



Crecimiento económico y consumo de energía en Argentina: análisis de su relación de largo plazo

Tesina de la Maestría en Economía.

Facultad de Ciencias Económicas, UBA.

Alumno: Licenciado Sergio Soloaga.

Tutor: Doctor Julio Fabris.

Resumen

En el presente Trabajo Final de Maestría se explora la relación de largo plazo entre el crecimiento económico y el consumo energético en Argentina desde inicios de la década de los setenta hasta el presente. En el estudio se realiza un análisis histórico, descriptivo y econométrico para determinar la existencia –o ausencia- de un vínculo estable y significativo entre estas dos variables. Luego de una revisión general de la literatura relacionada al tema se constató que existe un considerable número de estudios que analizan, para diversos países, la relación empírica entre el consumo de energía y el PBI. No obstante, los resultados encontrados en los distintos trabajos relacionados con la materia no son unívocos. Por el contrario, las conclusiones generalmente difieren según sea el país en estudio, el período que se analiza y/o la metodología utilizada en cada caso.

Esta tesis se encuentra articulada en torno a dos pilares principales: uno, destinado a repasar la relación teórica PBI/consumo de energía y a revisar la evolución reciente del sector energético argentino, y el otro, a un análisis econométrico del vínculo de largo plazo entre ambas variables. Con respecto al primer eje, el trabajo cobra relevancia a partir de la coyuntura vigente en este sector. Por lo tanto, se describirán las dificultades por las que ha atravesado en las últimas décadas a partir de la caída en la producción de hidrocarburos, la disminución en las reservas de petróleo y gas natural y el creciente nivel de importaciones realizadas para compensar la escasez local de recursos fósiles no renovables.

Con respecto a la parte econométrica del trabajo, el valor agregado reside en el empleo de series de datos cuya extensión supera los cuarenta años y en el uso de diferentes enfoques para dar cuenta de la cointegración/causalidad entre las variables: el enfoque de Engle y Granger (1987), el de cointegración de Johansen (1995), el enfoque de causalidad en el sentido de Granger (1969) -en la versión de Toda y Yamamoto (1995)- y un modelo de rezagos distribuidos (ADL).

PALABRAS CLAVE: CRECIMIENTO ECONÓMICO, CONSUMO DE ENERGÍA, COINTEGRACIÓN.

JEL: Q32, Q43

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	7
2.1. LA RELACIÓN TEÓRICA PBI/CONSUMO ENERGÉTICO	7
2.2. LA RELACIÓN EMPIRICA ENTRE EL PBI Y CONSUMO DE ENERGÍA.....	12
2.3. SECTOR ENERGÉTICO ARGENTINO Y PRINCIPALES PROBLEMÁTICAS	19
3. DATOS Y METODOLOGÍAS	28
3.1. SERIES	28
3.2. ENFOQUES Y METODOLOGÍAS	32
3.2.1. ENGLE Y GRANGER (1987).....	32
3.2.2. METODOLOGÍA DE WICKENS Y BREUSCH (1988).....	35
3.2.3. JOHANSEN (1995).....	36
3.2.4. CAUSALIDAD EN EL SENTIDO DE GRANGER (1969), EN LA VERSIÓN DE TODA Y YAMAMOTO (1995)	38
3.2.5. MODELO DE REZAGOS DISTRIBUIDOS (ADL)	40
4. RESULTADOS EMPÍRICOS.....	43
4.1 METODOLOGÍA DE ENGLE Y GRANGER (1987)	43
4.2 METODOLOGÍA DE WICKENS Y BREUSCH (1988).....	46
4.3 METODOLOGÍA DE JOHANSEN (1995).....	47
4.4 EVALUACIÓN DE LA CAUSALIDAD EN EL SENTIDO DE GRANGER (1969), EN LA VERSIÓN DE TODA Y YAMAMOTO (1995).....	51
4.5 FUNCIONES IMPULSO-RESPUESTA	52
4.6 METODOLOGÍA ADL	54
5. RESUMEN DE LOS ENFOQUES APLICADOS.....	56

6. CONCLUSIONES.....	57
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
8. ANEXO	66

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se propone explorar la posible existencia de una relación empírica, estable y de largo plazo, entre el consumo de energía y el PBI en la Argentina para el período 1971-2014. El vínculo entre el consumo de energía y el PBI ha sido un tópico ampliamente analizado en la literatura económica mundial. Desde el trabajo pionero de Kraft y Kraft (1978), diversos estudios se encargaron de investigar de qué manera se relacionan estas dos variables y cuáles son las medidas en términos de política energética que se deben tomar, según cada caso específico¹. Si bien los aportes teóricos son amplios y diversos, aún no se ha consensuado una idea acerca de la interrelación entre el consumo de energía y el PBI. Los resultados de los distintos trabajos son disímiles, así como también las herramientas metodológicas utilizadas en los diferentes estudios.

Por otro lado, la relevancia de las publicaciones que estudian la relación **consumo de energía/PBI** radica en su utilización como herramienta para quienes tengan a cargo formular los lineamientos energéticos de un país. Según sea el resultado de cada trabajo, las implicancias en término de política varían. Por ello, este tipo de estimaciones constituye -en general- una guía para una mejor previsión y toma de decisiones.

Para el caso específico argentino, el análisis de esta relación (consumo de energía/PBI) tiene relevancia particular. Dadas las caídas en la producción de petróleo y gas natural de los últimos años, y la considerable masa de divisas que debió destinarse a solventar la escasez local de recursos fósiles no renovables (por las crecientes importaciones), se entiende como fundamental conocer la interrelación entre estas dos variables. En especial, se pretende conocer cómo podría impactar un potencial desabastecimiento del sector energético, y consecuentemente un menor consumo de energía, sobre la actividad económica del país.

Según Ozturk (2010), son cuatro los posibles resultados que -a priori- se pueden verificar en una investigación de este tipo. Un resultado posible es la inexistencia de un vínculo entre las variables (hipótesis de *neutralidad*). También puede ocurrir que las variables se afecten mutuamente (hipótesis de *retroalimentación*). Finalmente, podría suceder que el consumo

¹ En general, los trabajos de este estilo se dedican a investigar la conveniencia de aplicar una política de ahorro energético.

de energía explique al PBI (hipótesis de **crecimiento**), o bien que el PBI determine al consumo de energía (hipótesis de **conservación energética**).

En esta tesis se pretende conocer cómo funciona la relación para el caso argentino. En general, las series estadísticas que se utilizan en este tipo de investigaciones son no estacionarias por lo que la econometría tradicional resulta obsoleta, dado que los estimadores que se obtienen de este modo surgen de regresiones espurias. Por consiguiente, se procede a utilizar el enfoque de Engle y Granger (1987) que permite trabajar con series no estacionarias y definir la existencia de relaciones de largo plazo entre las variables (cointegración). Asimismo, y en virtud de ciertas críticas que algunos autores suelen realizarle al enfoque de Engle y Granger, se aplica un enfoque superador, el de Johansen (1995). Este enfoque propone un abordaje vectorial al problema de la cointegración. Por otra parte, para estudiar la causalidad entre el PBI y el consumo de energía se utiliza el enfoque de causalidad en el sentido de Granger (1969) -en la versión de Toda y Yamamoto (1995)-.

Además, se incluyen Funciones Impulso-Respuesta a partir de la crítica que realiza Lutkepohl (1994) con respecto a la interpretación de los coeficientes del vector de cointegración como elasticidades de largo plazo. En este punto, se presenta de manera sucinta en qué consiste la crítica del autor y las recomendaciones que propone para estimar adecuadamente dichas elasticidades.

Por último, para examinar si existe cointegración también se emplea un modelo de rezagos distribuidos (ADL), que resulta de interés en tanto se compruebe la exogeneidad débil en alguna de las dos variables bajo tratamiento (consumo de energía o PBI).

Los datos utilizados se tomaron de la base estadística del Banco Mundial. El período estudiado abarca 44 años (1971-2014) y las series se trabajan en sus respectivos logaritmos para lograr un mejor ajuste del modelo y facilitar las interpretaciones económicas. Para los cálculos econométricos se utiliza el software Eviews 8.

En cuanto a la estructura del trabajo, el mismo está subdividido en las siguientes secciones: La sección 1 contiene la introducción del trabajo. En la sección 2 se presenta el estado de la cuestión, el cual está subdividido en tres subsecciones. La subsección 2.1 muestra un sucinto repaso de la literatura que trata la relación teórica PBI/consumo de energía. En la 2.2, se

realiza una revisión general de la literatura en torno a la relación empírica entre ambas variables y se exponen, escuetamente, las técnicas econométricas utilizadas en los diversos estudios. En la subsección 2.3, se describe de forma breve la evolución del sector energético argentino durante las últimas décadas, con especial énfasis en los principales problemas que se presentan en la coyuntura. Por su parte, en la sección 3 se detallan las series empleadas y los enfoques metodológicos aplicados y en la sección 4 se muestran las regresiones y los resultados obtenidos. Finalmente, la última sección, la 5, está reservada para las conclusiones del trabajo.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1. LA RELACIÓN TEÓRICA PBI/CONSUMO ENERGÉTICO

En el centro del debate sobre la relación entre el crecimiento económico y el consumo de energía se halla una discusión teórica que data de décadas atrás y que se encuentra cimentada en el papel que se le asigna a la energía en un determinado proceso de crecimiento económico. Los primeros modelos neoclásicos de crecimiento (Solow, 1956) no incorporan al factor “energía” en sus funciones de producción. Trabajos neoclásicos posteriores comenzaron a considerar la presencia de recursos renovables y no renovables en la explicación de un determinado proceso de crecimiento económico (Solow, 1974; Stiglitz, 1980).

Según Cleveland (2003), una conclusión común que se puede elaborar en base a estos estudios es que los modelos neoclásicos estándar desligan al crecimiento económico de la dotación de recursos energéticos. Recursos energéticos escasos, o bien, agotados, pueden ser reemplazados por sustitutos más abundantes u otros factores productivos (personas, máquinas, fábricas, etc.). En tanto, Barleet y Gounder (2010) indican que la implicancia de los trabajos neoclásicos es que, si bien los recursos energéticos contribuyen a la producción, el sentido de causalidad entre las variables PBI y ENERGÍA² va desde la primera hacia la segunda.

² De aquí en adelante, la palabra ENERGÍA hace referencia al *consumo de energía*.

Por su parte, una rama de la economía que estudió la relación entre el crecimiento y el consumo de energía, es la de los llamados “economistas de la ecología” (David Stern, Herman Daly, Nicholas Georgescu Roegen, Cutler Cleveland, entre otros). La *Economía de la Ecología* presupone que el recurso energético no sólo es un factor preponderante para explicar el crecimiento económico, sino que además es el factor fundamental. En este sentido, gran parte de la crítica que estos economistas le realizan a la teoría neoclásica se sustenta en que existiría una escasa capacidad para sostener un elevado grado de crecimiento económico, a partir de los cambios tecnológicos y la sustitución de la energía por otros factores productivos.

En particular, Stern y Cleveland (2004) describen cómo las leyes y propiedades de la física limitan la posibilidad de la sustitución de la energía por otros factores o por el cambio tecnológico. En primer lugar, los autores destacan que existe una interdependencia física entre los factores, debido a que la construcción, operación y mantenimiento de las herramientas, máquinas y fábricas requieren de un flujo constante de energía. Entonces, para producir y conservar el producto “sustituto” se debe utilizar más del recurso que se pretende sustituir.

En segundo término, sostienen que existen límites del cambio tecnológico como forma de lograr la sostenibilidad del crecimiento en un contexto de escasez energética. Los cambios tecnológicos consisten en la sustitución de los factores de la producción por el “conocimiento” y se explicitan en mejores máquinas y en trabajadores más calificados. Pero, según los autores, incluso la mejora de las máquinas y de los trabajadores requiere de un flujo de energía para poder realizarse.

Este debate, fue recientemente retomado por Daly y el premio nobel de economía, Joseph Stiglitz. Daly (1997), recoge la crítica que realiza Georgescu Roegen (1975) a dos variantes del modelo neoclásico. Por un lado, al modelo estándar, que no incorpora a los recursos naturales (y de forma derivada, a la “energía”) en su función de producción. Por otro, a modelos posteriores a los cuales denomina “la variante Solow-Stiglitz”, que aun cuando incluyen los recursos naturales, formulan supuestos errados –según el autor- en torno a la sustituibilidad entre los factores.

En cuanto a los primeros, Daly crítica aquellas formulaciones teóricas basadas en funciones de producción que sólo dependen de dos factores productivos –capital y trabajo- y en las cuales no aparecen los recursos naturales en lo absoluto. Para exponerlo en términos prácticos, el autor realiza una analogía con una receta de cocina: *“la receta de Solow requiere, para hacer un pastel, de un cocinero y su cocina; no necesitamos harina, huevo, azúcar, electricidad y gas natural, ni siquiera leña (Daly, 1997 p. 1)”*.

En segundo término, Daly critica también a estudios posteriores –variante Solow-Stiglitz- que, aun cuando añaden los recursos naturales a la función de producción, establecen cierto grado de sustituibilidad entre los diferentes factores productivos. Así, según Daly, estos trabajos postulan que solo resulta necesaria la utilización de una cantidad no negativa de recursos naturales en tanto se emplee una mayor cantidad de otros factores, para mantener un determinado nivel de producción agregada. Siguiendo con la analogía gastronómica, Daly refiere: *“en la variante Solow-Stiglitz, para hacer un pastel se necesita no solo a un cocinero y su cocina, sino también una cantidad no negativa de harina, azúcar, huevos, etc.”*. *“El truco consiste entonces en dar la apariencia de respetar las leyes de la termodinámica, sin hacerlo en realidad” (Daly, 1997, p. 3)*.

La réplica de Stiglitz se produce en el mismo año. Stiglitz (1997), en su publicación *“Reply: Gerogescu-Roegen versus Solow/Stiglitz”*, reafirma su postura sobre la sustituibilidad entre los factores productivos (recursos naturales, inclusive). El autor menciona que en el mediano plazo el factor capital es un sustituto de los recursos naturales, incluso si el capital mismo utiliza recursos de la naturaleza para producir. En el mismo sentido, postula que el cambio tecnológico, el cual puede ser el resultado de la inversión en investigación y desarrollo, puede ser un factor de reducción de las cantidades físicas de capital y de recursos naturales necesarios para elaborar una unidad de determinado producto. El autor pone el ejemplo de una lata de gaseosa, que utiliza mucho menos aluminio que la misma lata, hace algunos años atrás, e incluso requiere menos bauxita, petróleo y carbón para ser producida. También postula un segundo ejemplo, en el que compara el elevado tiempo de cómputo necesario para realizar una regresión hace algunas décadas atrás con los pocos recursos que se requieren en la actualidad para replicar los mismos cálculos y la facilidad con que esto se consigue.

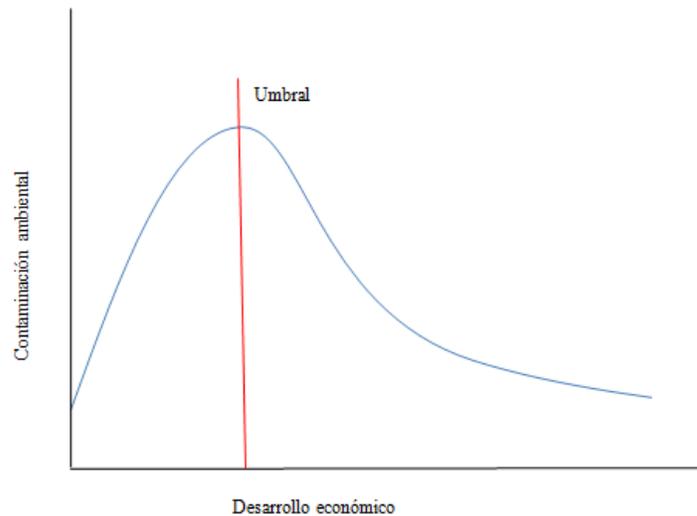
El debate en torno al papel de la energía en particular, y de los recursos naturales en general, en el crecimiento económico se focaliza entonces sobre grado de sustituibilidad que desde las distintas corrientes de pensamiento se le asigna a los factores productivos. En primer término, los primeros enfoques neoclásicos no incluyen a la energía en la función de producción. Estudios posteriores, si bien incorporan a los recursos naturales en sus modelos, convalidan cierto grado de sustituibilidad entre éstos y el capital, el trabajo y el cambio tecnológico. Finalmente, los economistas de la ecología descartan cualquier grado de sustituibilidad entre la energía y el resto de los factores, a los cuales consideran más bien como complementarios del uso energético.

Es dable destacar, que las conclusiones que se derivan de los modelos neoclásicos de crecimiento, son generalmente coincidentes con algunos trabajos que estudiaron lo que se conoce como la Curva de Kuznets Ambiental (CKA). La CKA, término propuesto por primera vez por Panayotou (1993), constituye una relación empírica en forma de U invertida entre el grado de deterioro ambiental y el crecimiento económico. La idea detrás de esta curva es que existe una relación creciente entre el crecimiento económico y el grado de contaminación ambiental para países en vías de desarrollo. A medida que estos países crecen, contaminan más, pero esto sucede hasta llegar a un umbral de ingreso a partir del cual, la relación se estabiliza y luego la contaminación ambiental comienza a reducirse (la relación entre el crecimiento y la degradación ambiental se vuelve negativa).

Por consiguiente, según Panayotou, la CKA postula que no habría que preocuparse por la contaminación ambiental en tanto constituye un subproducto del crecimiento: aumenta en etapas de bajo desarrollo y se reduce en las etapas de elevado desarrollo. En palabras del propio Panayotou:

El no rechazo de la hipótesis que plantea la existencia de una Curva de Kusnetz Ambiental implica cierto comportamiento inevitable de la degradación ambiental a lo largo de las etapas tempranas de desarrollo económico de los países y una significativa mejora en etapas posteriores. Ambos procesos, son resultado del crecimiento económico (Panayotou, 1993, p. 3).

Gráfico 1. Curva de Kusnetz Ambiental (CKA)



Fuente: elaboración propia

Cabe mencionar en este punto que algunos de los autores que investigaron la evidencia empírica de esta curva tomaron como variable representativa de la contaminación ambiental al consumo energético por lo que, implícitamente, analizaron la relación empírica entre el crecimiento económico y el consumo de energía (Luzzati y Orsini, 2009; Contreras et al., 2012; Romero y De Jesús, 2016). En tanto, uno de los factores explicativos de la existencia de la CKA que menciona Panayotou viene dado por el nivel de consumo energético, bajo diferentes etapas de desarrollo económico. En este punto, el autor refiere que en etapas tempranas de desarrollo económico los países tienden a focalizar su producción en el sector industrial, altamente demandante de insumos energéticos y, por tanto, contaminante. En etapas más avanzadas de desarrollo económico, las estructuras económicas mutan hacia el sector servicios, que utiliza menos energía y, por consiguiente, genera menor degradación ambiental: *“el crecimiento industrial significa una mayor producción y presumiblemente utiliza una mayor cantidad de insumos materiales y energía y, por tanto, genera crecientes emisiones y desperdicios”* (Panayotou, 1993, p. 7).

Por consiguiente, y según sugiere Recalde (2011), las conclusiones que se derivan de los trabajos que confirman la existencia empírica de la CKA son asimilables a las conclusiones de los desarrollos de corte neoclásico. Es decir, que no resulta necesario -para aminorar las

consecuencias perjudiciales del cambio climático o la escasez de recursos energéticos- implementar políticas de ahorro de energía, porque las mismas son un subproducto del desarrollo económico. No obstante, si eventualmente se decidiera establecer políticas de ahorro energético, estas no impactarían sobre el crecimiento porque el sentido de causalidad en la relación gira en sentido inverso: desde el crecimiento económico hacia el consumo de energía (Recalde, 2011).

Según se desprende de la discusión que precede, los fundamentos teóricos que se tomen para analizar la relación entre el crecimiento económico y el consumo de energía pueden dar lugar a conclusiones divergentes respecto del sentido de causalidad que se presenta entre ambas variables. En tanto, como se verá, los trabajos que estudiaron el vínculo empírico PBI/ENERGÍA también denotan resultados discordantes.

2.2. LA RELACIÓN EMPIRICA ENTRE EL PBI Y CONSUMO DE ENERGÍA

Tal como se mencionó en la introducción, la relación empírica entre el consumo de energía y el PBI ha sido un tópico ampliamente investigado en la literatura económica mundial. Si bien los aportes son amplios y diversos aún no se ha consensuado una idea acerca de la interrelación entre el consumo de energía y el PBI. Los resultados son disímiles, así como también las herramientas metodológicas utilizadas en los diferentes estudios.

La relevancia de trabajos empíricos de este estilo radica en su utilidad para quienes se encarguen de formular los lineamientos energéticos de un país. Por ello, este tipo de estimaciones constituyen -en general- una guía para una mejor previsión y toma de decisiones.

Según Ozturk (2010), son cuatro los posibles resultados que a priori se pueden verificar en una investigación de causalidad PBI/consumo de energía. La hipótesis de *neutralidad*, que hace referencia a la inexistencia de relación entre las variables, en ambos sentidos, o a una relación con un bajo nivel de influencia de una sobre la otra. En cambio, cuando existe relación desde el crecimiento económico hacia el consumo energético se cumple la hipótesis de *conservación energética*. Ésta, implica la posibilidad de implementar políticas que

promuevan el uso racional de la energía (para estimular su conservación) sin generar un impacto recesivo sobre la economía del país. En tercer lugar, cuando el consumo de energía explica al PBI, la llamada hipótesis de *crecimiento económico*, se verifica la dependencia de la actividad económica del país con respecto al consumo de energía doméstico. En este caso, cualquier tipo de política que tienda a buscar la conservación energética podría llegar a tener efectos nocivos sobre la actividad económica interna del país en cuestión y se la denomina como energético-dependiente. Finalmente, la hipótesis de *retroalimentación*, sostiene la existencia de una relación bidireccional entre las variables. Si se cumple, el escenario es incluso más complejo que el descrito por la tercera hipótesis, ya que una determinada política de conservación energética puede impactar negativamente sobre el crecimiento económico, y éste -a su vez- estimular una nueva baja en el consumo energético. De este modo, se promueve un ciclo recesivo entre las variables.

El trabajo de Kraft y Kraft (1978) fue pionero en esta temática y constituyó el puntapié inicial para una serie de estudios posteriores. Dichos autores estudiaron el caso de la economía estadounidense para el período de posguerra (1947 – 1974) mediante la técnica de Sims (1972) y encontraron que, si bien existía una relación entre las variables, el sentido de causalidad se direccionaba desde el PBI hacia el consumo de energía. Este resultado trajo cierto alivio sobre el tema ya que se desestimaba al consumo energético como un prerequisite indispensable para el crecimiento económico.

Dos años más tarde, Akarca y Long (1980) publicaron un artículo en el cual revisaron las conclusiones obtenidas por Kraft y Kraft. En este trabajo, los autores remarcaron que los resultados de Kraft y Kraft se desvanecen cuando se toma un período más corto, mediante la exclusión de los años 1973 y 1974 de la regresión. Claro está, para los autores, la inclusión de estos años resultaba discutible en la medida en que se incorporaban los efectos de la crisis mundial del petróleo³.

Cabe destacar en este punto, que los primeros trabajos que estudiaron la relación entre el consumo de energía y el PBI surgen luego de la crisis petrolera del 73' e intentaron dar cuenta

³ Akarka y Long advierten que en el estudio de Kraft y Kraft (1978) se excluyó, con buen tino, el período 1900-1946 debido a la presencia procesos disruptivos como la Gran Depresión o las dos guerras mundiales. En este contexto, los autores mencionan que resulta controversial la inclusión de los años 1973-1974.

de los posibles impactos que tendría la “escasez” de petróleo sobre las economías de diversos países. Es por esto que el trabajo de Kraft y Kraft se contextualizó dentro de la preocupación sobre la caída en el consumo de energía y sus efectos sobre la actividad económica.

Trabajos posteriores de la década del ochenta arrojaron conclusiones distintas a las de Kraft y Kraft. En particular, Yu y Choi (1985), analizaron la causalidad en 5 países con diferentes grados de desarrollo y no pudieron dar cuenta de un resultado unívoco en la relación entre el consumo de energía y el PBI. Los países bajo estudio fueron Corea del Sur, Filipinas, Estados Unidos, el Reino Unido y Polonia⁴. Si bien encontraron que existía una relación de causalidad⁵ entre el PBI y el consumo de energía en Corea del Sur y Filipinas, no pudieron hallar lo mismo para los casos de Estados Unidos, Reino Unido y Polonia. Según los autores, *“los diversos y dispares resultados pueden ser atribuidos a la heterogeneidad en las condiciones climáticas, en los patrones de consumo, en la estructura económica y el grado de desarrollo de los países seleccionados”* (Yu and Choi, 1985, págs. 253-254)⁶.

Por su parte, Erol y Yu (1987), analizaron la causalidad entre el PBI y el consumo de energía en 6 países con grados similares de desarrollo económico, durante un lapso más extenso (1950-1982). Luego de notar que los resultados de Yu y Choi se vieron influidos por disparidades estructurales entre los países considerados, los autores decidieron investigar el vínculo entre el PBI y el consumo de energía de países de características análogas (especialmente, en cuanto al tamaño de la economía de cada uno). Para esto, examinaron la situación de 6 de las naciones más desarrolladas: Japón, Alemania Occidental, Italia, Canadá, Francia y el Reino Unido. La idea era entonces, aislar la interrelación PBI/ENERGÍA del grado desarrollo de económico de los países bajo estudio.

Sin embargo, los resultados encontrados por Erol y Yu también resultaron dispares. Hallaron una relación de causalidad bidireccional en Japón, unidireccional desde el PBI hacia el consumo de energía en Alemania Occidental e Italia y una causalidad unidireccional en sentido inverso para Canadá. Asimismo, confirmaron una relación de neutralidad para

⁴ La causalidad encontrada iba desde el PBI al consumo de energía en Corea del Sur, y se direccionaba en sentido contrario para el caso de Filipinas.

⁵ Causalidad en sentidos Sims (1972) y Granger (1969). Ambas metodologías se refieren más adelante.

⁶ La traducción es propia.

Francia y el Reino Unido. Además, los autores remarcaron que los resultados son sensibles al período de tiempo escogido en tanto se tiende a desvanecer la relación de causalidad cuando el lapso bajo estudio se acorta⁷.

En este punto, cabe realizar una mención relevante en cuanto a las herramientas econométricas utilizadas en los diferentes trabajos. En general, las disparidades encontradas entre los diversos estudios se pueden deber a las diferencias estructurales de los países bajo estudio, la elección de las series y su transformación, al período tomado, pero también a la metodología utilizada en cada caso.

Con respecto a este último factor, y según la clasificación propuesta por Belke, Dobnik, y Dreger (2011) existen cuatro generaciones de trabajos. En primer lugar, se encuentran los estudios de **primera generación**, que se basan en modelos de vectores autorregresivos (VAR), según el trabajo de Sims (1972) y presuponen la estacionariedad de las series. Luego, surgen los trabajos de **segunda generación** -a finales de la década de los ochenta- que se basan en el enfoque de Engle y Granger (1987). Éstos, en cambio, permiten trabajar con series no estacionarias. Los autores descubrieron que si una combinación lineal de dos series no estacionarias resulta estacionaria entonces las variables se encuentran cointegradas y, por lo tanto, existe una relación de largo plazo entre ellas. El objetivo consiste entonces en investigar la existencia de dicha combinación lineal. Por su parte, los trabajos de **tercera generación** son aquéllos basados en la metodología propuesta por Johansen (1995). Este enfoque permite trabajar con series no estacionarias y analizar casos multivariados: es decir, que se trata de la extensión del enfoque de Engle y Granger al caso multivariado. El modelo resultante se denomina Modelo Vectorial de Corrección del Error (VECM). Por último Belke, Dobnik y Dreger (2011) definen los enfoques de **cuarta generación** como aquellos que trabajan con datos de panel.

Las distintas generaciones descritas por Belke, Dobnik y Dreger son divisiones que sirven para remarcar, a grandes rasgos, los cambios que ha habido en los últimos años en la

⁷ En particular, los autores refieren que la contemplación de procesos disruptivos como pueden ser fuertes cambios en las tasas de crecimiento del PBI o shocks de precios pueden dar lugar a resultados espurios. En efecto, cuando acortaron el período en estudio, dejando de lado por ejemplo los años posteriores a la crisis del petróleo, la relación de causalidad tendía a desaparecer.

metodología utilizada. No obstante, se pueden realizar algunos comentarios al respecto: de los primeros trabajos que trataron la relación entre el consumo de energía y el PBI, no todos presuponían la estacionariedad de las series. El trabajo de Kraft y Kraft efectivamente trabajó sobre la base de la metodología de Sims, sin evaluar el orden de integración de las variables. En cambio, tanto el trabajo de Yu y Choi como el de Erol y Yu, tomaron las series en sus primeras diferencias para evitar el problema de la no estacionariedad de las variables.

Así y todo, los primeros trabajos en la materia presentaban dos evidentes problemas metodológicos: o bien tomaban las variables en niveles –con la posibilidad de convalidar regresiones espurias- o bien se diferenciaban las series y se perdía información relevante en el proceso de estimación. El enfoque de Engle y Granger (1987) superó estos obstáculos en la medida que permitió estudiar de manera simultánea la interacción entre las variables en niveles (que recogen las dinámicas de largo plazo) y en diferencias (que muestran los ajustes de corto plazo).

Tabla 1. Tabla resumen de evidencia empírica a nivel mundial

Autores	Metodología	Países	Causalidad
Kraft y Kraft (1978).	Causalidad - Sims (VAR)	EEUU	PBI → energía
Yu y Choi (1985)	Causalidad - Sims y Granger (VAR)	5 países	No unívoca
Erol y Yu (1987)	Causalidad - Granger (VAR)	6 países	No unívoca
Nachane (1988)	VECM Bivariado	16 países	PBI → energía
Cheng and Lai (1997)	VECM Bivariado	Taiwán	PBI → energía
Glasure and Lee (1998)	VECM Bivariado	Corea del Sur y Singapur	PBI ↔ energía
Masih y Masih (1997)	VECM multivariado	Taiwán y Corea	energía → PBI
Stern (2000)	VECM multivariado	EEUU	No hay relación
Asafu Adjaye (2000)	VECM multivariado	3 países	No unívoca
Jaruwan Chontanawat (2006)	VECM panel multivariado	30 países de la OECD y 78 países no pertenecientes a la OECD	PBI → energía
Belke, Dreger and De Han (2010)	VECM panel multivariado	25 países OECD	PBI → energía
Costantini and Martini (2010)	VECM panel multivariado	EEUU, España, Grecia, Portugal e Italia.	energía → PBI

Fuente: elaboración propia

La Tabla 1 presenta algunos trabajos de referencia y sus conclusiones respecto de la causalidad ENERGIA/PBI. Como puede observarse en la tabla -y más allá del enfoque metodológico utilizado- no existe, a nivel mundial, evidencia unívoca de cointegración entre el consumo de energía y el PBI. Tampoco es unívoco, en los casos en que se confirma la cointegración, el sentido de causalidad entre las variables.

Respecto del caso argentino, Soytas y Sari (2003) analizaron la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico en 16 países, incluida la Argentina. Soytas y Sari utilizaron el procedimiento de Johansen y la especificación de un VECM para detectar la cointegración y la relación de causalidad entre el consumo de energía y el PBI. Específicamente para Argentina, los autores dieron cuenta de la existencia de una relación de cointegración y de un sentido de causalidad bidireccional entre ambas variables para el período (1950-1990). Por consiguiente, según los autores, una determinada política de conservación energética podría dañar el crecimiento económico del país.

Chontanawat, Hunt y Pierse (2006) también utilizaron el enfoque de Johansen para determinar la relación de cointegración/causalidad para un grupo de 108 países (entre ellos, la Argentina). Los autores no pudieron encontrar una relación de cointegración entre el PBI y el consumo energético para el caso argentino (período 1971-2000).

Sinha (2009) investigó la presencia -o ausencia- de cointegración para un grupo de 88 países (50 países en vías de desarrollo y 38 países desarrollados). Luego de un estudio que incluyó datos de panel para el lapso 1975-2003, concluyó que existe una relación de largo plazo y estable entre el PBI y el consumo de energía para el grupo de países seleccionados, incluida la Argentina. Asimismo, el estudio de Sinha determinó que la relación entre las dos variables es de mutua reciprocidad (bidireccional).

Recalde (2011), analizó la relación PBI/ENERGÍA en la Argentina, para el período 1960-2009 y aplicó la metodología de Granger (1969), en la versión de Toda y Yamamoto (1995). Los resultados encontrados por la autora avalaron una causalidad unidireccional desde el consumo de energía hacia el PBI.

Barreto Nieto y Campo Robledo (2012) elaboraron uno de los trabajos más recientes en la materia respecto de la Argentina. Los autores utilizaron una metodología que trabaja con

datos de panel no estacionarios. En este estudio, se analizó la relación para 12 países de América Latina y se estableció que dichos países, entre los cuales se encuentra Argentina, son energético-dependientes; es decir, existe una relación de causalidad que va desde el consumo energético hacia el crecimiento económico. A pesar de lo dicho, la elasticidad individual estimada para el caso argentino es baja en relación al resto de los países de la región; esto es, su PBI es menos dependiente con respecto al consumo de energía.

En resumen, los resultados observados a nivel mundial en los diferentes estudios relacionados con la materia arrojan conclusiones dispares. En este punto, como se percataron Yu y Choi (1985), las divergencias pueden surgir de analizar países marcadamente heterogéneos (en cuanto al clima, patrones de consumo, estructuras económicas, grado de desarrollo económico, etc.). Por otra parte, según advierten Masih y Masih (1997), uno de los factores explicativos más importantes de las diferencias es la metodología utilizada en cada caso: la definición y especificación de las variables, la técnica econométrica aplicada, la estructura de lags escogida, etc. Además, y como se mencionó respecto de los primeros trabajos en la materia, los resultados pueden ser especialmente sensibles al período bajo análisis. Tal y como demostraron Akarka y Long (1980), las conclusiones del estudio de Kraft y Kraft (1978) se desvanecen con sólo el hecho de desestimar dos años (1973 y 1974) de la regresión. Estas razones metodológicas pueden estar en la base de las discrepancias de los estudios para la Argentina.

En el presente trabajo sólo se utilizarán dos de los enfoques antes mencionados: el enfoque de Engle y Granger (1987) y el enfoque de Johansen (1995). Ambos permiten trabajar con series no estacionarias. Dado que la mayoría de las series económicas no son estacionarias (Caridad y Ocerín, 1998; Granger y Engle, 2004), la metodología de Sims (1972) resulta inadecuada para el análisis en cuestión. Por otra parte, al no trabajar con datos de panel no se utiliza el enfoque de cuarta generación referido por Belke, Dobnik y Dreger (2011). Para evaluar la causalidad entre las variables se emplea el enfoque de causalidad en el sentido de Granger (1969) - en la versión de Toda y Yamamoto (1995)-. Adicionalmente, y dada la crítica de Lutkepohl (1994) sobre la errónea interpretación de los coeficientes del vector de cointegración como elasticidades, se estiman las interacciones que existen entre el consumo de energía y el PBI mediante funciones impulso-respuesta. Por último, se incluye un modelo

ADL, que posee parámetros más precisos en tanto se compruebe la exogeneidad débil en alguna de las dos variables (PBI o ENERGIA).

2.3. SECTOR ENERGÉTICO ARGENTINO Y PRINCIPALES PROBLEMÁTICAS

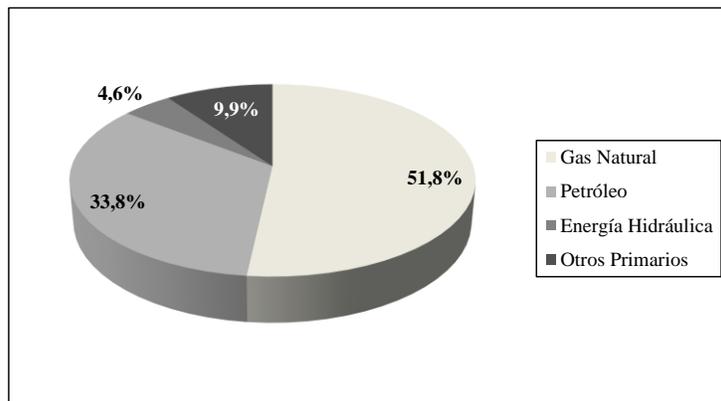
La mayor parte de los trabajos que investigaron la relación empírica entre el consumo energético y el PBI en el mundo se contextualizaron en la preocupación sobre las posibles consecuencias económicas que podría llegar a tener una determinada política de conservación energética. En el marco de las inquietudes sobre el calentamiento global y la contaminación que se deriva del uso de combustibles fósiles, la pregunta que generalmente intentaron responder los distintos estudios en la materia es cómo se relacionan estas dos variables (ENERGÍA/PBI) y el sentido de causalidad entre ellas. En particular, interesa conocer si un menor consumo de energía –como consecuencia de una política de ahorro energético- podría impactar negativamente sobre el crecimiento económico.

En el caso específico de la Argentina, el estudio de la mencionada relación tiene una relevancia particular dada la coyuntura vigente en el sector energético local. En los últimos años, se han producido ciertos desbalances entre la oferta y la demanda de energía que podrían afectar la sustentabilidad del sector. Desde la salida de la crisis del 2001 se han conjugado al menos tres factores que estimularon los desajustes: un marcado crecimiento en el consumo de energía, una caída en la producción de petróleo y gas natural y una matriz energética que intensificó su dependencia de recursos fósiles no renovables.

Lo sucedido en el caso del petróleo y el gas natural constituye una problemática que atañe a la totalidad del sector energético nacional producto de la escasa diversificación de la matriz primaria de energía. Ambos hidrocarburos representan cerca del 86% de la oferta primaria y casi el 70% de la electricidad se genera en base a centrales térmicas que utilizan como insumos hidrocarburos y sus derivados. En los gráficos que siguen, se explicita lo expuesto.

Como se ve en el Gráfico 2, el gas natural es el recurso que mayor participación tiene dentro de la oferta energética doméstica (51,8%), seguido por el petróleo, que ocupa aproximadamente un tercio de la matriz de energía local (33,8%).

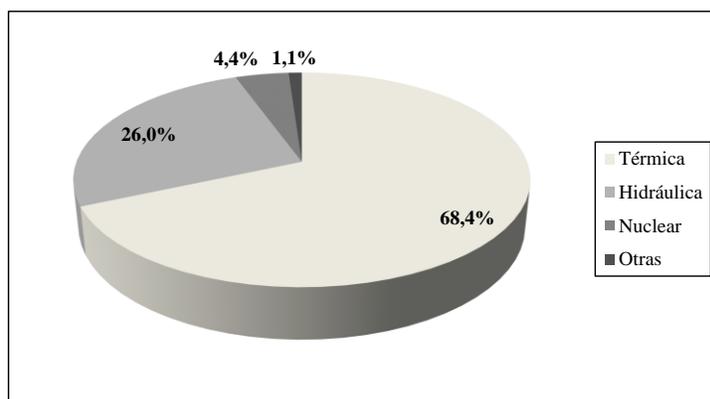
Gráfico 2. Matriz energética argentina (año 2014)



Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Energía y Minería

En conjunto, los hidrocarburos explican cerca del 90% de los recursos energéticos primarios, cifra que demuestra la escasa diversificación y pone en relieve la vulnerabilidad del sector al descansar intensamente en la provisión de recursos no renovables, y potencialmente agotables.

Gráfico 3. Matriz eléctrica argentina (año 2014)

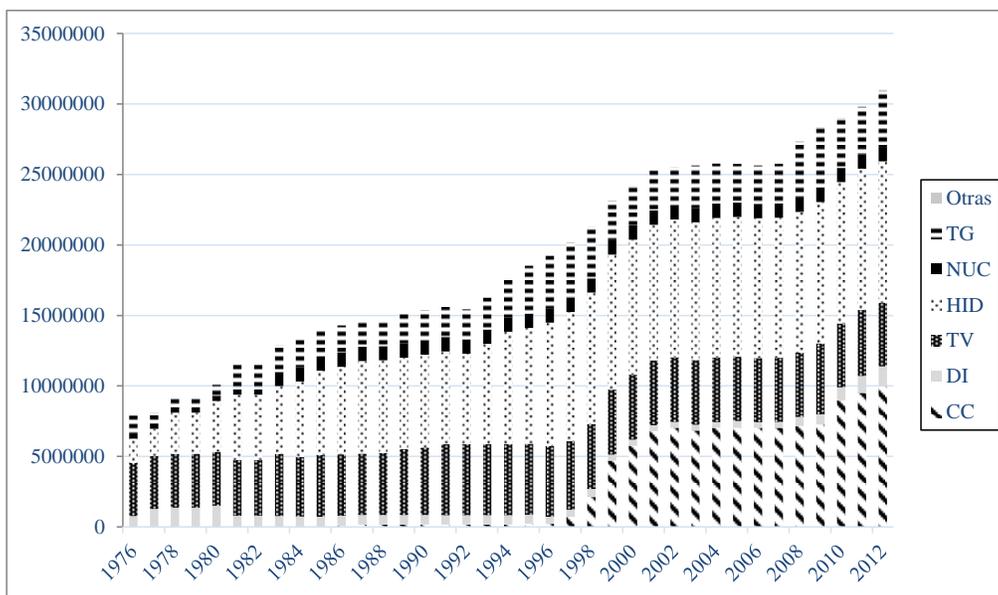


Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Energía y Minería

En relación al sector eléctrico se nota en el Gráfico 3 que las centrales térmicas, que incluyen las de Ciclo Combinado (CC), Turbo Gas (TG), Turbo Vapor (TV) y Diesel (DI), abastecen el 70% del consumo de electricidad doméstico. Otro importante porcentaje lo constituye la energía hidráulica (26%), mientras que algunas energías renovables como la solar y eólica

generan un mínimo porcentaje de la electricidad local (0,5%). Es decir que, también la generación eléctrica depende básicamente de la utilización de hidrocarburos como insumos.

Gráfico 4. Evolución de la potencia instalada, por tipo de generador (en KW)

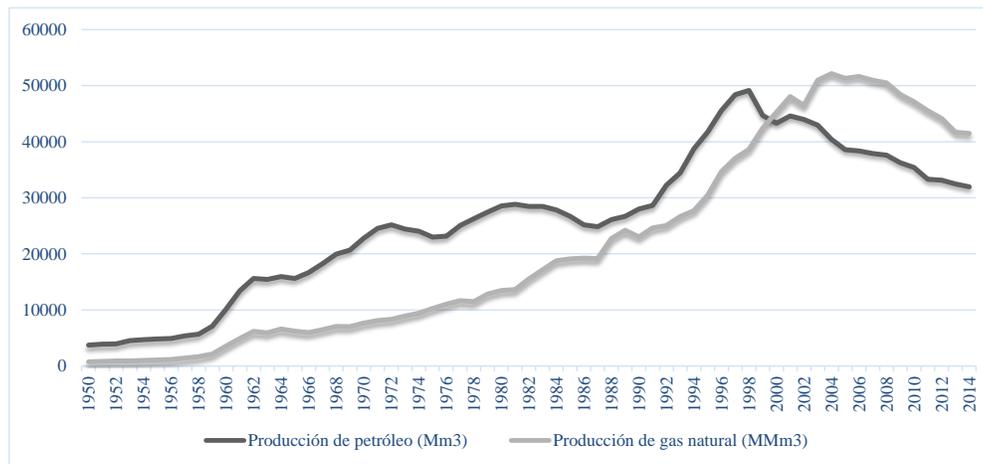


Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Energía y Minería

Asimismo, como puede observarse en el Gráfico 4, una elevada proporción del crecimiento de la oferta eléctrica desde mediados de los noventa a la fecha, fue resuelto a partir de la construcción de centrales CC. Esto se debió, primordialmente, a su bajo costo de inversión y a su menor tiempo de instalación en comparación al resto de los equipamientos (Barrera, 2012; Bravo, 2012). En el mismo sentido, y según datos del Ministerio de Minería y Energía, del aumento de la potencia instalada en el sector eléctrico del período 1996-2012, un 82,9% se explica por las centrales de Ciclo Combinado.

Es en este contexto de dependencia de hidrocarburos que resultan preocupantes las tendencias de producción del petróleo y el gas natural. Según se desprende de datos oficiales del Ministerio de Minería y Energía, desde el año 1998 se ha producido una baja casi sistemática en la producción de petróleo. Luego de llegar al pico máximo de producción en ese año, se desencadenó una caída promedio anual de 2,3% hasta el 2014. Cuestión similar ocurrió con el gas natural, desde el 2004, año desde el cual se experimentó una caída promedio anual de 2,2% hasta el 2014.

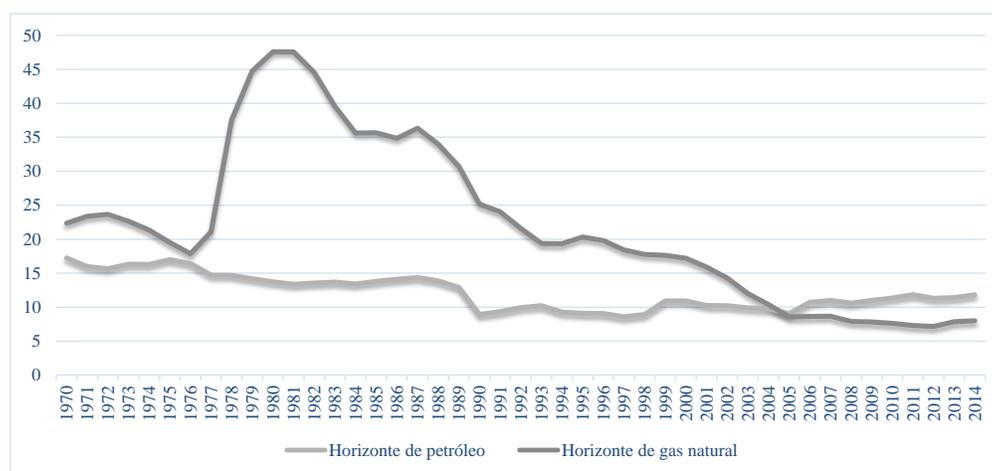
Gráfico 5. Evolución de la producción de petróleo y gas natural - Total país



Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Energía y Minería

De manera análoga, los horizontes de reservas de ambos hidrocarburos mermaron pronunciadamente en los últimos años. Un horizonte de reserva es el resultado que surge de dividir las reservas comprobadas de hidrocarburos en un período “t” por la producción del mismo año “t” y, por consiguiente, es una medida que sirve para estimar la vida productiva de los yacimientos bajo el supuesto de que el nivel de explotación del recurso en un determinado momento del tiempo se mantiene constante los períodos sucesivos.

Gráfico 6. Evolución horizontes de reservas de petróleo y gas natural (en años)



Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Energía y Minería

En base a estadísticas del Ministerio de Energía y Minería y del Instituto Argentino del Petróleo y el Gas (IAPG), se puede advertir en el Gráfico 6 como, en relación al petróleo, se pasó de un horizonte de reservas de 13,9 años en 1988 a 11,3 años en 2010, mientras que para el gas natural el horizonte de reservas pasó de 34 años a 7,6 en el mismo lapso. En el último año bajo análisis de este trabajo, el 2014, el horizonte de reservas del petróleo llegó a 11,8 años y el del gas natural a 8 años, números que ponen en duda la sustentabilidad del sector energético del país en un plazo relativamente breve.

Lo expuesto tiene relevancia en la medida en que el petróleo y el gas natural son recursos no renovables. Por tanto, su producción se encuentra limitada por los niveles de reservas en condiciones de ser explotadas. Esto implica que para que la Argentina pueda producir, debe disponer de reservas comprobadas que puedan ser utilizadas en lo inmediato. En este escenario, la caída en la producción de hidrocarburos se explica por la mencionada disminución de los horizontes de reservas, sumada a la maduración y la merma en la productividad de los yacimientos en explotación⁸.

Uno de los factores explicativos de la caída en las reservas de hidrocarburos se encuentra en la caída de la inversión de riesgo en el upstream petrolero⁹. En este punto, y según postula Kozulj (2002), ante la ausencia de datos históricos acerca de las inversiones en términos monetarios se pueden utilizar a modo de variables *proxy* el comportamiento de las cantidades de pozos petroleros. Los **pozos de explotación** pueden considerarse como una inversión de bajo riesgo debido a que se realizan sobre zonas productoras en donde se conoce de antemano la presencia de hidrocarburos. Los **pozos de exploración**, en cambio, pueden ser aproximativos de la inversión de riesgo elevado, en tanto se efectúan sobre áreas en donde no se habían encontrado antes hidrocarburos y, por consiguiente, se desconoce si efectivamente serán productivas o no. En la Tabla 2, se exponen las cantidades promedio de pozos petroleros perforados en las décadas de los 80', 90' y 2000.

⁸ Para tener una descripción detallada de la evolución de la productividad de los pozos de petróleo y gas natural se puede consultar Barrera (2012).

⁹ El upstream petrolero es la etapa de exploración y extracción de hidrocarburos.

Tabla 2. Evolución de la cantidad de pozos de explotación y exploración terminados

Tipo	Promedio 1980-1989	Promedio 1990-1999	Promedio 2000-2009
Pozos de exploración	117,4	98,3	48,3
Pozos de explotación	677,3	831,6	1028,3

Fuente: elaboración propia en base a Ministería de Energía y Minería

Se advierte en la Tabla 2 que la cantidad de pozos exploratorios perforados disminuyó progresivamente en las últimas décadas. Los pozos exploratorios terminados desde el 2000 al 2009 se redujeron a la mitad con respecto al período 1990-1999 y casi un 60% en relación al lapso 1980-1989. Por su parte, los pozos de explotación muestran una tendencia creciente y contraria al esfuerzo exploratorio realizado. En promedio, en el período 2000-2009 se terminaron 1.028 pozos de explotación, 23,7% más que los pozos producidos en el lapso 1990-1999 y 51,8% más que en el período 1980-1989. Estos números refieren que las empresas petroleras tendieron a focalizar su inversión hacia la explotación de los recursos hidrocarburíferos y evitaron efectuar inversiones de riesgo en el sector.

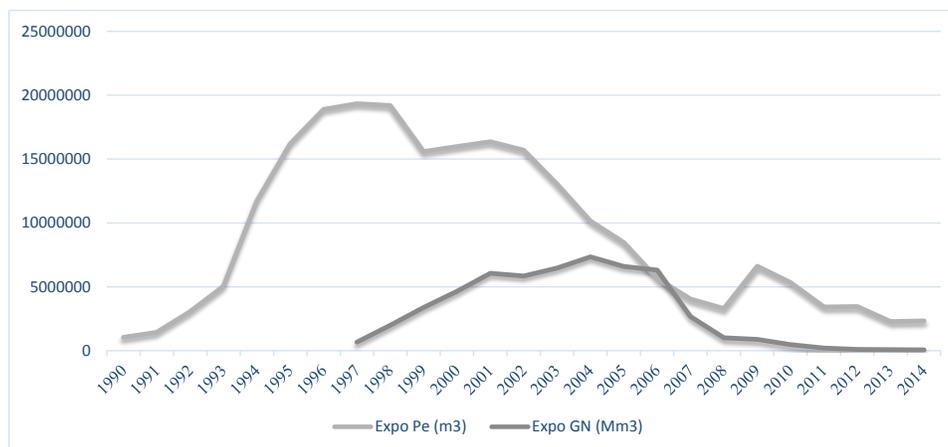
Con respecto a las posibles causas que expliquen el derrumbe del esfuerzo exploratorio en el upstream petrolero, las visiones son diversas. Por un lado, algunos autores destacan las implicancias perjudiciales que tuvieron las privatizaciones de los noventa, en tanto se convalidó un esquema cortoplacista y carente de planificación (Serrani, 2011; Asiain y Crivelli, 2012; Sabbatella, 2012). Estos autores asignan –en general- un grado de responsabilidad elevado a la performance de la firma Repsol-YPF que, según sus visiones, tuvo una estrategia de desinversión y descapitalización de la compañía. Otros (Cont y Navajas, 2004; Barril y Navajas, 2015; Hancevic, Cont y Navajas, 2016) en cambio, resaltan los efectos nocivos que han tenido los quiebres contractuales que siguieron a la crisis del 2001, dado que se convalidó un esquema de precios que desestimuló a la inversión en infraestructura energética. La pesificación y el congelamiento de las tarifas de gas y electricidad, sumadas al crecimiento en el consumo de energía provocaron, según los autores, una crisis en el sector.

Más allá de las controversias, lo cierto es que en este contexto de dependencia con respecto a los hidrocarburos y caída en la producción, y ante la subsiguiente incapacidad de poder

hacer frente al crecimiento del consumo de energía que siguió a la salida de la crisis del 2001, el país se vio sujeto a un desbalance que debió ser subsanado recurriendo a crecientes importaciones de gas natural y subproductos del petróleo. Respecto del gas natural, en 2004 se frenaron las exportaciones hacia Chile¹⁰ y desde el mismo año comenzaron a crecer significativamente las importaciones desde Bolivia. En el caso del petróleo, si bien se prosiguió con el esquema de “libre disponibilidad”, el Estado estableció retenciones móviles a las exportaciones, con el fin de comenzar a participar en la renta petrolera y desligar al mismo tiempo el precio del crudo en el mercado local, del precio internacional.

Las exportaciones de petróleo, que habían comenzado a acelerarse en la primera mitad de la década de los noventa y llegaron a representar el 41% de la producción doméstica en 1996, disminuyeron de forma pronunciada desde 1998 en adelante. Las exportaciones de gas natural iniciaron su tendencia creciente unos años más tarde (1997) y ya para el 2004 un 14% de lo producido localmente se exportaba. A pesar de esto, luego del 2004, las exportaciones de gas también mermaron y alcanzaron niveles exiguos en los años posteriores al 2010.

Gráfico 7. Evolución de las exportaciones de petróleo y gas natural (1990-2014)



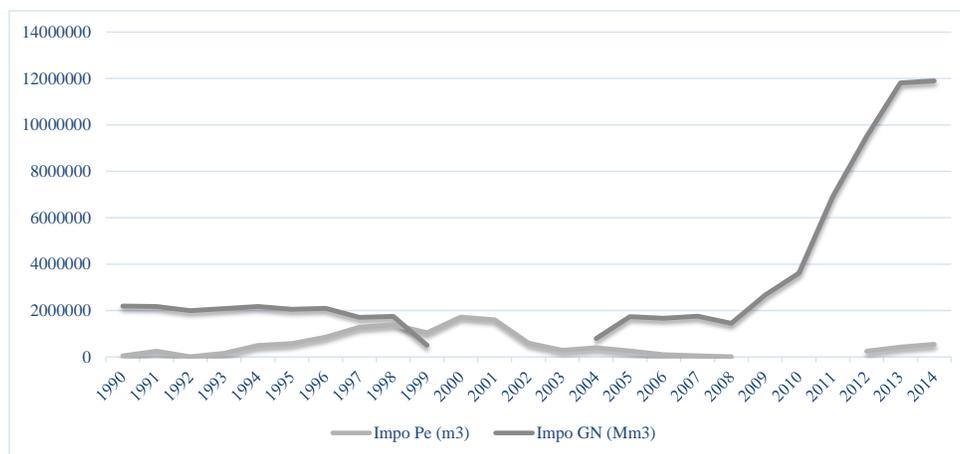
Fuente: elaboración propia en base a IAPG

De manera simultánea, se comenzó a importar una cantidad creciente de combustibles destinados a abastecer al mayor consumo del mercado local (sector residencial, servicios, industrial y transporte) y a las centrales termoeléctricas. El crecimiento de la demanda derivó

¹⁰ Mediante Resolución 265/04.

en un mayor consumo de combustibles, especialmente de gas natural por su menor precio relativo y la disponibilidad del gas boliviano. Sin embargo, el creciente consumo de combustibles y la menor producción local hicieron que las importaciones de gas natural desde Bolivia resultaran insuficientes y se debieran importar combustibles más caros como GLP, el fuel oil y el gasoil.

Gráfico 8. Evolución de las importaciones de petróleo y gas natural (1990-2014)



Fuente: elaboración propia en base a IAPG

De este modo, la balanza comercial energética revirtió hacia 2011 su saldo positivo y comenzó a presentar déficits crecientes. Claramente, como sugiere el Gráfico 9, la tendencia deficitaria se inicia a partir de la rápida expansión de las importaciones desde 2010 en adelante.

En tanto, la evolución del precio del crudo en los mercados internacionales profundizó el saldo comercial (energético) deficitario. El precio del WTI¹¹, que promedió los 20 dólares durante la década de los noventa alcanzó valores promedio cercanos a los 100 dólares en el período deficitario de la balanza. Por tanto, además de aumentar las cantidades de recursos energéticos importados, la suba del precio internacional de estos productos intensificó la sangría de divisas.

¹¹ WTI = West Texas Intermediate

Gráfico 9. Evolución del comercio de hidrocarburos, saldo comercial y WTI



Fuente: elaboración propia en base a Ministerio de Energía y Minería

Es en el contexto descripto, que resulta importante preguntarse acerca de la interrelación entre el consumo energético y el PBI en la Argentina. Las caídas en los horizontes de reservas de petróleo y gas natural, las bajas en la producción de ambos hidrocarburos y la dependencia de la matriz energética primaria y de la matriz eléctrica de recursos fósiles no renovables, podrían constituir serios inconvenientes para sustentabilidad del sector. Si bien, el país puede importar energía, este proceso tiene un límite, dado por la cantidad de divisas disponibles en cada momento del tiempo.

Por consiguiente, en las siguientes secciones se avanzará con el análisis empírico de la relación PBI/Consumo de energía. Dos preguntas son las más importantes: ¿una caída en el consumo de energía puede restringir el crecimiento económico del país? ¿con qué intensidad? Se entiende en este sentido, que una restricción de la oferta energética podría darse directamente acotando el suministro a consumidores locales (industria, sector industrial, comercio, etc.), o bien, con aumentos en el precio de los recursos energéticos que restrinjan el acceso a un determinado número de usuarios. En lo que sigue, se explicitan las series y las metodologías a implementar.

3. DATOS Y METODOLOGÍAS

Para estudiar la interacción entre el PBI y el consumo de energía en la Argentina se utilizan algunas series representativas de ambos fenómenos. Para el análisis de cointegración se emplean los enfoques de Engle y Granger (1987), de Johansen (1995) y un modelo ADL. Las tres metodologías son adecuadas para trabajar con variables no estacionarias. Se emplea además, la alternativa propuesta por Wickens y Breusch (1988) para estimar el coeficiente de la relación de largo plazo entre el PBI y la ENERGÍA. Por su parte, el sentido de causalidad se estudia mediante el enfoque de causalidad en el sentido de Granger (1969) - en la versión de Toda y Yamamoto (1995)-.

Finalmente, según Lutkepohl (1994) resulta inadecuado interpretar los coeficientes del vector de cointegración como elasticidades. En este punto, se desarrolla brevemente en qué consiste la crítica de Lutkepohl y sus recomendaciones metodológicas para los estudios de cointegración. Luego, se estiman funciones impulso-respuesta, siguiendo la propuesta del autor.

3.1. SERIES

Las series fueron tomadas de la base estadística del Banco Mundial. La variable que representa al consumo de energía es el uso de recursos energéticos per cápita homogeneizados en la medida Kilogramo Equivalente de Petróleo. A su vez, esta variable refiere al consumo de energía primaria antes de la transformación en otros combustibles finales, lo que equivale a la producción nacional más las importaciones y las variaciones de existencias menos las exportaciones y los combustibles suministrados a barcos y aviones afectados al transporte internacional. La segunda variable es el producto bruto doméstico anual (en dólares constantes de 2010)¹². El período que se abarca es de 44 años. Son datos con periodicidad anual y comprenden el lapso 1971 - 2014. Las series se trabajan en sus

¹² Ambas series pueden ser obtenidas de la página <https://datos.bancomundial.org>

respectivos logaritmos con el fin de lograr un mejor ajuste del modelo¹³ y facilitar las interpretaciones económicas.

En principio, se encuentra ampliamente aceptado el hecho de que las mayorías de las series económicas son no estacionarias, en media y muchas veces en varianza (Caridad y Ocerín, 1998; Granger y Engle, 2004). Por lo tanto, las estimaciones tradicionales que evalúan la presencia –o ausencia- de relaciones de largo plazo mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios suelen ser obsoletas en la medida que tienden a arrojar resultados espurios (Granger y Newbold, 1974).

Sin embargo, las series no estacionarias pueden estar cointegradas, si alguna combinación lineal entre ellas resulta estacionaria. Es decir, las series puede deambular, pero en el largo plazo existen fuerzas económicas que las empujan hacia un equilibrio. Por lo tanto, las variables cointegradas no se separarán mucho de la relación de equilibrio y aun cuando sus medias y varianzas difieran en el tiempo, lo harán de manera acompasada, de manera que el error entre ambas se comporte de manera estacionaria. A partir del enfoque de Engle Granger se trata de investigar si realmente existe dicha combinación lineal estacionaria.

Existen a priori algunas pruebas informales que pueden mostrar indicios de la estacionariedad (o la no estacionariedad) de una serie. Un ejemplo, es el mero análisis del gráfico de la misma para intentar identificar tendencias en media y/o varianza:

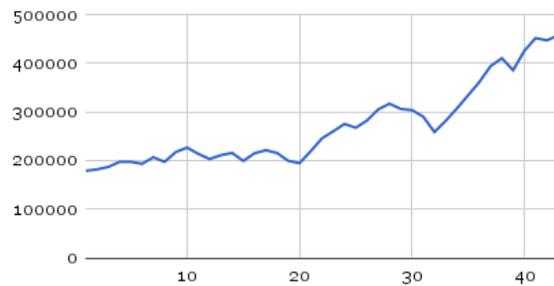
- i) Estacionarias: una serie es estacionaria cuando es estable, es decir, cuando la media y la variabilidad son constantes a lo largo del tiempo. Esto se refleja gráficamente en que la serie tiende a oscilar en torno a una media constante y la variabilidad con respecto a esa media también permanece constante en el tiempo.

- ii) No estacionarias: Son series en las cuales media y/o variabilidad cambian en el tiempo. Los cambios en la media y variabilidad tienden a crecer o decrecer en el largo plazo, por lo que la serie no oscila en torno a valores constantes.

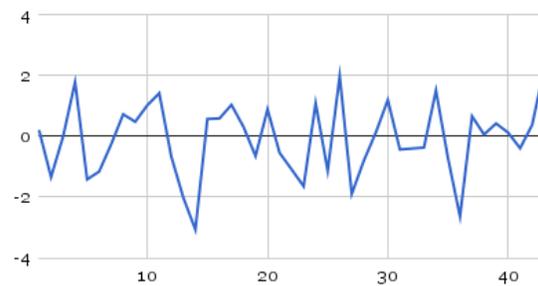
¹³ La transformación logarítmica se aplica para reducir la heterocedasticidad típica de las series macroeconómicas (varianza creciente en el tiempo) que podría sesgar los resultados de los tests y hacer ineficientes las estimaciones.

En los dos gráficos que siguen se presentan ejemplos de estacionariedad y no estacionariedad. En el primero (izquierda) se observa una variable creciente en el tiempo por lo cual a simple vista la media de la serie no permanece constante en el tiempo. En el segundo (derecha), no se aprecia una dependencia de media o varianza en función del tiempo.

Ejemplo de serie no estacionaria



Ejemplo de serie estacionaria



A su vez, y según Urbisaia y Brufman (2001), deben distinguirse dos tipos de tendencia: a) **tendencia determinística** y b) **tendencia estocástica**. Una tendencia determinística es una función no aleatoria del tiempo (por ejemplo, una tendencia lineal en el tiempo). Una tendencia estocástica es aleatoria y cambia con el tiempo. Esta diferenciación es sumamente importante debido a que de ella depende la transformación que deberá aplicarse a la serie para su estacionarización. En el primer caso, la tendencia es modelizable, y la estacionarización consistirá en ajustar la función de tiempo que corresponda (lineal, cuadrática, etc.) y quitar la tendencia a la serie original de modo que la serie residual muestre un comportamiento estacionario. En el segundo caso, si la serie proviene de un proceso estacionario en diferencias, la metodología más apropiada será la diferenciación de la serie.

Por lo tanto, es importante, como una primera etapa del análisis de una serie, detectar la naturaleza de su proceso generador. En este sentido, una de las pruebas formales para estudiar lo mencionado consiste en el test de Dickey-Fuller. En primera instancia, vale decir que una serie integrada de orden uno $I(1)$, es aquella que posee una tendencia estocástica y que se vuelve estacionaria luego de ser diferenciada una vez. El test Dickey Fuller permite establecer si una determinada serie es $I(1)$, y parte de considerar un proceso autorregresivo como el que sigue:

$$y_t = \rho y_{t-1} + x_t' \delta + \varepsilon_t \quad (1)$$

En donde la variable y_t corresponde a aquella cuya estacionariedad se pretende confirmar. En tanto la variable x_t representa la inclusión de componentes determinísticos, ya sea intercepto, o la inclusión conjunta de intercepto y tendencia. Las letras griegas ρ y δ son parámetros a ser estimados, mientras que la variable ε se asume como un ruido blanco. En esta ecuación, si $|\rho|=1$ la serie tratada será no estacionaria (con tendencia estocástica). En caso contrario, si $|\rho|<1$ la serie en cuestión será estacionaria. El test estándar de Dickey Fuller se obtiene restando y_{t-1} de ambos lados de la ecuación.

$$\Delta y_t = \alpha y_{t-1} + x_t' \delta + \varepsilon_t \quad (2)$$

En donde $\alpha = \rho - 1$ y el símbolo Δ refiere a la primera diferencia de la variable y_t . En este caso la hipótesis del test está dada por $H_0 : \alpha = 0$, que postula la presencia de raíz unitaria en la serie. Por otro lado, la prueba de Dickey Fuller Aumentada (ADF), prueba que se utilizará en este trabajo, asume que se está siguiendo un proceso autorregresivo de orden “p”, situación en la cual el supuesto de no autocorrelación de los residuos no se cumple. Para corregir esto, la prueba ADF añade “p” diferencias de la variable dependiente y_t en el lado derecho de la ecuación.

$$\Delta y_t = \alpha y_{t-1} + x_t' \delta + \beta_1 \Delta y_{t-1} + \beta_2 \Delta y_{t-2} + \dots + \beta_p \Delta y_{t-p} + v_t \quad (3)$$

Ahora, la hipótesis nula a contrastar es $H_0 : \alpha = 0$. Si no se rechaza esta hipótesis la serie evaluada presentará raíz unitaria. Si se cumple la hipótesis alternativa $H_1 : \alpha < 0$ (test de una cola), entonces la serie será estacionaria. Como ya se mencionó, en primer lugar se aplicará este test sobre ambas variables, el PBI y el consumo energético, en sus respectivos logaritmos. En segundo término se volverá a analizar el test sobre las primeras diferencias de los logaritmos. Si se rechaza la hipótesis nula en las estimaciones correspondientes a la series en sus logaritmos y no se rechaza cuando se presentan las variables en primeras diferencias

de los logaritmos, entonces las series presentan raíces unitarias, es decir, son integradas de primer orden (que es el resultado adecuado para este tipo de modelos).

3.2. ENFOQUES Y METODOLOGÍAS

3.2.1. ENGLE Y GRANGER (1987)

Como demostraron Granger y Newbold (1974), la inferencia estadística estándar utilizada para estimar relaciones de largo plazo entre variables puede dar lugar a resultados espurios cuando las series tratadas son *no estacionarias*. Engle y Granger (1987) desarrollaron una alternativa sencilla para evitar dicho problema. En principio, cabe mencionar que dadas dos variables integradas de orden uno, en símbolos $I(1)$, generalmente la combinación lineal entre ellas también resulta en un proceso $I(1)$ ¹⁴. En ecuaciones:

$$\text{Dada } y_t = \beta x_t + \varepsilon_t$$

Si $y_t \sim I(1)$ y $x_t \sim I(1)$, luego, generalmente $y_t - \beta x_t \sim I(1)$

Sin embargo, si el residuo de la ecuación que precede resulta estacionario, esto es $\varepsilon_t \sim I(0)$, luego la combinación lineal de las variables resulta también estacionaria ($y_t - \beta x_t \sim I(0)$).

Dada la ecuación,

$$y_t = \beta x_t + \varepsilon_t \tag{4}$$

Y reescribiendo queda,

$$y_t - \beta x_t = \varepsilon_t \tag{5}$$

Si el lado derecho de la ecuación es una serie estacionaria, para que se cumpla la igualdad, el lado izquierdo deberá seguir el mismo comportamiento (es decir, se distribuirá como $I(0)$). Por lo tanto, la combinación lineal entre las dos series tiene las mismas propiedades

¹⁴ La generalización definida por Engle y Granger (1987) menciona que, si x_t e y_t son ambas series $I(d)$, luego es generalmente cierto que la combinación lineal $z_t = x_t - \alpha y_t$ también será $I(d)$.

estadísticas que una variable estacionaria. Cuando este caso especial ocurre, una restricción opera sobre los componentes de largo plazo de las series: x_t e y_t mantienen una relación de largo plazo de la que no pueden separarse en forma sistemática o, dicho de otro modo, la diferencia entre ambas será $I(0)$. En este caso particular, cuando existe una combinación lineal estacionaria, se dice que las variables están cointegradas.

En términos prácticos, el enfoque de Engle y Granger (1987) podría ser replicado a través de cuatro pasos (Enders, 2014). En primer lugar es necesario estudiar el orden de integración de las series. Por definición, para evaluar la cointegración por medio de este enfoque se requiere que las dos variables sean integradas del mismo orden (distinto de cero)¹⁵. En este punto, el test de Dickey-Fuller Aumentado, presentado en el apartado anterior, se aplicará con el fin de conocer el orden de integración de las series.

El segundo paso consiste en estimar la relación de equilibrio de largo plazo entre las variables. Si el resultado anterior indicó que ambas series son $I(1)$ entonces se podrá estimar esta relación de equilibrio por medio de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 x_t + \varepsilon_t \quad (6)$$

Para determinar si las series de la ecuación (6) están cointegradas, resulta necesario el estudio de los residuos de la regresión del modelo ($\hat{\varepsilon}_t$). La serie $\hat{\varepsilon}_t$ contiene los valores estimados de los desvíos de la relación de equilibrio de largo plazo y si estas desviaciones son estacionarias las series serán cointegradas de orden (1,1). Lo anterior puede estudiarse mediante el Test de Dickey Fuller¹⁶ (el rechazo de la hipótesis nula implicaría que la serie de los residuos es estacionaria). Finalmente, si ambas series fueron catalogadas como $I(1)$ y los residuos de la relación de largo plazo son estacionarios se puede concluir que ambas series están cointegradas.

¹⁵ Si ambas series son estacionarias, o en símbolos $I(0)$, no resulta necesario aplicar este tipo de enfoques debido a que las metodologías de estimación estándar pueden ser utilizadas. Por otro lado, se puede constatar en Enders (2014) que si las series poseen distinto orden de integración no es posible encontrar cointegración entre las mismas.

¹⁶ Los valores críticos para este test sobre los residuos son más exigentes que los utilizados en el test ADF estándar. Los valores adecuados se presentan en la Tabla 2A del anexo.

El tercer paso a realizar es la construcción de un Modelo con Término de Corrección del Error (MCE). El teorema de representación de Granger (Engle y Granger, 1987) establece que si las series son cointegradas es posible especificar un MCE. En un MCE se combinan variables en niveles, que determinan las relaciones de largo plazo, junto con variables en diferencias, que expresan las interacciones de corto plazo. Si las variables están cointegradas los residuos de la estimación de equilibrio pueden ser utilizados en la estimación del MCE, que tendrá la siguiente forma:

$$\Delta y_t = a_0 + a_1 \Delta x_t + a_2 \hat{\varepsilon}_{t-1} + v_t \quad (7)$$

En donde el símbolo “ Δ ” representa a las primeras diferencias de las variables, “ $\hat{\varepsilon}_{t-1}$ ” es el residuo estimado en la relación de largo plazo (con un lag de rezago), mientras que “ a_0, a_1, a_2 ” son parámetros a estimar. Por último, el cuarto paso del enfoque consiste evaluar si el modelo es adecuado. En este paso se deben analizar los residuos de las ecuaciones del MCE para testear si se aproximan a un ruido blanco.

Como se puede advertir, el enfoque de cointegración de Engle y Granger (1987) constituye un método de dos etapas. De la primera etapa se obtiene el vector de cointegración que se emplea en la segunda etapa (el MCE). Con respecto a esto último, existen algunas falencias en el mencionado procedimiento. Por una parte, todo error en la estimación de la primera etapa, se traslada a la segunda. Si bien la estimación del primer paso es superconsistente¹⁷, esto solo garantiza resultados precisos en muestras infinitas. En muestras finitas, como son usualmente las series macroeconómicas disponibles, el sesgo en la estimación puede ser considerable. En general, dicho sesgo se puede deber a:

- La omisión de términos dinámicos
- La no consideración de la posible simultaneidad en la determinación de las series

Por otra parte, también es discutible la robustez de las estimaciones. En particular, si se desea aplicar el enfoque de Engle y Granger sobre dos variables, se puede analizar la presencia –o

¹⁷ Los estimadores convergen a los parámetros con mayor velocidad a la usual.

ausencia- de cointegración mediante el análisis de los residuos de cualquiera de las dos ecuaciones que siguen:

$$y_t = \alpha_{10} + \alpha_{11}x_t + \varepsilon_{1t} \quad (8)$$

$$x_t = \alpha_{20} + \alpha_{21}y_t + \varepsilon_{2t} \quad (9)$$

Aunque en teoría, evaluar los residuos de cualquiera de las dos ecuaciones precedentes debiera resultar indiferente, en la práctica puede ser posible que los residuos de una ecuación sean estacionarios (e indiquen cointegración) y en la ecuación restante no lo sean¹⁸. Esta es una característica no deseable del procedimiento debido a que se espera que la cointegración sea independiente de la variable que se utilice para la normalización.

Por lo dicho, en esta tesis también se aplica un enfoque superador, el de Johansen (1995). Este enfoque plantea un abordaje vectorial que evita ambos problemas mencionados. Por un lado, al ser un modelo multivariado contempla la determinación simultánea de las series. Por otro lado, dado el carácter autorregresivo del modelo, contempla la dinámica excluida en aquella metodología.

3.2.2. METODOLOGÍA DE WICKENS Y BREUSCH (1988)

Urbisaia y Brufman (2001), mencionan que una alternativa al modelo bietápico de Engle y Granger, consiste en estimar conjuntamente los parámetros de corto y largo plazo, aplicando una regresión uniecuacional, producto del reordenamiento de la ecuación (7) del apartado anterior. En primer término se tiene,

$$\Delta y_t = a_0 + a_1 \Delta x_t + a_2 (y_{t-1} - \alpha_0 - \alpha_1 x_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (10)$$

Luego,

$$\Delta y_t = a_0 + a_1 \Delta x_t + a_2 y_{t-1} - a_2 \alpha_0 - a_2 \alpha_1 x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (11)$$

¹⁸ Esto se relaciona con la extensión de las series disponibles. Cuando la muestra crece infinitamente testear la estacionariedad de uno u otro residuo es indiferente. Desafortunadamente, las series con las que suelen contar los economistas son acotadas, por cuanto las conclusiones puede diferir si se analiza una u otra ecuación.

$$\Delta y_t = c_0 + a_1 \Delta x_t + a_2 y_{t-1} + c_2 x_{t-1} + \varepsilon_t \quad (12)$$

Donde $c_0 = a_0 - \alpha_0 \alpha_2$ y $c_2 = -a_2 \alpha_1$

En este caso, se estima el parámetro que describe el vínculo de largo plazo entre las variables se estima a partir del cociente -con signo negativo- entre \hat{c}_2 y \hat{a}_2 . Este enfoque fue desarrollado por Wickens y Breusch (1988) y existe alguna evidencia de que el sesgo por muestra en la estimación del parámetro de largo plazo es menor que el resultante del método de dos etapas de Engle y Granger (Urbisaia y Brufman, 2001).

3.2.3. JOHANSEN (1995)

El enfoque de Johansen (1995) también resulta útil para el estudio de cointegración en series no estacionarias. Este test plantea un abordaje vectorial para el estudio de cointegración e implica la estimación de un vector autorregresivo (VAR) basado en los desarrollos de Sims, en el cual las series I(1) se regresan en función de sus rezagos y los rezagos de las otras series. Como se mencionó, se trata de un enfoque superador al de Engle y Granger, en tanto incorpora la estructura dinámica y la determinación simultánea entre las variables.

En la práctica, este enfoque puede ser desarrollado en cuatro pasos (Enders, 2014). Para el primer paso, resulta necesario analizar las series con el fin de conocer si presentan o no raíces unitarias (para aplicar el enfoque es necesario que las series sean I(1)). Luego de establecer la no estacionariedad de las series se realiza la estimación de un vector autorregresivo (VAR). Un modelo VAR no es otra cosa que una generalización del modelo autorregresivo AR(p) para series múltiples interrelacionadas donde cada variable es explicada por su propio pasado y el pasado de las demás variables explicativas del modelo. La principal motivación de estos modelos es el estudio de las interacciones dinámicas de un sistema de variables endógenas. Para determinar el número de lags óptimos a incluir en el proceso autorregresivo se recurre a distintos criterios de información (Akaike, Schwarz, etc.). Luego de la estimación del VAR se evalúan los residuos de dicha estimación confirmando que efectivamente se comporten

como un ruido blanco. Para esto se deben cumplir tres condiciones: i) ausencia de autocorrelación; ii) homocedasticidad iii) normalidad¹⁹.

El segundo paso refiere a la construcción del modelo y al estudio de la cointegración –no cointegración- entre las variables. En este punto, cabe recordar que el enfoque de Johansen parte de considera un VAR (p),

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + v_t \quad (13)$$

Donde y_t es un vector de variables, A_i son las matrices de coeficientes y v_t es un vector de perturbaciones. Luego, mediante algunos cálculos intermedios²⁰ se puede llegar a la siguiente especificación,

$$\Delta y_t = \pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \pi_i \Delta y_{t-i} + v_t \quad (14)$$

Donde $\pi = -\left(I - \sum_{i=1}^{p-1} A_i\right)$ y $\pi_i = -\sum_{j=i+1}^p A_j$

La matriz π es el resultado de mayor de interés en el modelo. El rango de esta matriz es igual al número de vectores de cointegración independientes. Por lo tanto, si el rango de la matriz π es igual a “1”, existirá **una** relación de cointegración. En cambio, si π es igual a “0”, entonces no hay cointegración y por tanto el modelo solo sería válido si se trabaja con las primeras diferencias. El número de vectores de cointegración presentes en la matriz, puede ser obtenido chequeando las raíces características de π . Para testear la cantidad de raíces características que difieren de cero el programa econométrico Eviews 8 ofrece dos estadísticos: el test de traza y el de máximo autovalor.

El tercer paso consiste en la construcción de un modelo VECM, análogo multiecuacional del MCE. Finalmente, el cuarto paso reside en el estudio de la exogeneidad de las variables. Con respecto a este último punto, la exogeneidad en sentido débil puede ser testeada incluyéndola como una restricción en los elementos de la matriz π . Para esto, Johansen define dos

¹⁹ La normalidad es requerida para el test de cointegración de Johansen, que se basa en la metodología de máxima verosimilitud.

²⁰ El detalle de los cálculos intermedios se puede ver en Enders (2014).

matrices “ α ” y “ β ”, ambas de dimensión (n x r), en donde “r” es el rango de “ π ” y “n” es el número de vectores del VAR.

$$\pi = \alpha\beta' \quad (15)$$

En la ecuación que precede, “ β ” es la matriz de los coeficientes de los vectores de cointegración, y “ α ” es la matriz de los coeficientes de ajuste. Estos últimos son los indicativos de exogeneidad en sentido débil. Si una variable no ajusta ante desequilibrios en la relación de largo plazo (es decir, si el coeficiente de ajuste que la acompaña es no significativo) se la puede catalogar como *débilmente exógena*.

3.2.4. CAUSALIDAD EN EL SENTIDO DE GRANGER (1969), EN LA VERSIÓN DE TODA Y YAMAMOTO (1995)

Una vez probada la existencia de cointegración entre las variables lo que sigue es evaluar el sentido de la causalidad entre ellas. Que exista cointegración implica que existe una relación de largo plazo entre el PBI y el consumo de energía. No obstante, para el ejercicio que nos ocupa no sólo interesa que exista una relación, sino que además interesa en qué sentido se relacionan estas series: ¿es el PBI la variable que determina al consumo de energía, o viceversa?

En este punto, una primera aproximación para determinar el sentido de causalidad consiste en el análisis de *exogeneidad débil*. Según Enders (2014), si en un modelo de cointegración una determinada variable no responde ante desvíos de la relación de equilibrio de largo plazo, es decir que el coeficiente de ajuste “ α ” (presentado en la ecuación 15) que acompaña a esa variable es igual a cero, se la puede clasificar como débilmente exógena. Como se mencionó, esta situación puede ser analizada incluyéndola como una restricción en el VEC estimado en el apartado anterior.

Por su parte, Galindo (1997) define a la *exogeneidad fuerte* como la suma de la exogeneidad débil más la presencia de no causalidad en el sentido de Granger. El enfoque de causalidad en el sentido de Granger (1969) intenta responder la pregunta de si una variable “x” causa a

otra “y”, investigando si el valor actual de “y” es, en parte, explicado por el pasado de la variable “x”.

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \dots + \alpha_k y_{t-k} + \beta_1 x_{t-1} + \dots + \beta_k x_{t-k} + \varepsilon_t \quad (16)$$

$$x_t = \delta_0 + \delta_1 x_{t-1} + \dots + \delta_k x_{t-k} + \gamma_1 y_{t-1} + \dots + \gamma_k y_{t-k} + \nu_t \quad (17)$$

En las ecuaciones que preceden, la variable x_t no causa en el sentido de Granger a y_t si, y solo si, los coeficientes $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ son conjuntamente no significativos. En otras palabras, si x_t no ayuda a predecir la conducta de la serie y_t , entonces x_t no causa en el sentido de Granger a y_t . Para investigar si se cumple lo inverso, es decir, si y_t explica a x_t se debería realizar una prueba análoga sobre los coeficientes $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k$ ²¹.

Sin embargo, el testeo de la causalidad –no causalidad- entre variables con orden de integración distinto de cero (no estacionarias) requiere que se tengan en cuenta algunas consideraciones para no caer en resultados sesgados. En este sentido, es dable destacar que si se utiliza el test de Wald para analizar restricciones lineales en los parámetros de un modelo VAR tradicional, y los datos no son estacionarios, entonces el test de Wald no sigue su distribución usual Chi-Cuadrado (Yamamoto, 1995). En el intento de evitar estos inconvenientes, algunos autores (Yamamoto, 1995; Dolado y Lutkepohl, 1996) desarrollaron una solución relativamente simple, que consiste en añadir algún/os lags adicionales al modelo VAR estimado y estudiar la exogeneidad de las variables de interés mediante el uso del test de Wald tradicional. Los autores prueban que, mediante este método, se obtienen distribuciones usuales Chi-Cuadrado, superando las inconsistencias que se derivan de estimar modelos VAR en el contexto de variables $I(>0)$ o cointegradas.

En el enfoque propuesto por Toda y Yamamoto (1995) se estima un VAR, con un número de rezagos óptimo “k”, escogido a partir de determinados criterios de información (Schwarz, Akaike, etc.). Este número óptimo de lags a su vez, debe derivar en un modelo VAR cuyos

²¹ Existe otra prueba de causalidad que se utilizó en algunos de los trabajos mencionados en la revisión bibliográfica. Es el método de Sims (1972), que se diferencia del método de Granger en que se testea la significatividad no solo de los rezagos, sino también de los adelantos de cada variable.

residuos no posean autocorrelación remanente. Luego, los rezagos originales incluidos se deben aumentar en “d” rezagos, siendo “d” el mayor orden de integración de las variables bajo análisis. Así por ejemplo, si se cuenta con dos variables, una I(1) y otra I(2), entonces el modelo debería incluir 2 lags adicionales.

Como se puede advertir, bajo este método no resulta de suma importancia el orden de integración de las variables tratadas, como así tampoco resulta necesario conocer de antemano si las variables cointegran, por lo cual, los resultados obtenidos son robustos con respecto a estos factores (integración/cointegración). No obstante lo dicho, para que los resultados sean congruentes, es de esperarse que si las series cointegran exista causalidad en al menos un sentido, y viceversa.

A continuación se muestran las ecuaciones del modelo para un caso bivariado.

$$\Delta y_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k \alpha_{1i} \Delta y_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{d \max.} \alpha_{2j} \Delta y_{t-j} + \sum_{i=1}^k \alpha_{3i} \Delta x_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{d \max.} \alpha_{4j} \Delta x_{t-j} + \nu_t \quad (18)$$

$$\Delta x_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_{1i} \Delta x_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{d \max.} \beta_{2j} \Delta x_{t-j} + \sum_{i=1}^k \beta_{3i} \Delta y_{t-i} + \sum_{j=k+1}^{d \max.} \beta_{4j} \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (19)$$

En las ecuaciones (18) y (19), se añaden “dmax” lags a los ya predispuestos en el modelo VAR (k) sin modificar. Siguiendo a Toda y Yamamoto (1995), el testeo de la causalidad – no causalidad- entre las variables puede ser estudiado mediante un test de Wald ordinario sobre los coeficientes α_{3i} y β_{3i} . En este punto, por ejemplo, si el test indica que los coeficientes α_{3i} son conjuntamente no significativos, entonces la variable x_t no causará en el sentido de Granger a la variable y_t .

3.2.5. MODELO DE REZAGOS DISTRIBUIDOS (ADL)

En el enfoque de Engle y Granger es posible estimar la relación de largo plazo entre dos variables x_t e y_t , mediante una regresión de x_t sobre y_t o mediante una regresión de y_t sobre x_t . Por su parte, en el enfoque de Johansen todas las variables son tratadas

simétricamente. En efecto, ambos enfoques pueden ser utilizados sin la necesidad de especificar una variable dependiente, cuestión que resulta de utilidad cuando se desconocen el/los sentido/s de causalidad entre las variables. Sin embargo, si se tienen indicios de la presencia de una variable exógena en el modelo, un modelo ADL puede ser de mayor utilidad en la medida en que ofrece una menor variabilidad en los residuos comparada con los enfoques de precedentes y los coeficientes pueden ser estimados con mayor precisión (Enders, 2014).

Un modelo de rezagos distribuidos (ADL) parte de reconocer que un cambio en una determinada variable explicativa puede tener efectos sobre otra variable (explicada) más allá del período en el cual ocurre el cambio. Estos efectos pueden durar cierto tiempo y no ocurren instantáneamente, sino que están distribuidos a lo largo de períodos futuros (t+1, t+2, etc.).

$$\Delta y_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 x_{t-1} + \beta_3 \Delta x_t + A_1(L) \Delta y_{t-1} + A_2(L) \Delta x_{t-1} + v_t \quad (20)$$

La ecuación (20) explicita un modelo ADL, en el cual la variable y_t representa a la variable endógena del modelo (ENERGÍA) y la variable x_t es aquella sobre la cual se sospecha exogeneidad (PBI). En tanto, el término $A(L)$ es un polinomio que resume los retardos de cada variable. El test de cointegración puede aplicarse testeando la hipótesis $\beta_1 = 0$ en la ecuación (20). Para definir apropiadamente los valores críticos del test se deben tener en cuenta: el número de regresores $I(1)$ del modelo (denotados por la variable k); la variable d , que refiere a la presencia –o ausencia– de tendencia e intercepto²² y el tamaño de la muestra ajustada (expresado en la variable T^a)²³. Bajo determinadas condiciones (que justamente refieren a la exogeneidad débil de alguna de las dos variables del modelo), un MCE puede ser estimado a partir de un modelo ADL. Partiendo de un caso simple²⁴, se tiene el siguiente MCE,

²² Existen tres modelos posibles: sin tendencia ni intercepto; con intercepto pero sin tendencia; y con tendencia e intercepto ($d=0$; $d=1$; y $d=2$; respectivamente).

²³ La variable ajustada relativa al tiempo (T^a) es igual a $T - (2k - 1) - d$. Donde, nuevamente, k es el número de regresores $I(1)$ y d refiere al intercepto/tendencia.

²⁴ En este modelo se ha obviado el término constante. Asimismo, y en caso de que existiera autocorrelación remanente, se deberían agregar rezagos de las variables Δy_t , Δx_t .

$$\Delta y_t = \alpha_1(y_{t-1} - \beta_{t-1}x_{t-1}) + e_{1t} \quad (21)$$

$$\Delta x_t = \alpha_2(y_{t-1} - \beta_{t-1}x_{t-1}) + e_{2t} \quad (22)$$

Permitiendo que los errores de las ecuaciones (21) y (22) puedan estar relacionados, es posible construir una ortogonalización entre ellos,

$$e_{1t} = \rho e_{2t} + v_t \quad (23)$$

Sustituyendo en (23), se tiene,

$$\Delta y_t = \alpha_1(y_{t-1} - \beta_{t-1}x_{t-1}) + \rho e_{2t} + v_t \quad (24)$$

$$\Delta y_t = \alpha_1(y_{t-1} - \beta_{t-1}x_{t-1}) + \rho[\Delta x_t - \alpha_2(y_{t-1} - \beta_{t-1}x_{t-1})] + v_t \quad (25)$$

$$\Delta y_t = (\alpha_1 - \rho\alpha_2)(y_{t-1} - \beta_{t-1}x_{t-1}) + \rho\Delta x_t + v_t \quad (26)$$

Si se define $\alpha = \alpha_1 - \rho\alpha_2$, la ecuación (26) se puede reescribir como,

$$\Delta y_t = \alpha(y_{t-1} - \beta x_{t-1}) + \rho\Delta x_t + v_t \quad (27)$$

$$\Delta y_t = \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 x_{t-1} + \beta_3 \Delta x_t + v_t \quad (28)$$

En donde $\beta_1 = \alpha_1 - \rho\alpha_2$; $\beta_2 = (\alpha_1 - \rho\alpha_2)\beta$; y $\beta_3 = \rho$.

Suponiendo que la variable x_t es débilmente exógena, entonces α_2 es igual a cero y la ecuación (28) puede estimarse mediante OLS (Mínimos Cuadrados Ordinarios) como,

$$\Delta y_t = \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_1 \beta x_{t-1} + \rho \Delta x_t + v_t \quad (29)$$

Dado que los coeficientes de la ecuación (28) son irrestrictos, esta expresión del modelo suele denominarse Modelo de Rezagos Distribuidos (ADL) para diferenciarlo de un MCE. Como se indicó previamente, cuando se revisó la ecuación (20), el estudio de la cointegración radica en evaluar la significatividad y el signo del coeficiente α_1 . Después de todo, si este coeficiente es nulo, no es posible establecer un MCE, y por tanto, las variables no estarán cointegradas. Asimismo, y en caso de ser necesario, al modelo de la ecuación (29) se le

pueden añadir rezagos de las variables $\Delta y_t, \Delta x_t$ con el fin de absorber autocorrelación remanente.

Las ventajas que destaca Enders (2014) de una modelización ADL son que se pueden estimar los parámetros mediante un modelo irrestricto y al mismo tiempo la varianza de los residuos del modelo es menor y por consiguiente, se pueden estimar los parámetros con una mayor precisión.

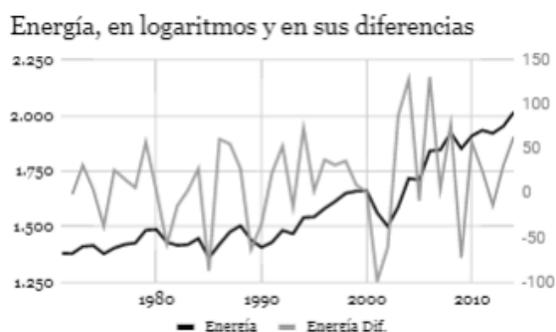
Adicionalmente, debido a que en un modelo ADL los coeficientes de las variables x_{t-1}, y_{t-1} son irrestrictos, las dinámicas de corto plazo, representadas por las primeras diferencias de cada variable no dependen de la relación de equilibrio de largo plazo. Esto, a diferencia de los enfoques de Engle y Granger (1987) y de Johansen (1995), en los cuales se fuerza a que los ajustes de corto plazo sean una proporción constante de los desequilibrios de la relación de largo plazo (Enders, 2014).

4. RESULTADOS EMPÍRICOS

4.1 METODOLOGÍA DE ENGLE Y GRANGER (1987)

Como se mencionó previamente, el primer paso para reproducir el enfoque de Engle y Granger (1987) es evaluar el orden de integración de las series para corroborar si las mismas son integradas de primer orden.

Existen en primer lugar algunas pruebas informales para examinar el orden de integración como por ejemplo el mero análisis de los gráficos de las variables en niveles y en diferencias, o bien, de las funciones de autocorrelación de las series.



A priori, si se analizan los gráficos que preceden, en los cuales se muestran las series PBI y ENERGÍA en sus respectivos logaritmos, pareciera a simple vista existir algún tipo de tendencia. Sin embargo la tendencia desaparece luego de diferenciar los logaritmos una vez (en gris oscuro se pueden los logaritmos y en gris claro las primeras diferencias del logaritmo de cada variable).

Luego de observar los gráficos de ambas variables, se asumió la presencia de tendencia e intercepto para las series en logaritmos y la ausencia de tendencia e intercepto para las primeras diferencias de los logaritmos²⁵. Mediante el test ADF no se puede rechazar la presencia de raíces unitarias para las series en niveles (de aquí en más las series referidas son la de los logaritmos de las variables originales). Para las primeras diferencias, se rechaza la hipótesis nula, y se descarta la presencia de raíces unitarias. Lo dicho implica que las variables son integradas de primer orden, es decir, que si bien no son estacionarias, se vuelven estacionarias luego de diferenciarlas una vez.

Tabla 3. **Test Dickey - Fuller Aumentado**

Serie	Niveles, con tendencia e intercepto (p - value)	Primera diferencia, sin tendencia e intercepto (p - value)	Resultado
Lconsumo	0,4324	0,0000	Serie I(1)
Lpbi	0,4584	0,0000	Serie I(1)

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, en el anexo (Tabla 1A), se incluyen los resultados del test de raíces unitarias de Phillips-Perron (PP). Los resultados son similares. No se puede rechazar la hipótesis nula (que plantea la existencia de una raíz unitaria) cuando las variables son analizadas en niveles pero si se rechaza cuando las series se toman en sus primeras diferencias.

A continuación se muestra la estimación de la relación de largo plazo entre las variables²⁶:

²⁵ No obstante, si se considera la presencia de un intercepto los resultados son coincidentes.

²⁶ Dado que en los párrafos que siguen se muestra que la variable PBI es exógena en sentido débil y fuerte solo se estima un sentido en la relación: con el consumo de energía como variable dependiente y el PBI como variable explicativa, y no al revés. Los resultados respecto de la existencia de cointegración son coincidentes de todas maneras.

$$LENERGÍA_t = 0,3971LPBI_t - 3.0845 \quad (30)$$

En donde la variable $LENERGÍA_t$ representa al logaritmo del consumo de energía y la variable $LPBI_t$ representa al logaritmo del PBI. Para confirmar si realmente las variables se encuentran cointegradas se deben analizar los residuos de la estimación anterior. Si los residuos son estacionarios, entonces se confirma la cointegración entre las variables. Para evaluar esto, se aplica el test ADF de raíces unitarias y se compara el estadístico obtenido con los valores críticos correspondientes (los valores se toman de la Tabla 2A del anexo).

Tabla 4. **Test Dickey - Fuller Aumentado**

Serie	Especificación	Estadístico t	Valor crítico		
			0,01	0,05	0,1
Residuo de la relación de largo plazo	Sin tendencia e intercepto	-3,45	-4,123	-3,461	-3,13

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 4, el estadístico del test ADF es superior al estadístico de prueba al 1% y 5%, pero no al 10% de significancia. Esto permite rechazar la hipótesis nula -que postula la no cointegración- al 10% de significancia. Por lo anterior, se llega a la conclusión de que las variables se encuentran cointegradas por presentar un residuo estacionario, y por consiguiente, existe una combinación lineal entre el consumo de energía y el PBI, estacionaria.

Lo siguiente consiste en la estimación de un MCE en donde se incluya la estimación de largo plazo entre las variables, o lo que es lo mismo, los residuos estimados de la ecuación (30), junto con los efectos de corto plazo representados por las diferencias de las variables.

$$\Delta LENERGÍA_t = -0.4673 \hat{\varepsilon}_{t-1} + 0.3817 \Delta LPBI_t - 0.0002 \quad (31)$$

(0,1386)
(0,0536)
(0,0033)

En la ecuación (31) el símbolo Δ es el operador de primera diferencia y el término $\hat{\varepsilon}_{t-1}$ son los residuos estimados de la ecuación (30). Los errores estándar se exponen dentro de

paréntesis. Las variables son significativas a un 5% de significancia y el estimador correspondiente al término de ajuste posee el signo adecuado (negativo). Según se desprende de lo estimado en la ecuación (31), la elasticidad de corto plazo entre la ENERGÍA y el PBI, aproximada por el estimador que acompaña a la variable Δx_t , es 0,3817%. Por su parte, se puede señalar que por cada punto porcentual de desvío en la relación de largo plazo la variable PBI ajusta -0.4673% por período para restablecer el equilibrio. En tanto, dada la ecuación de equilibrio estimada (30), se puede observar como una variación de un 1 por ciento en el PBI provoca que la ENERGÍA varíe en el mismo sentido 0,3971 puntos porcentuales. En principio, y dada la literatura revisada, el signo que rige la ecuación de equilibrio es el esperado debido a que ambas variables se relacionan positivamente (cuando aumenta una, aumenta la otra, y cuando baja una, baja la otra).

Para evaluar si el modelo tiene un buen ajuste es necesario analizar los residuos de la estimación anterior. En este punto, en el anexo (Tabla 3A) se muestra el correlograma de los residuos estimados. Los p-valores presentados permiten descartar la presencia de autocorrelación remanente en los residuos.

Cabe destacar por otro lado que, dado que no se están realizando supuestos de exogeneidad en alguna de las dos variables se debería estimar la ecuación inversa, es decir, con la serie PBI como variable dependiente tanto en la ecuación de largo plazo como en el MCE. A pesar de esto, como se analizará en las subsecciones 3.2. y 3.3., la variable PBI presenta exogeneidad en sentido débil y fuerte, y por lo tanto, no resulta necesario calcular el modelo con la serie PBI como variable dependiente. Justamente, Galindo (1997) señala que uno de los beneficios de corroborar la exogeneidad en determinadas variables es que simplifica las estrategias de modelación econométrica y permite aislar las variables representativas de los fenómenos de interés.

4.2 METODOLOGÍA DE WICKENS Y BREUSCH (1988)

En el caso que nos ocupa, es decir el vínculo empírico entre la variable PBI y la variable ENERGÍA, el enfoque uniecuacional de Wickens y Breusch (1988) queda especificado de la siguiente manera,

$$\Delta LENERGÍA_t = c_0 + c_1 \Delta LPBI_t + c_2 LENERGÍA_{t-1} + c_3 LPBI_{t-1} + \varepsilon_t \quad (32)$$

De la estimación de la ecuación (32) se obtuvo,

$$\Delta LENERGÍA_t = -1,6177 + 0,3822 \Delta LPBI_t - 0,4591 LENERGÍA_{t-1} + 0,1900 LPBI_{t-1} \quad (33)$$

En el anexo, Tabla 4A, se pueden ver la salida de Eviews de la estimación. Se desprende de la Tabla 4A del anexo, y de la ecuación (33) que el estimador de la relación de largo plazo entre el PBI y la ENERGÍA, es $\gamma_1 = -0,1900 / -0,4591 = 0,4138$. Si se lo compara con el coeficiente alcanzado mediante el método bietápico de Engle y Granger (1987) se puede señalar que éste enfoque encuentra una elasticidad levemente superior. Recuérdese que 0,3971 fue el coeficiente de largo plazo de Engle y Granger.

4.3 METODOLOGÍA DE JOHANSEN (1995)

El primer paso a implementar el enfoque de Johansen consiste en evaluar el orden de integración de las series. En este apartado, este paso puede obviarse debido a que ya se realizó previamente (al implementar la metodología de Engle y Granger), y se llegó a la conclusión de que ambas son integradas de primer orden.

Luego de confirmar el orden de integración de las series lo siguiente consiste en la estimación del vector autorregresivo (VAR), el estudio de la cantidad óptima de lags a incluir en el VAR y el análisis de los residuos de dicha estimación. Para estimar el modelo VAR se incluye una variable Dummy que absorbe los aspectos inusuales de la recesión de principios de siglo²⁷. Para evaluar la cantidad óptima de retardos a incluir en el VAR en la Tabla 6 se presentan los distintos criterios de información, destacándose con un asterisco el número óptimo de lags según cada uno. Tanto el criterio de información Likelihood Ratio (LR), el criterio Final Prediction Error (FPE), el de Schwarz (SC), y el Hannan Quinn (HQ), coinciden en incluir un retardo como la cantidad óptima, por lo que estimará un VAR con un lag.

²⁷ Así, D1 es una variable dummy centrada que toma los valores 21/n para los años 2001/2002 y -1/n para los años restantes.

TABLA 6. Criterios de información para selección de lags en VAR

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	NA	NA	4.30e-05	-4377578	-4208690	-4316514
1	NA	127.0107*	1.55e-06*	-7.705654*	-7.367878*	-7.583525*
2	NA	944958	1.84e-06	-7533447	-7026783	-7350254
3	NA	8799418	1.72e-06	-7608429	-6932877	-7364171
4	NA	716116	2.07e-06	-7432300	-6587860	-7126977

Fuente: elaboración propia

* indica el orden del lag seleccionado por cada criterio

El paso que sigue consiste en analizar los residuos del VAR. Se espera que si el modelo está correctamente especificado los residuos del VAR debieran ser un ruido blanco. Para esto se deben realizar diferentes test que confirmen la no autocorrelación y heterocedasticidad de los residuos del VAR. En principio, en el Gráfico 1A del anexo se muestran los correlogramas de los residuos de la estimación y se puede notar en este gráfico que todos los valores se mantienen dentro de las bandas de confianza. Asimismo, se realizan a continuación las pruebas formales para definir que efectivamente los residuos se comporten de manera adecuada. En primer lugar, en el anexo (Tablas 5A y 6A), se presentan los resultados de los tests LM y de Portmanteau, utilizados para testear la autocorrelación de los residuos. En ambos tests los p-values obtenidos permiten aceptar la hipótesis nula que postula la ausencia de correlación serial. En segundo término, la Tabla 7A del anexo muestra el resultado del test de White, mediante el cual se puede aceptar la hipótesis nula que refiere a la homocedasticidad residual del VAR.

Por otra parte, se verificará la normalidad de los residuos, necesaria para validar el test de Johansen, que se basa en la metodología de máxima verosimilitud. En el anexo (Tabla 8A), se presenta el resultado del testeo de la normalidad, mediante la ortogonalización de Cholesky. En cuanto al grado de asimetría que presenta la distribución de los residuos de la estimación (en inglés, Skewness), el test no permite rechazar la hipótesis nula que presupone la normalidad de los residuos. Resultados similares se observan en el tratamiento de la curtosis, que estudia el nivel de concentración que presentan los valores en una determinada curva de distribución. Por su parte, en el test conjunto Jarque Bera (que analiza

conjuntamente la divergencia entre la asimetría y curtosis de la distribución respecto de una distribución normal), tampoco se puede rechazar la hipótesis nula de “normalidad”. Por lo tanto, se llega a la conclusión de que los residuos se distribuyen normalmente. Hasta aquí, los residuos del VAR se comportan adecuadamente, siendo: homocedásticos, normales y no autocorrelacionados.

A continuación se testea la existencia de un vínculo empírico estable y de largo plazo entre las variables. Para esto se presentan en la Tabla 7 los resultados del test de cointegración de Johansen.

TABLA 7. Resultados del test de cointegración de Johansen

Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)				
Hipótesis		Trace	0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None *	0.311602	16,0557	15,49471	0.0411
At most 1	6140000000	0.000264	3,841466	0.9891
Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)				
Hipótesis		Max-Eigen	0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None *	0.311602	16,0557	14,2646	0.0258
At most 1	6140000000	264	3,841466	0.9891

Fuente: elaboración propia

Los tests de traza y máximo autovalor indican 1 ecuación de cointegración a un 5% de significancia

* denota el rechazo de la hipótesis a un 5% de significancia

Se asumió tendencia lineal en los datos e intercepto en la ecuación de cointegración. Esto es, se supuso que la ecuación de cointegración no presenta tendencia lineal. Como puede verse en la Tabla 7, la hipótesis testada refiere al número de vectores de cointegración confirmados. Tanto para el test Traza (Trace, en inglés) como para el test de máximo autovalor (Maximum Eigenvalue, en inglés) se rechaza la hipótesis nula que postula la existencia de “cero” relaciones de cointegración, mientras que no se puede rechazar la hipótesis que plantea “como máximo una relación de cointegración”. Se puede constatar que, mediante los p-valores obtenidos (0,0411 y 0,0258), se puede rechazar la hipótesis nula a un 5% de significancia. En virtud de lo encontrado, se puede confirmar la presencia de un vector de cointegración entre las variables. El VECM correspondiente tiene la forma,

$$\Delta y_{1t} = \alpha_{10} + \alpha_{11}D1 + \alpha_{12}\Delta x_{1t} + \alpha_{13}(y_{t-1} - \beta_0 - \beta_1 x_{t-1}) + \varepsilon_{1t} \quad (34)$$

$$\Delta x_{1t} = \alpha_{20} + \alpha_{21}D1 + \alpha_{22}\Delta y_{1t} + \alpha_{23}(y_{t-1} - \beta_0 - \beta_1 x_{t-1}) + \nu_{2t} \quad (35)$$

En donde la variable y_{1t} refiere al logaritmo del consumo de energía, la variable x_{1t} representa el logaritmo del PBI, la variable D1 es una variable dummy centrada que representa los efectos de la crisis de comienzos de siglo y “ α_{ij} ” son parámetros a estimar. En particular, los parámetros α_{13}, ρ_{13} son coeficientes indicativos de exogeneidad débil debido a que representan los ajustes de cada variable ante desvíos de la relación de largo plazo. Por su parte, dado que el VAR tenía solo un rezago, el VECM no lo tiene debido a que éste se incluye en las primeras diferencias de cada variable. De la estimación del modelo anterior, se obtuvo lo siguiente,

$$\Delta LENERGIA_t = 0.0089 - 0.1507D1 - 0.5948(LENERGIA_{t-1} + 3.5950 - 0.4165LPBI_{t-1}) \quad (36)$$

$$\Delta LPBI_t = 0.0213 - 0.2223D1 - 0.2144(LENERGIA_{t-1} + 3.5950 - 0.4165LPBI_{t-1}) \quad (37)$$

Se desprende de las ecuaciones (36) y (37) que el vector de cointegración es (1,0000 ; 0,4165) siendo $LENERGIA_t$ la variable normalizada. Esto implica que en el largo plazo, una variación de 1% en el PBI provoca un cambio de 0,4165% en la ENERGÍA. Por otra parte, una vez estimado el VEC, se procede a realizar pruebas de significatividad sobre los parámetros del vector de cointegración y de los coeficientes de ajuste. Esto último se efectúa a los fines de testear la exogeneidad débil en alguna de las dos variables. Las pruebas aplicadas indicaron que los parámetros del vector de cointegración son significativos, al igual que el coeficiente de ajuste correspondiente a la variable $LENERGIA_t$. No obstante, se ha testeado la hipótesis de exogeneidad débil de la variable PBI incluyéndola en el VEC como una restricción $\alpha_3 = 0$ y no se pudo rechazar la misma. Como puede observarse en la Tabla 9A del anexo, la restricción propuesta resulta válida. En efecto, el coeficiente de ajuste correspondiente a la variable PBI en su primera diferencia es nulo y, por consiguiente, se puede aseverar que la variable PBI es débilmente exógena. Finalmente, en la ecuación (38) se presenta el modelo final (incluida la restricción propuesta).

$$\Delta LENERGIA_t = 0.0089 - 0.1506D1 - 0.5245(LENERGIA_{t-1} + 3.5940 - 0.4164LPBI_{t-1}) \quad (38)$$

Se deriva de la ecuación (38) que, ante un cambio del 1% en el PBI la ENERGÍA se incrementa alrededor de 0,42%. En principio, los estimadores son similares a los obtenidos mediante el enfoque de Engle y Granger (0,3971% fue el coeficiente obtenido en ese enfoque). Asimismo, y como se mencionó previamente, este coeficiente es el esperado dado que -en general- la literatura relacionada da cuenta de una relación positiva entre ambas variables. En cuanto al coeficiente que acompaña a la relación de equilibrio de largo plazo, se constata que el mismo es -0,5245 (estos resultados también se pueden ver en el anexo, Tabla 9A). En consecuencia, se comprueba que cuando se producen desvíos de la relación de largo plazo la ENERGÍA responde y corrige un 52,45% del desvío en cada período subsiguiente.

4.4 EVALUACIÓN DE LA CAUSALIDAD EN EL SENTIDO DE GRANGER (1969), EN LA VERSIÓN DE TODA Y YAMAMOTO (1995)

Para aplicar el enfoque de causalidad en el sentido de Granger (1969) - en la versión de Toda y Yamamoto (1995)- se pueden aprovechar algunos pasos ya realizados en secciones precedentes. En efecto, en este apartado no se analizará el orden de integración de las variables (ya que este análisis ya se hizo en la sección 4.1.) y se tomará como base el vector autorregresivo estimado al implementar el enfoque de Johansen. En el apartado 4.3 se estimó un VAR con un rezago y los residuos de dicha estimación resultaron ruido blanco.

De este modo, y teniendo el VAR del apartado 4.3 como base, el paso que sigue consiste en la estimación de un VAR modificado, en donde se aumente la cantidad de rezagos óptima (k) en “d” lags, siendo “d” el mayor orden de integración de las variables ENERGÍA y PBI. Luego se debe aplicar un test de restricción de Wald sobre las “k” variables del modelo con el fin de constatar si se comprueba la no significatividad conjunta de los coeficientes que las acompañan.

Por lo dicho, y dado que en el apartado 4.1. se comprobó que ambas series son integradas de primer orden (d=1), en la siguiente tabla se presenta directamente el test de causalidad en el

sentido de Granger, que incluye en su formulación un lag adicional para cada variable (en base a los trabajos de Toda y Yamamoto y Dolado y Lutkepohl).

Tabla 8. VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests

Dependent variable: LENERGIA			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
LPBI	5,629159	1	0,0177
All	5,629159	1	0,0177
Dependent variable: LPBI			
Excluded	Chi-sq	df	Prob.
LENERGIA	0,226654	1	0,6340
All	0,226654	1	0,6340

Fuente: elaboración propia

* Sample: 1971 2014, Included observations: 42

La primera parte de la Tabla 8, indica que se puede rechazar la hipótesis nula de no causalidad desde el PBI a la ENERGÍA a un 5% de significancia. En tanto, los datos que aparecen en la segunda mitad de la tabla no permiten rechazar la hipótesis nula de no causalidad desde la ENERGI A al PBI a un 5% de significancia. De lo anterior se desprende que existe una causalidad unidireccional en el sentido de Granger (en la versión de Toda y Yamamoto) que va desde el PBI hacia a ENERGI A. A su vez, estas conclusiones son congruentes con las obtenidas mediante el enfoque de Johansen (1995), que dio indicios de exogeneidad débil en la variable PBI. Esto implica que la ENERGI A es explicada por el PBI, y éste último se presenta como exógeno en la relación.

4.5 FUNCIONES IMPULSO-RESPUESTA

Lutkepohl (1994) muestra que la interpretación de los coeficientes del vector de cointegración como elasticidades de largo plazo es inconveniente, ya que ésta omite la dinámica del sistema. En su lugar, Lutkepohl propone analizar las Funciones Impulso-Respuesta (FIR) y asociar los efectos de largo plazo al concepto de elasticidad. A través de la estructura del VAR un shock en una determinada variable afecta no sólo a esa variable sino que este shock es transmitido al resto de las variables endógenas del sistema. La FIR

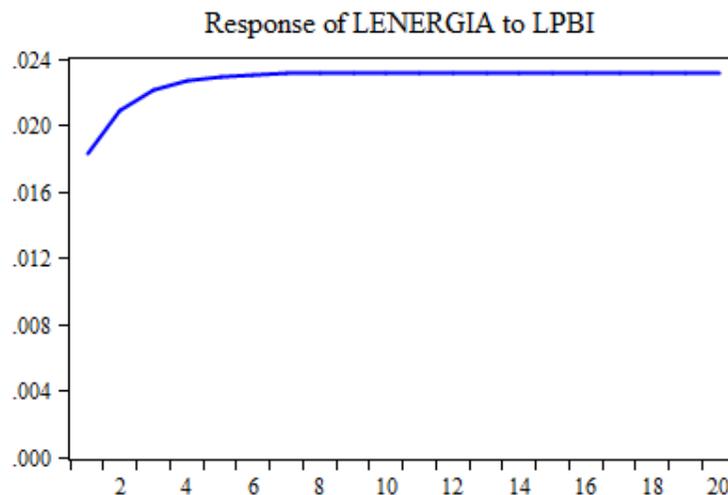
muestra dichas reacciones. Entonces, el concepto de elasticidad en este modelo estará asociado a la respuesta acumulada en el largo plazo de las variables endógenas del sistema.

Ahora bien, si los errores de cada ecuación de la forma reducida (que es la forma estimada) no se encuentran correlacionados la interpretación de la FIR es simple. El shock del error correspondiente a la variable y_t será un shock hacia dicha variable. No obstante, las perturbaciones de la forma reducida generalmente se encuentran correlacionadas, y comparten componentes comunes que no pueden ser asociados a una variable específica.

Para solucionar esto, y obtener una correcta interpretación de los impulsos, se debe realizar la denominada *identificación del VAR*, que en general se implementa imponiendo restricciones sobre los coeficientes que cuantifican la relación contemporánea entre las variables. En nuestro caso, y dados los resultados obtenidos previamente, es inmediato plantear un esquema en el cual la variable PBI no se encuentra contemporáneamente influenciada por la variable ENERGÍA, mientras que en el caso inverso la influencia es significativa. Esta restricción se denomina ortogonalización de Cholesky y permite identificar el VAR y obtener las FIR correctas.

En el Gráfico 10 se muestra la respuesta de la variable LENERGIA a un shock de la variable LPBI. La magnitud del shock es de un desvío estándar de los residuos de LPBI.

Gráfico 10. Response to Cholesky One S.D. Innovations



En principio, si se observa el Gráfico 10 se advierte que la respuesta de LENERGÍA a LPBI resulta positiva y significativa desde el período 1. En los primeros 4 períodos (en nuestro caso, 4 años) la ENERGIA responde con intensidad al PBI, mientras que las respuestas parecen estabilizarse hacia el quinto período. Para tener más precisiones al respecto se puede analizar la Tabla 10A del anexo. En esta tabla se muestran las respuestas de LENERGÍA a un shock en LPBI. Se advierte en la tabla, que la respuesta de la ENERGÍA al PBI es inmediata y significativa. Desde el período 2 al 4 la respuesta acumulada de LENERGÍA aumenta levemente y ya en el quinto período los movimientos comienzan a estabilizarse. Desde el período 11 en adelante, la respuesta de LENERGÍA se mantiene prácticamente inmutable, por lo que se puede tomar de ese período la elasticidad de largo plazo derivada de las FIR. Los resultados obtenidos implican que por cada punto porcentual que se mueve el PBI, la ENERGÍA varía en el mismo sentido 0,416%. Esta elasticidad es prácticamente idéntica a la hallada mediante el enfoque de Johansen, lo cual constituye una señal de robustez del modelo.

4.6 METODOLOGÍA ADL

Tal como se mencionó previamente, una vez que se cuenta con indicios de exogeneidad en una determinada variable, existen beneficios potenciales de incluir esta información en un modelo de cointegración (Enders, 2014). En particular, los parámetros de un modelo de Rezagos Distribuidos (ADL) pueden ser estimados con mayor precisión que los enfoques anteriores producto de una menor varianza en los residuos. Por lo dicho, y después de haber constatado en la sección 4.3. que la variable PBI no ajusta ante desvíos en la relación de largo plazo, es decir, que dicha variable se presenta como débilmente exógena, se puede estimar un modelo ADL como el que sigue,

$$\Delta y_t = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 x_{t-1} + \beta_3 \Delta x_t + A_1(L) \Delta y_{t-1} + A_2(L) \Delta x_{t-1} + v_t \quad (39)$$

En donde la variable y_t es el logaritmo del consumo de energía y la variable x_t representa el logaritmo del PBI. De la refinación del modelo anterior y evaluando que los residuos de la estimación del modelo resulten un ruido blanco se llegó a la siguiente regresión,

$$\Delta LENERGIA_t = -1.618 - 0.459 LENERGIA_{t-1} + 0.190 LPBI_{t-1} + 0.382 \Delta LPBI_t \quad (40)$$

Un punto importante consiste en investigar la significatividad del coeficiente β_1 , que es el parámetro que brinda los indicios de cointegración en el modelo. Después de todo, si $\beta_1 = 0$ no es posible especificar un MCE y, en consecuencia, las variables no se encuentran cointegradas. Para estudiar la significatividad de β_1 debemos especificar el tamaño de la muestra ajustada para nuestro modelo. Dada la presencia de un intercepto ($d=1$), dos variables integradas de primer orden ($k=2$), y un período que abarca 44 años ($T=44$), el tamaño de la muestra ajustada es: $T^a = 44 - (2 \cdot 1 - 1) - 1 = 42$. Los valores críticos se obtienen de la Tabla 11A del anexo: para un nivel de significancia de 1, 5 y 10% los valores críticos son -3,954; -3,279 y -2,939; respectivamente. Entonces, y teniendo en cuenta que el estadístico de referencia para el parámetro β_1 es -3,278, se puede rechazar la hipótesis nula de no cointegración a un 10% de significancia, y concluir que efectivamente las variables se encuentran relacionadas en el largo plazo.

Por otro lado, como se mostró en el apartado 3.2.4., si las variables están cointegradas y existen indicios de exogeneidad débil en una de ellas, se puede reescribir el modelo ADL en un modelo MCE (y viceversa). De la reparametrización de la ecuación (40) se puede llegar al MCE que sigue,

$$\Delta LENERGIA_t = c_1 + 0.3822 \Delta LPBI_t - 0.4591 (LENERGIA_{t-1} - 0.4138 LPBI_{t-1} + c_2) \quad (41)$$

Como se nota en la ecuación (41), el parámetro de ajuste de los desequilibrios de largo plazo obtenido de la reparametrización del modelo de rezagos distribuidos (ADL) es 0,4138. En efecto, se deriva de la ecuación (41) que por cada punto porcentual que varíe el PBI, en el largo plazo la energía ajusta en el mismo sentido 0,4138%. Por su parte, el estimador que ajusta ante desvíos de la relación de largo plazo (-0,4591) se comporta según lo esperado (es negativo y significativo)²⁸.

²⁸ Por su parte, c_1 y c_2 son constantes cuya suma es igual a -1,618. Este test no permite identificarlas.

5. RESUMEN DE LOS ENFOQUES APLICADOS

Luego de haber aplicado tres enfoques de cointegración (Engle y Granger, Johansen y un modelo ADL) se pudo constatar la existencia de una relación de largo plazo entre la ENERGÍA y el PBI. En cuanto a la elasticidad de largo plazo entre las variables los resultados han divergido levemente entre los distintos enfoques. El de Engle y Granger arrojó una elasticidad de 0,3971%, mientras que el de Johansen y el modelo ADL presentaron una elasticidad algo superior (0,4164% y 0,4138%, respectivamente). Por su parte, el estimador que acompaña al término de corrección del error en cada enfoque se ubicó entre -0,45% y -0,53%. En Johansen este estimador (0,5245) se ubicó por encima de los estimadores obtenidos mediante el enfoque de Engle y Granger (0,4673) y del modelo ADL (0,4591).

Tabla 9. Tabla resumen de los tres enfoques

Enfoque/modelo	Conclusión	Exogeneidad	Elasticidad de LP	Coefficiente de ajuste
Engle y Granger	Las variables están cointegradas	-	0.3971	-0.4673
Johansen	Las variables están cointegradas	Débil, de la variable PBI	0.4164	-0.5245
ADL	Las variables están cointegradas	-	0.4138	-0.4591

Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, los tres enfoques permiten dar cuenta de una relación de largo plazo entre el PBI y la ENERGÍA. Cabe mencionar además, que el enfoque de Johansen arrojó indicios de exogeneidad débil de la variable PBI, y con el estudio de la causalidad en el sentido de Granger (en la versión de Toda y Yamamoto) se llegó a la conclusión de que existe exogeneidad fuerte para ésta variable.

De forma aproximada, y respecto de la elasticidad de largo plazo entre las variables, lo encontrado indica que por cada punto porcentual que se mueve el PBI, la ENERGÍA se mueve en el mismo sentido alrededor de 0,4%. Por su parte, cuando se producen desvíos de

la relación de largo plazo la ENERGÍA responde y corrige cerca del 50% del error en cada período subsiguiente. Los signos son los esperados, según la bibliografía revisada²⁹.

Finalmente, se analizaron las FIR del VECM estimado en el enfoque de enfoque de Johansen, en virtud de la crítica que realizó Lutkepohl respecto de la incorrecta interpretación de los coeficientes del vector de cointegración como elasticidades. No obstante, los resultados son robustos. La elasticidad acumulada en el largo plazo derivada de las FIR es prácticamente idéntica a la elasticidad que presentó el vector de cointegración de Johansen.

6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se estudió la relación de largo plazo entre el PBI y el consumo energético en Argentina para el período 1971-2014. En primer lugar, se realizó una revisión de la literatura teórica y empírica en torno a la relación ENERGÍA/PBI. En esta revisión, se verificó que existe un considerable número de estudios que analizaron, para diversos países, como se comporta dicha relación. A pesar de esto, se constató que no existen conclusiones unívocas al respecto. Por el contrario, las mismas generalmente difieren según los fundamentos teóricos que se tomen como base y según qué tipo de tratamiento empírico se aplique para examinar la relación.

En segundo término, se analizó la evolución del sector energético para contextualizar debidamente las razones que dieron origen a la presente tesis. En este sentido, se describieron las principales dificultades por las que atravesó el sector y el escenario inestable que se observa hoy en día. Según la información recopilada, uno de los problemas más visibles es la escasez de hidrocarburos no renovables y una matriz energética altamente dependiente de estos recursos. Si bien se trata de un problema de vieja data, en los últimos años se intensificó debido al aumento en el consumo de energía.

Por otro lado, se realizó un análisis econométrico mediante el cual se pretendió convalidar empíricamente la relación entre ambas variables (consumo de energía y PBI) y cuantificar las elasticidades que guían a la relación. En virtud de las falencias observadas en el sector

²⁹ En general, y aunque los resultados no son unívocos, la bibliografía revisada da cuenta de una relación positiva entre el PBI y la ENERGÍA.

energético local se procedió a efectuar dicho análisis empírico con el fin de examinar las posibles consecuencias de una eventual situación de desabastecimiento energético. Los resultados encontrados arrojaron indicios de la existencia de un vínculo de largo plazo entre las variables y un sentido de causalidad que va desde el PBI a la ENERGÍA, y no al revés. Las conclusiones arribadas sugieren que, en principio, una eventual situación de desabastecimiento energético, que derive en un menor consumo de energía, no impactaría recesivamente sobre la actividad económica del país.

Por lo dicho, para el caso argentino se puede rechazar el cumplimiento de la hipótesis de *crecimiento económico*, que menciona que el consumo energético es un prerequisite indispensable para el crecimiento económico. Asimismo, los resultados hallados se encuentran en consonancia con la postura neoclásica, según la cual, existe cierto grado de sustituibilidad entre los factores productivos (incluidos los recursos naturales).

Por lo dicho, los resultados encontrados sugieren que los hacedores de política no debieran preocuparse por el potencial impacto de una situación de desabastecimiento energético local en tanto la ENERGÍA no explica al PBI en la Argentina. Sin embargo, lo revelado sugiere que el PBI causa a la ENERGÍA, y una suba en la actividad económica interna podría dar lugar a desajustes en el sector energético si la oferta de energía no crece al ritmo de la demanda. En este punto, se concluye que resulta necesario asegurar la planificación de largo plazo en el sector. Como ocurrió en los últimos años, una fase de continuo crecimiento económico podría dar lugar a incrementos considerables en la energía consumida. Si esto ocurre, la Argentina debiera aumentar su oferta energética doméstica en la misma medida, o bien importar la energía faltante, con el respectivo impacto que esto tendrá sobre la balanza comercial del país.

Por su parte, las conclusiones de esta tesis difieren de aquellas obtenidas por algunos trabajos que estudiaron el caso argentino, y que fueran oportunamente mencionados en la revisión bibliográfica. Como se mencionó, Soyta y Sari (2003) y Sinha (2009) encontraron un vínculo bidireccional entre la ENERGÍA y el PBI en la Argentina, Recalde (2011) y Barreto Nieto y Campo Robledo (2012) hallaron una relación unidireccional desde la ENERGÍA hacia el PBI y Chontanawat, Hunt y Pierse (2006) no pudieron dar cuenta de un nexo de largo plazo entre las variables. En este punto, es dable señalar que las divergencias entre lo hallado

en esta tesis y otros estudios similares pueden deberse a multiplicidad de factores: enfoques aplicados, períodos bajo estudio, series utilizadas, etc.

Finalmente, vale mencionar que este trabajo constituye una aproximación al estudio de causalidad y cointegración entre el PBI y el consumo de energía en la Argentina. Estudios posteriores podrían robustecer el presente análisis mediante, por ejemplo, la inclusión de otras variables en las estimaciones, la consideración de diferentes períodos, la desagregación de la variable *consumo de energía* en los diferentes tipos de recursos energéticos que existen, etc. En este aspecto, ya se advirtió mediante la revisión de la literatura econométrica relacionada, cómo las conclusiones obtenidas para un determinado país pueden variar sensiblemente de acuerdo a la metodología aplicada y al lapso bajo estudio, entre otros factores.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akarca, A. T. y Long, T. V. (1980). On the relationship between energy and GNP: a reexamination. *The Journal of Energy and Development*, 5(2), 326-331.
- Asafu-Adjaye, J. (2000). The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries. *Energy economics*, 22(6), 615-625.
- Asiain, A. y Crivelli, A. (2012). La explotación de hidrocarburos en Argentina. Estudio de caso: YPF S.A. Buenos Aires, IIHES-CONICET.
- Bartleet, M. y Gounder, R. (2010). Energy consumption and economic growth in New Zealand: Results of trivariate and multivariate models. *Energy Policy*, 38(7), 3508-3517.
- Barreiro, E., Gallino, A., Russo, C. G. D. P. y Laborde, M. (2009). La complejidad del negocio de energías alternativas en la Argentina. *Petrotecnia*.
- Barrera, M. (2012). Subexplotación y sobreexplotación: la lógica de acumulación del sector hidrocarburífero en Argentina. *Apuntes para el Cambio*, 2, 19-35.
- Barreto Nieto, C. A. y Campo Robledo, J. (2012). Relación a largo plazo entre consumo de energía y PIB en América Latina: Una evaluación empírica con datos panel. *Ecos de Economía*, 16(35), 73-89.
- Barril, D. y Navajas, F. (2015). Natural Gas Supply Behavior under Interventionism: The Case of Argentina. *The Energy Journal*, 36(4).
- Belke, A., Dobnik, F. y Dreger, C. (2011). Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship. *Energy Economics*, 33(5), 782-789.
- Bravo, V. (2012). La Matriz Energética Argentina y la Política Energética. Fundación Bariloche. Bariloche Semanal. Revista Digital.

- Caridad y Ocerín, J. M. (1998). *Econometría, modelos econométricos*. Editorial Reverte, Barcelona.
- Castellani, A. y Serrani, E. (2013). La persistencia de los ámbitos privilegiados de acumulación en la economía argentina. El caso del mercado de hidrocarburos entre 1977 y 1999. *H-industri@: Revista de historia de la industria, los servicios y las empresas en América Latina*, (6), 1.
- Cont, W. A. y Navajas, F. (2004). La anatomía simple de la crisis energética en la Argentina. *Fundación de Investigaciones Económicas Latinoamericanas*.
- Contreras, R., Cancino, A., Comercial, I. y Martínez, K. C. (2011). Consumo de energía y crecimiento económico: explorando la curva ambiental de Kuznets. *Ciencia, tecnología y sociedad* 23 (33), 37-51.
- Cheng, B. S. y Lai, T. W. (1997). An investigation of co-integration and causality between energy consumption and economic activity in Taiwan. *Energy economics*, 19(4), 435-444.
- Chontanawat, J., Hunt, L. C. y Pierse, R. (2006). Causality between energy consumption and GDP: evidence from 30 OECD and 78 non-OECD countries (No. 113). *Surrey Energy Economics Centre (SEEC), School of Economics, University of Surrey*.
- Cleveland, C. (2003). Biophysical constraints to economic growth. *Encyclopedia of Life Support Systems. Sociología Crítica*.
- Costantini, V. y Martini, C. (2010). The causality between energy consumption and economic growth: A multi-sectoral analysis using non-stationary cointegrated panel data. *Energy Economics*, 32(3), 591-603.
- Daly, H. E. (1997). Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. *Ecological Economics*, 22(3), 261-266.

- Dolado, J. J. y Lütkepohl, H. (1996). Making Wald tests work for cointegrated VAR systems. *Econometric Reviews*, 15(4), 369-386.
- Enders, W. (2014) *Applied Econometric Time Series*. 4th Edition. John Wiley, New York.
- Engle, R. F. y Granger, C. W. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 251-276.
- Erol, U. y Yu, E. S. (1987). On the causal relationship between energy and income for industrialized countries. *The Journal of Energy and Development*, 113-122.
- Galindo P, L. M. (1997). El concepto de exogeneidad en la econometría moderna. *Investigación económica*, 97-111.
- Georgescu-Roegen, N. (1975). Energy and economic myths. *Southern Economic Journal*, 347-381.
- Glasure, Y. U. y Lee, A. R. (1998). Cointegration, error-correction, and the relationship between GDP and energy:: The case of South Korea and Singapore. *Resource and Energy Economics*, 20(1), 17-25.
- Granger, C. W. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 424-438.
- Granger, C. W. y Engle, R. (2004). *Econometría de las series de tiempo, cointegración y heteroscedasticidad condicional autoregresiva*.
- Granger, C. W. y Newbold, P. (1974). Spurious regressions in econometrics. *Journal of econometrics*, 2(2), 111-120.
- Hancevic, P., Cont, W. y Navajas, F. (2016). Energy Populism and Household Welfare. *Energy Economics*, Vol 56, pp. 464-474.

- Johansen, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1551-1580.
- Johansen, S. (1995). *Likelihood-based inference in cointegrated vector autoregressive models*. Oxford University Press on Demand.
- Kozulj, R. (2002). Balance de la privatización de la industria petrolera en Argentina y su impacto sobre las inversiones y la copetencia en los mercados minoristas de combustibles (Vol. 46). United Nations Publications.
- Kraft, J. y Kraft, A. (1978). On the relationship between energy and GNP. *The Journal of Energy and Development*, 401-403.
- Lutkepohl, H. (1994) Interpretation of cointegrating relations. *Econometric Reviews*, 391-394.
- Luzzati, T. y Orsini, M. (2009). Investigating the energy-environmental Kuznets curve. *Energy*, 34(3), 291-300.
- Masih, A. M. y Masih, R. (1997). On the temporal causal relationship between energy consumption, real income, and prices: some new evidence from Asian-energy dependent NICs based on a multivariate cointegration/vector error-correction approach. *Journal of policy modeling*, 19(4), 417-440.
- Nachane, D. M., Nadkarni, R. M. y Karnik, A. V. (1988). Co-integration and causality testing of the energy–GDP relationship: a cross-country study. *Applied Economics*, 20(11), 1511-1531.
- Ozturk, I. (2010). A literature survey on energy–growth nexus. *Energy policy*, 38(1), 340-349.

- Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development (No. 992927783402676). International Labour Organization.
- Recalde, M. (2011). ¿Puede la energía limitar el crecimiento? Análisis de la causalidad energía PBI para el caso argentino. XLVI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política (AAEP), Mar del Plata, Argentina.
- Romero, M. D. P. y De Jesús, J. (2016). Economic growth and energy consumption: The energy-environmental Kuznets curve for Latin America and the Caribbean. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1343-1350.
- Sabbatella, I. (2012). La política petrolera de la posconvertibilidad: de la herencia neoliberal a la expropiación de YPF. *Argumentos. Revista de crítica social*, (14), 5.
- Serrani, E. (2011). Inversión y desarrollo en la paradójica transformación del mercado petrolero argentino 120. *Papeles de Trabajo*, 1851, 188.
- Sims, C. A. (1972). Money, income, and causality. *The American economic review*, 62(4), 540-552.
- Sinha, D. (2009). The energy consumption-GDP nexus: Panel data evidence from 88 countries.
- Solow, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The quarterly journal of economics*, 70(1), 65-94.
- Solow, R. M. (1974). The economics of resources or the resources of economics. In *Classic papers in natural resource economics* (pp. 257-276). Palgrave Macmillan UK.
- Soytas, U. y Sari, R. (2003). Energy consumption and GDP: causality relationship in G-7 countries and emerging markets. *Energy economics*, 25(1), 33-37.
- Stern, D. I. (2000). A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the U.S. macroeconomy. *Energy Econ.* 22, 267–283.

- Stern, D. I., y Cleveland, C. J. (2004). Energy and economic growth. *Encyclopedia of energy*, 2, 35-51.
- Stiglitz, J. E. (1980). A neoclassical analysis of the economics of natural resources.
- Stiglitz, J. E. (1997). Reply, Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz. *Ecological Economics*, 22(3), 269-270.
- Toda, H. y Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of econometrics*, 66(1), 225-250.
- Urbisaia, H. y Brufman, J. (2001). *Análisis de series de tiempo: univariadas y multivariadas*. Buenos Aires: Cooperativas.
- Wickens, M. y Breusch, T. (1988). Dynamic specification, the long-run and the estimation of transformed regression models. *The economic journal*, 98(390), 189-205.
- Yu, E. S., y Choi, J. Y. (1985). The causal relationship between energy and GNP: an international comparison. *The Journal of Energy and Development*, 249-272.

8. ANEXO

Tabla 1A. Resultados del Test Phillips-Perron

Serie	Niveles, con tendencia e intercepto (p - value)	Primera diferencia, sin tendencia e intercepto (p - value)	Resultado
Lconsumo	0,6716	0,0000	Serie I(1)
Lpbi	0,5017	0,0000	Serie I(1)

Fuente: Eviews 8

Tabla 2A. Valores críticos para el Test de Cointegración de Granger

T	0,01	0,05	0,1	0,01	0,05	0,1
	Dos variables			Tres variables		
50	-4.123	-3.461	-3.130	-4.592	-3.915	-3.578
100	-4.008	-3.398	-3.087	-4.441	-3.828	-3.514
200	-3.954	-3.368	-3.067	-4.368	-3.785	-3.483
500	-3.921	-3.350	-3.054	-4.326	-3.760	-3.464
	Cuatro variables			Cinco variables		
50	-5.017	-4.324	-3.979	-5.416	-4.700	-4.348
100	-4.827	-4.210	-3.895	-5.184	-4.557	-4.240
200	-4.737	-4.154	-3.853	-5.070	-4.487	-4.186
500	-4.684	-4.122	-3.828	-5.003	-4.446	-4.154

Manual Suplementario de Enders, 2014, página 124

Tabla 3A. Correlograma de los residuos estimados.

	AC	PAC	Q-Stat	Prob	AC	PAC
1	-0,032	-0,032	0,046	0,830		
2	0,126	0,125	0,792	0,673		
3	-0,250	-0,246	3,807	0,283		
4	0,126	0,113	4,592	0,332		
5	-0,116	-0,065	5,283	0,382		
6	0,088	0,005	5,686	0,459		
7	-0,196	-0,135	7,757	0,354		
8	0,278	0,251	1,204	0,150		
9	-0,045	-0,001	1,215	0,205		
10	0,244	0,136	1,564	0,110		
11	-0,043	0,102	1,576	0,150		
12	-0,011	-0,137	1,576	0,202		

Fuente: Eviews 8

Tabla 4A. Resultados del enfoque de Wickens y Breusch (1988)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1,6177	0,5034	-3,2134	0,0026
D(LPBI)	0,3822	0,0539	7,0885	0,0000
LENERGIA(-1)	-0,4591	0,1401	-3,2772	0,0022
LPBI(-1)	0,1900	0,0558	3,4044	0,0015

Fuente: eviews 8

Tabla 5A. Test LM para autocorrelación de los residuos del VAR

Lags	LM-Stat	Prob
1	0,4837	0,9751
2	6,1522	0,1881
3	3,7898	0,4352
4	4,1111	0,3912
5	1,6198	0,8052
6	2,4557	0,6526
7	2,0282	0,7306
8	6,6785	0,1539
9	4,2872	0,3685
10	4,3746	0,3577
11	8,2278	0,0836
12	7,2665	0,1225

Fuente: Eviews 8

* Hipótesis nula: no autocorrelación residual hasta el lag h

Tabla 6A. Test de Portmanteau para autocorrelación de los residuos del VAR

Lags	Q-Stat	Prob.	Adj Q-Stat	Prob.	df
1	0,4551	NA*	0,46588	NA*	NA*
2	5,5291	0,2372	5,78740	0,2156	4
3	8,7866	0,3606	9,28927	0,3185	8
4	12,826	0,3818	13,7428	0,3174	12
5	14,450	0,5652	15,5805	0,4826	16
6	16,661	0,6748	18,1506	0,5775	20
7	18,623	0,7718	20,4936	0,6684	24
8	24,268	0,6673	27,4284	0,4950	28
9	27,236	0,7066	31,1825	0,5078	32
10	30,658	0,7204	35,6410	0,4855	36
11	36,011	0,6504	42,8347	0,3505	40
12	40,715	0,6132	49,3602	0,2676	44

Fuente: Eviews 8

* Hipótesis nula: no autocorrelación residual hasta el lag h

Tabla 7A. Test de White, de heterocedasticidad residual del VAR

Joint test:					
Chi-sq	df	Prob.			
11,0400	15	0,7498			
Individual components:					
Dependent	R-squared	F(5,37)	Prob.	Chi-sq(5)	Prob.
res1*res1	0,0646	0,5107	0,7663	2,7759	0,7345
res2*res2	0,1666	1,4788	0,2202	7,1617	0,2089
res2*res1	0,0787	0,6323	0,6763	3,3848	0,6409

Fuente: Eviews 8

* Hipótesis nula: Homocedasticidad residual del VAR

Tabla 8A. Test de normalidad de los residuos del VAR

Component	Skewness	Chi-sq	df	Prob.
1	-0,2133	0,3262	1	0,5679
2	0,1163	0,0969	1	0,7555
Joint		0,4231	2	0,8093
Component	Kurtosis	Chi-sq	df	Prob.
1	3,5411	0,5245	1	0,4689
2	2,3602	0,7334	1	0,3918
Joint		1,2579	2	0,5331
Component	Jarque-Bera	df	Prob.	
1	0,8507	2	0,6535	
2	0,8303	2	0,6602	
Joint	1,6811	2	0,7942	

Fuente: Eviews 8

* Hipótesis nula: residuos son multivariadamente normales

Tabla 9A. Modelo de corrección de errores de vectores cointegrados (VECM)

Restricciones		
B(1,1)=I, A(2,1)=0		
Chi-cuadrado	0,3664	
Probabilidad	0,5450	
Cointegrating Eq.	CointEq1	
LENERGIA(-1)	1,0000	
LPBI(-1)	-0,4164	
	-0,0198	
	[-21.0018]	
C	3,5939	
Error Correction:	D(LENERGIA)	D(LPBI)
CointEq1	-0,5245	0,0000
	-0,1244	0,0000
	[-4.21470]	[NA]
C	0,0089	0,0213
	-0,0040	-0,0085
	[2.20959]	[2.50499]
Centered_Dummy	-0,1506	-0,2223
	-0,0389	-0,0824
	[-3.87223]	[-2.69892]

Fuente: Eviews 8

Tabla 10A. FIR. Respuesta de la variable LENERGÍA a un shock de LPBI*

Response of Period	LPBI (shock 1 S.E.)	LPBI (shock unitario)
1	0,0183	0,3285
2	0,0209	0,3746
3	0,0221	0,3966
4	0,0227	0,4070
5	0,0230	0,4119
6	0,0231	0,4143
7	0,0231	0,4154
8	0,0232	0,4159
9	0,0232	0,4162
10	0,0232	0,4163
11	0,0232	0,4164
12	0,0232	0,4164
13	0,0232	0,4164
14	0,0232	0,4164
15	0,0232	0,4164
16	0,0232	0,4164
17	0,0232	0,4164
18	0,0232	0,4164
19	0,0232	0,4164
20	0,0232	0,4164

Fuente: Eviews 8

Shock de LPBI igual a 0,055723

Tabla 11A. Valores críticos para $\beta_1 = 0$ en el MCE

k	Significancia	Ta= 50	Ta= 100	Ta= 200	Ta= 500
d= 1					
2	0,01	-3.954	-3.874	-3.834	-3.811
	0,05	-3.279	-3.247	-3.231	-3.221
	0,10	-2.939	-2.924	-2.916	-2.911
3	0,01	-4.268	-4.181	-4.138	-4.112
	0,05	-3.571	-3.538	-3.522	-3.512
	0,10	-3.216	-3.205	-3.199	-3.195
4	0,01	-4.537	-4.446	-4.401	-4.374
	0,05	-3.819	-3.789	-3.774	-3.765
	0,10	-3.453	-3.447	-3.444	-3.442

Fuente: Enders (2014)

Gráfico 1 A. Autocorrelations with 2 Std. Err. Bounds

