

enerLAC

Revista de
Energía de
Latinoamérica
y el Caribe

Integración
ciencia-política
desarrollo eólico
Uruguay

Indicadores
eficiencia energética
transporte de carga
en México

Utilización y
competitividad
gas natural
Perú

Compared Legal
Analysis of Illegal
Oil Bunkering
in Mexico, Colombia
and Nigeria

Generación Distribuida
y Microrredes Eléctricas
en América Latina y
El Caribe



COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco
SECRETARIO EJECUTIVO DE OLADE

Pablo Garcés
ASESOR TÉCNICO DE OLADE

Marcelo Vega
COORDINADOR DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DE LA
ASOCIACIÓN DE UNIVERSIDADES GRUPO MONTEVIDEO
(AUGM)

COORDINADORES DE LA EDICIÓN

DIRECTOR GENERAL
Alfonso Blanco

DIRECTORES EJECUTIVOS
Pablo Garcés
Marcelo Vega

COORDINADORA DE PRODUCCIÓN
Blanca Guanocunga. Bibliotecaria OLADE

COLABORADORES

Raquel Atiaja. *Técnica de Área Informática OLADE*

Ana María Arroyo. *Diseño y diagramación*

REVISORES

José Javier Alonso Mateos.
Universidad Internacional de Valencia. España.

José Cataldo.
Universidad de la República (UDELAR). Uruguay.

José Córdor.
Universidad Central del Ecuador (UCE). Ecuador.

Pedro Díaz Fustier. *Universidad Tecnológica de la Habana,
Facultad de Ingeniería Eléctrica. Cuba.*

Henry Espada Romero. *Gobierno Autónomo Departamental
De Chuquisaca (GADCH). Bolivia.*

Luis Felipe Gómez Fernández.
Ministerio de Energía y Minas. Perú.

Francisco Macías Aguilera.
Universidad de Guanajuato. México.

Ojilve Ramón Medrano Pérez. *Consejo Nacional de Ciencia
y Tecnología (CONACyT). Centro del Cambio Global y la
Sustentabilidad (CCGS). México.*

Marcela Reinoso.
Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Ecuador.

Ramiro Rodríguez.
Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.

© Copyright Organización Latinoamericana de Energía
(OLADE) 2019. Todos los derechos reservados.

ISSN: 2602-8042 (Impresa)
ISSN: 2631-2522 (Electrónica)

Dirección: Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y
Fernández Salvador.
Quito - Ecuador

Página web Revista ENERLAC: <http://enerlac.olade.org>
Página web OLADE: www.olade.org
Mail ENERLAC: enerlac@olade.org

Teléfonos: (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995

Fotografías de la portada y contraportada licenciada por
Ingram Image.

NOTA DE RESPONSABILIDAD DE CONTENIDO

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad
de los autores y no comprometen a las organizaciones
mencionadas.



¿ES REALMENTE APROVECHADO EL GAS NATURAL EN EL PERÚ? ESTUDIO DE SU UTILIZACIÓN Y COMPETITIVIDAD

Francisco Daniel Porles Ochoa ¹

Recibido: 23/03/2019 y Aceptado: 26/11/2019
ENERLAC. Volumen III. Número 2. Diciembre, 2019 (44-71).



1 Ingeniero Mecánico de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Certificado en Gestión de la Energía (Certified Energy Manager, CEM) por la Asociación de Ingenieros de la Energía (AEE, U.S.A). Maestría en Energía por la Universidad Nacional de Ingeniería UNI, Perú. Profesional Senior con más de 18 años de experiencia en el sector upstream de la industria de petróleo, gas y en Planeamiento Energético en el Ministerio de Energía y Minas del Perú. Actualmente Gerente Técnico y de Servicios en MAD Energy. Profesor de la Universidad de Ingeniería y Tecnología UTEC (Especialidad de Gas Natural – Departamento de Ingeniería de la Energía). Cursa estudios de Doctorado en Administración Estratégica de Empresas (DBA) por CENTRUM PUCP y Maastricht School of Management (MSM) de Holanda. fporles@utec.edu.pe



RESUMEN

Hoy el mundo se encuentra en medio de una transformación energética hacia un sistema energético sostenible, donde el gas natural representa el “combustible puente¹” para este importante desafío. El presente trabajo examina el grado de aprovechamiento del gas natural en los diferentes sectores económicos del Perú en los últimos 15 años: generación eléctrica, transporte, industria, residencial y comercial. Los resultados muestran que la masificación del gas natural iniciado desde el 2004 ha logrado una penetración significativa sólo en el sector eléctrico, donde en el 2016 el consumo final de gas natural alcanzó una participación del 71.5%. Sin embargo, en los sectores transporte, residencial y comercial alcanzaron un 6.7%, 0.3% y 0.24% respectivamente. Se concluye que el Perú dispone de suficiente gas natural para acompañar una transición energética por varias décadas y este importante recurso no debe ser visto únicamente como una competencia para las energías renovables, sino como un recurso que se complementa perfectamente con ellas.

Palabras clave: Gas Natural, Masificación, Transición Energética, Energías Renovables, Complementariedad, Cambio Climático, Sostenibilidad, Perú.

1 Diversos estudios académicos (Brown et al., 2009; Levi, 2013; Littell, 2017; Gillingham & Huang, 2019) examinan el rol del gas natural hacia un futuro bajo en carbono, empleando el término “combustible puente”.

ABSTRACT

The world is facing an energy transformation today, a transition from an energy system dominated by fossil fuels to a sustainable energy system where natural gas is considered a “bridge fuel”². This paper examines the role played by natural gas in Peru, the evolution of utilization in different economic sectors and the degree of massification of this resource achieved in the last decade in residential and commercial sectors. The results show that the utilization of natural gas in Peru, starter since 2004, has not achieved significant coverage, except for electric sector where it reached in 2016, a share of 71.5% in final natural gas consumption. In residential and commercial sectors, it only reached 0.3% and 0.24% respectively, and 6.7% in transport sector. Finally, it is concluded that Peru has enough natural gas to accompany the energy transition for several decades. Therefore, this resource should not be seen only as a competition for renewable energies, but as a resource that perfectly complements them.

Keywords: *Natural Gas, Consumption, Energy Transition, Renewable Energy, Complementary, Climate Change, Sustainability, Peru.*

² *Various academic studies (Brown et al., 2009; Levi, 2013; Littell, 2017; Gillingham & Huang, 2019) examine the role of natural gas towards a low-carbon future, using the term “bridging fuel”.*

INTRODUCCIÓN

La energía se ha convertido en un recurso muy valorado y crucial del siglo XXI, fundamental para el desarrollo económico y el progreso humano (Abu-Rayash & Dincer, 2019; WEF, 2018). En la actualidad, el sistema energético mundial depende en un 85.5% de los combustibles fósiles, esta dependencia varía en diferentes países, entre 32.1% y 100% (Ediger, 2019). Según los autores Ediger, Hoşgör, Sürmeli y Tatidil (2007), quienes desarrollaron un índice de sostenibilidad para los combustibles fósiles (FFSI, por sus siglas en inglés), basados en estos índices concluyen que los países dependientes de la importación del petróleo están destinados a padecer sobrecostos y, por ende, a una balanza comercial negativa debido a políticas energéticas ineficientes.

El Perú es uno de los 193 países miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que aprobaron en el 2015 la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la cual contempla 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (en adelante ODS). El Objetivo 7 que corresponde a la lucha contra el cambio climático y el acceso universal a una energía asequible, segura, sostenible y moderna, es el que interesa como parte del objetivo de la presente investigación y, es relevante toda vez que según la ONU (2016), la energía representa alrededor del 60% del total de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial, por tanto la reducción de la intensidad de las emisiones de dióxido de carbono (en adelante, CO₂) provenientes de la energía, es un objetivo a largo plazo relacionado con la lucha contra el cambio climático.

El presente trabajo examina el rol que le tocaría al gas natural en el Perú en un contexto mundial de transición energética sostenible hacia fuentes de energía bajas en carbono abordando las siguientes preguntas: Siendo el gas natural el recurso energético fósil menos contaminante con el que dispone el país ¿Cómo podría contribuir el

gas natural a alcanzar el objetivo 7 (ODS)? ¿Cómo estaría conformada la estructura de la oferta de gas natural para cubrir la demanda final de este recurso en los sectores residencial y comercial, industrial, transporte y generación eléctrica? ¿Cuál sería el rol del gas natural en un contexto de alta penetración de las energías renovables? ¿Se cuenta con suficientes reservas probadas de gas natural que soporte una mayor expansión de la masificación del gas natural?

El artículo se estructura de la siguiente manera: la primera sección describe el enfoque actual a nivel mundial respecto a la transición energética, explorando diferentes definiciones formuladas en el ámbito de la investigación académica sobre este fenómeno mundial. La siguiente sección explora el papel del gas natural como recurso energético de transición a nivel mundial y su complementariedad con las energías renovables para la generación eléctrica. Posteriormente, se explica el proceso de masificación de gas natural llevado a cabo en el Perú y analiza la disponibilidad de reservas de gas, así como la infraestructura energética desarrollada para llevar adelante esta masificación a nivel nacional tanto para el mercado local como para el mercado externo. Luego se presenta un análisis detallado basado en las estadísticas energéticas del Perú de la producción de gas natural como energía primaria y secundaria, así como su utilización en los diferentes sectores de consumo final. Se complementa el análisis de la sección anterior, comparando la competitividad del gas natural con las fuentes de energía de mayor contaminación ambiental usadas en el Perú, con las cuales compite en diferentes sectores de consumo del país. Finalmente, se plantea algunas conclusiones relevantes.

TRANSICIÓN ENERGÉTICA EN EL MUNDO

En la actualidad la industria y la sociedad están intrínsecamente vinculadas a la producción, distribución y consumo de energía, lo que en su conjunto conforman un “sistema energético”. Estos sistemas energéticos son complejos y

forman parte vital de la economía de cada país y comprenden diversos stakeholders, diferentes recursos energéticos y todos los sectores demandantes de energía (Figura 1). A nivel mundial, dichos sistemas energéticos están experimentando cambios significativos y rápidos impulsados por fuerzas, tales como la innovación tecnológica, cambios en los patrones de consumo, la dinámica en el suministro y cambios en las políticas energéticas. Asimismo, el desarrollo económico, la innovación tecnológica y el cambio en las políticas son factores determinantes para las transiciones energéticas (WEF, 2018; Cherp, Vinichenko, Jewell, Brutschin, & Sovacool, 2018). En consecuencia, la transición energética tiene repercusiones en los negocios, en las políticas energéticas y en el comportamiento del consumidor (WEF, 2018). Es por ello fundamental dirigir con cuidado la transformación hacia un sistema energético que en el futuro ofrezca un equilibrio óptimo entre los tres imperativos del “Triángulo Energético” propuesto por el Foro Económico Mundial (en adelante WEF, por sus siglas en inglés): a) desarrollo y crecimiento económico, b) acceso universal a un suministro seguro y confiable, y c) sostenibilidad ambiental. Este enfoque es coincidente con el “Trilema Energético” propuesto por el Consejo Mundial de la Energía (en adelante WEC, por sus siglas en inglés), como objetivos para lograr la sostenibilidad ambiental y conformado por tres dimensiones: a) seguridad energética, b) equidad energética (proporcionar a los hogares suministros de energía que sean accesibles y asequibles) y c) sostenibilidad ambiental. Estos tres objetivos (trilema) conllevan complejas interrelaciones entre actores públicos y privados, gobiernos y reguladores, factores sociales y económicos, recursos nacionales, preocupaciones ambientales y comportamientos de los consumidores (WEC³).

3 World Energy Council (WEC). Recuperado de <https://www.worldenergy.org/work-programme/strategic-insight/assessment-of-energy-climate-change-policy/>

Figura 1. Principales actores que conforman un sistema energético.



Fuente: Adaptado de WEF (2018).

En los últimos años es cada vez más relevante en el ámbito académico el significado e impacto de la **“transición energética”**. Meckling y Hughes (2018) afirman que a nivel mundial la industria demandante de energía se está transformando a medida que los países invierten en tecnologías limpias a fin de enfrentar el cambio climático, mejorar la seguridad energética y fortalecer la competitividad nacional. A este proceso de transformación de los sistemas energéticos, estos autores lo denominan *“transición hacia las energías limpias”*. Para otros investigadores la transición energética es entendida como el cambio de un régimen de energía fósil finito, contaminante y que induce al cambio climático, a un régimen sostenible, limpio, neutral en el clima y renovable, el cual es un proyecto socio-tecnológico muy grande y complejo (Geets, 2018). Grubler, Wilson, y Nemet (2016) definen transición energética *“como un cambio en el estado de un sistema de energía en lugar*

de un cambio tecnológico individual o solamente un cambio en el tipo de combustible a emplearse” (p.2). En el presente estudio se utiliza la definición propuesta por WEF (2018) que plantea el término *“transición energética efectiva”* y la define como:

“la transición oportuna hacia un sistema energético global más inclusivo, sostenible, asequible y seguro que brinde soluciones a los desafíos globales relacionados con la energía, creando valor para las empresas y la sociedad sin comprometer el equilibrio del triángulo energético” (p.10).

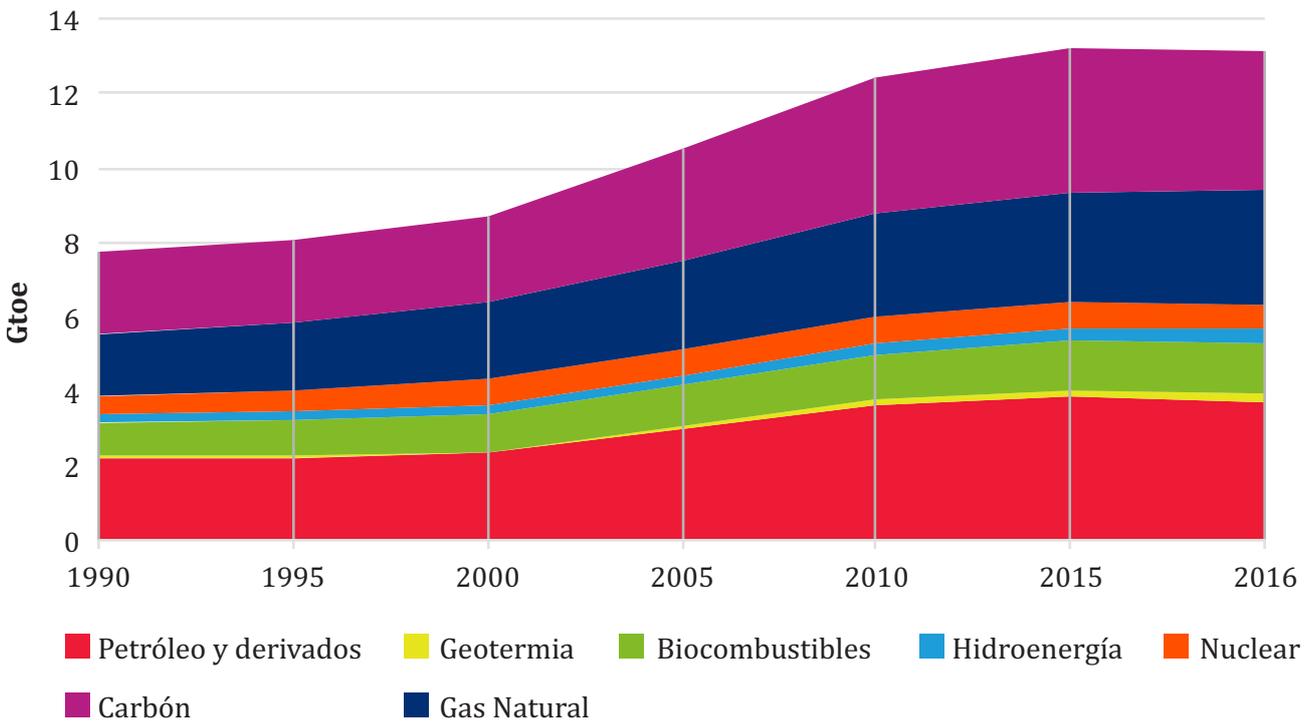
El panorama energético está cambiando rápidamente, con implicaciones de gran impacto para las industrias y demás actores energéticos (Figura 1). Sin embargo, si bien la transformación de los sistemas energéticos es rápida en ciertas partes del mundo (Europa, por ejemplo), la

velocidad de la transición energética a nivel mundial es aún incierta (Fattouh, Poudineh, & West, 2018). Por otro lado, los principales objetivos de una política global en un contexto de transición energética con bajas emisiones de CO₂ deben incluir el crecimiento económico, un suministro seguro de energía y la mitigación de los efectos del cambio climático (Santoyo-Castelazo & Azapagic, 2014). Asimismo, la evaluación del desarrollo sostenible de los sistemas energéticos debe incluir las dimensiones ambientales, económicas y sociales. Hoy por hoy, en el mundo el desarrollo sostenible de estos sistemas es cada vez más importante para los formuladores y tomadores de decisión de políticas públicas. (Abu-Rayash & Dincer, 2019; Santoyo-Castelazo & Azapagic, 2014)

PARTICIPACIÓN DEL GAS NATURAL EN LA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL

A medida que ha ido aumentando la demanda mundial de energía, el gas natural ha ido desempeñando un papel estratégico e importante en el suministro global de energía (Economides & Wood, 2009). Esto se aprecia en la Figura 2 y la Tabla 1 de la Agencia Internacional de Energía (IEA⁴, por sus siglas en inglés), donde a nivel mundial (entre los años 1990 y 2016) el gas natural ha tenido un crecimiento sostenido en su consumo (en Gtoe), proporcionando en la actualidad el 22% de la energía utilizada en todo el mundo, representando casi el 25% en la generación eléctrica y convirtiéndose además en materia prima crucial para la industria.

Figura 2. Evolución del suministro de energía primaria a nivel mundial para el período 1990-2016.



Fuente: IEA. Recuperado de <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES>.

Nota: no se considera flujos de electricidad ni calor. Unidad energética (Gtoe) corresponde a giga toneladas equivalentes de petróleo.

4 International Energy Agency (IEA). Recuperado de <https://www.iea.org/topics/naturalgas/>

Según Economides y Wood (2009), a nivel mundial el gas natural está notoriamente destinado a desempeñar un papel clave en los desarrollos energéticos futuros y para ayudar a lograr los dos objetivos energéticos más importantes para el siglo XXI, como son el proporcionar suministros y servicios sostenibles de energía necesarios para el desarrollo social y económico y reducir a nivel global los impactos negativos en el clima y medio ambiente.

En el sector eléctrico, un gas natural económico proporciona una ruta de transición a bajo costo respecto a otros combustibles fósiles con mayor contenido de CO₂ como el carbón y el petróleo (Littell, 2017). Asimismo, muchas investigaciones examinan y evidencian la complementariedad casi perfecta entre el gas natural y las energías renovables para la autogeneración eléctrica (Alabdulwahab, Abusorrah, Zhang, & Shahidehpour, 2015; IGU, 2015; Lee, Zinaman, Logan, Bazilian, Arent, & Newmark, 2012; Giannakoudis, Papadopoulos, Seferlis, & Voutetakis, 2010; NREL & JISEA, 2012; Sharif, Almansoori, Fowler, Elkamel, & Alrafea, 2014). Según IGU (2015), el gas natural es considerado una fuente de energía complementaria para la energía eólica y solar, impulsando una mayor adopción de las energías limpias y contribuyendo a lograr una economía baja en carbono. Su versatilidad, precio y características de rendimiento, convierten al gas natural en el mejor combustible para asociarse con la energía eólica y solar. Por tanto, tal como lo afirma el ex presidente del International Gas Union (2012-2015), Jérôme Ferrier⁵:

“el gas natural y las energías renovables, que se complementan casi a la perfección tanto para la generación y el almacenamiento de electricidad como para la inyección de biogás en tuberías, deberían ser los dos pilares fundamentales de una política energética global a largo plazo sostenible y respetuosa con el medio ambiente”.

5 Recuperado de <https://www.ief.org/news/natural-gas-the-destination-fuel-for-a-sustainable-low-carbon-global-economy>

El gas natural también presenta una gran complementariedad con el biogás acondicionado (también denominado “biometano”), el cual es un portador de energía renovable con gran potencial para diversificar y descarbonizar el gas natural, dado que es factible inyectar biogás a las redes de transporte y distribución de gas natural a fin de mejorar la calidad del gas distribuido (el cual es denominado después del *blended*, “*green gas*”), obteniéndose así grandes beneficios en términos de reducción de emisiones de CO₂ para su uso final en los sectores residencial, comercial y principalmente el transporte (Aryal & Kvist, 2018; Cucchiella, D’Adamo, Gastaldi, & Miliacca, 2018; IGU & Eurogas, 2015; Feofilovs, Gravelins, Pagano, & Romagnoli, 2019; Fubara, Cecelja, & Yang, 2018; Hoo, Hashim, & Ho, 2018; van Basshuysen, 2016; Urban, 2013).



Tabla 1. Datos de suministro de energía primaria (Gtoe) a nivel mundial durante el período 1990-2016.

| Año | Carbón | Gas Natural | Nuclear | Hidroenergía | Geotermia | Biocombustibles | Petróleo y derivados |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|----------------------|
| 1990 | 2.22 | 1.66 | 0.53 | 0.18 | 0.04 | 0.91 | 3.23 |
| 1995 | 2.21 | 1.81 | 0.61 | 0.21 | 0.04 | 0.97 | 3.37 |
| 2000 | 2.32 | 2.07 | 0.68 | 0.23 | 0.06 | 1.02 | 3.66 |
| 2005 | 2.99 | 2.36 | 0.72 | 0.25 | 0.07 | 1.10 | 4.00 |
| 2010 | 3.65 | 2.74 | 0.72 | 0.30 | 0.11 | 1.22 | 4.14 |
| 2015 | 3.85 | 2.94 | 0.67 | 0.34 | 0.20 | 1.32 | 4.35 |
| 2016 | 3.73 | 3.03 | 0.68 | 0.35 | 0.23 | 1.35 | 4.39 |
| Variación promedio anual 1990-2016 | 68.0% | 82.4% | 29.3% | 89.5% | 516.4% | 48.4% | 35.8% |
| Participación mundial al 2016 | 27.1% | 22.1% | 4.9% | 2.5% | 1.6% | 9.8% | 31.9% |

Fuente: IEA. Recuperado de <https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Energy%20supply&indicator=TPESbySource&mode=chart&dataTable=BALANCES>.

MASIFICACIÓN DEL GAS NATURAL EN EL PERÚ

Desde el año 2004, con la entrada en operación del gas de Camisea, el Perú inició una etapa intensiva de explotación, procesamiento y transporte del gas natural, lo cual dio inicio al proceso de promoción y expansión del uso del gas natural mediante la distribución y comercialización de este recurso energético. La formulación y establecimiento de un marco legal permitió a su vez, la supervisión y regulación del sector gasífero naciente. Todo esto acompañado de la construcción y puesta en servicio de una infraestructura moderna con el fin de brindar acceso a la población de los beneficios de un recurso energético amigable con el medioambiente, asequible y seguro como el gas natural. A este proceso descrito denominamos “Masificación del Gas Natural en el Perú”.

Este importante hito energético, impulsó en el Perú en el año 2010 el establecimiento de una política energética que incorporó el desarrollo del gas natural que se venía produciendo en el país. Es así que, el D.S N°064-210-MEM estableció la nueva Política Energética Nacional del Perú al 2040 y entre sus objetivos y lineamientos está desarrollar la industria del gas natural, asimismo ampliar y consolidar el uso del gas natural en toda la población como un mecanismo para lograr el acceso universal a la energía en todo el Perú.

Este es aún un enorme desafío que tiene por delante nuestro país en su transición hacia una sostenibilidad energética.

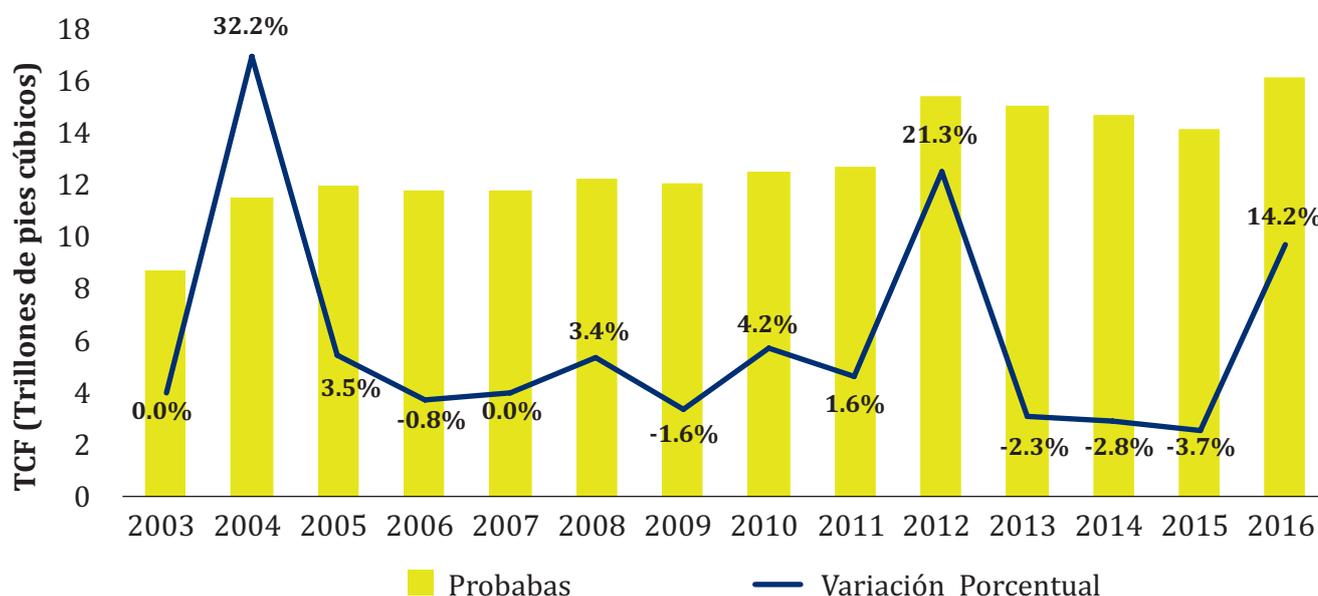
Disponibilidad del Gas Natural

¿Cuenta el Perú con reservas suficientes de gas natural para abastecer la demanda del mercado interno? ¿Por cuantos años se podrá satisfacer la demanda interna con el gas natural de manera asequible y segura? Las respuestas a estas interrogantes dependen de varios factores determinantes entre ellos la demanda de gas natural para los próximos años, el ritmo de las actividades de exploración y explotación para nuevos hallazgos de reservas de gas (y posterior desarrollo comercial de las mismas) y el desarrollo de infraestructura energética (ductos principales, plantas de procesamiento, conexiones industriales y domiciliarias de gas natural). Existen otros factores como el nivel de inversiones, vaivenes políticos, conflictos sociales, aspectos medio-ambientales y tecnológicos (fomento de la eficiencia energética y las energías renovables), pero que inciden directamente en los tres factores indicados líneas arriba y que adicionan también incertidumbre al desarrollo de este sector y por ende a las respuestas de las dos interrogantes planteadas.

Un primer paso para responder a estas preguntas es tener claro cuál es la oferta de este recurso energético, es decir, la cantidad de gas natural con el que cuenta nuestro país. Para ello, con base en información oficial del MEM (DGH, 2016) se estima que el potencial gasífero del Perú asciende a 16,1 trillones de pies cúbicos (en adelante TCF) de reservas probadas. En la Figura 3 se muestra la evolución de las reservas probadas de gas

natural durante los años 2003 y 2016. Se puede apreciar que en los últimos 10 años no ha habido mayor incremento de dichas reservas probadas excepto en los años 2012 y 2016, en cuyos casos fueron básicamente por revisiones técnicas de las estimaciones. Asimismo, la Tabla 2 muestra que desde el año 2009 la reserva total (3P) de gas natural tiene una tendencia negativa que hasta la fecha no se revierte.

Figura 3. Evolución de las reservas probadas de gas natural en el Perú del período 2003-2016.



Fuente: (MEM/DGH, Libro Anual de Reservas de Hidrocarburos). Adaptado de http://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=5&idTitular=1479&idMenu=sub1477&idCateg=563

Durante los últimos 15 años el consumo final de gas natural en el Perú fue de 4.43 TCF, equivalente al 27.5% de las reservas probadas totales de este recurso.

Infraestructura para el transporte y distribución

De acuerdo con la literatura académica referente a los temas de producción, procesamiento, almacenamiento y transporte de gas natural, este recurso energético debe ser transportado inmediatamente a su destino final de consumo después de haber sido extraído del reservorio y procesado (Cranmore y Stanton, 2000a, citado por Mokhatab, Speight, & Poe, 2006). Existe una serie de opciones para transportar el gas natural hacia los clientes finales: a) tuberías (gasoductos); b) GNL (gas natural licuefactado);

c) GNC (gas natural comprimido); d) GTS (gas a sólidos), es decir, hidratos; e) GTP (gas a potencia), es decir, como electricidad; y f) GTL (gas a líquidos), con el cual se puede obtener entre otros productos, combustibles limpios para la generación eléctrica o para el transporte como sustituto del GLP (Roje y et al., 1997; Thomas y Dawe, 2003, citados por Mokhatab et al., 2006). Ikoku (1984) establece que el transporte de gas natural hacia los consumidores finales, puede ser clasificado en cuatro sistemas: a) recolección; b) compresión; c) gasoducto principal de transporte; y d) distribución. Asimismo, menciona que

las tuberías forman parte vital de la infraestructura en los sistemas de recolección (*upstream*), transporte principal (*midstream*) y redes de distribución (*downstream*) y proveen además un método más económico para el transporte del gas natural a grandes distancias. Sin embargo, en las últimas décadas se ha demostrado que nuevos yacimientos ubicados a grandes distancias de los mercados de consumo y con grandes reservas de gas natural (denominados mayormente, “*stranded gas*”), han podido ser transportados con éxito a los mercados de consumo gracias al GNL (Mokhatab, Mak, Valappil, & Wood, 2014).

Tabla 2. Datos de reservas de gas natural 2003-2016. Reservas totales 3P (Probadas + Probables + Posibles).

| | Año | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|--|
| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | |
| Probadas (TCF) | 8.7 | 11.5 | 11.9 | 11.8 | 11.8 | 12.2 | 12.0 | 12.5 | 12.7 | 15.4 | 15.0 | 14.6 | 14.1 | 16.1 | |
| Probables (TCF) | 7.3 | 5.2 | 6.8 | 6.8 | 6.8 | 6.3 | 14.0 | 10.6 | 8.8 | 7.7 | 6.5 | 6.4 | 3.8 | 1.9 | |
| Posibles (TCF) | 12.6 | 13.2 | 11.6 | 11.6 | 11.2 | 12.6 | 19.3 | 20.6 | 7.5 | 5.1 | 5.4 | 4.8 | 2.0 | 1.7 | |
| Reservas Totales (3P) | 28.6 | 29.9 | 30.3 | 30.2 | 29.8 | 31.1 | 45.3 | 43.7 | 29 | 28.2 | 26.92 | 25.9 | 19.88 | 19.6 | |

Fuente: MEM/DGH.

Nota: Adaptado de http://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=5&idTitular=1479&idMenu=sub1477&idCateg=563

Según Osinergmin, el Sistema de Transporte por Ductos de Gas Natural en el Perú (en adelante, STD-GN), corresponde a los ductos principales a través de tuberías (gasoductos) que transportan el gas natural seco desde las plantas de procesamiento hacia otros centros de transformación o de distribución para usos finales. Al 2018, el STD-GN está conformado por 1,506 Km de longitud de ductos en operación con una máxima capacidad total de transporte de 2,300 MMscfd (Osinergmin; PERU LNG, 2018; TgP, 2018). En los últimos 15 años (Figura 4), el TACC de la expansión, la longitud y capacidad total de transporte del STD-GN ha sido de 3.4% y 13.2%, respectivamente. Asimismo, desde el año 2010 con la entrada en operación de la Planta de licuefacción Melchorita, la capacidad total de transporte del SGD-GN pasó de 1,049 km a 1,457 km y desde entonces no ha

habido otra expansión significativa aparte de loops y derivaciones. Desde el 2004 que arrancó la masificación del gas natural sólo tres regiones (Lima, Callao e Ica) de las 25 regiones que existen en el Perú empezaron con el abastecimiento de gas natural distribuido a través de redes de tuberías. Desde el 2017, se empezó con la masificación en otras regiones (Lambayeque, Cajamarca, La Libertad, Ancash, Arequipa, Moquegua y Tacna) a través de camiones cisternas de GNL.

A nivel regional entre los países miembros de la Comunidad Andina (CAN), el avance de la masificación del gas natural del Perú está por debajo del nivel alcanzado por países como Colombia y Bolivia, donde las inversiones en infraestructura para el transporte y distribución de gas han sido mayores, así como el porcentaje

de la población total del país que actualmente goza de los beneficios del gas natural (ver tabla 3). Para la comparativa en esta tabla se propone un indicador al que se ha denominado “Índice de Avance de la Masificación del Gas Natural” (R_{MGN}). De acuerdo con la literatura referida al desarrollo y aprovechamiento del gas natural, las inversiones en infraestructura para el transporte y distribución de gas natural son esenciales para el suministro de este recurso energético a los consumidores finales fomentando así su demanda (Economides & Wood, 2009; Zhongyuan, Luo, & Liu, 2018). Por ello, se plantea que una mayor inversión en infraestructura para el transporte y distribución incrementará la masificación del gas natural. Asimismo, un mayor número de conexiones de nuevos usuarios al servicio de gas natural domiciliario por redes permitirá que un mayor porcentaje de la población del país cuente con gas natural, impactando positivamente en la masificación del gas natural. Según Zhongyuan et al. (2018), la expansión de la infraestructura para el suministro de gas natural a los usuarios finales acelera el aprovechamiento del gas natural, afirmando además que cuanto menos años tome brindar acceso a la mayor parte de la población al gas natural, mayor será el avance de

la masificación. Por lo tanto, este indicador (R_{MGN}) lo expresamos mediante la siguiente ecuación:

$$(Ecuación 1) \quad R_{MGN} = \frac{I_{T\&D} * \%Pob_{MGN}}{t_{MGN}}$$

Donde:

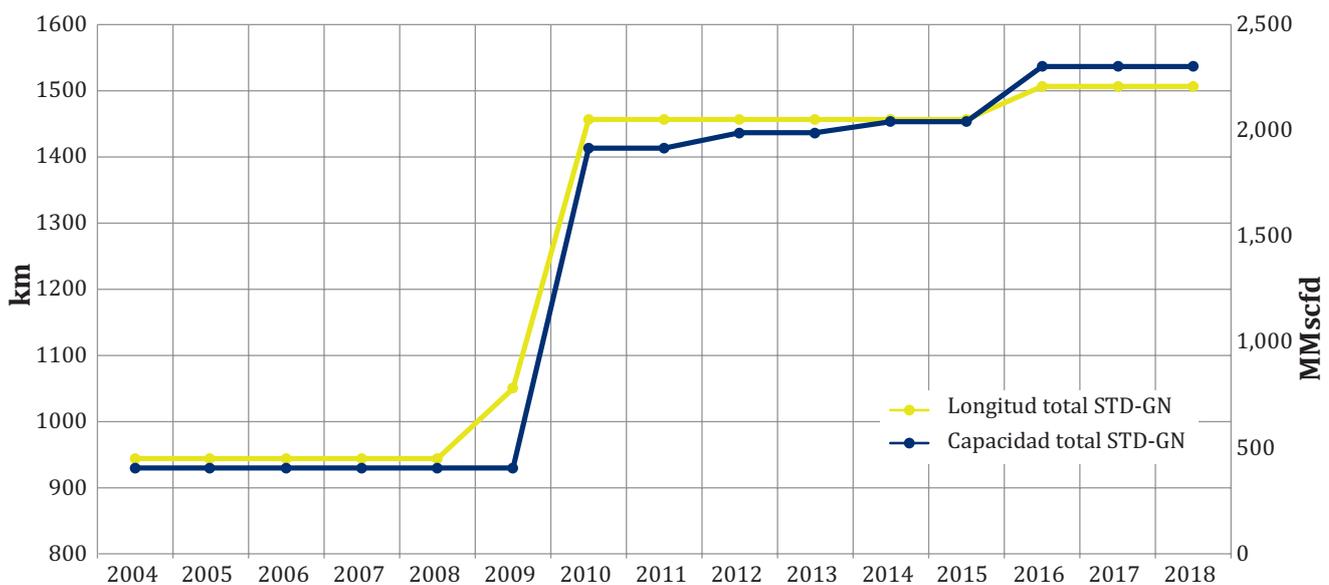
R_{MGN} : Indicador-país de avance de la masificación del gas natural.

$I_{T\&D}$: Inversión total acumulada en infraestructura para el transporte y distribución de gas natural por redes de gasoductos (por tuberías) y GNL (en MMUS\$).

$\%Pob_{MGN}$: Porcentaje del total de la población del país que cuenta con suministro de gas natural. Esta estimación se basa en el índice de personas por vivienda por el número de usuarios (viviendas o comercios) que cuentan con el servicio dividido entre la población total del país.

t_{MGN} : Período acumulado de ejecución desde el año de inicio de la masificación del gas natural (en años).

Figura 4. Evolución de la expansión del STD-GN (ductos principales) en el Perú del período 2004-2018.



Fuente: Adaptado de Osinergmin; PERU LNG, 2018); TgP, 2018; TgP, 2011; TgP, 2006; TgP, 2011; TgP, 2013; TgP, 2015

Tabla 3. Comparativa de avances de la masificación del gas natural en Perú, Colombia y Bolivia.

| País | Masificación del Gas Natural | | Inversiones en gasoductos en millones US\$ | | Nº Conexiones domiciliarias | Población beneficiada | Porcentaje del total población (B) | Ratio avance de masificación GN por país |
|----------|------------------------------|-----------------------|--|--------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------------|--|
| | Período | Años de Ejecución (C) | Tuberías (A1) | Virtuales GNL (A2) | Acumulado en millones | Acumulado en millones | % | $\frac{(A1+A2) \times B}{C}$ |
| Colombia | 1986-2017 | 32 | 4.499 | 100 | 9.0 | 33.4 | 67.9% | 98 |
| Perú | 2004-2018 | 15 | 1.768 | 122 | 0.9 | 3.7 | 11.7% | 15 |
| Bolivia | 1994-2017 | 21 | 2.557 | 208.14 | 0.8 | 3.5 | 31.9% | 42 |

Fuente: Adaptado de Osinergmin, DGH/MINEM, YPFB, Ministerio de Hidrocarburos de Bolivia, Promigas.

Nota: Se considera población total (en millones de habitantes) para Perú (32.2 al año 2018), Colombia (49.2 al año 2017) y Bolivia (11.05 al año 2017).

Los resultados obtenidos señalan que el avance de la masificación del gas natural en el Perú a nivel residencial y comercial es aún muy bajo (15) comparado con Colombia (98) y Bolivia (42). Al 2018, en el Perú se alcanzaron 824 mil conexiones domiciliarias, de los cuales el 92% se concentran en Lima y Callao, 7% en la ciudad de Ica donde opera Contugas, 0.62% en varias ciudades del norte donde opera QUAVII (Gases del Pacífico) y 0.51% en las ciudades de Arequipa, Moquegua, Illo y Tacna donde opera Naturgy (Gas Natural Fenosa Perú), lo cual representa que aproximadamente el 11.7% de la población del país cuenta con gas natural. Por otro lado, este grado de avance de la masificación del gas natural en el Perú es 6.5 veces menos respecto a Colombia (98), lo que indica que este país desde la puesta en marcha de su masificación del gas natural en 1986 (y con mayor impulso a principio de los noventa), ha tenido una mayor velocidad en cuanto al desarrollo del aprovechamiento de este recurso, logrando al 2018 que casi el 70% de su población cuenta con el servicio de gas natural. Por otro lado, Bolivia que empezó la masificación del gas natural en 1994 obtiene un índice de 42, lo que representa un avance que casi triplica la masificación alcanzado por el Perú, logrando que al 2018 casi un 32% de su población cuenta con suministro de gas natural.

PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN DE GAS NATURAL

Gas Natural como Energía Primaria

En el Perú el gas natural extraído del reservorio es una mezcla de hidrocarburos en estado gaseoso (mayormente asociado) y es producido por las empresas contratistas que operan en las zonas de la selva (sur y central), zócalo continental y noroeste del país; bajo estas condiciones es considerado como energía primaria⁶. Una vez fiscalizado este volumen es destinado a los centros de transformación (plantas de procesamiento de gas natural) para su posterior transporte, distribución y uso final en los sectores de generación eléctrica, transporte, industria, residencial y comercial.

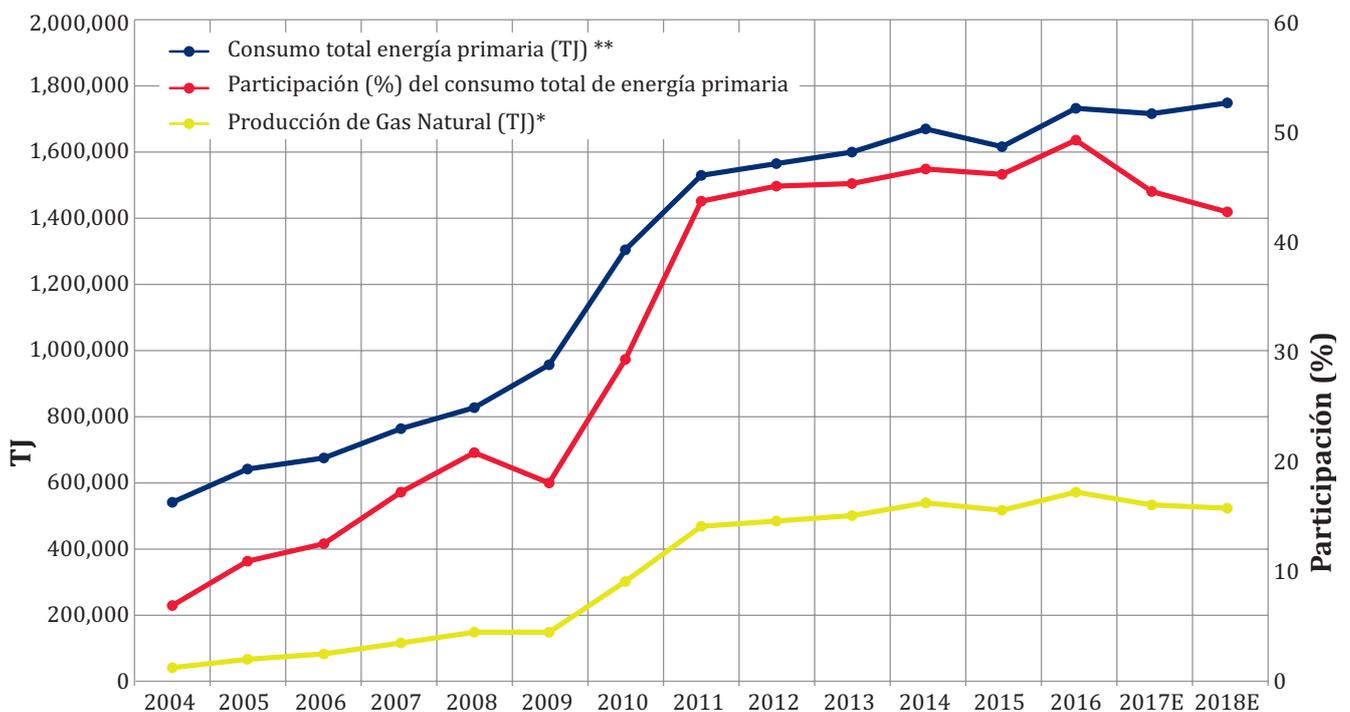
De acuerdo con cifras de Perupetro, la producción del gas natural como energía primaria, alcanzó 1,231 MMscfd (equivalente aproximadamente a 521,739 TJ). Asimismo, según estadísticas

⁶ Entiéndase por energía primaria, a los diferentes recursos energéticos obtenidos de la naturaleza, en forma directa (e.g. energía hidráulica o solar, la leña y otros combustibles vegetales) o después de un proceso de extracción (petróleo, gas natural, carbón mineral, etc.) (Balance Nacional de Energía 2016, MINEM)

oficiales del MINEM/DGEE, al 2016 el consumo de energía primaria destinado a los centros de transformación, alcanzó 1'160,742 TJ y se estima que al 2018 este consumo fue de aproximadamente 1'225,453 TJ, lo cual representa una participación del gas natural del 43% del consumo total de energía primaria. En la Figura 5 se puede apreciar la evolución de la participación del gas natural producido en el consumo total de energía primaria. Es de resaltar que desde el 2011 hasta el 2018, esta participación se ha mantenido en un promedio de 45%. Esto se debe a que la producción de gas

natural (la que en su mayor parte se destina a las plantas de procesamiento para su transformación y transporte a los consumidores finales), se ha mantenido casi constante en ese período, principalmente porque el mercado interno en el país por sí solo no ha sido capaz de apalancar una mayor demanda, no por un asunto de saturación del mercado de gas natural pues la brecha es aún grande, sino por aspectos de competitividad del gas natural (precios, regulación del mercado, competencia con sustitutos, subsidios) como se explicarán más adelante.

Figura 5. Participación de la producción de gas natural, en el consumo total de energía primaria para el período 2000-2018.



Fuente: MINEM/DGEE.

Notas: (*) Producción de gas natural, obtenido de restarle a la producción total de gas natural, los volúmenes de reinyección, gas de condensado de reposición e instrumentos, gas combustible empleado como autoconsumo, gas quemado y gas venteado. Este es el volumen fiscalizado de gas natural, destinado a los centros de transformación (plantas de acondicionamiento, separación, fraccionamiento, licuefacción, compresión, regulación y medición) para su posterior distribución y uso final (domiciliario, industrial, transporte y generación eléctrica). Tomados de las Estadísticas Anuales de Hidrocarburos 2000-2018 (Perupetro). **(**)** Consumo total de energía primaria destinada sólo a los centros de transformación (refinerías, plantas de procesamiento de gas, coquerías y altos hornos). Este consumo de energía primaria, incluye el gas natural asociado, petróleo crudo, hidroenergía, energía solar, energía eólica, bagazo y carbón mineral. Asimismo, este consumo excluye la leña, bosta y yareta, considerados principalmente como energías no comerciales destinadas al consumo directo, es decir, sin pasar por un centro de transformación y, que representan alrededor del 10% de la producción total de energía primaria. Tomados de los Balances nacionales de energía 2000 al 2016 (MINEM/DGEE).



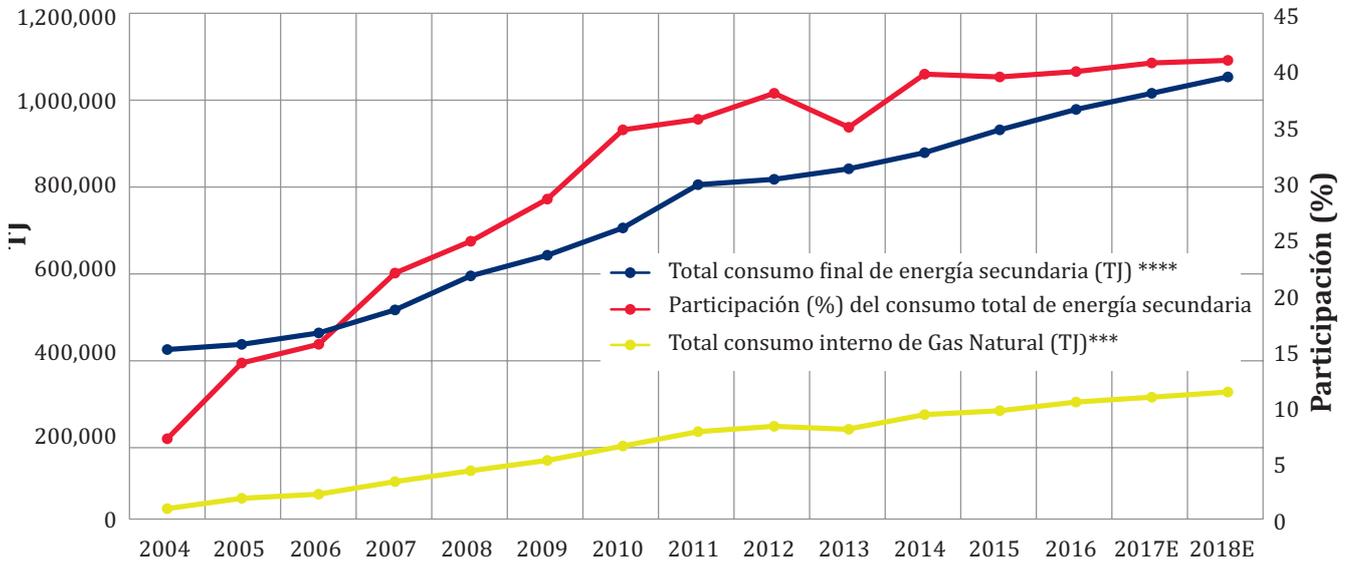
Gas Natural como Energía Secundaria

La energía secundaria corresponde a los diferentes productos energéticos provenientes de los centros de transformación y cuyo destino para su uso final son los diferentes puntos de consumos u otros centros de transformación⁷ (ejemplo, centrales termoeléctricas y plantas de procesamientos de gas). En este sentido, el gas natural como energía secundaria es el gas natural seco y odorizado, obtenido desde las estaciones de regulación y medición, luego de pasar por las plantas de procesamiento para su acondicionamiento, separación y deshidratación. Posteriormente, el gas natural es distribuido a través de una red de tuberías hasta las industrias, comercios, estaciones de servicio y hogares, es decir a los usuarios finales, por lo que se da el nombre de “gas distribuido” (MINEM, 2016; Osinergmin). El consumo de gas natural distri-

⁷ Según el Balance Nacional de Energía 2016 (MINEM), “se denomina energía secundaria a los diferentes productos energéticos que provienen de los distintos centros de transformación y cuyo destino son los diversos sectores del consumo y/u otros centros de transformación” (p. 134)

buido para el mercado interno (sin considerar la exportación, es decir, sólo los sectores residencial, comercial, transporte, industrial y generación eléctrica), tuvo un crecimiento sostenido pasando de tener en el 2004 una participación del 7.3% del consumo final de energía secundaria a una participación del 40% en el 2016 y un estimado cercano al 41% en los años 2017 y 2018 (Figura 6). Si bien entre los años 2004 y 2011, el consumo interno de gas natural y su porcentaje de participación en el consumo final total de energía secundaria tuvieron un fuerte crecimiento, llegando a alcanzar una tasa anual de crecimiento acumulado (en adelante, TACC) de 33.7%, desde el año 2012 al 2018, el porcentaje de participación del gas natural fue significativamente menor (TACC de 5.3%) a pesar del crecimiento del consumo de gas distribuido. Esto explica, que los combustibles líquidos sustitutos del gas natural (como el diésel DB5, gasolinas y GLP) en los sectores residencial, comercial, transporte e industrial, no disminuyeron en su consumo final, por el contrario, estos combustibles líquidos siguieron experimentando un crecimiento en su consumo con una TACC del 5.1%, 6.1% y 9.6% respectivamente (ver Figura 7).

Figura 6. Participación (%) del gas natural distribuido en el consumo total de energía secundaria para el período 2004-2018.



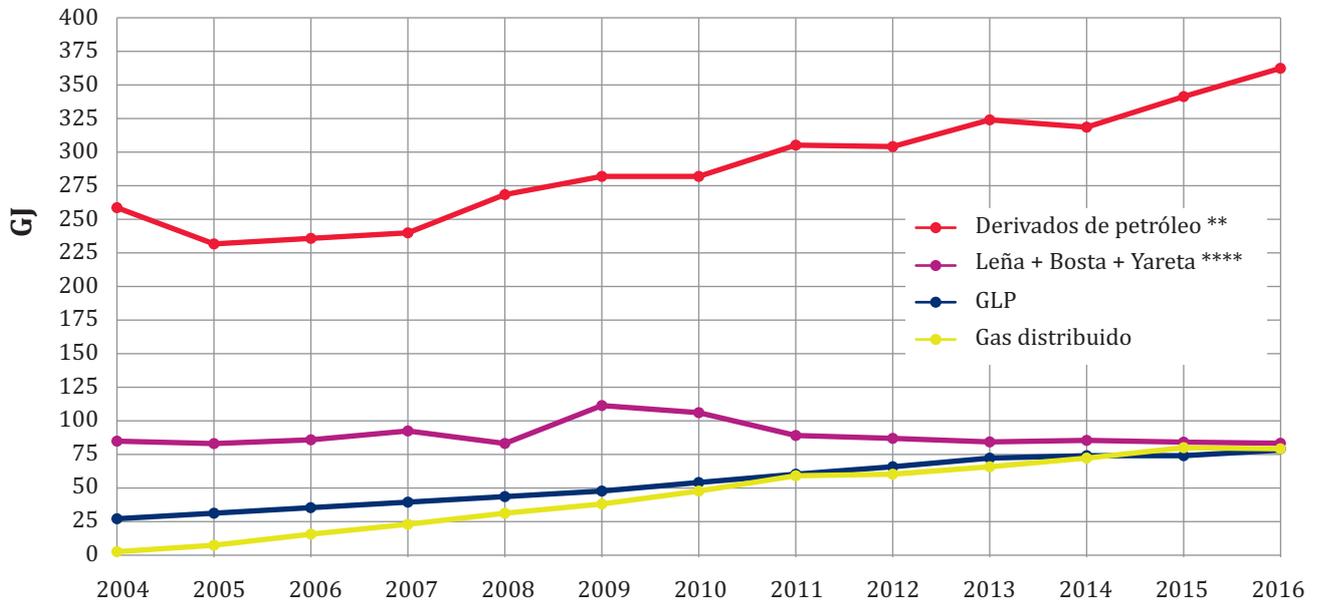
Fuente: Adaptado de Balances Nacionales de Energía, MINEM/DGEE.

Nota: (***) Consumo interno (en TJ) de gas natural (sin considerar exportación), obtenido de la sumatoria de los consumos finales de gas natural que es distribuido a los sectores residencial, comercial, transporte y generación eléctrica. Tomados de los Balances Nacionales de Energía revisados 2004-2016 (MINEM/DGEE). (****) Corresponde a la oferta de energía disponible al usuario final, es decir, al resultado de descontar a la producción de energía secundaria, el consumo en operaciones propias y las pérdidas de transporte, distribución y almacenamiento. Tomados de los Balances Nacionales de Energía revisados 2004-2016 (MINEM/DGEE).

Con respecto a los sustitutos del gas natural provenientes de la biomasa, como la leña, bosta y yareta, en este mismo período (2004-2018) su consumo casi se ha mantenido, lográndose apenas una reducción del 0.2% en su consumo final, lo cual nos da un indicativo que la penetración del gas natural distribuido no ha tenido aún un impacto significativo en la sustitución de otras fuentes energéticas como el diésel DB5, GLP, gasolinas y la biomasa en los sectores residencial, comercial, transporte e industrial. Por el contrario, en el sector eléctrico la penetración del consumo del gas natural como gas combustible para la generación eléctrica se ha dado de manera intensiva.

Se concluye que el Perú dispone de suficiente reserva de gas natural para acompañar una transición energética por varias décadas.

Figura 7. Comparación del consumo final de gas natural distribuido respecto a otras fuentes energéticas sustitutos, como el GLP, derivados del petróleo (DB5, gasolinas/gasoholes, turbo y petróleo residual), leña, bosta y yareta, para el período 2004-2016, en los sectores residencial y comercial, transporte e industrial.



Fuente: Adaptado de Balances Nacionales de Energía, MINEM/DGEE.

Nota: ()** Incluye gasoholes, gasolinas de motor, Jet-fuel, diésel DB5 y petróleo residual. Hasta el 2010 se registraron consumos finales de kerosene en el sector residencial. Tomados de los Balances Nacionales de Energía revisados 2004-2016 (MINEM/DGEE).

(**)** Considerada como consumo final de energía primaria, dado que la biomasa (leña, bosta y yareta) es usada directamente para la cocción y calefacción en los sectores residencial y comercial. Tomados de los Balances Nacionales de Energía revisados 2004-2016 (MINEM/DGEE).

Utilización del Gas Natural por Sectores

El volumen total de gas natural consumido en el Perú desde el 2004 al 2018 en los sectores de generación eléctrica, transporte, industrial, residencial y comercial, incluyendo además la exportación asciende aproximadamente a 4.43 TCF. Este volumen de gas natural consumido en los últimos 15 años, es equivalente al 27.5% de las reservas probadas totales de gas natural del país (Tabla 2). Por lo tanto, se puede afirmar de manera más objetiva que el Perú dispone del gas natural para varias décadas, lo cual dependerá principalmente de la demanda y

cómo esta evolucione, así como de la reposición e incremento de las reservas probadas. Al 2016, el gas natural distribuido para el mercado interno representó sólo el 1.47% del consumo final de energía en hogares y comercios, 17.3% en el consumo industrial, 9.7% en transporte y 71.5% en generación eléctrica. La exportación representó el 43.6% del total del consumo final de gas natural en nuestro país (Tabla 4). Se estima, además, que estas cifras no han tenido variación significativa en el 2017 y 2018.

Tabla 4. Estructura del consumo de gas natural (como energía secundaria) en el Perú para el año 2016.

| Sector | Consumo Gas Natural (MMSCFD) | Consumo Gas Natural (TJ) | Ratio del consumo total (%) |
|---------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Mercado interno | 731 | 279,239 | 53.7% |
| Residencial | 8.4 | 3.197 | 1.14% |
| Comercial | 2.4 | 902 | 0.32% |
| Transporte | 71.2 | 27.164 | 9.7% |
| Industrial | 126.7 | 48.369 | 17.3% |
| Generación eléctrica (**) | 522.9 | 199.607 | 71.5% |
| Exportación (*) | 585.0 | 241.012 | 46.3% |
| Total | 1,316.7 | 520,251 | 100% |

Fuente: Adaptado de Balance Nacional de Energía 2016 (versión revisada) (MINEM/DGEE).

Nota: (*) PERUPETRO. Embarques de Gas Natural para Fines de Exportación (2016). Recuperado y adaptado de <http://www.perupetro.com.pe/exporta/relacion.jsp>

()** Dado el fuerte impacto que ha tenido el gas natural en la generación eléctrica en el Perú como fuente de combustible, es que se le considera como un sector independiente para resaltar la real penetración del gas en las demás industrias.

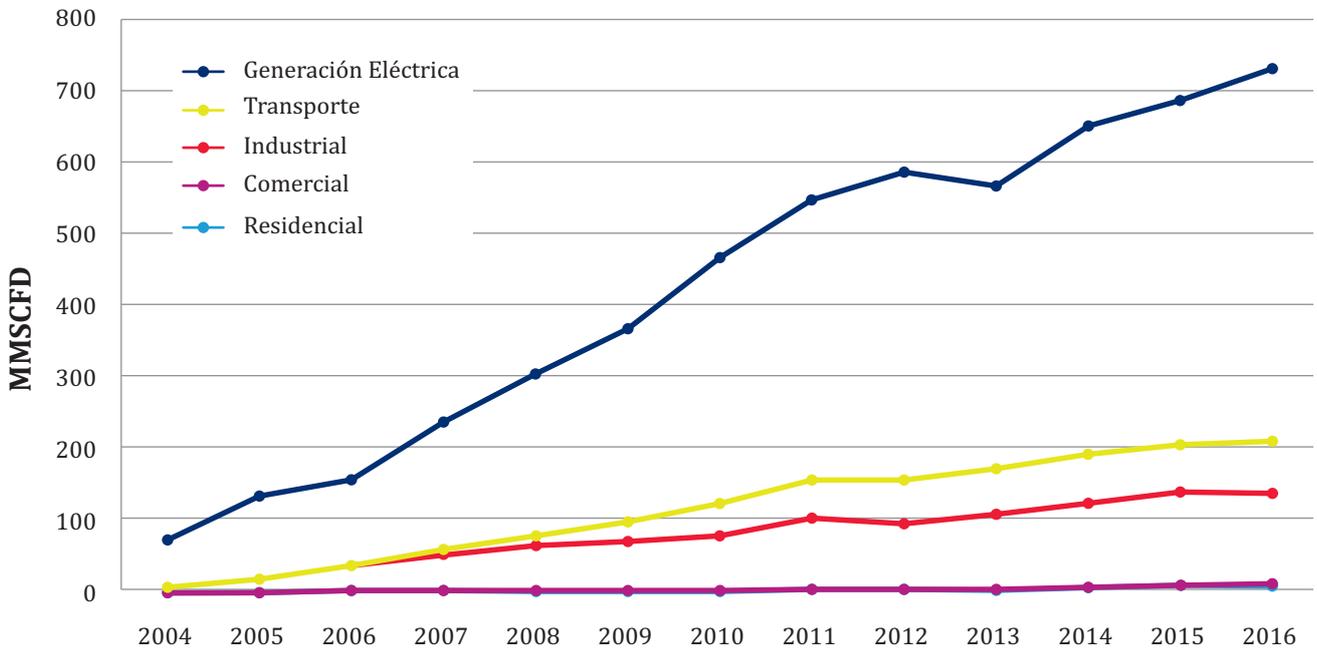
Específicamente en el mercado interno, el consumo final de gas natural entre los años 2004 y 2018 experimentó una mayor participación en el mercado de generación eléctrica como gas combustible para la centrales termoeléctricas en sustitución del carbón, diésel y petróleos residuales, con un promedio del 75.3% en dicho período, seguidos del sector industrial con un 17.5%, sector transporte con 6.7% y un casi nulo 0.33% y 0.24% para los sectores residencial y comercial, respectivamente (Figura 8). El consumo de gas natural del mercado eléctrico, el cual corresponde al SEIN⁸ y a los sistemas

aislados⁹, ha tenido una significativa expansión con una TACC de 18.7% entre el período 2004-2018. Esto demuestra que la masificación del gas natural en el Perú se ha dado principalmente en el sector eléctrico, más no así en los demás sectores de consumo. Esto se debe al impulso que se le brindó al gas natural en cuanto a precio como incentivo para su uso en dicho sector, lo cual le otorgó ventajas competitivas respecto a otras fuentes. Sin embargo, es un desafío para los funcionarios de gobiernos y actores claves de la industria energética, encontrar un óptimo equilibrio, entre los proyectos de generación eléctrica con gas natural y energías renovables (Littell, 2017).

8 SEIN, es el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional del Perú, que abastece de electricidad a la mayor parte del país. Para este estudio, se consideran sólo las centrales termoeléctricas a gas natural.

9 Corresponde a los sistemas eléctricos de potencia que operan de forma aislada del SEIN y son demandantes de gas natural como combustible para la autogeneración eléctrica.

Figura 8. Evolución del consumo de gas natural distribuido en el mercado interno (sectores residencial, comercial, industrial y generación eléctrica), para el período 2004-2016.



Fuente: Adaptado de los Balances Nacionales de Energía 2004-2016 (MINEM/DGEE).

IMPACTO DEL GAS NATURAL EN LAS EMISIONES DE CO₂

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible exige la implementación de un plan de acción que promueva el desarrollo y aprovechamiento de energías más limpias en sustitución de las energías fósiles. Ante este desafío el gas natural es considerado un combustible limpio y amigable con el medio ambiente y que además proporciona beneficios ambientales significativos en comparación con otros combustibles fósiles (Mokhatab et al., 2006). Asimismo, Dong y Hochman (2017) afirman que un aumento en el consumo de gas natural y de energías renovables reducen las emisiones de CO₂ y sus resultados empíricos demuestran que un aumento del 1% en el consumo de gas natural y energías renovables para los países BRICS¹⁰ reducirían las emisiones de CO₂ en 0.16% y 0,26%, respectivamente. Países como China se han comprometido hacia

el 2030 a reformular su matriz energética centrándose en las energías renovables y el gas natural (Li & Lu, 2019). Asimismo, estos autores plantean que la optimización de una manera científica de la estructura de utilización de los recursos energéticos es un medio importante para los países a fin de incrementar el consumo de gas natural y alcanzar los ODS al 2030.

En el Perú la utilización del gas natural ha tenido un impacto significativo en la mitigación de las emisiones de CO₂ en el sector eléctrico. Entre el 2005 y 2017, las emisiones de CO₂ producidas por las centrales termoeléctricas a gas natural (C.T-GN) han tenido un incremento sostenido debido a una mayor generación eléctrica a partir de este recurso (Tabla 5). El aprovechamiento del gas natural en la generación eléctrica debido al proyecto Camisea permitió una mitigación de las emisiones en 40 millones de tCO₂ (Osinergmin,

10 BRICS (Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica).

2014) entre el 2004 y 2013. Al 2017, según estimaciones propias la mitigación de las emisiones de CO₂ acumuladas generadas por el sector eléctrico ascendería a 110 millones de tCO₂ aproximadamente.

Esta misma intensidad en el sector eléctrico, en cuanto a participación del gas natural y los impactos en la mitigación de emisiones, no se ve reflejado en otros sectores como el transporte e industria, en donde los consumos finales de energía aun predominan los hidrocarburos líquidos. Entre el 2005 y 2012, las emisiones acumuladas de CO₂ en el transporte terrestre fueron de 47.3 millones de tCO₂, de los cuales sólo el 3.82% (es decir, 1.81 millones de tCO₂) fueron generadas por unidades de transporte a gas natural y el 96.2% por el consumo de

combustibles líquidos (Tabla 5). Entre el 2004 y 2013 sólo se mitigaron 4 millones de tCO₂ en este sector (Osinergmin, 2014). En el sector industrial las emisiones acumuladas entre el 2005 y 2012 fueron de 32.2 millones de tCO₂, de los cuales el 14.3% (4.6 millones de tCO₂) corresponden a las emisiones generadas por las industrias consumidoras de gas natural. Finalmente, se observa que la brecha de oportunidades en los sectores transporte e industria es muy grande para la mitigación de emisiones de CO₂. Esto conlleva a indicar que, mientras no se lleven adelante acciones para aumentar el consumo de gas natural en estos dos sectores altamente demandantes de hidrocarburos líquidos, la contribución del gas natural a los ODS no será significativo, por tanto, su aprovechamiento tampoco lo será.

Tabla 5. Estructura de las emisiones de CO₂ en el Sector Energía del Perú.

| Sub-Sectores | Emisiones Dióxido de Carbono (Millones tCO ₂) | | | | | | |
|------------------------------|---|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | 2000 | 2005 | 2010 | 2012 | 2014/E | 2016/E | 2017/E |
| Generación Eléctrica | 2.02 | 2.82 | 7.98 | 8.65 | 9,20 | 10.44 | 10.64 |
| C.T-GN | 0.49 | 2.42 | 5.96 | 7.65 | 8.61 | 9.79 | 8.12 |
| Industrial | 8.59 | 9.27 | 11.37 | 11.53 | | | |
| Industrias a GN | 0.09 | 0.25 | 1.90 | 2.46 | | | |
| Transporte | 9.66 | 11.68 | 16.81 | 18.59 | | | |
| Terrestre | 9.02 | 9.67 | 13.65 | 14.94 | | | |
| Terrestre a GN | 0 | 0 | 0.71 | 1.10 | | | |
| Aviación civil | 0.43 | 0.31 | 0.68 | 0.73 | | | |
| Marítimo y fluvial | 0.17 | 1.66 | 1.74 | 1.80 | | | |
| Ferroviario y otros | 0.036 | 0.035 | 0.043 | 0.034 | | | |
| Público | 0.73 | 0.62 | 0.71 | 0.82 | | | |
| Residencial/Comercial | 2.83 | 1.64 | 2.06 | 2.36 | | | |
| Total | 23.8 | 26.0 | 38.9 | 41.9 | | | |

Fuente: Adaptado de estadísticas del INFOCARBONO 2000, 2005, 2010 y 2012 (MINAM).

Notas:

- Subsector Industrial, incluye: Refinación de petróleo, Fabricación de combustibles sólidos y otras industrias energéticas; Minería, Otras industrias de manufactura y construcción, Agricultura y Pesca.
- Subsector Transporte, incluye: Aviación civil, Aviación Nacional, Transporte terrestre, Ferroviario, Navegación marítima y fluvial, Otro tipo de transporte.
- Las emisiones en tCO₂ para los años 2014, 2016 y 2017 son estimaciones propias del autor a partir cifras estadísticas de los Informes Anuales de Electricidad (MINEM/DGE).
- Sector Público, se refiere a las instituciones públicas.



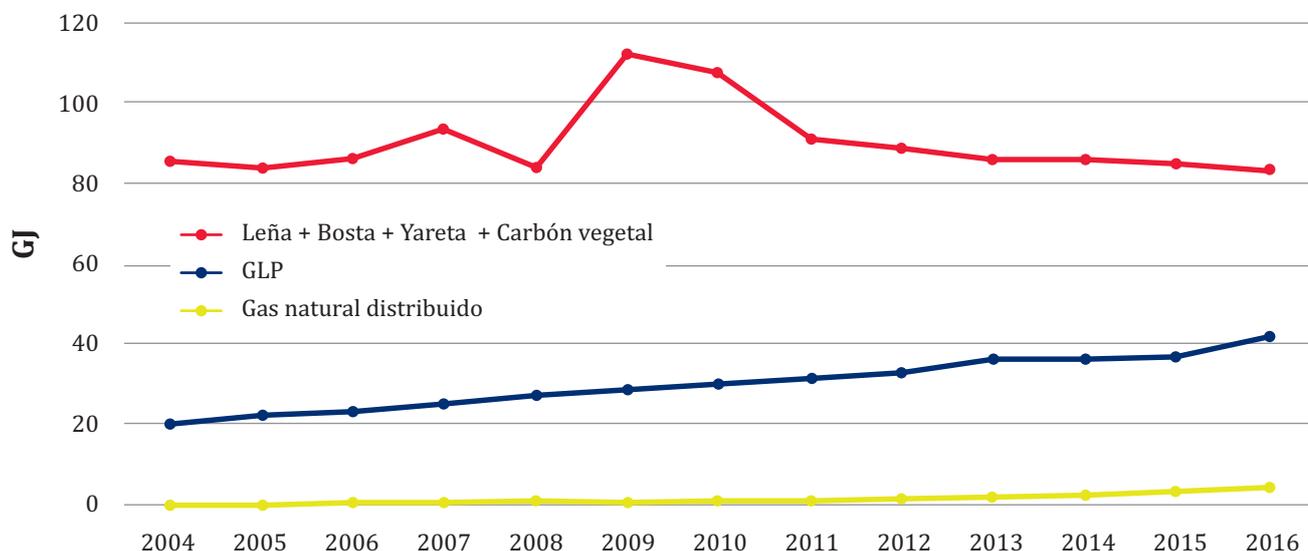
COMPETITIVIDAD DEL GAS NATURAL

Los esfuerzos a nivel de gobierno para impulsar la masificación del gas natural inspirados en la Política Energética Nacional del Perú al 2040 (D.S N°064-210-MEM) a través de mecanismos de subsidios (FISE¹¹) y concesiones de distribución por redes de gas y ductos virtuales, no han brindado aún los resultados esperados en los sectores transporte, residencial y comercial. En el sector residencial y comercial, el gas natural distribuido puede emplearse para la cocción de alimentos, el calentamiento de agua, secado y calefacción de ambientes, sin embargo, su consumo final en estos dos sectores no ha evolucionado como se esperaba (Figura 9). Durante el período 2004-2016, la participación del gas natural distribuido en el consumo final de energía para el sector residencial y comercial ha sido muy baja, alcanzando un promedio de 1% y un pico en el 2016 de 3.2%. A juicio experto del autor, se estima que la participación en el 2018 no superó el 4%. En cuanto al GLP, en el mismo período este recurso energético ha mantenido un mayor crecimiento, alcanzado un TACC de

4.5% mientras que la biomasa (leña, bosta y yareta) tuvo un TACC negativo de 1.9% (debido al consumo del GLP en los sectores rurales). Esta ligera reducción del consumo de biomasa se da desde el año 2010, coincidiendo con la puesta en marcha del programa de distribución de cocinas y balones de GLP a nivel nacional por parte del gobierno principalmente en zonas rurales altoandinas y de mayor vulnerabilidad del país, lo cual intensificó aún más el consumo del GLP en este sector. Está claro que en nuestro país la biomasa está concentrado y arraigado en las zonas rurales mientras que el GLP y el gas natural distribuido lo serán para las zonas urbanas. Los factores determinantes que obstaculizan la aplicabilidad del gas natural y el GLP en las zonas rurales son las complejidades para el abastecimiento y distribución debido a la ubicación remota y de difícil acceso por vía terrestre de estas poblaciones rurales y los costos per cápita relativamente altos dado la baja densidad poblacional en dichas zonas. Estos factores encarecen el costo del gas natural y del GLP resultando menos atractivos para estas poblaciones de bajos recursos económico, optando de esta manera por la biomasa. Por lo tanto, se puede afirmar que, desde el inicio del proceso de masificación en el año 2004, en el sector residencial y comercial no se ha logrado una sustitución efectiva de la biomasa y, por ende, los impactos ambientales en cuanto a la contaminación del aire y la salud humana continúan representando un grave problema en este importante sector de consumo.

11 Fondo de Inclusión Social Energético (FISE), cuyos recursos económicos provienen de los grandes consumidores de electricidad, del servicio de transporte de gas natural y de la producción e importación de combustibles. Creado en el 2012, con el fin de brindar a las poblaciones más vulnerables del país, de energía menos contaminante (<http://www.fise.gob.pe/gas-natural.html>).

Figura 9. Evolución del consumo (en GJ) del gas natural versus el GLP y biomasa en el sector residencial y comercial, para el período 2004-2016.



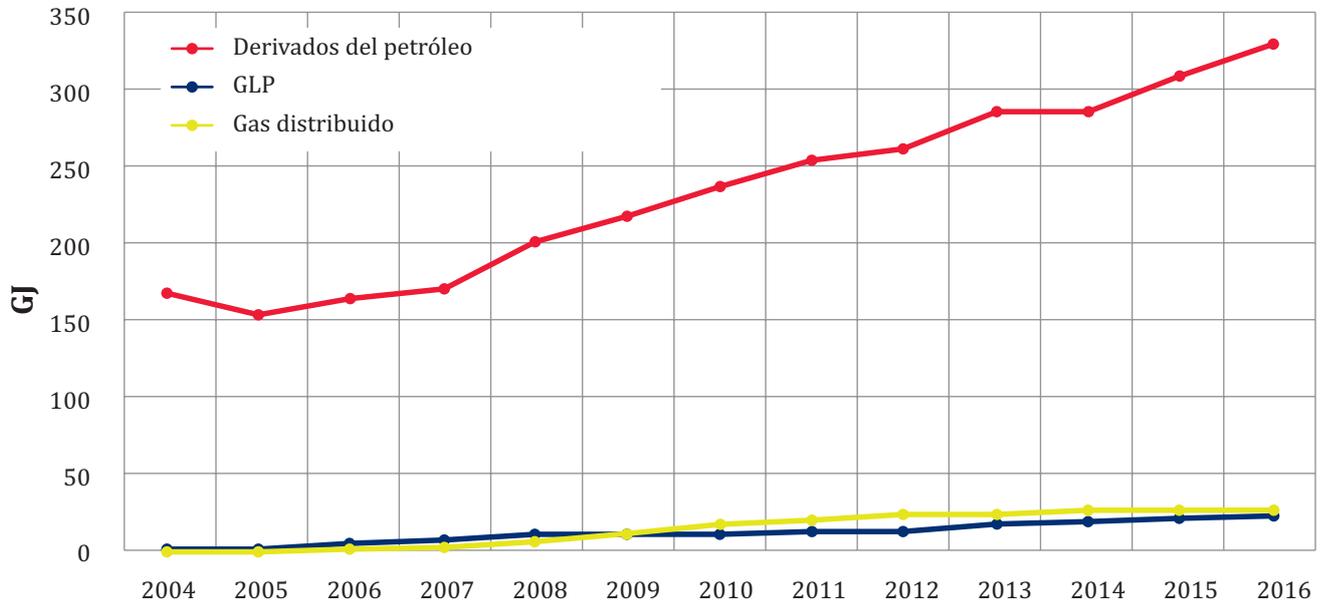
Fuente: Adaptado de los Balances Nacionales de Energía 2004-2016 (MINEM/DGEE).

En el sector transporte los combustibles predominantes siguen siendo los hidrocarburos líquidos derivados del petróleo (gasolinas, gasoholes, jet-fuel, diésel DB5 y petróleo residual). Estos combustibles no han mermado su consumo, muy por el contrario continúan incrementándose principalmente el diésel DB5 (Figura 10 y Figura 11). Esto indica que los combustibles líquidos derivados del petróleo continúan siendo más competitivos que el gas natural vehicular (GNV), lo cual desincentiva la masificación del gas natural en el sector transporte terrestre. Sólo al GLP le hace fuerte competencia el GNV (Figura 9). Sin embargo, Economides y Wood (2009) afirman que existe una oportunidad de rápido crecimiento para el gas natural en el sector transporte, ya sea directamente (vehículos a GNV) o mediante la electrificación del parque automotor (vehículos eléctricos). Fernández, Paredes, y Bernat, (2018) afirman también que el gas natural está ampliamente concebido como el “combustible de transición” hacia la descarbonización del transporte. En el caso peruano el GNV debería

convertirse en el combustible de transición para descarbonizar el sistema de transporte, dominado por los combustibles líquidos derivados del petróleo, como paso previo para la alcanzar la movilidad eléctrica (o “electromovilidad”).

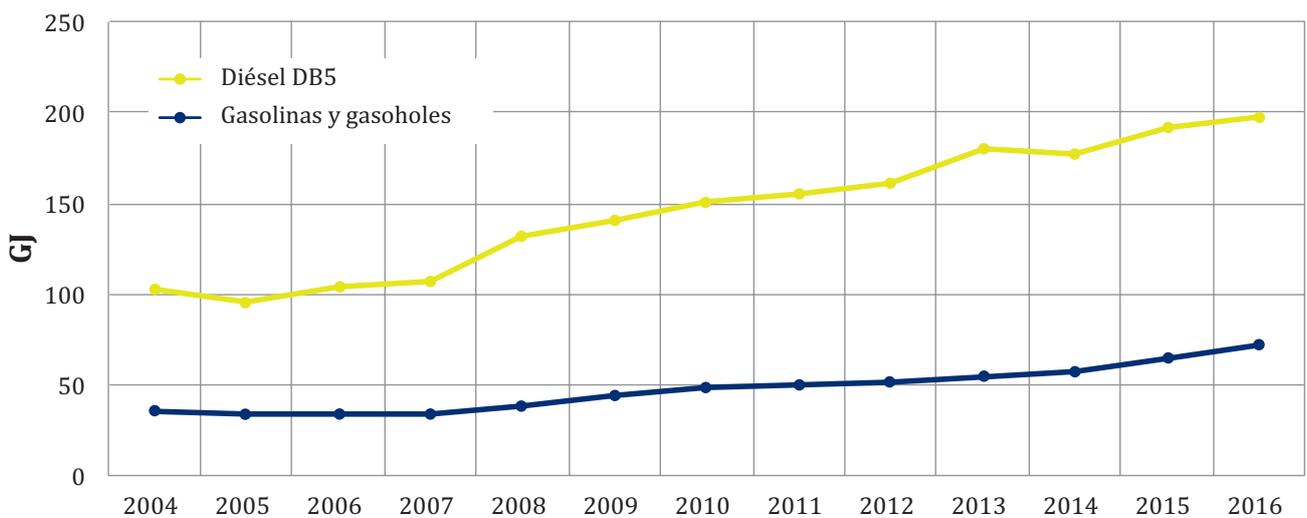
El gas natural no debe ser visto únicamente como una competencia para las energías renovables, sino como un recurso que se complementa perfectamente con ellas (energía eólica, solar, biogás y bio-GNL).

Figura 10. Consumo (en GJ) del gas natural versus el GLP y los combustibles líquidos derivados del petróleo (gasoholes, gasolinas de motor, jet-fuel, diésel DB5 y petróleo residual) en el sector transporte, para el período 2004-2016.



Fuente: Adaptado de los Balances Nacionales de Energía 2004-2016 (MINEM/DGEE).

Figura 11. Consumo de los combustibles líquidos derivados del petróleo (diésel DB5 gasoholes, gasolinas de motor) en el sector transporte, para el período 2004-2016.

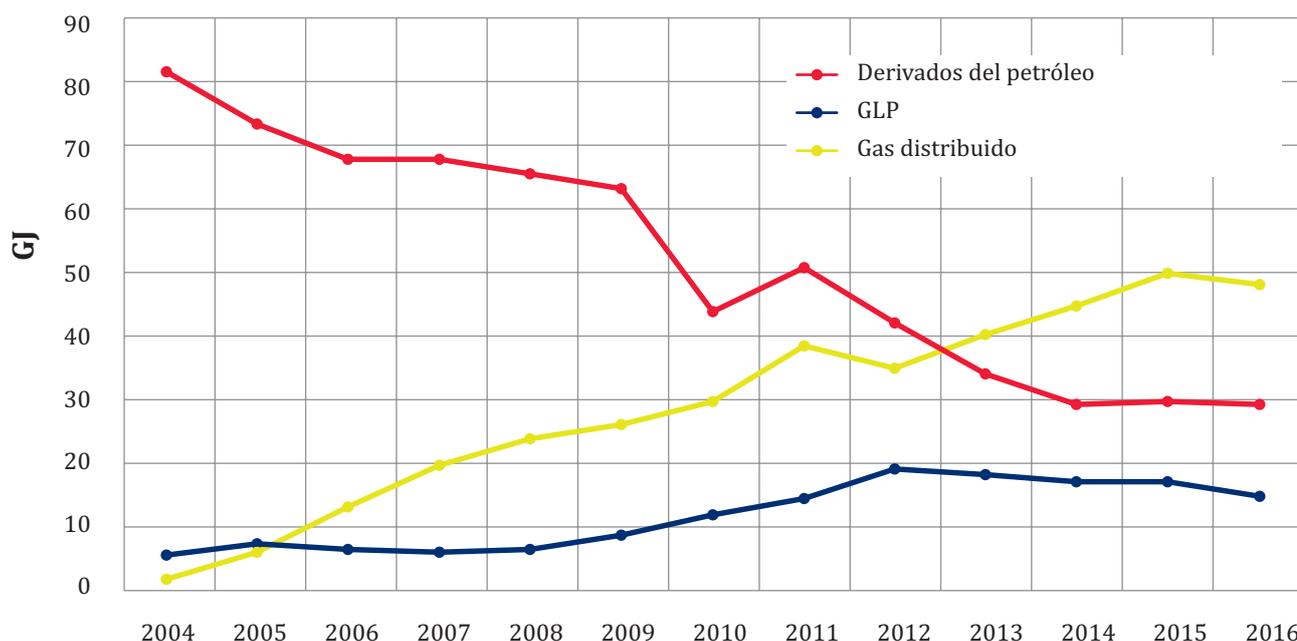


Fuente: Elaboración del autor a partir de cifras de Balances Nacionales de Energía - MINEM/DGEE.

El sector industrial es el sector que ha mostrado mayor penetración del gas natural en el período 2004 y 2018 (Figura 11). El efecto se ve reflejado en una significativa reducción del consumo de los derivados del petróleo producto de la sustitución del gas natural por combustibles líquidos. Con respecto al GLP, desde el año 2012, su consumo en este sector presenta una ligera tendencia negativa. Sin embargo, el impacto del gas natural en el sector industrial se ha dado sólo en Lima y Callao, producto de los beneficios otorgados por el gobierno a inicio de la masificación para impulsar su consumo. Este efecto positivo no se da fuera de Lima donde los precios del GLP y derivados de petróleo son menores respecto al precio

final del gas natural, por tanto, el gas natural no representa aún una ventaja competitiva para el mercado industrial en las regiones fuera de Lima. Coincidentemente desde inicios de la masificación, la infraestructura para el transporte y distribución de gas natural por tuberías ha estado enfocado en Lima (posteriormente Ica) donde los precios del gas natural son altamente competitivos respecto a los demás combustibles, mas no así en las demás regiones del país que no poseen redes de tuberías para el transporte y distribución de gas natural y donde el precio del gas natural no favorece la conversión de las industrias, persistiendo la demanda de GLP y otros combustibles derivados de petróleo.

Figura 12. Consumo (en GJ) del gas natural versus el GLP y los combustibles líquidos derivados del petróleo en el sector industrial, para el período 2004-2016.



Fuente: Elaboración del autor a partir de cifras de Balances Nacionales de Energía - MINEM/DGEE.

CONCLUSIONES

Dada la importancia del compromiso del Perú con los ODS y la Agenda 2030, se concluye que existe una brecha significativa del aprovechamiento del gas natural en los sectores transporte e industrial, los cuales son altamente demandantes de

combustibles líquidos derivados del petróleo, por lo tanto, incrementar la demanda de gas natural en dichos sectores contribuirá de manera importante a una mayor reducción de las emisiones de CO₂. Asimismo, en el sector eléctrico las emisiones de CO₂ producidas por las centrales termoeléctricas a gas natural tienen un crecimiento sostenido

desde el año 2005, lo cual no es favorable para la mitigación de emisiones de CO₂ y esto conlleva a la necesidad de incorporar al sistema eléctrico del país un mayor número de centrales a ciclo combinado, centrales hidráulicas y centrales RER¹² para satisfacer la demanda eléctrica futura.

La contribución del gas natural hacia el logro del ODS#7 no será significativo en el Perú, en tanto no se lleven acciones para intensificar su consumo en los sectores transporte e industrial.

La producción de gas natural alcanzó en el 2018 una participación del 43% del consumo total de la energía primaria en el país. Desde el año 2011 dicha participación se ha mantenido debido principalmente a la ralentización de la actividad exploratoria y extractiva. Asimismo, en los últimos 10 años las reservas probadas de gas natural no han tenido mayor incremento y la reserva total (3P) viene teniendo una tendencia negativa, sin embargo, esta situación aún no se manifiesta como una situación crítica debido a que en los últimos 15 años el consumo total de gas natural ha representado sólo el 27.5% de las reservas probadas, con lo cual se dispone de gas natural para acompañar la transición energética en nuestro país por varias décadas.

12 Centrales RER (Centrales con Recursos Energéticos Renovables: eólica, solar, biomasa, mini-hidráulicas, geotérmica). <http://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/tecnologias-rer/introduccion>

La masificación del gas natural en el Perú desde su inicio en el 2004, no ha logrado una considerable expansión en el mercado local (interno) a excepción del mercado eléctrico, donde el gas natural distribuido alcanzó en el 2016 un 71.5% de participación seguido del sector industrial con un 17.5%, sector transporte con un 6.7% y un casi nulo 0.33% y 0.24% para los sectores residencial y comercial, respectivamente. Basado en los valores del Índice de Avance de la Masificación del Gas Natural (R_{MGN}) propuesto y medido en la página 56 (Ecuación 1), concluimos que en los últimos 15 años el foco de la masificación en el sector residencial no ha logrado aún una significativa cobertura de conexiones domiciliarias, llegando a la fecha a casi 900 mil conexiones y beneficiando a 3.7 millones de peruanos que representan sólo el 11.7% de la población del país. Muy lejos de los casi 9 millones de conexiones domiciliarias alcanzados en Colombia en los últimos 32 años y que ha beneficiado a 33.4 millones de habitantes, es decir a casi el 70% de su población a nivel nacional. Futuras investigaciones podrían complementar la ecuación planteada para el cálculo del índice R_{MGN} , considerando otras variables como la regulación, entendiendo que una sobrerregulación (*Sobre_Reg*) desalienta y desacelera el avance de la masificación cuyos efectos negativos podrían ser contrarrestados por la innovación tecnológica (*I_Tecn*), es decir, nueva tecnología a gas natural con equipos más eficientes (por ejemplo, sistemas de micro cogeneración para la climatización de ambientes, calentamiento de agua y autogeneración eléctrica en edificios comerciales y viviendas multifamiliares), transporte de gas natural distribuido (por ejemplo, sistemas de transporte con GNL o Bio-GNL) en zonas urbanas donde aún no existen redes de distribución de gas y la innovación en los procesos (*I_Proc*), es decir, una agresiva penetración de la cultura de “eficiencia energética” y la “generación distribuida” que conlleve a un incremento progresivo de la demanda de gas natural en los sectores residencial y comercial, transporte e industria, para lo cual la nueva ecuación se podría plantear de la siguiente forma:

$$\text{(Ecuación 2) } R_{\text{MGN}} = \frac{I_{\text{T\&D}} * \% \text{Pob}_{\text{MGN}} * (I_{\text{Tecn}} + I_{\text{Proc}})}{t_{\text{MGN}} * (\text{Sobre_Reg})}$$

Según información del gobierno (MINEM), la meta para el 2021 (Año del Bicentenario de la República) es alcanzar 1.5 millones de hogares en el Perú con suministro de gas natural, lo que beneficiaría alrededor de 5.2 millones de peruanos. Sin embargo, para lograr esta meta se debe primero masificar el gas natural a nivel industrial, lo cual permitirá mejorar la competitividad de este recurso con respecto a otras fuentes con las cuales compite en el mercado interno como son: a) sector transporte (GLP y derivados del petróleo), b) sector residencial y comercial (GLP en zonas urbanas), c) sector industrial (GLP, diésel B5 y petróleo residual). Como consecuencia de todo ello, se generarán mayores beneficios económicos que permitirán cumplir con el objetivo social de brindar acceso a la población de menores recursos mediante subsidios cruzados. Debe tenerse muy en cuenta que en los centros poblados rurales¹³ en donde se concentra el 20.7% de la población del país (6'069,991 habitantes) (INEI, 2017), el gas natural no compite con la biomasa por las razones ya explicadas y en su lugar según (IEA, 2016), el GLP debería ser el recurso para la sustitución de la biomasa en hogares de estas zonas del país para la cocción de alimentos principalmente. Por lo tanto, en los sectores residencial, comercial y transporte, el gas natural distribuido debe enfocarse para su abastecimiento y uso final sólo en los centros poblados urbanos, el cual representa el 79.3% de la población del Perú (23'311,893 habitantes) (INEI, 2017). Respecto al sector eléctrico, si bien el gas natural ha desplazado de manera significativa al carbón, petróleo y diésel, ha habido en los últimos años un incremento sostenido de las emisiones de CO₂ debido a una mayor generación eléctrica con gas natural, lo cual no contribuye al cumplimiento país de los ODS de la Agenda 2030,

por lo tanto, la expansión futura de la potencia instalada de generación eléctrica debería mantener el siguiente orden de prelación: 1) hidráulica, 2) solar y eólica y 3) térmicas. Asimismo, se debería promocionar y fomentar mucho más a nivel industrial, los sistemas eléctricos de potencia "híbridos"¹⁴ con base en el gas natural y las energías renovables para la autogeneración eléctrica (generación distribuida en sistemas aislados).

Finalmente, se concluye que el Perú dispone de suficientes reservas probadas de gas natural para acompañar una transición energética por varias décadas, por tanto, no debería ser desaprovechado este valioso recurso energético. Asimismo, en un contexto mundial de alta penetración de las energías renovables, en el Perú el gas natural no debería ser visto como una competencia para las energías limpias sino como un recurso energético que se complementa casi perfectamente con ellas, principalmente con la energía eólica, solar, biogás y bio-GNL. Asimismo, los responsables de la formulación de políticas en el país deberían apuntar a seguir mejorando la competitividad del gas natural y aprovechar los beneficios de su excelente complementariedad con las energías renovables. Futuras investigaciones podrían examinar y proponer nuevos modelos de negocios que permitan acelerar la expansión y cobertura del suministro del gas natural tanto al sector industrial como a los sectores transporte, residencial y comercial, en combinación con las energías renovables (biogás), proporcionando así mayores evidencias de la complementariedad del gas natural con las energías renovables.

13 "Se considera centros poblados rurales, aquellos que tienen menos de 2 mil habitantes" (INEI, 2017, pp. 5)

14 En inglés, Hybrid Power Generation Systems (HPGS)

REFERENCIAS

- Abu-Rayash, A., & Dincer, I. (2019). Sustainability assessment of energy systems: A novel integrated model. *Journal of Cleaner Production*, 212, 1098–1116. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1016/j.jclepro.2018.12.090>
- Alabdulwahab, A., Abusorrah, A., Zhang, X., Shahidehpour, M. (2015). Coordination of interdependent natural gas and electricity infrastructures for firming the variability of wind energy in stochastic day-ahead scheduling. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 6(2), 606. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1109/TSTE.2015.2399855>
- Aryal, N., & Kvist, T. (2018). Alternative of biogas injection into the danish gas grid system. A study from demand perspective. *ChemEngineering*, 2(3), 43. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.3390/chemengineering2030043>
- Brown, S.P., Krupnick, A., & Walls, M. A. (2009). Natural gas: A bridge to a low-carbon future?. *RFF Issue Brief 09–11. Resources for the Future*, Washington, DC. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.422.1324&rep=rep1&type=pdf>
- Cherp, A., Vinichenko, V., Jewell, J., Brutschin, E., & Sovacool, B. (2018). Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework. *Energy Research & Social Science*, 37(1), 175. <http://ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1016/j.erss.2017.09.015>
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., Gastaldi, M., & Miliacca, M. (2018). A profitability analysis of small-scale plants for biomethane injection into the gas grid. *Journal of Cleaner Production*, 184, 179–187. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1016/j.jclepro.2018.02.243>
- Dong, R. S., Hochman, G. (2017). Do natural gas and renewable energy consumption lead to less CO₂ emission? Empirical evidence from a panel of BRICS countries. *Energy*, 141, 1466–1478. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.092>
- Economides, M. J., & Wood, D. A. (2009). The state of natural gas. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 1(1–2), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2009.03.005>
- Ediger, V. Ş, Hoşgör, E., Sürmeli, A. N., Tatıdil, H. (2007). Fossil fuel sustainability index: An application of resource management. *Energy Policy* 2007, 35(5), 2969–2977
- Ediger, V. Ş. (2019). An integrated review and analysis of multi-energy transition from fossil fuels to renewables. *Energy Procedia*, 156, 2. Retrieved from <http://ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edo&AN=134185161&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Fattouh, B., Poudineh, R., & West, R. (2018). The rise of renewables and energy transition: what adaptation strategy for oil companies and oil-exporting countries? *Oxford Institute for Energy Studies*. <https://doi.org/10.26889/9781784671099>
- Feofilovs, M., Gravelins, A., Pagano, A. J., & Romagnoli, F. (2019). Increasing resilience of the natural gas system with implementation of renewable methane in the context of Latvia: a system dynamics model. *Energy Procedia*, 158, 3944–3950. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1016/j.egypro.2019.01.848>
- Fernández, P., Paredes, J. P., & Bernat, J. X. (2018). Integration of the Iberian natural gas infrastructure into the european energy transition to renewable sources. *Proceedings*, 2(23), 1492. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.3390/proceedings2231492>
- Fubara, T., Cecelja, F., & Yang, A. (2018). Techno-economic assessment of natural gas displacement potential of biomethane: A case study on domestic energy supply in the UK. *Chemical Engineering Research and Design*, 131, 193–213. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1016/j.cherd.2017.12.022>
- Giannakoudis, G., Papadopoulos, A. I., Seferlis, P., Voutetakis, S. (2010). Optimum design and operation under uncertainty of power systems using renewable energy sources and hydrogen storage. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(3), 872–891. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.11.044>

- Gillingham, K., & Pei Huang. (2019). Is abundant natural gas a bridge to a low-carbon future or a dead-end? *Energy Journal*, 40(2), 1–26. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.5547/01956574.40.2.kgil>
- Grubler, A., Wilson, C., & Nemet, G. (2016). Apples, oranges, and consistent comparisons of the temporal dynamics of energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 22(1), 18. Retrieved from <http://ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edo&AN=ejs39883469&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Hoo, P. Y., Hashim, H., & Ho, W. S. (2018). Opportunities and challenges: Landfill gas to biomethane injection into natural gas distribution grid through pipeline. *Journal of Cleaner Production*, 175, 409–419. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1016/j.jclepro.2017.11.193>
- Ikoku, C. U. (1984). *Natural gas production engineering*. Florida, FL: Krieger Publishing Company.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). Perú, perfil sociodemográfico, 2017. Capítulo 1. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/cap01.pdf
- International Gas Union (IGU). (2015). *Natural gas, a partner for renewable energy*. Retrieved from https://brusselsenergyclub.org/get_file/id/natural-gas-a-partner-for-renewable-energy.pdf
- International Energy Agency. (2006). *World energy outlook 2006*. OECD/IEA Publishing, Paris. Retrieved from <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/weo2006.pdf>
- Lee, A., Zinaman, O., Logan, L., Bazilian, M., Arent, D., & Newmark, R.L. (2012). Interactions, complementarities and tensions at the nexus of natural gas and renewable energy. *The Electricity Journal*, 25(10). <https://doi.org/10.1016/j.tej.2012.10.021>
- Levi, M. (2013). Climate consequences of natural gas as a bridge fuel. *Climatic Change*, 118(3/4), 609. Retrieved from <http://ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edb&AN=87734349&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Li, W., & Lu, C. (2019). The multiple effectiveness of state natural gas consumption constraint policies for achieving sustainable development targets in China. *Applied Energy*, 235, 685–698. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.013>
- Littell, D. (2017). Natural gas: Bridge or wall in transition to low-carbon economy? *Natural Gas & Electricity*, 33(6), 1–8. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1002/gas.21953>
- Meckling, J., & Hughes, L. (2018). Global interdependence in clean energy transitions. *Business & Politics*, 20(4), 467–491. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1017/bap.2018.25>
- Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM). Dirección General de Eficiencia Energética. (2016). *Balance nacional de energía*. <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/112010-balance-nacional-de-energia-2016>
- Mokhatab, S., Mak, S. Y., Valappil, J. V., & Wood, D. A. (2014). *Handbook of liquefied natural gas*, Gulf Professional Publishing. doi.org/10.1016/B978-0-12-404585-9.11001-3.
- Mokhatab, S., Speight, J. G., & Poe, W. A. (2006). *Handbook of natural gas transmission and processing*. Burlington, MA: Gulf Professional Publishing. Retrieved from <http://ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsebk&AN=187349&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL), Joint Institute for Strategic Energy Analysis (JISEA). (2012). *Opportunities for synergy between natural gas and renewable energy in the electric power and transportation sectors (Technical Report NREL/TP-6A50-56324)*. Retrieved from <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56324.pdf>
- Organizaciones de las Naciones Unidas (ONU). (2016). *Energía asequible y no contaminante: por qué es importante*. Recuperado de https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/7_Spanish_Why_it_Matters.pdf
- Osinermin. (2014). *La Industria del gas natural en el Perú: A Diez años del Proyecto Camisea*. Recuperado de http://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro-Industria-Gas-Natural-Peru-10anios-Camisea.pdf

- PERU LNG. (2018). Memoria Anual 2017. Recuperado de https://peruOP'0¿¿P.com/wp-content/uploads/2018/05/032718-Memoria-2017_VF_SMV.pdf
- Santoyo-Castelazo, E., & Azapagic, A. (2014). Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production*, 80, 119–138. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1016/j.jclepro.2014.05.061>
- Sharif, A., Almansoori, A., Fowler, M., Elkamel, A., & Alrafea, K. (2014). Design of an energy hub based on natural gas and renewable energy sources. *International Journal of Energy Research*, 38(3), 363–373. <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1002/er.3050>
- TgP. (2006). Memoria anual 2010. Recuperado de https://www.bvl.com.pe/inf_corporativa70600_VEdQMUJDMUE.html
- TgP. (2011). Memoria anual transportadora de gas del Perú S.A - Ejercicio 2005. Recuperado de https://www.bvl.com.pe/inf_corporativa70600_VEdQMUJDMUE.html
- TgP. (2011). 2010 Primer reporte de sostenibilidad. Recuperado de http://www.tgp.com.pe/repositorioaps/data/1/1/1/jer/rs_2011/files/GRI%202010%20final.pdf
- TgP. (2013). Memoria anual 2012. Recuperado de https://www.bvl.com.pe/inf_corporativa70600_VEdQMUJDMUE.html
- TgP. (2015). Memoria anual 2014. Recuperado de https://www.bvl.com.pe/inf_corporativa70600_VEdQMUJDMUE.html
- TgP. (2018). Memoria anual 2017. Recuperado de <http://www.tgp.com.pe/repositorioaps/data/1/1/1/jer/ma2017/files/5.%20TGP%20-%20Memoria%20Anual%202017%20-%20consolidada.pdf>
- Urban, W. (2013). *The biogas handbook: Science, production and applications*. Chapter 16 - Biomethane injection into natural gas networks. Woodhead Publishing.
- Van Basshuysen, R. (2016). *Natural gas and renewable methane for powertrains: Future strategies for a climate-neutral mobility*. Springer. Austria.
- World Economic Forum (WEF). (2018). *Fostering effective energy transition: A fact-based framework to support decision-making*. Retrieved from http://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_report_2018.pdf
- Zhongyuan, W, Luo, D., & Liu, L. (2018). Natural gas utilization in China: Development trends and prospects, *Energy Reports*, (4), 351-356. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2018.05.005>.