diferencia) se realiza la prueba de heteroscedasticidad ARCH para ver si es apropiado estimar el modelo, siguiendo a Engle (1982), bajo la hipótesis nula de varianza constante; en este sentido se busca ver que los coeficientes de la varianza son estadísticamente iguales a cero, es decir, $\alpha_i = 0, i = 1, \dots, p$; versus la hipótesis alterna que expresa que la varianza no es constante ($\exists \alpha_i \neq 0$, para algún $i = 1, \dots, p$), específicamente que la serie presenta un proceso heteroscedástico condicional (ver cuadro 3).

Como resultado se obtiene que los valores pasados de la varianza pueden explicar su valor actual (concretamente el valor inmediato anterior) y por lo tanto se tiene que las series aceptan una representación ARCH

Cuadro 4.3

Prueba ARCH

Modelo	Estadístico F	P-Value
DLC C	151.9277	0.0000
DLP C	72.45051	0.0000
DLI C	29.39344	0.0000
LE C	17.45377	0.0001

Los valores en negrillas indican rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

5. Análisis de resultados

Una vez realizada la estimación de los modelos ARCH para las series de tiempo aquí presentadas, se corroboró que todos los coeficientes fueran significativos, al menos al 10% de significancia (aunque algunas constantes de la parte autorregresiva no fueron significativas, se incluyen dado que no afectan el análisis de las series). También se verifica que se cumplieron los criterios de especificación y convergencia.

Por ejemplo, en el caso de los procesos autorregresivos incluidos en los modelos, se corroboró que el valor absoluto de la suma de los coeficientes (significativos) que intervienen en dicho proceso fuera menor a 1, es decir, $|\sum_{i=1}^k \gamma_i| < 1$. De manera análoga, los coeficientes que inciden en la varianza condicional deben cumplir la condición anterior, en este sentido $|\sum_{(i=1, j=1)}^{(p, q)} \alpha_i + \beta_j| < 1$, -en el modelo de exportaciones no se pudo garantizar esta condición y se presenta aquella cuya suma es la más cercana a uno- (Bollerslev, 1986; Tsay, 2005 y Enders, 2015) y por último que las raíces de los procesos que están representando a las series estén dentro del círculo unitario (ver anexo).

Bajo las consideraciones anteriores se obtuvo que la serie DLP_t es representada por un modelo $ARCH(2)$, en tanto las series DLC_t y DLI_t son mejor presentadas por un modelo $GARCH(1,1)$ y finalmente un modelo $TGARCH(1,1,1)$ expresa a la serie DE_t (ver cuadro 5.1 y 5.2).

Luego, se realizaron las pruebas de diagnóstico de los residuos para comprobar la correcta especificación. Las pruebas efectuadas fueron la de correlograma bajo la hipótesis nula de no correlación serial de los errores, ($H_0: \rho_i = 0 \forall i$) tanto para la ecuación de la media; como para la ecuación de la varianza. Además, se ejecutó la prueba de efectos ARCH en la que se verificó la ausencia de heteroscedasticidad condicional (Tsay, 2005; Enders, 2015) (ver cuadro 5.3 y apéndice). Por otro lado, la prueba de normalidad de los errores mostró el rechazo de la hipótesis nula, ($H_0: \varepsilon_i$ siguen una distribución normal) y mostró la persistencia de la distribución leptocúrtica al presentar una curtosis superior a 3 en todos los modelos (exceso de curtosis), algo considerado normal en estos tipos de modelos (Tsay, 2005).

Cuadro 5.1

Coeficientes de la ecuación de la media del modelo ARCH para las series de Producción, Consumo, Importación y Exportación 1990.01-2019.08						
Variable		Ecuación de la media				
		γ_0	γ_1	γ_2	d	año
DLP_t	*	0.000313	-0.107817			
		0.001354	-0.116750		-0.002957	2009
DLC_t	*	-0.000212	-0.200405	-0.130891		
		-0.04312	-0.203305	-0.121293	-0.006149	1999
		-0.001964	-0.220259	-0.152712	-0.015262	2015
		-0.000510	-0.193893	-0.130910		
DLI_t	*	-0.000815	-0.1407303	-0.200497		
		-0.001362	-0.138564	-0.199014		
		-0.009847	-0.161760	-0.221179	-0.034050	2017
		-0.000412	-0.132818	-0.186336		
DE_t	*	-0.006606	-0.287052			
		-8.550473	-0.323525		-8.556646	2010

$DL_i, i = P, C, I$ representa la primera diferencia del logaritmo de las variables; en tanto DE sólo expresa la primera diferencia de la variable. $\gamma_i, i = 0, 1, 2$ hace referencia a los coeficientes del modelo autorregresivo; d es el coeficiente de la variable *dummy* seguida del año de referencia.

* representa el modelo base para cada una de las variables.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Cuadro 5.2

Coeficientes de la ecuación de la varianza del modelo ARCH para las series de Producción, Consumo, Importación y Exportación 1990.01-2019.08								
Variable		Ecuación de la varianza					TGARCH	
		α_0	α_1	α_2	β_1	d	año	θ
DLP_t	*	0.000182	0.766949	0.104079				
		0.000184	0.766521	0.101946				
DLC_t	*	0.000870	0.348486		0.283249			
		0.000979	0.390924		0.199801			
		0.000898	0.367811		0.241359			
		0.001082	0.327579		0.248326	-0.000355	2011	
DLI_t	*	0.000540	0.120760		0.861733			
		0.009067	0.114282		0.848459	-0.008259	1997	
		0.000455	0.115344		0.867948			
		0.002746	0.158443		0.792442	-0.002214	2015	
DE_t	*	0.000273	2.201005		0.272688			-1.019102
		0.000255	2.478757		0.270145			-1.398353

$DL_i, i = P, C, I$ representa la primera diferencia del logaritmo de las variables; en tanto DE sólo expresa la primera diferencia de la variable. $\alpha_i, i = 0, 1, 2$ representa los errores rezagados del modelo uniecuacional en la varianza condicional; mientras que β_1 se corresponde a la parte autorregresiva de la varianza condicional y θ es el coeficiente asociado al modelo TGARCH; d es el coeficiente de la variable *dummy* seguida del año de referencia.

* representa el modelo base para cada una de las variables.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Cuadro 5.3

Prueba ARCH		
Modelo	Estadístico F	P-Value
DLC	0.029764	0.8631
DLP	0.038434	0.8447
DLI	0.535253	0.4649
LE	0.049820	0.8237

Los valores en negrillas indican rechazo de la hipótesis nula al 5% de significancia.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Siguiendo a Ender (2015) se proponen *dummies* cuyo valor está definido como uno a partir de un año en específico y cero antes del año en cuestión. La incorporación de estas *dummies* en el modelo nos permite ver choques permanentes en la estructura de las ecuaciones de la media y de la varianza, si éstas son significativas. Y se obtuvieron los resultados siguientes (ver cuadro 5.1 y 5.2).

Para el modelo de producción se aprecia un choque en la ecuación de la media a partir del año 2009. En el modelo del consumo se observan cambios en ambas ecuaciones, en la ecuación de la media en los años 1999 y 2015; en cambio para la ecuación de la varianza en el año 2011 (rotura de volatilidad). El resultado en el modelo de importaciones es un *shock* de volatilidad en la estructura de la ecuación de la varianza para los años de 1997 y 2015. Para la ecuación de la media se observa el cambio para el año 2015. Por último, el modelo de exportación mostró un choque en la ecuación de la media que es visible a partir del año 2010. Aquí vale la pena mencionar que, aunque todas las *dummies* son estadísticamente significantes, y dado que los respectivos coeficientes son muy cercanos a cero, se trata de una persistencia de la volatilidad en cantidades muy pequeñas (Enders, 2015).

En lo que respecta a la ecuación de la media, representado por el proceso autorregresivo, sabemos que la volatilidad en una serie y_t está relacionada de forma creciente con los coeficientes del proceso $AR(p)$. A mayores coeficientes autorregresivos, mayor será la persistencia de la volatilidad ante choques en Y_t , donde mayores coeficientes infieren un mayor distanciamiento de la media y por tanto una mayor varianza (Enders, 2015). Si observamos los coeficientes, γ_i , de nuestros modelos, los podemos considerar como “pequeños” lo que nos devela que los choques en nuestras series no son tan persistentes

(menor varianza), siendo la serie de exportaciones la que mayor persistencia muestra con un coeficiente $\gamma_1 = 0.323525$.

Respecto a la varianza condicional (se excluye de este análisis al modelo de exportaciones) los coeficientes del modelo GARCH de las importaciones es muy cercana a uno ($0.114282 + 0.848459 + 0.008259 = 0.97$) se tiene que la varianza condicional es muy persistente. Por lo cual, cualquier choque que cree incertidumbre se disipa muy lentamente. En el caso de los modelos de producción y consumo los choques se disiparán un poco más rápido, debido a que sus varianzas condicionales no son tan persistentes al mostrar un valor de la suma de alrededor de 0.6 (en ambos casos).

Ahora recordemos, la relación que existe entre la suma de los coeficientes GARCH (cercana a uno) y la persistencia de la volatilidad. Valores grandes de estos incrementan la volatilidad condicional, pero cada parámetro lo hace de manera distinta. Por ejemplo, los coeficientes asociados a la perturbación estocástica α_i , hacen que la varianza condicional responda a eventos de información nueva (innovaciones), por otro lado, el parámetro asociado a los valores de la varianza pasada, β_i , están asociados a la persistencia autorregresiva en la ecuación de la varianza (Enders, 2015).

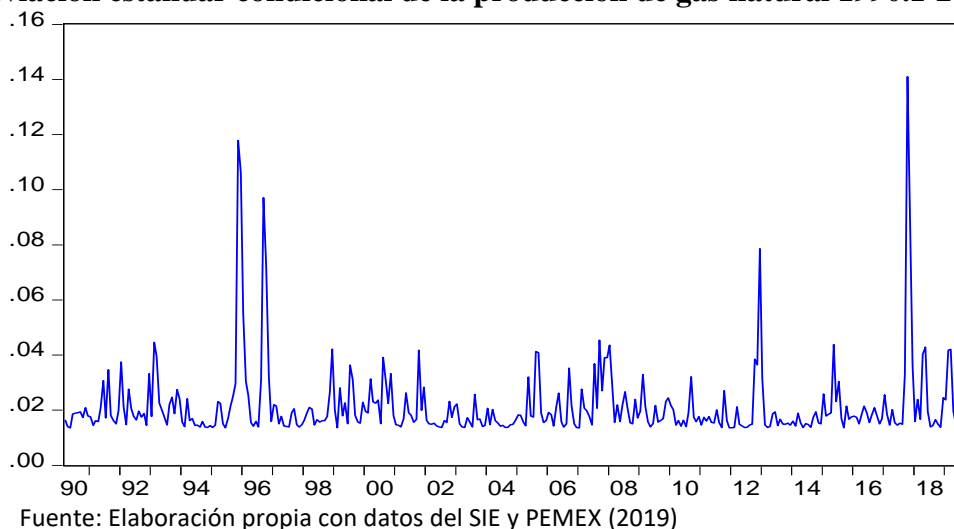
Así, por ejemplo, ante la presencia de un choque el efecto será más pronunciado en el modelo de producción y después en los modelos de consumo, importación y exportación (en orden de mayor a menor); sin embargo, la persistencia autorregresiva en los modelos será bajo el siguiente orden (nuevamente de mayor a menor) importación, exportación, consumo y producción.

Por último, analizaremos los resultados del modelo TGARCH, en específico la *dummy* que trae *de facto*. En la revisión de literatura se mencionó que este modelo estaba pensado en incorporar el efecto que tienen las noticias (por medio de una *dummy*). Ahora bien ante valores positivos de ε_{t-1} (dado que $d_{t-1} = 0$) el efecto será $(2.478757)\varepsilon_{t-1}^2$; si por el contrario se tiene ε_{t-1} es negativo (entonces $d_{t-1} = 1$) y el efecto será $(1.080404)\varepsilon_{t-1}^2$ y por lo tanto, se puede apreciar que ante choques positivos hay un mayor efecto de la

volatilidad que aquellos negativos (esto porque el coeficiente asociado al umbral es $-1.398353 < 0$) (Tsay, 2005; Enders, 2015).

Con base en la información anterior se argumenta que los modelos realizan una buena estimación sobre las series, motivo por el cual es posible generar los gráficos de desviación estándar condicional para las variables (que incorpora el efecto capturado por las *dummies* en la estructura de los modelos) y analizar el comportamiento en el periodo de estudio. -Para tal fin, las gráficas seleccionadas son aquellos de los modelos que presentan más calidad según los criterios de *AIC*, *SIC* y *HIC*-.

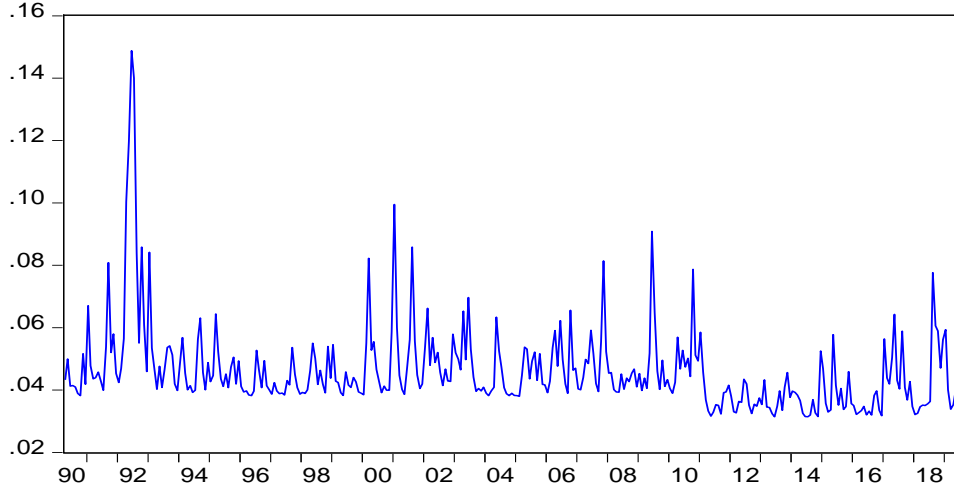
Gráfica 5.1
Desviación estándar condicional de la producción de gas natural 1990.1-2019.8



Como podemos observar, la gráfica pertinente a la producción muestra periodos de entre 3 y 4 años de alta “alta volatilidad” seguidos de periodos donde la volatilidad es baja; sin embargo, lo que más llama la atención son aquellos momentos donde la volatilidad se dispara a finales de los años de 1995, 1996, 2012 y 2017. Esta simple inspección nos permite señalar que en esos años hubo choques que perturbaron la estructura (de la varianza) de la serie. De manera análoga, para la serie de consumo el mayor pico de volatilidad se observa durante el año 1992; y, de hecho, existen otros picos de menor tamaño entre los años 2000-2002, 2008-2010 y 2018 que parecen presentarse de manera periódica y con disminución de la volatilidad, pero aun con el suficiente tamaño relativo para exhibir choques en la estructura de la serie. También es posible observar un descenso de la volatilidad a partir del año 2011 que no interfiere con el patrón observado en el periodo de estudio.

GRÁFICA 5.2

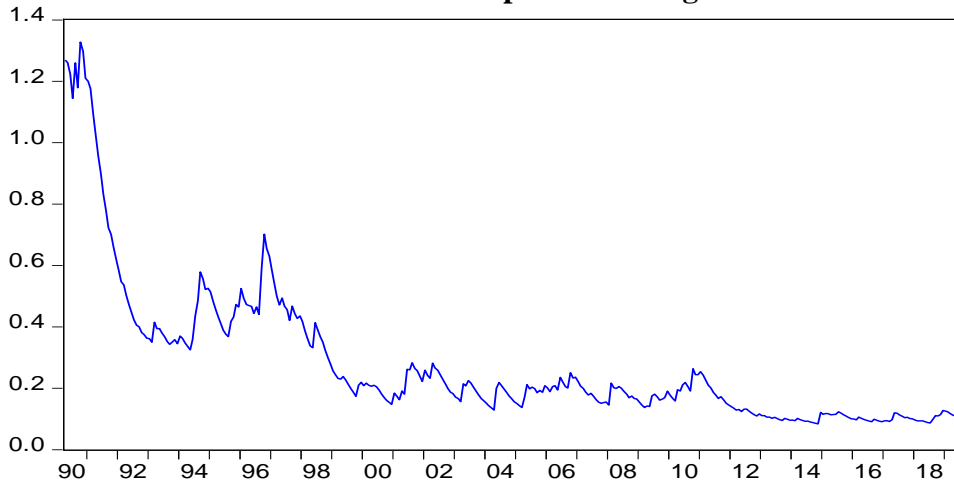
Desviación estándar condicional del consumo de gas natural 1990.1-2019.8



Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Gráfica 5.3

Desviación estándar condicional de la importación de gas natural 1990.1-2019.8

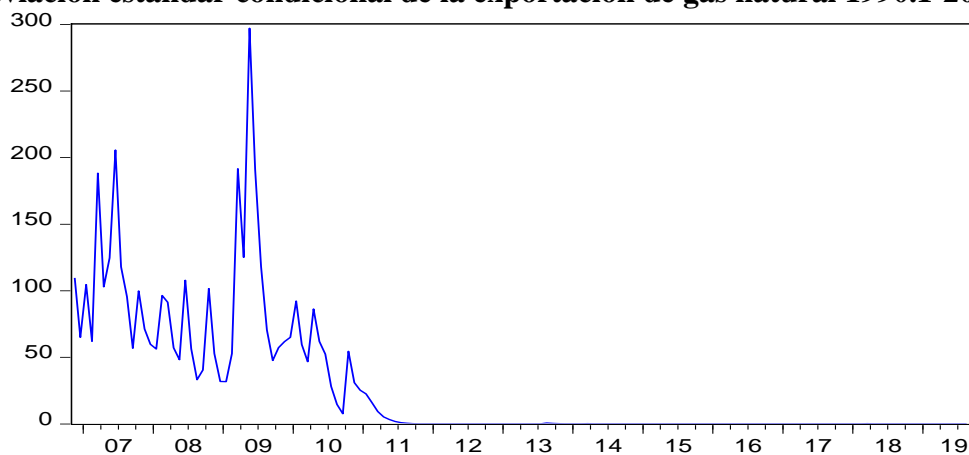


Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

En la serie de importación se observa un descenso de la volatilidad en el periodo de estudio, al inicio del período la volatilidad disminuye drásticamente, para volver a repuntar en los de 1994-1997 y continuar con su descenso, al que podríamos considerar como un periodo de volatilidad estable. Por último, la serie de exportación se caracteriza por mostrar dos comportamientos distintos, antes y después del año 2011. El periodo de 2006-2011 se observan dos años, 2007 y 2009, donde la estructura de la serie fue alterada. En cambio, para el período 2011-2019 las exportaciones han descendido de tal manera que no permiten divisar los cambios en la volatilidad que pudiera presentar la serie.

Gráfica 5.4

Desviación estándar condicional de la exportación de gas natural 1990.1-2019.8



Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Por último, aprovechando la transformación logarítmica, podemos dar las siguientes interpretaciones en puntos porcentuales, salvo para el modelo de exportaciones, cuya interpretación difiere. Primero, tomemos en cuenta que la ecuación que representa la media, para cada variable, está representada por un proceso $AR(p)$ y la interpretación es la usual (el pasado en promedio me ayuda a explicar el presente) donde $p = 1$ para las variables de producción y exportaciones, y $p = 2$ para las variables de consumo e importaciones. Sin embargo, haremos énfasis en las constantes de los modelos que representan las series de producción, consumo e importaciones que son estadísticamente iguales a cero (asumimos que la media en el periodo de estudio es cero), a excepción de la serie de exportaciones que resulta ser significativamente distinta de cero.

Dicho lo anterior, tenemos que la serie DLP_t expresa que la media, en el periodo 1990.01-2008.12, es cero y que se observa un descenso de 0.29 puntos porcentuales al nivel de la media de la producción a partir de año 2009. De manera similar, para el modelo de DLC_t se observa una disminución en la media de 0.61 y 1.52 puntos porcentuales a partir de los años 1999 y 2015, respectivamente. Para las ecuaciones DLI_t representan que la media en la ecuación de las importaciones mostró una reducción de 3 puntos porcentuales a partir del año 2017 (nuevamente antes de dichos años tenemos una media de cero) y en el caso de las exportaciones, en el periodo de 2006.09-2009.12 la media estaba en 8.55 millones de pies cúbicos y a partir del año 2010 la media redujo su valor en 8.5566 millones de pies cúbicos (dando como resultado -0.66 millones de pies cúbicos).

Para la interpretación de la ecuación que representa a la varianza, procedemos de manera análoga. Aquí señalamos que las constantes de todos los modelos resultan ser distintas de cero, estadísticamente hablando. Por lo tanto, la variable DLC_t señala que la varianza del consumo el nivel promedio antes de 2011 es de 0.1 puntos porcentuales y posterior a dicho año en promedio se reduce a 0.07 puntos porcentuales. Por último, en DLI_t se tiene que la varianza de la serie de importaciones es de 0.9 y 0.2 puntos porcentuales para antes de los años 1997 y 2015, respectivamente, y después de esos años los cambios, se corresponden, porcentualmente en -0.82 y -0.22 (dejando los nuevos valores de la media en 0.08 para 1997 y -0.02 para 2015).

6. Conclusiones

Aunque la mayoría de la literatura sobre los modelos ARCH, se centra en variables financieras, es posible aplicar la metodología ARCH a variables que no necesariamente son precios, como es el caso de las variables reales utilizadas en este trabajo (producción, consumo, importación y exportación de gas natural medidas en millones de pies cúbicos) y hacer uso de sus resultados para la comprensión (quizá distinta a las usuales) de las series de tiempo.

Por ejemplo, el análisis gráfico y estadístico, en este sentido la modelación ARCH es un buen mecanismo para encontrar choques simples, es decir, momentáneos en la estructura de las series. Dada la volatilidad que presentan las series, estos choques pueden ser causados por anuncios o cambios en la política macroeconómica, noticias o acontecimientos importantes. Tal es el caso de las variables de producción e importación que presenta un incremento en su volatilidad en el periodo en el que las reformas energéticas en México entran en vigor; como dice Perron (1990), es mejor relacionar cambios exógenos con eventos conocidos.

Ante esto, se puede observar que las cuatro series de tiempo muestran más cambios momentáneos (en el periodo de estudio) de los cuales no a todos se les podría asociar un evento (distinguido); sin embargo, salta a la vista que tanto la serie de consumo como la de exportaciones presentan una alteración de la varianza condicional en el periodo de la crisis de 2008.

En el análisis estadístico, podemos destacar el conocimiento del comportamiento de la serie. Por ejemplo, la serie de exportación reacciona fuertemente ante choques que podríamos llamar positivos y ante la ocurrencia de cualquier *shock* la persistencia en su volatilidad (a nivel de la media) sería mayor que cualquiera de las otras tres series. Mientras que la persistencia de la volatilidad en la varianza sería más fuerte en la variable de la producción; sin embargo, la presencia autorregresiva tiene más importancia en la serie de importación.

Otra consideración importante, que concierne cambios permanentes en el comportamiento de las series con los modelos GARCH y, que también tiene relación con los años de reformas energéticas en México, -ya que se observan intervalos, relativamente cerca de las fechas en

que entraron en escena las reformas energéticas, que empalman con cambios persistentes en las series.

Recordemos que la reforma llevada a cabo en 1995 estaba orientada (considerando nuestras series de estudio) a las variables de exportación e importación en el mediano y largo plazo. Al respecto, la serie de importaciones muestra un cambio en su estructura a partir de 1997 que representa una disminución en su varianza de 0.8 por ciento (un cambio marginal). Vale la pena mencionar que la serie de consumo también presentó una reducción de 0.6 por ciento en el año de 1999

Respecto a la reforma ocurrida en 2013, hablando de las series aquí estudiadas, se buscaba un aumento de la producción de gas que pudiera hacer frente al aumento de importaciones y el consumo (nuevamente en el mediano y largo plazo). Ante este escenario, la modelación no registro cambios en el comportamiento de la serie de producción después de dicha reforma. Sin embargo, las series de consumo e importación si registran cambios en sus comportamientos, en un intervalo de tiempo relativamente cercano. Por ejemplo, el consumo presenta una disminución en su media del 1.5 por ciento en 2015, en tanto la disminución en la importación se da en su varianza con 0.2 por ciento en el mismo año, pero en el año 2017 la reducción de las importaciones es del 3.4 por ciento.

Siguiendo esta línea, se puede mencionar que en un periodo cercano a la crisis de 2008 existen dos cambios estructurales en las series de producción, exportaciones y consumo ocurridos en los años de 2009, 2010 y 2011, respectivamente, con los siguientes ordenes -0.2 por ciento, -8.55 millones de pies cúbicos y -0.003%

Es importante señalar que la metodología nos permite divisar cambios, momentáneos o permanentes y la respuesta ante *shocks* de las variables. Empero, hay que resaltar que no es suficiente para concluir que el cambio en los comportamientos de las series es consecuencia de las reformas estructurales -pueden existir otros factores (ya sean otras variables que sean causales o incluso otros acontecimientos) que pueden afectar a dichas variables- no obstante, no podemos descartar por completo la idea -dada la importancia de dichos acontecimientos y la cercanía de los choques a las reformas en los tiempos donde se esperaba observar resultados-.

Con relación a la actual importancia en materia de política energética, en específico del gas natural. Es indispensable conocer el comportamiento de las series de tiempo relacionadas con este *commodity*; utilizando la información histórica recabada de los bancos de información. Así, ante diversas eventualidades se debe conocer, de ante mano, los posibles movimientos que se generarán en las variables para generar respuestas correctas e inmediatas. Por ejemplo, ante el conocimiento de un proceso de reversión a la media solo sería necesario vigilar la trayectoria de la serie hacia un punto de referencia. Contrariamente, la intervención sería oportuna ante la ausencia de estacionariedad. Por lo tanto, las políticas públicas en el sector energético se verían robustecidas incorporando este conocimiento a su diseño.

Por último, aunque no se hizo un análisis detallado sobre un proceso de reversión a la media contenido en las series (estudio que es recomendable hacer en complemento al aquí realizado); las pruebas y resultados mencionados nos permiten inferir la existencia de dicho proceso (pruebas de estacionariedad, pruebas ARCH, correcta especificación de los modelos). Ante esta característica en las series, podemos decir que las políticas en el mercado de gas natural que se infieren del plan quinquenal 2015-2019 emitido por la SENER, - orientadas al abastecimiento del (aumento) consumo, mediante el incremento importación, exportación y producción (vía aumento de inversión)- que los posibles efectos en la volatilidad no serán tan grandes (según los coeficientes de la ecuación de la media). Por otro lado, los efectos en la varianza serán persistentes en la serie de producción; mientras que el simple anuncio de la política repercutirá en las exportaciones (a saber, de la interpretación positiva o negativa de la noticia).

Anexo

A.1 Pruebas de correlograma para series de tiempo

Producción de gas natural

Date: 04/13/20 Time: 23:19
 Sample: 1990M01 2019M08
 Included observations: 355

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.239	-0.239	20.445	0.000
		2 -0.085	-0.151	23.039	0.000
		3 0.066	0.007	24.603	0.000
		4 -0.006	0.001	24.618	0.000
		5 0.036	0.048	25.075	0.000
		6 0.066	0.095	26.680	0.000
		7 -0.054	-0.003	27.731	0.000
		8 0.098	0.105	31.246	0.000
		9 -0.018	0.022	31.365	0.000
		10 0.156	0.196	40.340	0.000
		11 -0.020	0.067	40.495	0.000
		12 -0.013	0.039	40.558	0.000
		13 0.054	0.051	41.648	0.000
		14 0.056	0.074	42.802	0.000
		15 -0.064	-0.035	44.322	0.000
		16 0.117	0.075	49.409	0.000
		17 -0.016	0.022	49.500	0.000
		18 0.023	0.014	49.690	0.000
		19 0.016	-0.003	49.783	0.000
		20 0.041	0.015	50.409	0.000
		21 0.029	0.035	50.728	0.000
		22 0.028	0.023	51.016	0.000
		23 -0.014	-0.004	51.096	0.001
		24 0.007	-0.041	51.117	0.001
		25 0.037	0.028	51.633	0.001
		26 -0.021	-0.062	51.808	0.002
		27 0.003	-0.033	51.812	0.003
		28 0.057	0.021	53.073	0.003
		29 -0.038	-0.038	53.638	0.004
		30 0.022	-0.027	53.824	0.005
		31 0.040	0.018	54.465	0.006
		32 -0.038	-0.038	55.034	0.007
		33 -0.042	-0.081	55.727	0.008
		34 0.055	0.006	56.938	0.008
		35 -0.035	-0.051	57.431	0.010
		36 0.028	0.010	57.746	0.012

Consumo de gas natural

Date: 04/13/20 Time: 23:32
 Sample: 1990M01 2019M08
 Included observations: 355

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.213	-0.213	16.185	0.000
		2 -0.054	-0.104	17.234	0.000
		3 0.029	-0.006	17.535	0.001
		4 -0.022	-0.024	17.717	0.001
		5 0.020	0.013	17.865	0.003
		6 0.020	0.025	18.007	0.006
		7 -0.000	0.014	18.007	0.012
		8 -0.046	-0.043	18.790	0.016
		9 0.057	0.040	19.980	0.018
		10 -0.136	-0.129	26.788	0.003
		11 -0.012	-0.069	26.846	0.005
		12 0.197	0.168	41.173	0.000
		13 -0.002	0.089	41.175	0.000
		14 -0.065	-0.026	42.738	0.000
		15 0.059	0.048	44.043	0.000
		16 -0.021	0.004	44.215	0.000
		17 0.035	0.038	44.684	0.000
		18 -0.025	-0.038	44.924	0.000
		19 0.129	0.144	51.156	0.000
		20 -0.037	0.023	51.675	0.000
		21 0.005	0.005	51.686	0.000
		22 -0.013	0.027	51.754	0.000
		23 -0.012	0.023	51.809	0.001
		24 0.104	0.055	55.929	0.000
		25 0.018	0.057	56.054	0.000
		26 -0.050	-0.011	57.027	0.000
		27 0.026	0.027	57.286	0.001
		28 0.034	0.029	57.743	0.001
		29 -0.041	0.001	58.398	0.001
		30 -0.013	-0.024	58.463	0.001
		31 0.030	-0.025	58.827	0.002
		32 0.004	0.002	58.833	0.003
		33 -0.018	-0.006	58.964	0.004
		34 -0.046	-0.063	59.784	0.004
		35 -0.087	-0.109	62.787	0.003
		36 0.128	0.038	69.259	0.001

Importación de gas natural

Date: 04/13/20 Time: 23:37
 Sample: 1990M01 2019M08
 Included observations: 355

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.177	-0.177	11.241	0.001
		2 -0.342	-0.386	53.282	0.000
		3 0.209	0.069	69.004	0.000
		4 0.182	0.138	80.915	0.000
		5 -0.340	-0.216	122.89	0.000
		6 0.032	0.005	123.25	0.000
		7 0.027	-0.215	123.52	0.000
		8 -0.031	-0.011	123.87	0.000
		9 0.006	0.032	123.88	0.000
		10 0.048	-0.010	124.72	0.000
		11 -0.069	-0.023	126.50	0.000
		12 0.068	0.001	128.22	0.000
		13 0.007	-0.025	128.24	0.000
		14 0.002	0.058	128.24	0.000
		15 0.004	0.027	128.25	0.000
		16 -0.054	-0.090	129.36	0.000
		17 -0.052	-0.063	130.36	0.000
		18 -0.002	-0.119	130.36	0.000
		19 0.019	0.014	130.50	0.000
		20 -0.008	0.017	130.53	0.000
		21 0.026	0.025	130.78	0.000
		22 -0.028	-0.062	131.08	0.000
		23 0.068	0.028	132.84	0.000
		24 -0.014	-0.039	132.92	0.000
		25 -0.036	0.000	133.42	0.000
		26 -0.071	-0.101	135.37	0.000
		27 0.035	-0.071	135.85	0.000
		28 0.020	0.019	135.99	0.000
		29 0.007	0.023	136.01	0.000
		30 -0.047	0.009	136.89	0.000
		31 0.053	0.002	137.98	0.000
		32 -0.018	-0.079	138.10	0.000
		33 -0.011	-0.038	138.14	0.000
		34 0.003	-0.006	138.15	0.000
		35 0.005	-0.032	138.16	0.000
		36 0.010	0.057	138.20	0.000

Exportación de gas natural

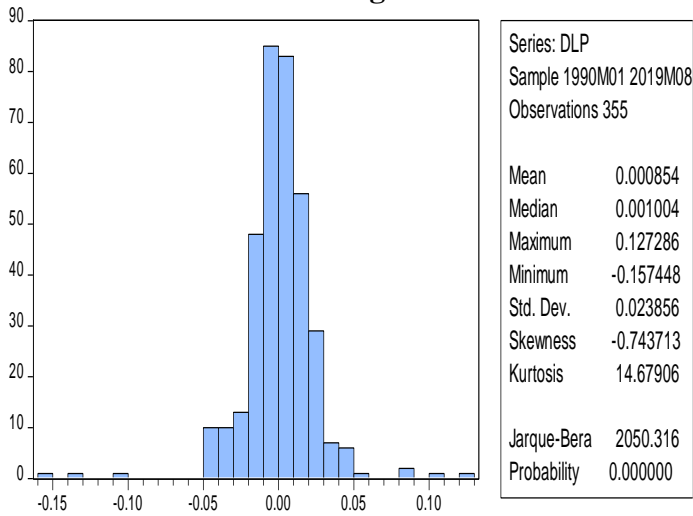
Date: 04/13/20 Time: 23:40
 Sample: 2006M09 2021M08
 Included observations: 155

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.360	-0.360	20.528	0.000
		2 -0.080	-0.242	21.556	0.000
		3 0.043	-0.098	21.847	0.000
		4 0.070	0.039	22.635	0.000
		5 -0.120	-0.084	24.976	0.000
		6 -0.002	-0.080	24.977	0.000
		7 -0.047	-0.140	25.347	0.001
		8 0.064	-0.034	26.018	0.001
		9 -0.057	-0.066	26.553	0.002
		10 -0.110	-0.198	28.579	0.001
		11 0.198	0.060	35.196	0.000
		12 -0.198	-0.202	41.868	0.000
		13 0.105	-0.016	43.762	0.000
		14 -0.110	-0.194	45.833	0.000
		15 0.031	-0.169	46.002	0.000
		16 -0.013	-0.147	46.033	0.000
		17 0.196	0.087	52.828	0.000
		18 -0.077	0.074	53.883	0.000
		19 -0.064	-0.124	54.622	0.000
		20 0.046	-0.068	54.997	0.000
		21 0.165	0.141	59.919	0.000
		22 -0.038	0.154	60.189	0.000
		23 -0.235	-0.123	70.403	0.000
		24 0.213	0.023	78.856	0.000
		25 -0.159	-0.152	83.563	0.000
		26 0.029	-0.029	83.721	0.000
		27 -0.014	0.042	83.758	0.000
		28 0.123	0.084	86.653	0.000
		29 -0.090	0.051	88.223	0.000
		30 0.008	0.018	88.235	0.000
		31 -0.080	-0.009	89.502	0.000
		32 0.124	0.032	92.541	0.000
		33 -0.064	0.004	93.348	0.000
		34 0.017	0.079	93.409	0.000
		35 0.025	0.015	93.534	0.000
		36 -0.022	0.113	93.631	0.000

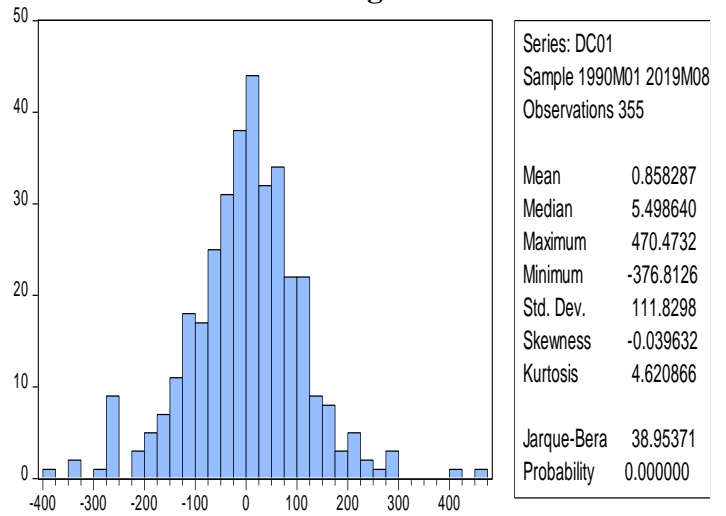
Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

A.2 Pruebas de normalidad y estadísticas para las series de tiempo

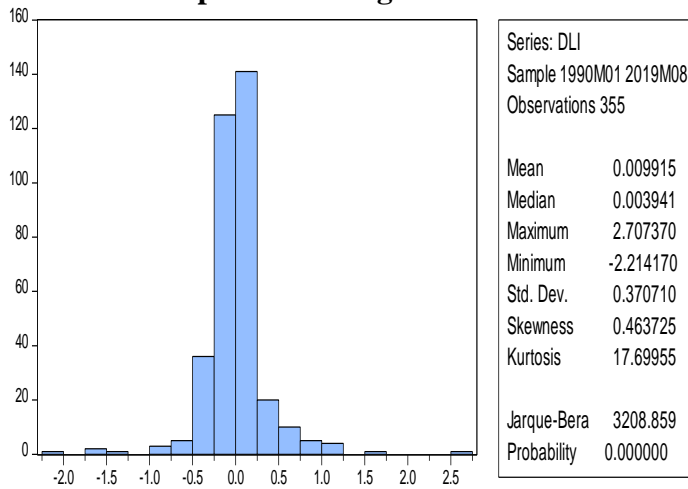
Producción de gas natural



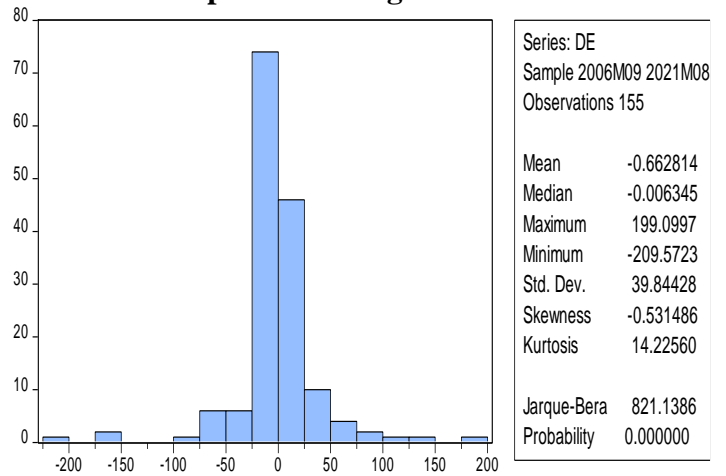
Consumo de gas natural



Importación de gas natural



Exportación de gas natural



Fuente: elaboración propia con datos del SIE y PEMEX

A.3 Estimación base de modelos GARCH

Estimación modelo base para producción de gas natural

Dependent Variable: DLP

Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)

Included observations: 354 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000313	0.000734	0.426143	0.6700
AR(1)	-0.107817	0.052091	-2.069781	0.0385
Variance Equation				
C	0.000182	2.30E-05	7.936383	0.0000
RESID(-1)^2	0.766949	0.068760	11.15403	0.0000
RESID(-2)^2	0.104079	0.056361	1.846645	0.0648
R-squared	0.039315	Mean dependent var		0.000841
Adjusted R-squared	0.036585	S.D. dependent var		0.023888
S.E. of regression	0.023447	Akaike info criterion		-4.999002
Sum squared resid	0.193517	Schwarz criterion		-4.944351
Log likelihood	889.8234	Hannan-Quinn criter.		-4.977258
Durbin-Watson stat	2.296258			
Inverted AR Roots	-.11			

Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Estimación modelo base para consumo de gas natural

Dependent Variable: DLCO1

Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)

Included observations: 353 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.000212	0.001574	-0.134886	0.8927
AR(1)	-0.200405	0.062656	-3.198500	0.0014
AR(2)	-0.130891	0.059514	-2.199336	0.0279
Variance Equation				
C	0.000870	0.000195	4.461745	0.0000
RESID(-1)^2	0.348486	0.082348	4.231890	0.0000
GARCH(-1)	0.283249	0.090159	3.141662	0.0017
R-squared	0.083944	Mean dependent var		0.000458
Adjusted R-squared	0.078709	S.D. dependent var		0.050590
S.E. of regression	0.048558	Akaike info criterion		-3.334205
Sum squared resid	0.825255	Schwarz criterion		-3.268486
Log likelihood	594.4873	Hannan-Quinn criter.		-3.308055
Durbin-Watson stat	2.262995			
Inverted AR Roots	-.10+.35i	-.10-.35i		

Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Estimación de modelo base para importación de gas natural

Dependent Variable: DLI

Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)

Included observations: 353 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	0.000815	0.006758	0.120568	0.9040
AR(1)	-0.140703	0.052461	-2.682072	0.0073
AR(2)	-0.200497	0.052203	-3.840676	0.0001
Variance Equation				
C	0.000540	0.000202	2.668763	0.0076
RESID(-1)^2	0.120760	0.023763	5.081957	0.0000
GARCH(-1)	0.861733	0.018396	46.84377	0.0000
R-squared	0.142985	Mean dependent var		0.005870
Adjusted R-squared	0.138088	S.D. dependent var		0.367445
S.E. of regression	0.341133	Akaike info criterion		-0.150286
Sum squared resid	40.73010	Schwarz criterion		-0.084567
Log likelihood	32.52548	Hannan-Quinn criter.		-0.124136
Durbin-Watson stat	2.107187			
Inverted AR Roots	-.07+.44i	-.07-.44i		

Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Estimación de modelo base de exportación de gas natural

Dependent Variable: DE

Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)

Included observations: 154 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.006606	0.002696	-2.450495	0.0143
AR(1)	-0.287052	0.114342	-2.510469	0.0121
Variance Equation				
C	0.000273	9.31E-05	2.936416	0.0033
RESID(-1)^2	2.201005	0.308112	7.143518	0.0000
RESID(-1)^2*(RESID(-1)<0)	-1.019102	0.475528	-2.143098	0.0321
GARCH(-1)	0.272688	0.033082	8.242729	0.0000
R-squared	0.126170	Mean dependent var		-0.282153
Adjusted R-squared	0.120421	S.D. dependent var		39.69050
S.E. of regression	37.22408	Akaike info criterion		2.014941
Sum squared resid	210616.1	Schwarz criterion		2.133264
Log likelihood	-149.1505	Hannan-Quinn criter.		2.063004
Durbin-Watson stat	2.300409			
Inverted AR Roots	-.29			

Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

A.4 Pruebas de correlograma para modelos ARCH

Producción de gas natural

Date: 04/16/20 Time: 02:07

Sample: 1990M01 2019M08

Included observations: 354

Q-statistic probabilities adjusted for 1 ARMA term

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*
█	█	1 0.013	0.013	0.0585	
█	█	2 -0.100	-0.100	3.6269	0.057
█	█	3 0.022	0.025	3.8028	0.149
█	█	4 0.027	0.017	4.0711	0.254
█	█	5 0.051	0.056	5.0226	0.285
█	█	6 0.047	0.050	5.8391	0.322
█	█	7 -0.017	-0.009	5.9434	0.430
█	█	8 0.120	0.129	11.146	0.132
█	█	9 0.099	0.091	14.718	0.065
█	█	10 0.077	0.101	16.900	0.050
█	█	11 0.044	0.057	17.607	0.062
█	█	12 0.004	0.015	17.613	0.091
█	█	13 0.065	0.062	19.164	0.085
█	█	14 0.082	0.062	21.628	0.061
█	█	15 -0.028	-0.030	21.922	0.080
█	█	16 0.073	0.065	23.910	0.067
█	█	17 0.033	-0.003	24.316	0.083
█	█	18 0.052	0.035	25.339	0.087
█	█	19 0.069	0.035	27.133	0.077
█	█	20 0.044	0.034	27.881	0.086
█	█	21 0.044	0.034	28.614	0.096
█	█	22 0.057	0.027	29.835	0.095
█	█	23 0.005	-0.005	29.846	0.122
█	█	24 0.016	-0.010	29.947	0.151
█	█	25 0.024	-0.002	30.169	0.179
█	█	26 -0.040	-0.075	30.775	0.197
█	█	27 0.009	-0.035	30.809	0.235
█	█	28 0.043	-0.007	31.535	0.250
█	█	29 -0.065	-0.110	33.160	0.230
█	█	30 0.061	0.021	34.600	0.218
█	█	31 0.060	0.019	35.984	0.209
█	█	32 -0.054	-0.073	37.134	0.207
█	█	33 -0.083	-0.104	39.821	0.161
█	█	34 0.034	0.012	40.271	0.179
█	█	35 0.006	-0.024	40.285	0.212
█	█	36 0.014	-0.000	40.358	0.245

*Probabilities may not be valid for this equation specification.

Consumo de gas natural

Date: 04/16/20 Time: 02:04

Sample: 1990M01 2019M08

Included observations: 353

Q-statistic probabilities adjusted for 2 ARMA terms

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*
█	█	1 -0.034	-0.034	0.4156	
█	█	2 -0.005	-0.007	0.4262	
█	█	3 -0.003	-0.004	0.4299	0.512
█	█	4 0.001	0.001	0.4301	0.806
█	█	5 0.011	0.011	0.4743	0.924
█	█	6 0.019	0.020	0.6040	0.963
█	█	7 -0.007	-0.006	0.6223	0.987
█	█	8 -0.043	-0.044	1.3082	0.971
█	█	9 0.067	0.064	2.9511	0.889
█	█	10 -0.076	-0.073	5.0482	0.752
█	█	11 0.020	0.016	5.2009	0.816
█	█	12 0.172	0.174	16.024	0.099
█	█	13 -0.028	-0.018	16.309	0.130
█	█	14 -0.011	-0.012	16.356	0.175
█	█	15 0.003	0.004	16.358	0.230
█	█	16 -0.002	-0.003	16.361	0.292
█	█	17 0.070	0.072	18.167	0.254
█	█	18 0.028	0.017	18.463	0.297
█	█	19 0.073	0.093	20.487	0.250
█	█	20 -0.011	0.002	20.533	0.304
█	█	21 0.053	0.032	21.602	0.305
█	█	22 -0.002	0.030	21.604	0.362
█	█	23 0.015	0.003	21.690	0.418
█	█	24 0.073	0.048	23.742	0.361
█	█	25 0.031	0.051	24.110	0.398
█	█	26 -0.015	-0.016	24.201	0.450
█	█	27 0.007	0.022	24.218	0.507
█	█	28 0.008	0.000	24.245	0.562
█	█	29 -0.035	-0.047	24.725	0.590
█	█	30 0.012	-0.005	24.777	0.640
█	█	31 0.000	-0.020	24.777	0.690
█	█	32 0.031	0.044	25.156	0.717
█	█	33 -0.023	-0.040	25.359	0.751
█	█	34 -0.063	-0.076	26.933	0.721
█	█	35 -0.069	-0.074	28.794	0.677
█	█	36 0.098	0.055	32.620	0.535

*Probabilities may not be valid for this equation specification.

Importación de gas natural

Date: 04/16/20 Time: 01:58

Sample: 1990M01 2019M08

Included observations: 353

Q-statistic probabilities adjusted for 2 ARMA terms

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*
		1 0.001	0.001	0.0008	
		2 0.010	0.010	0.0338	
		3 -0.015	-0.015	0.1166	0.733
		4 0.028	0.028	0.3956	0.821
		5 -0.128	-0.128	6.2574	0.100
		6 0.019	0.020	6.3881	0.172
		7 -0.114	-0.113	11.076	0.050
		8 -0.033	-0.037	11.470	0.075
		9 0.000	0.009	11.470	0.119
		10 -0.015	-0.037	11.549	0.172
		11 0.002	0.013	11.551	0.240
		12 0.059	0.032	12.816	0.234
		13 0.046	0.041	13.595	0.256
		14 0.020	0.012	13.742	0.317
		15 -0.011	-0.025	13.787	0.389
		16 -0.059	-0.059	15.085	0.372
		17 0.027	0.032	15.351	0.426
		18 -0.015	-0.009	15.430	0.493
		19 0.005	0.018	15.440	0.564
		20 0.018	0.031	15.567	0.623
		21 -0.033	-0.046	15.986	0.658
		22 -0.074	-0.066	18.081	0.582
		23 0.102	0.090	22.043	0.397
		24 0.048	0.050	22.922	0.406
		25 -0.044	-0.046	23.654	0.423
		26 -0.077	-0.090	25.919	0.357
		27 -0.007	-0.019	25.936	0.411
		28 0.078	0.109	28.301	0.344
		29 0.024	0.021	28.529	0.384
		30 -0.090	-0.093	31.669	0.288
		31 0.038	0.035	32.237	0.310
		32 -0.056	-0.080	33.475	0.302
		33 -0.030	-0.021	33.834	0.332
		34 -0.059	-0.050	35.224	0.318
		35 0.003	-0.006	35.228	0.363
		36 0.055	0.076	36.435	0.356

*Probabilities may not be valid for this equation specification.

Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX (2019)

Exportación de gas natural

Date: 04/16/20 Time: 01:55

Sample: 2006M09 2019M08

Included observations: 154

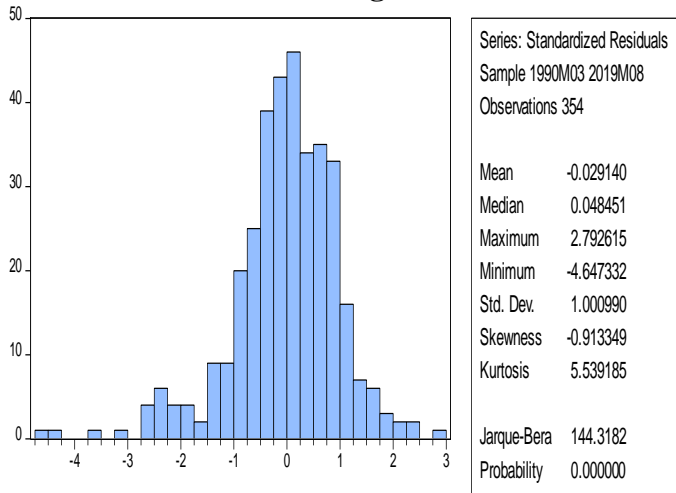
Q-statistic probabilities adjusted for 1 ARMA term

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob*
		1 0.042	0.042	0.2739	
		2 -0.056	-0.058	0.7760	0.378
		3 0.041	0.046	1.0374	0.595
		4 0.022	0.015	1.1181	0.773
		5 -0.011	-0.008	1.1392	0.888
		6 0.063	0.065	1.7832	0.878
		7 0.006	-0.003	1.7886	0.938
		8 -0.055	-0.048	2.2923	0.942
		9 -0.064	-0.065	2.9694	0.936
		10 0.013	0.010	2.9979	0.964
		11 0.034	0.032	3.1894	0.977
		12 -0.038	-0.037	3.4375	0.984
		13 -0.063	-0.057	4.1159	0.981
		14 -0.067	-0.066	4.8964	0.977
		15 -0.027	-0.018	5.0179	0.986
		16 -0.064	-0.068	5.7319	0.984
		17 0.078	0.080	6.8098	0.977
		18 -0.098	-0.112	8.5220	0.954
		19 -0.134	-0.103	11.699	0.862
		20 -0.098	-0.103	13.422	0.816
		21 -0.012	-0.026	13.449	0.857
		22 -0.049	-0.055	13.885	0.875
		23 0.006	-0.003	13.891	0.905
		24 0.038	0.039	14.156	0.922
		25 -0.036	-0.030	14.402	0.937
		26 0.024	0.036	14.507	0.952
		27 -0.084	-0.135	15.829	0.940
		28 -0.007	-0.030	15.837	0.956
		29 -0.060	-0.097	16.531	0.957
		30 -0.002	-0.006	16.532	0.969
		31 -0.020	-0.042	16.610	0.977
		32 -0.064	-0.110	17.429	0.976
		33 0.006	-0.004	17.436	0.983
		34 0.234	0.188	28.365	0.697
		35 -0.011	-0.032	28.391	0.739
		36 0.077	0.090	29.586	0.727

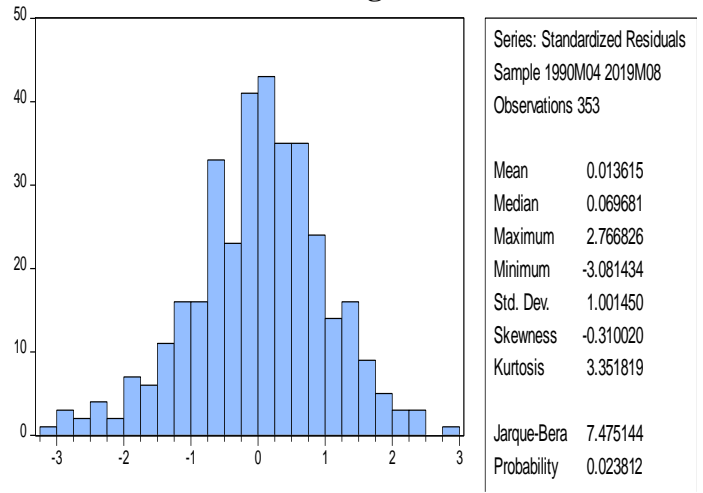
*Probabilities may not be valid for this equation specification.

A.5 Prueba de Normalidad y estadísticas para los modelos ARCH

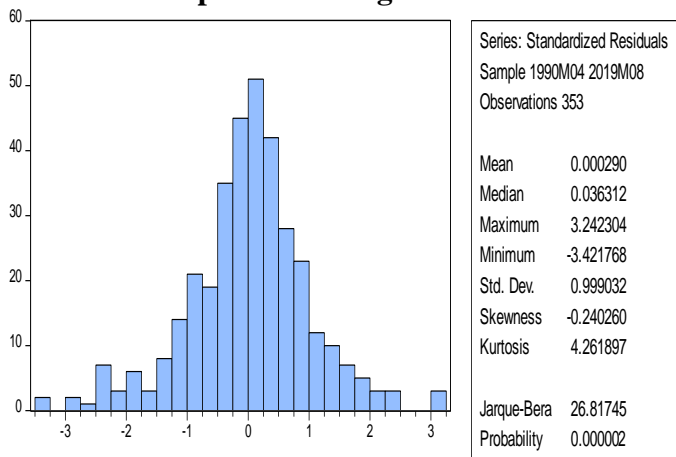
Producción de gas natural



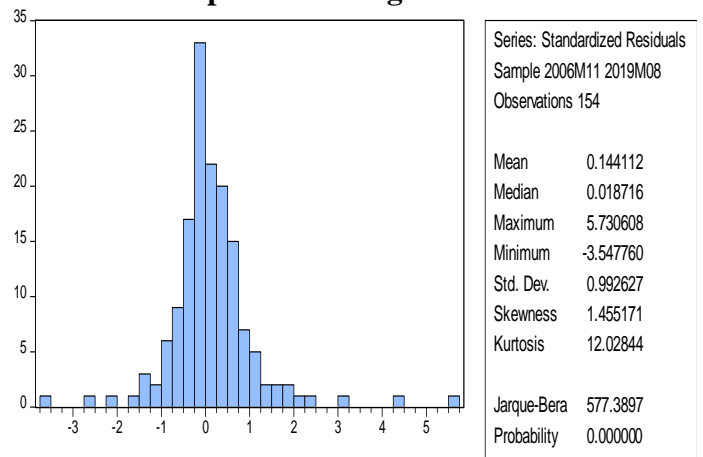
Consumo de gas natural



Importación de gas natural



Exportación de gas natural



Fuente: Elaboración propia con datos del SIE y PEMEX

Bibliografía

- Bollerslev T., (1986). Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity . Journal of Econometrics, 31, 307-3027.
- Bollerslev, T.; Engle, R.; Nelson, D.. (1994). ARCH Models. Handbook of econometrics, IV, 2961-3031.
- Choi, K.; Hammoudeh, S.. (2009). Long Memory in Oil and Refined Products Markets. The Energy Journal, 30, 97-116.
- De Arce, R. (2000). Modelización ARCH Estimación de la volatilidad del IBEX-35. 2020, de Universidad Autónoma de Madrid Sitio web: https://www.researchgate.net/publication/41224703_Modelizacion_ARCH_estimacion_de_la_volatilidad_del_Ibex-35
- Enders, W., (2015). Applied Econometric Time Series. University of Alabama: Wiley.
- Engle, R., (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of Unit Kingdom Inflation. Econometrica, 50, 987-1008.
- Engle, R; Granger, C.. (1987). Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. Econometrica, 55, 251-276.
- German, H y Ohana, S.. (2009). Foward curves, scarcity and price volatility in oil and natural gas markets. Energy Economics, 31, 576-585.
- Gobierno de la república. (1996). Primer informe anual. 2020, de Gobierno de México, Sitio web: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/118732/2373.pdf>
- Gobierno de la república, (2014). Reforma energética. Ciudad de México. Obtenida de http://reformas.gob.mx/wp-content/uploads/2014/04/Explicacion_ampliada_de_la_Reforma_Energetica1.pdf
- Granger, C.. (1988). Some recent developments in a concept of causality. Journal of Econometrics, Vol. 39, 199-211.
- Guerrero, V., (2014). Análisis estadístico y pronóstico de series de tiempo económicas. México.: Jit Press.
- Hammoudeh, H.. (1996). Oil Price, Mean Reversion and Zone Readjustments. Southers Economic Journal, 62, 916-929.
- Harol, T., Davis (1941) Análisis Económico de las Series de Tiempo, Bloomington Indiana

- Johansen, S. Mosconi, R. and Nielsen, B., (2000). "Cointegration Analysis in the presence of structural breaks in the deterministic trend," *Econometrics Journal*, vol. 3, pp. 216–249.
- Kwiatkowski, D.; Phillips, P.; Schmidt, P.; Shin, Y., (1992). "Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root". *Journal of Econometrics*. 54 (1–3): 159–178.
- Li, J.; Thompson., H.. (2010). A Note on the Oil Price Trend and GARCH Shocks. *The Energy Journal*, 31, 159-165.
- Lux Consultores en comercio y desarrollo, S.A. de C.V.. (2018). Reformas estructurales en materia económica: avances y retos. 2020, de Centro de estudios de las finanzas públicas de la H. Cámara de diputados Sitio web: <https://www.cefp.gob.mx/transp/CEFP-70-41-C-Estudio0017-180718.pdf>
- Márquez, M., (1989). "La industria de gas natural en México, 1970-1985". En "aspectos básicos de la industria de gas natural, 1970-1985" (37-124). Ciudad de México: Colegio de México.
- Márquez, M., (1988). "La industria del gas natural en México". En "La industria petrolera, el estado y el sindicato petrolero, 1970-1985" (39-67). Ciudad de México: Colegio de México.
- Mu, X. (2004). Weather, Storage, and Natural Gas Price Dynamics: Fundamentals and Volatility. 2020, de University of Oklahoma Sitio web: https://www.iaee.org/en/students/best_papers/xiaoyi_mu2.pdf
- Pérez, D. y Zubicaray, G., (2017). "El impacto urbano de la Reforma Energética en las ciudades del Golfo de México", Working paper. World Resources Institute. Septiembre 2017, pág. 6.
- Perron, P., (1990). "Testing for a unit root in a time series with a changing mean," *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 8, pp. 153–162.
- Perron, P., (1989). "The great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis," *Econometrica*, vol. 57, pp. 1361– 1401.
- Pindyck, R., (2003). Volatility in Natural Gas and Oil Markets. 2020, de Center for Energy and Environmental Policy Research Sitio web: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/45005/2003-012.pdf>

- Rappoport, P. and Reichlin, L., (1989). "Segmented trends and non-stationary time series," *Economic Journal*, vol. 99, pp. 168–177.
- Rosellón, J. and Halpern, J., (2001). "Regulatory Reform in Mexico's Natural Gas Industry: Liberalization in the Context of a Dominant Upstream Incumbent," Policy Research Working Paper Series, 2537. The World Bank.
- Rosellón, J.. (1998). Price and Rate Regulations for the Mexican Natural Gas Industry: Comments on Policy Decisions. *Economía Mexicana*, vol. VII, núm 2, CIDE.
- SENER. (2015). Plan Quinquenal de expansión del sistema de transporte y almacenamiento nacional integrado de gas natural 2015-2019. 28/05/2020, de SENER Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43397/Plan_Quinquenal_del_Sistema_de_Transporte_y_Almacenamiento_Nacional_Integrado_de_Gas_Natural_2015-2019.pdf
- Sistema de Información Energética, (06 de mayo, 2020). "Gas natural" ([Base de datos](#)). Recuperado de <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>
- Tsay, R. (2005). *Analysis of Financial Time Series*. University of Chicago: Wiley.
- Villarruel, E., (2005). "La reforma institucional y la desregulación del gas natural en México". *Expresión económica*, 15, 77-89.
- Zivot, E. and Andrews, A., (1992). "Further evidence on the great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis," *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 10, pp. 251–270.