

MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO: ESTADO ACTUAL

AUTOR

Rosario González Celis¹rosario.gonzalezc@utadeo.edu.co

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

RESUMEN

El documento consigna como ha sido la dinámica de variación de la matriz energética mundial, detallando la variación de los cinco países líderes en consumo energético y producción de emisiones de CO₂: China, Estados Unidos, India, Rusia y Japón, presenta cuál fue el compromiso de cada uno de ellos respecto a la reducción de emisiones que permitan en conjunto alcanzar el objetivo propuesto de “mantener el aumento de la temperatura en este siglo muy por debajo de los 2 grados centígrados, e impulsar los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura incluso más, por debajo de 1,5 grados centígrados sobre los niveles preindustriales” (UNCC, 2015) y cuáles son las estrategias planteadas para el logro de los objetivos particulares.

Adicionalmente, se realiza la misma revisión para el caso colombiano a pesar de no ser un gran consumidor de energía, ni un gran emisor de CO₂, pero bajo la consideración de que las emisiones de uno afectan a todos y de que los países en desarrollo como es el caso de Colombia deben implementar soluciones costo efectivas que permitan el logro del objetivo sin afectar su desarrollo social y económico. Los estudios citados, sobre el panorama energético mundial y el comportamiento de las emisiones de CO₂ dejan ver importantes esfuerzos en atender el crecimiento en la demanda energética mediante el uso de energéticos más limpios donde las energías renovables ganan cada vez mayor participación y los combustibles fósiles (crudo, carbón, gas) en conjunto mantienen su participación, compensando la disminución del carbón con el aumento del gas natural. Sin embargo, se identifica que deben potenciarse las estrategias de disminución de emisiones, so pena de no lograr la meta propuesta.

El propósito de este documento es presentar una revisión mundial de los compromisos de cambio climático establecidos, específicamente en lo relacionado con las emisiones de CO₂ asociadas al sector energético, cómo los países líderes en consumo energético avanzan en la denominada transición energética, qué medidas han implementado para el logro de sus compromisos en materia de emisiones, cómo avanza Colombia en esta materia.

¹ Magister en Gestión Sostenible de Energía UJTL.

Artículo realizado en el marco del desarrollo del trabajo de tesis. Agradezco el apoyo y revisión de Raúl Ávila Forero, profesor de la Maestría en Ingeniería-Gestión Sostenible de la Energía

PALABRAS CLAVE:

Matriz energética, emisiones de CO₂, gases efecto invernadero, cambio climático, energía renovable, transición energética

INTRODUCCIÓN

Observaciones técnicas juiciosas del sistema climático mundial, han detectado su calentamiento, lo que ha provocado una disminución en los niveles de nieve y hielo, el aumento en el nivel del mar y también en las concentraciones de gases efecto invernadero. La concentración de dióxido de carbono ha aumentado debido principalmente a las emisiones por el uso de los combustibles fósiles y luego a las emisiones derivadas del cambio de uso del suelo, se ha analizado la contribución humana a los cambios mencionados, concluyendo que ha sido la causa dominante del calentamiento observado desde 1950.

Lo anterior debería llevarnos entonces a reflexionar sobre el uso de la energía, pues si bien su uso es el jalonador del desarrollo económico y social, debe garantizarse que el mismo se haga en condiciones de sostenibilidad que permitan su aprovechamiento actual y futuro. Tanto la matriz energética como la matriz eléctrica mundial están dominadas por los combustibles fósiles, y a partir de ellos, se ha construido el desarrollado económico mundial, sin embargo, hoy el mundo cuenta con desarrollos tecnológicos que permite el aprovechamiento de energías más limpias, de manera que avanzamos en el camino que se ha denominado transición energética, el paso del consumo de combustibles fósiles hacia la electrificación, lograda está a partir de energías más limpias, lo anterior sin desconocer que un análisis de ciclo de vida de cuna a tumba, de cualquier tecnología de generación eléctrica, si tiene impactos medio ambientales.

Los países reunidos bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) reconocen los impactos que las emisiones de gases efecto invernadero causan al sistema y se comprometen en el objetivo de *“mantener el aumento de la temperatura en este siglo muy por debajo de los 2 grados centígrados, e impulsar los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura incluso más, por debajo de 1,5 grados centígrados sobre los niveles preindustriales”*.

Este documento revisa la dinámica internacional de establecimiento de compromisos y su respectivo seguimiento, a partir de la revisión documental de las declaración de intención de contribución determinada nacionalmente, de los países con mayor participación en el consumo de energía, y en la generación de emisiones y del análisis que sobre las canastas energética y eléctrica, así como del uso de los recursos naturales realizan entidades internacionales públicas y privadas, entre ellas: *International Energy Agency - IEA, United Nations Environment Programme- UNEP, International Renewable Energy Agency – IRENA, World Resources Institute – WRI, World Energy Council- WEC*, presentar cuál es el estado actual de avance y cuáles las proyecciones

CAMBIO CLIMÁTICO

En 1988, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) crean el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), con la función de evaluar, analizar y compartir al público de manera clara, la información sobre el cambio climático y sus posibles impactos a nivel ambiental, social y económico. A partir de su creación, el IPCC ha realizado cinco informes de evaluación, el primero publicado en 1990 y el quinto en 2014, desde la publicación del primer informe, estos han sido marco de referencia para el establecimiento de acuerdos internacionales sobre el cambio climático; actualmente se elabora el sexto informe el cual está programado para ser finalizado en 2022.

En 2014 como parte del quinto informe de evaluación, el grupo I del IPCC presentó su informe sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático, adelantado entre 2013 y 2014 [1] tomando como base el cuarto informe de evaluación del IPCC e incorporando resultados de numerosos análisis científicos, estudios teóricos sobre los procesos climáticos y simulaciones sobre los mismos. El mencionado estudio afirma que desde 1950 existen observaciones del sistema climático más completas, y que desde entonces se ha detectado su calentamiento, la atmósfera y el océano se han calentado, lo que ha provocado una disminución en los niveles de nieve y hielo, el aumento en el nivel del mar y también en las concentraciones de gases efecto invernadero.

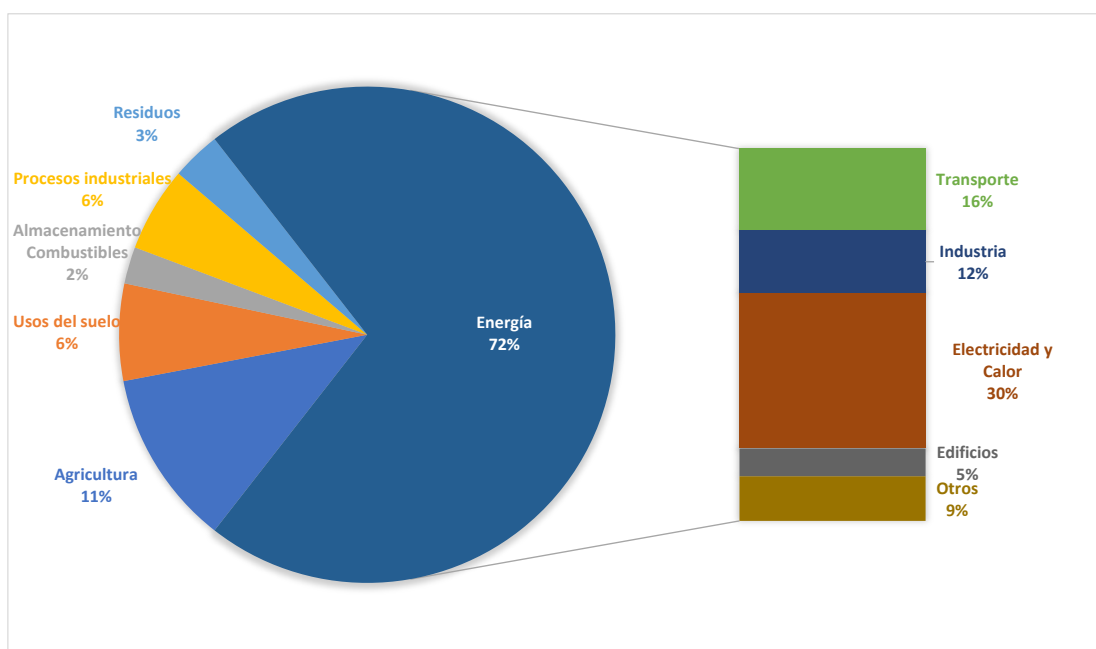
La concentración de dióxido de carbono ha aumentado en un 40% debido principalmente a las emisiones por el uso de los combustibles fósiles y luego a las emisiones derivadas del cambio de uso del suelo. Se ha analizado la contribución humana a los cambios climáticos mencionados, así como a cambios extremos como *“Días y noches fríos más cálidos y/o menos numerosos en la mayoría de las zonas continentales”*, *“Días y noches calurosos más cálidos y/o más frecuentes en la mayoría de las zonas continentales”*, *“Episodios cálidos/olas de calor. Mayor frecuencia y/o duración en la mayoría de las zonas continentales”*, *“Mayor incidencia y/o magnitud de niveles del mar extremadamente altos”* concluyendo que ha sido la causa dominante del calentamiento observado desde 1950. Adicionalmente, el análisis afirma que, aunque las emisiones de CO₂ se detuvieran, sus efectos sobre el cambio climático perdurarían durante siglos.

Las proyecciones presentadas por el IPCC, indican que, los impactos del cambio climático se distribuyen de tal manera que afectan en mayor medida a las comunidades desfavorecidas, creando nuevos focos de pobreza o incrementándola, tanto en países en vía de desarrollo como en países desarrollados [2]. Cada país es diferente, sus contribuciones de GEI han sido, son y serán diferentes, su capacidad, su presupuesto y su política para abordar el cambio climático es diferente, sin embargo, teniendo en cuenta que las emisiones de uno afectan a todos, tiene sentido la cooperación internacional que permita la difusión de conocimientos y tecnologías en procura de resultados equitativos [3]. Adicionalmente, algunos estudios revisados por el IPCC contemplan como costo efectivo la distribución de esfuerzos a partir de un mercado mundial del carbono con el objeto de obtener concentraciones atmosféricas en 2100 de aproximadamente entre 450 y 550 ppm de CO₂eq.

Somos los seres humanos y nuestras actividades, lo que han modificado y modificarán la superficie de la tierra y la composición atmosférica, afectando su balance energético e impulsando el cambio climático. Los GEI antropógenos emitidos provienen del metano, óxido nitroso, gases fluorados y

dióxido de carbono, siendo este último el principal con una participación del 76% (CH4 17%, N₂O 6%, F_Gas 2,1%). El aumento en emisiones de CO₂ se ve potenciado por el crecimiento poblacional y el crecimiento económico, siendo este último particularmente relevante para el crecimiento de emisiones de CO₂ debidas a la quema de combustibles fósiles [3]. La siguiente figura presenta las emisiones de efecto invernadero por sectores económicos con datos 2016.

Figura 1. Emisiones de gases efecto invernadero por sectores



Fuente: Tomado de World Resources Institute, Historical country-level and sectoral GHG emission data (1990-2016).

El 12 de diciembre de 2015, en París, en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), 195 naciones alcanzaron un acuerdo para combatir el cambio climático y para procurar un futuro bajo en emisiones de CO₂. El objetivo principal del acuerdo es *“mantener el aumento de la temperatura en este siglo muy por debajo de los 2 grados centígrados, e impulsar los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura incluso más, por debajo de 1,5 grados centígrados sobre los niveles preindustriales”* este objetivo es considerado como necesario para evitar impactos irreversibles sobre la superficie terrestre y teniendo en cuenta que el aumento de la temperatura depende de la acumulación de emisiones de CO₂, los países firmantes reconocen que los esfuerzos desarrollados hasta la fecha no han sido suficientes, que es importante disminuir el monto de emisiones sin afectar el desarrollo y establecen un mecanismo de evaluación quinquenal que sea cada vez más ambicioso.

Como seguimiento al comportamiento de las emisiones necesarias para lograr los objetivos acordados, la ONU publica el informe sobre la disparidad de las emisiones 2017 [4] elaborado a partir del quinto informe de evaluación presentado por el IPCC y sumando análisis de estudios más

recientes, en el que plantea en términos generales que las emisiones de GEI continúan aumentando lentamente y que las emisiones debidas a energía (combustibles fósiles) y procesos industriales se conservaron estables desde el 2014 hasta el 2016, representando aproximadamente el 70 por ciento de las emisiones globales totales de GEI, esa estabilidad revirtió la tendencia incremental anual que traía y aparenta un desacople con el crecimiento económico pues el Producto Interno Bruto global aumentó entre un 2 y un 3 por ciento anual en los últimos años.

La reducción del incremento de uso de carbón en China y Estados Unidos, combinado con el aumento de generación a través de renovables fueron los principales impulsores de la estabilidad de emisiones en los sectores energía e industria(2014 a 2016) ; sin embargo, de acuerdo con el balance publicado por la Agencia Internacional de la Energía (IAE) 2017 [9], estos sectores tuvieron un crecimiento de 1,4% en sus emisiones, ligado a un crecimiento económico mundial del 3,7%, un crecimiento en la demanda energética del 2,1%, con precios bajos en los combustibles fósiles y menores esfuerzos en eficiencia energética, pero como veremos más adelante, la dinámica cambió y el crecimiento en la emisiones se reactiva.

Figura 2: Crecimiento anual de la demanda de energía primaria 2010-2018

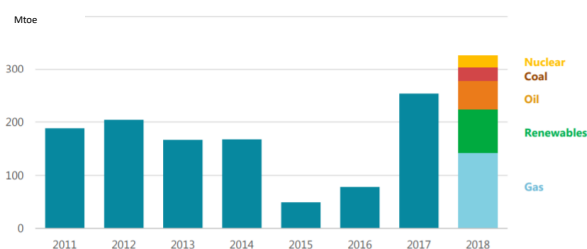
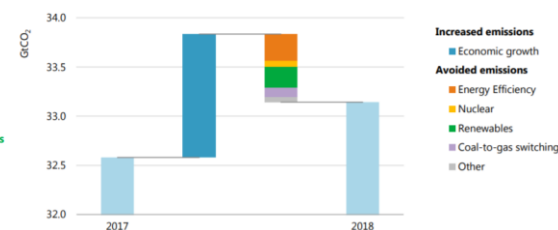


Figura 3: Cambio en las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía y emisiones evitadas 2017-2018



Fuente: Tomado de Global Energy & CO₂ Status Report. International Energy Agencia (IEA)

Los informes de seguimiento permiten lanzar una alarma sobre los logros alcanzados pues se observa que los esfuerzos realizados, apenas permitirán cumplir las metas trazadas a 2020 e identifica la necesidad de incrementar esfuerzos para lograr las metas 2030. Los países miembros del G20 son responsables del 75% de las emisiones y según los cálculos disponibles, de ellos, China, la India y la Unión Europea, cumplirán sus compromisos sin adquirir compensaciones; como también parece que lo lograrán Brasil, la Federación de Rusia y Japón, de otra parte, Canadá, Estados Unidos y México tendrán que hacer mayores esfuerzos y tal vez aplicar compensaciones adquiridas mientras que la información oficial de Australia, República de Corea, Indonesia y Sudáfrica, no permite determinar sus condiciones para el cumplimiento de los compromisos.

Expertos independientes vinculados por la ONU evaluaron 187 de las contribuciones previstas determinadas a nivel nacional (CPDN)² de las 195 partes participantes en el acuerdo de París, encontrando que son un buen punto de partida, pero que su implementación no garantizará cumplir con las metas establecidas [5]. Del examen de las CPDN, se observa que 167 países incluyen la eficiencia energética como potencial fuente de reducción de emisiones aplicándola en los sectores de

²Las contribuciones previstas determinadas a nivel nacional (CPDN) contienen la definición de la contribución que cada país hará hacia la reducción de emisiones, de acuerdo con los principios de responsabilidades comunes pero ajustado a las capacidades particulares

la construcción, industria y transporte, se considera que las emisiones de estos sectores por el uso de la energía representan el 40% de las emisiones totales y que un 25% adicional proviene de la generación de energía eléctrica. Aunque la eficiencia energética en general se asocia a mejoras en materiales y tecnología, tiene un importante componente de planeación, diseño y hábitos de consumo, planeación del desarrollo de las ciudades, co-ubicación empleo-residencia (teletrabajo), diseño sistemas de transporte, etc.

MATRIZ ENERGÉTICA Y EMISIONES DE CO₂

Teniendo en cuenta la importancia del sector energético respecto a las emisiones de GEI revisemos un poco la situación energética actual. De acuerdo con informes de la IEA [22], la demanda mundial de energía creció 2,3%³ en 2018, casi al doble de la tasa promedio desde 2010, motivada por un crecimiento económico del 3,5%, que no encontró en las opciones con bajas emisiones de carbono la respuesta para satisfacer el aumento de la demanda. China y Estados Unidos jalonan el 38% de ese crecimiento, por energético, su crecimiento en 2018⁴ es: 1,3% crudo, 4,6% gas, 0,7% carbón, 3,3% nuclear, 3,1% hidro, 2,5% biomasa, 4% electricidad y 14% otras renovables; la participación de los combustibles fósiles en la demanda mundial de energía es del 80%, nivel que se ha mantenido estable durante varias décadas, el crecimiento de la energía nuclear se da principalmente como resultado de la nueva capacidad en China y el reinicio de cuatro reactores en Japón, a nivel mundial, la generación nuclear satisfizo el 7% del aumento en la demanda de energía. La energía renovable crece con fuerza, en particular en la capacidad y generación de energía solar (32%). El gas natural fue la mayor fuente de crecimiento de energía, impulsado por el aumento de demanda y al cambio de carbón a gas significativo en China y Estados Unidos y el programa de cambio de carbón a gas en los sectores industriales y residenciales en China en el marco de su política oficial por tener nuevamente un cielo azul.

El crecimiento de la demanda energética fue acompañado de crecimiento en emisiones de CO₂, el cual fue del 1,7% llegando al máximo histórico de 33,1 Gt de CO₂, después del 1,4% del 2017, que dio inicio a su reactivación, después de 3 años de estabilidad; de otra parte, los esfuerzos en eficiencia energética han venido desmejorando desde 2015 donde logró el 2,9%, en 2018 llegó a 1,3% al parecer debido a un estancamiento en las políticas existentes⁵.

Tabla 1. Diez principales países consumidores de energía primaria y sus emisiones - 2018

País	Energía Consumida (Mtoe)	Participación consumo de energía (%)	Emisiones CO₂ (Mt CO₂)	Participación Emisiones CO₂ (%)
China	3273	23,6	9428,7	27,8
Estados Unidos	2300	16,6	5145,5.5	15,2
India	809	6	2479	7,3
Rusia	721	5,2	155,8	4,6

³ Crecimiento de 2,1% en 2017 y de 0,9% en 2016

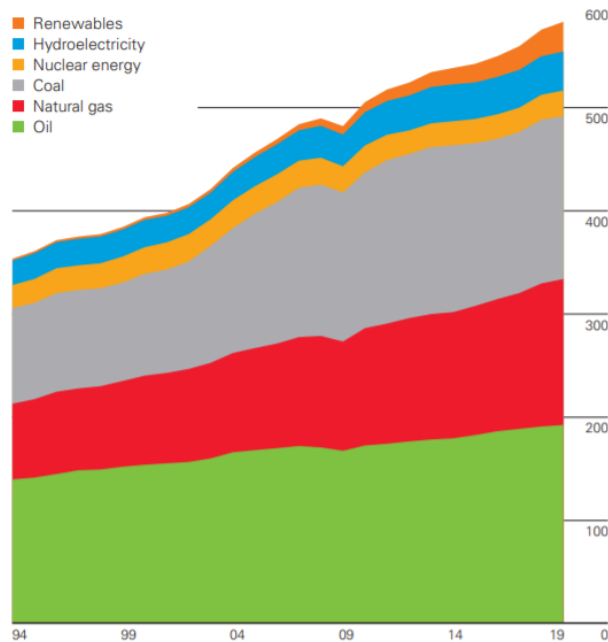
⁴ Crecimiento por energético en 2017: 1,6% crudo, 3% gas, 1% carbón, 3,1% electricidad, las renovables atendieron el 25% del aumento de la demanda

⁵ Ahorros del 2,5% en 2016 y 1,9% en 2017

Japón	454	3,3	1148,5	3,4
Canadá	344,4	2,5	550,0	1,6
Alemania	324	2,3	725,7	2,1
Corea	301	2	697,6	2,1
Brasil	297,6	2,1	441,8	1,3
Irán	285,7	2,1	6556,4	1,9
Resto del mundo	4755	34,3	11810,5	32,7
Total	13865	100	33891	100

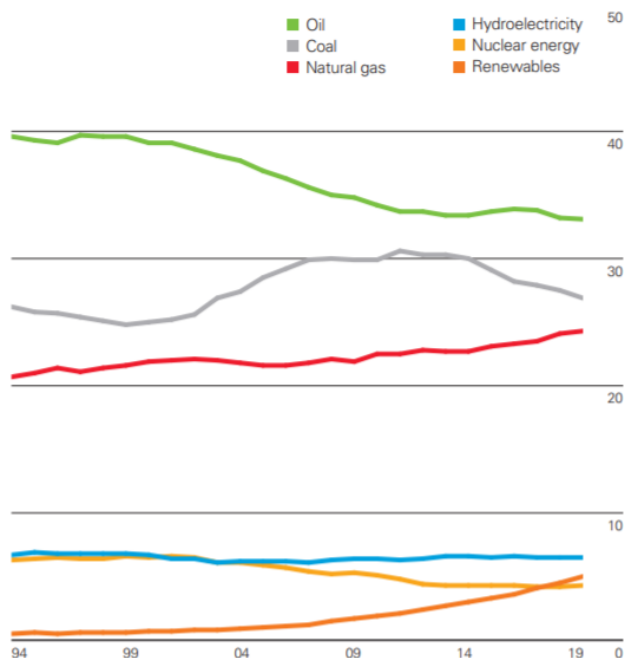
Fuente: Elaboración propia. Datos World Energy Balances 2018 IEA International Energy Agency, BP Statistical Review of World Energy 2019

Figura 4 Consumo mundial de energía primaria (Exajulios -EJ-10¹⁸ Julios)



Fuente Tomado de BP Statistical Review of World Energy 2020 [10]

Figura 5 Participación por energético en el consumo de energía (%)



Fuente tomado de BP Statistical Review of World Energy 2020 [10]

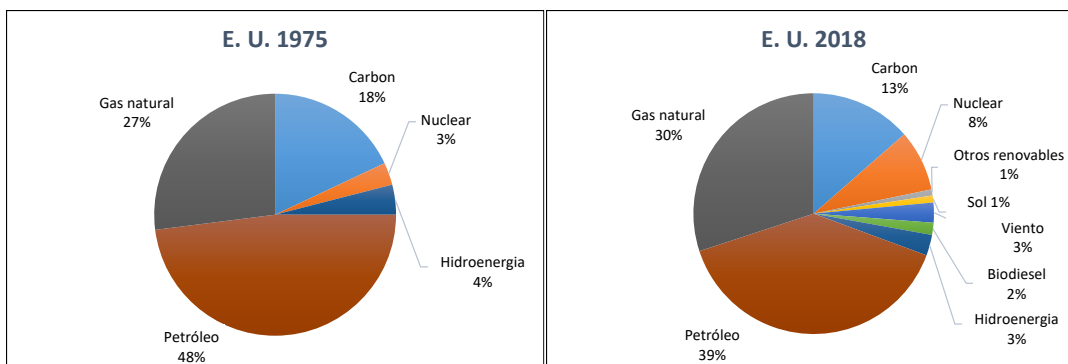
De lo anterior, se observa lo ya mencionado, la participación del crudo y el carbón viene en descenso, y son las renovables en gran medida y el gas en complemento quienes vienen incrementando su participación

Revisemos la dinámica energética de algunos de los países que jalonan la economía y que paralelamente son grandes consumidores de energía, para luego revisar la dinámica colombiana [10]

ESTADOS UNIDOS

Para 2018 Estados Unidos es el mayor productor de petróleo y gas, convirtiéndose en exportador neto de este último; las renovables logran una participación del 10% en su matriz energética sobre un total de algo más de 2.300 Millones de Toneladas equivalentes de petróleo MTEP. Respecto a 2016, la producción energética en 2017 tuvo un crecimiento del 4,3%, y en 2018 del 3,7% respecto a 2017, casi una cuarta parte del crecimiento mundial. Un verano más cálido que el promedio y un invierno más frío que el promedio fueron responsables de aproximadamente la mitad del aumento de la demanda de gas en los Estados Unidos, ya que las necesidades de gas aumentaron tanto para la generación de electricidad como para la calefacción. Estados Unidos tuvo el mayor aumento en la demanda mundial de petróleo y gas.

Figura 6: Matriz Energética de Estados Unidos 1975 - 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos reportados por IEA y BP 2019.

Observando la evolución de la matriz con respecto a 1975, se encuentra que la participación del petróleo se redujo en 9%, el carbón un 5% y la hidráulica con 1%, participación que en su mayoría capturaron las energías alternativas como la nuclear con 5% y aparecieron aprovechamientos eólicos, solares y de otros renovables no tradicionales, aspectos que indican una evolución en la transición y diversificación energética.

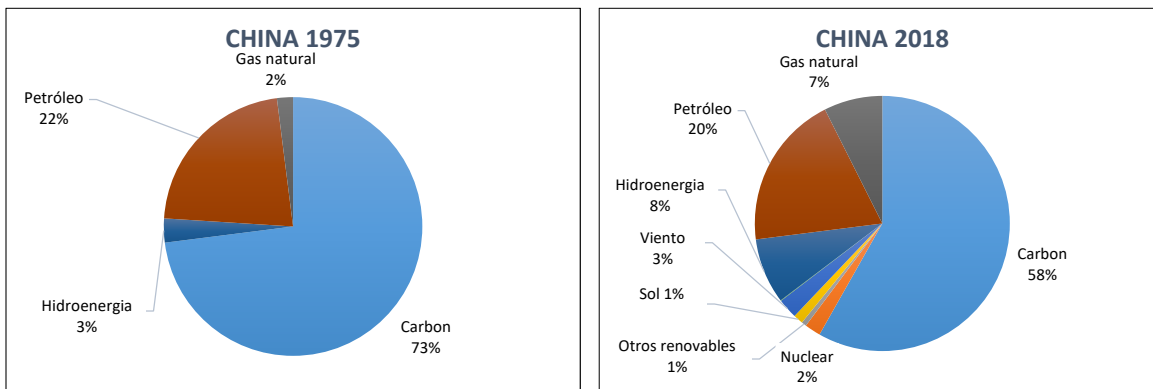
Estados Unidos es el segundo país que más emisiones de CO₂ aporta a la atmosfera comunicó en 2015, en el marco de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático su firme decisión de contribuir con los objetivos de la Convención de París para la reducción de la contaminación de los gases efecto invernadero. Para tal fin se comprometió en reducir en todos los sectores de la economía sus emisiones de gases efecto invernadero para 2025 en un 26-28% por debajo de su nivel de 2005 [11], y en un 17% para 2020. No obstante, el 1° de junio de 2017 el gobierno del presidente Trump, comunicó que su país se retiraría del Acuerdo de Paris, pero que mantiene la intención de renegociar las condiciones de participación en el mismo.

A pesar de la decisión adoptada por el gobierno Trump con respecto a los acuerdos de cambio climático, EEUU ha venido obteniendo resultados muy significativos en materia de reducción de emisiones de GEI, en especial de CO₂, los cuales obedecen en primer término a la disminución sostenida del carbón como energía primaria y su remplazo por el gas natural aprovechando el crecimiento de la oferta de *shale gas* y en segunda instancia a medidas complementarias desde todos los sectores, entre ellas: ahorro de combustible para vehículos, eficiencia energética para 29 categorías de aparatos eléctricos, normatividad de eficiencia energética en la construcción de comercios, mejora en la eficiencia de las plantas de generación eléctrica, retiro o modernización de plantas a carbón, generadoras a gas usando ciclo combinado, construcción de generadoras de cero emisiones (nuclear-Renovables); aplicación de captura de carbono para uso o almacenamientos.

CHINA

La figura 7, presenta la matriz energética de China para el 31 de diciembre de 2018, con un total de 3.273 Millones de Toneladas equivalentes de petróleo (MTEP). China experimentó el aumento más sustancial en la demanda de energía, creció 3.5%, el más alto desde 2012, representando un tercio del crecimiento global. La demanda creció para todos los combustibles, pero con el gas a la cabeza, reemplazando el carbón para satisfacer las necesidades de calefacción.

Figura 7: Matriz Energética de China 1975 - 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos reportados por IEA y BP 2019.

Se puede observar que el carbón sigue siendo el producto energético principal consumido en el mercado chino con una participación del 58%. Lo anterior resulta lógico, teniendo en cuenta que China es el mayor productor mundial de este energético. Es importante resaltar, que en China la demanda energética se suplía principalmente por combustibles fósiles como el crudo (20%) y el gas natural (7%), de manera que entre todos los hidrocarburos alcanzan un total del 85% de la energía primaria nacional. Por otra parte, en contraste con los energéticos de apreciable huella de carbón, se encuentra la hidroenergía con una participación del 8% junto a otras fuentes complementarias que en conjunto alcanzan el 7%, como es el caso de las energías renovables (solar, viento, biomasa, Geotermia y otros) y nuclear. La energía nuclear creció un 3,3% en 2018, principalmente como resultado de la nueva capacidad en China y el reinicio de cuatro reactores en Japón.

A pesar de la baja participación de energías limpias en China durante el 2018, este panorama presenta una mejora significativa en materia de descarbonización cuando es comparado con el panorama de 1975. Los datos muestran que el consumo de combustibles fósiles alcanzaba un 97% del total de la energía demandada (73% carbón, 22% crudo y 2% gas natural). Apenas un 3% del total era energía limpia perteneciente a hidroenergía y se presentaba una total ausencia de energías renovables y otras de menor impacto para el calentamiento global la contaminación atmosférica.

La comparación entre la distribución del consumo de energía en 1975 y 2018, permite evidenciar el avance del Gobierno chino hacia la diversificación de su matriz, con la introducción de energías renovables y la reducción en el consumo de combustibles fósiles. Sin embargo, cabe resaltar que los requerimientos energéticos del país son 10 veces mayores en el 2018 con respecto a 1975.

China es un actor fundamental en el mercado mundial de energía, no sólo debido a que es el mayor consumidor de energía, sino por su alta contribución a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero

(GEI), y por el potencial de crecimiento del país. Un país en desarrollo con la posibilidad de mantener altas tasas de crecimiento en el futuro condiciona el desarrollo de los mercados energéticos a nivel mundial, y determina, además en función de las políticas de uso de fuentes primarias y de descarbonización, la posibilidad de alcanzar las metas globales en materia de lucha contra el cambio climático.

Una primera manifestación de la preocupación por la necesidad de descarbonizar la economía china se encuentra en la formulación del 11º Plan Quinquenal de Desarrollo Económico y Social (FYP) 2006-2010 por el Comité Central del Partido Comunista Chino (PCC). En ese momento se definió una estrategia de crecimiento balanceado entre aumento del PIB, conservación ambiental, bienestar y acceso universal de la población a servicios modernos, lo que constituyó un punto de inflexión en la política de desarrollo económico y en el modelo de planeamiento centralizado.

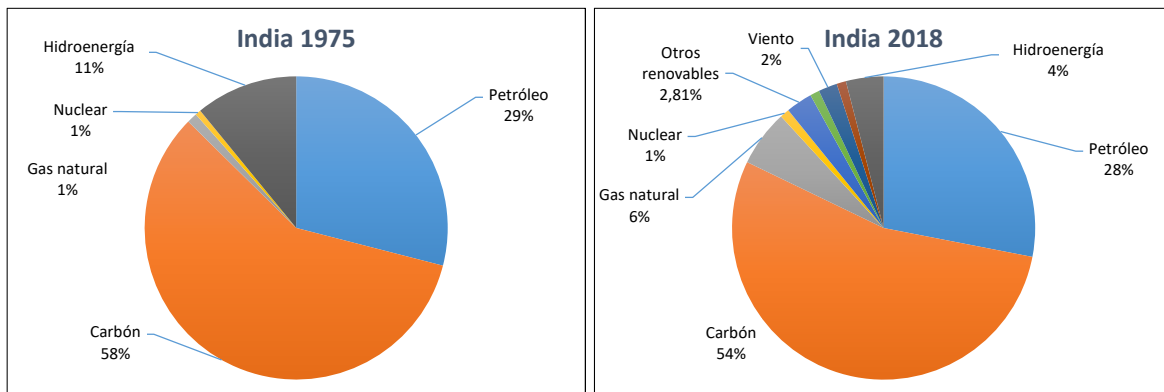
Estos objetivos fueron reforzados en el 12º FYP (2011-2016), lo que condujo a la ratificación del país de los Acuerdos de París en la COP21 en 2015, en los que China se comprometió a reducir las emisiones de dióxido de carbono por unidad de PIB en un 60% a 65% con respecto al nivel de 2005 [19]; aumentar la participación de los combustibles no fósiles en el consumo de energía primaria a alrededor del 20%; e incrementar el volumen del stock forestal en alrededor de 4.500 millones de metros cúbicos con respecto al nivel de 2005.

Entre las estrategias establecidas para el logro de las metas definidas, se encuentra algunas específicas relacionadas con gas, lograr más del 10% del consumo de gas natural en el consumo de energía primaria para 2020, alcanzar los 30 mil millones de metros cúbicos de producción de metano en lecho de carbón y mejorar la recuperación y utilización del gas de ventilación y el gas asociado a campos petroleros.

INDIA

La matriz energética de India a 31 de diciembre de 2018 presenta un total de más de 776 Millones de Toneladas equivalentes de petróleo (MTEP).

Figura 9: Matriz Energética de India 1975 - 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos reportados por IEA y BP 2019.

El carbón sigue siendo fundamental en el suministro energético con 54% de participación, le sigue el petróleo que representa el 28% y el gas natural con el 6%, las energías renovables con cerca del 9% y la energía nuclear con el 1%

Al comparar las dos matrices: 1975 Vs 2018, se observa una reducción del 4% en la participación del carbón, un mantenimiento de la participación del petróleo, un aumento del 5% en la participación del gas, mantenimiento de la energía nuclear en el 1% las renovables se mantienen en el 11% con la sustitución del 7% de hidroenergía por energía eólica, solar y otras bioenergías

En relación con las emisiones, India se comprometió en su INDC [21] a reducir en un 33 a 35 por ciento para 2030 en relación con los niveles del 2005. Para lograrlo, proponen tener aproximadamente el 40 por ciento de la capacidad instalada de generación de energía eléctrica basada en combustibles no fósiles y capturar 2.5 a 3 mil millones de toneladas de CO₂ equivalente a través de bosques adicionales. Para lograr las contribuciones anteriores, India está decidida a mejorar las políticas existentes y lanzar nuevas iniciativas en las siguientes áreas prioritarias:

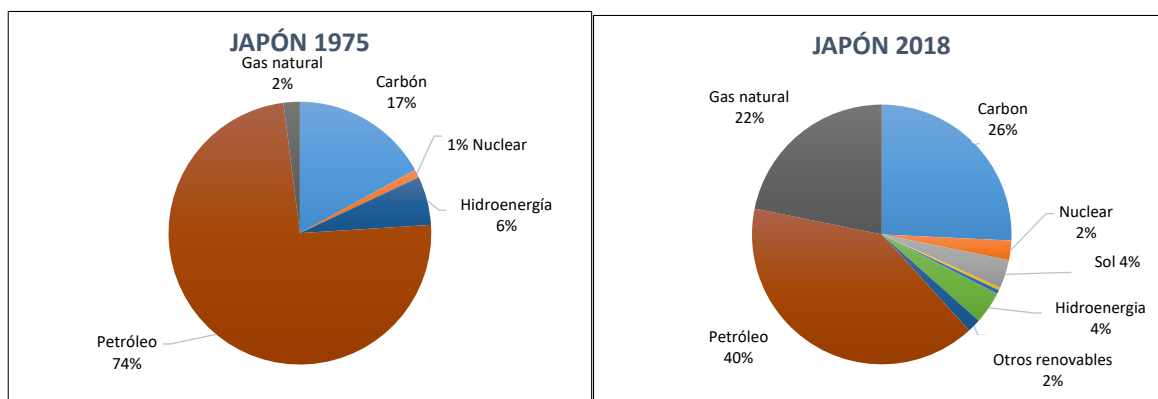
- Introducción de nuevas tecnologías más eficientes y limpias en la generación de energía térmica.
- Promover la generación de energía renovable y aumentar la proporción de combustibles alternativos en la mezcla global de combustibles.
- Reducir las emisiones del sector del transporte.
- Promover la eficiencia energética en la economía, especialmente en la industria, transporte, edificios y electrodomésticos.
- Reducir las emisiones de los residuos.
- Desarrollo de infraestructura resiliente al clima.
- Implementación total de *Green India Mission* y otros programas de reforestación.

China, Estados Unidos e India juntos representaron casi el 70% del aumento en demanda de energía.

JAPÓN

La matriz energética de Japón a 31 de diciembre de 2018 presenta un total de más de 454 Millones de Toneladas equivalentes de petróleo (MTEP).

Figura 8: Matriz Energética de Japón 1975 - 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos reportados por IEA y BP 2019.

El crudo sigue siendo fundamental en el suministro energético con 40% de participación, le sigue el carbón, que representa el 26% y el gas natural con el 22%, las energías renovables con cerca del 10% y la energía nuclear con el 2%. Las emisiones disminuyeron en Japón por quinto año, con una disminución en todos los combustibles fósiles en gran parte debido a mejoras en eficiencia energética y al aumento en la generación de energía nuclear a partir de cuatro reactores que volvieron a entrar en funcionamiento.

Al comparar las dos matrices: 1975 Vs 2018, se observa una reducción del 34% en la participación del petróleo, un aumento de cerca 1.5 veces en la participación del carbón, el gas natural multiplicó su participación en casi 11 veces y la energía nuclear duplicó su participación, la hidroenergía disminuye en 2% y otras renovables tienen una participación del 5%. Respecto al consumo, este solo se incrementó en 38% desde 1975 a 2018, lo que implica un crecimiento promedio anual del 0.7%.

La política energética del Japón está marcada por la situación que el país ha debido enfrentar luego del desastre de la planta nuclear de *Fukushima Daiichi*, posterior al terremoto y tsunami de marzo de 2011, Japón estructuró en 2014, un nuevo Plan Estratégico de Energía.

En su declaración de intención de contribución determinada nacionalmente (INDC) [20], Japón no sólo se compromete a reducir las emisiones domésticas, sino a cooperar en la reducción de las emisiones globales de gases efecto invernadero (GEI), a través de las tecnologías líderes y soporte a países en desarrollo. La NDC de Japón incluye una reducción de emisiones de GEI del 26,0% para 2030 en comparación con 2013 (o una reducción del 25,4% en comparación con 2005), lo que representa aproximadamente 1.042 mil Mt-CO₂ equivalente a 2030).

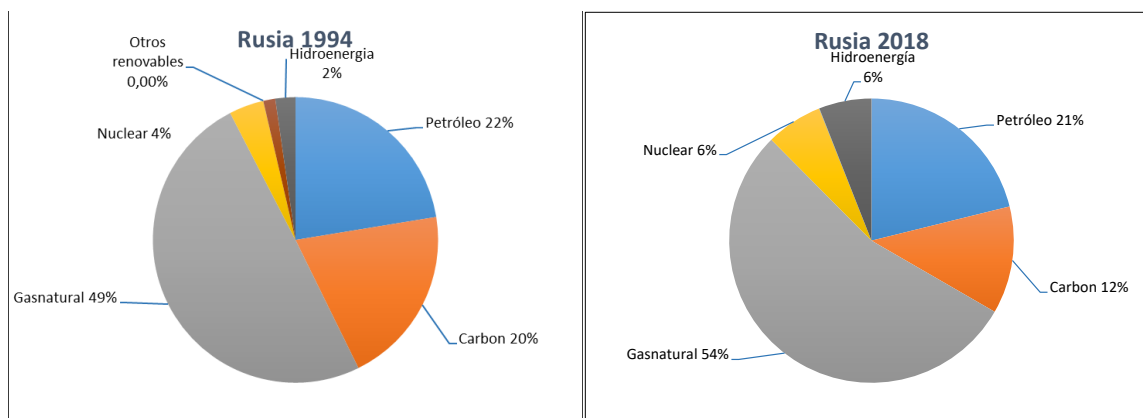
La matriz energética objetivo para 2030 se compone de un 24% de renovables, nuclear 20%, carbón 26%, gas 27% y crudo y 3%. Los compromisos se han elaborado mediante la acumulación de políticas y medidas para los principales sectores emisores, con metas y objetivos definidos, que permiten implementar acciones sector por sector, con estrategias comunes como la eficiencia energética, el uso de tecnología avanzada, medidas de eficiencia y conservación de energía en edificios, sistemas de climatización eficientes, promoción de sistemas de transporte inteligente ITS (control centralizado de señales de tráfico), promoción de la conducción automática, conducción ecológica y uso compartido de automóviles.

Japón continúa avanzando hacia el uso de energías renovables, actualmente avanza con la fabricación de vehículos eléctricos y vehículos propulsados por celdas de hidrógeno. Dado que el Japón tiene una industria automotriz poderosa la cual incluye marcas como: Toyota, Honda, Nissan y Mitsubishi, facilita el avanzar en este aspecto; en consecuencia, más vehículos eléctricos reducirían más la dependencia del petróleo extranjero y del gas natural. Sin embargo, quedan muchos problemas por resolver en relación con los vehículos alimentados con hidrógeno, como por ejemplo los altos costos de fabricación y las emisiones de dióxido de carbono que se generan en el proceso de producción de hidrógeno.

RUSIA

La matriz energética de Rusia a 31 de diciembre de 2018 presenta un total de 720,7 Millones de Toneladas equivalentes de petróleo (MTEP).

Figura 10: Matriz Energética de Rusia 1994 - 2018.



Fuente: Elaboración propia con datos reportados por IEA y BP 2019.

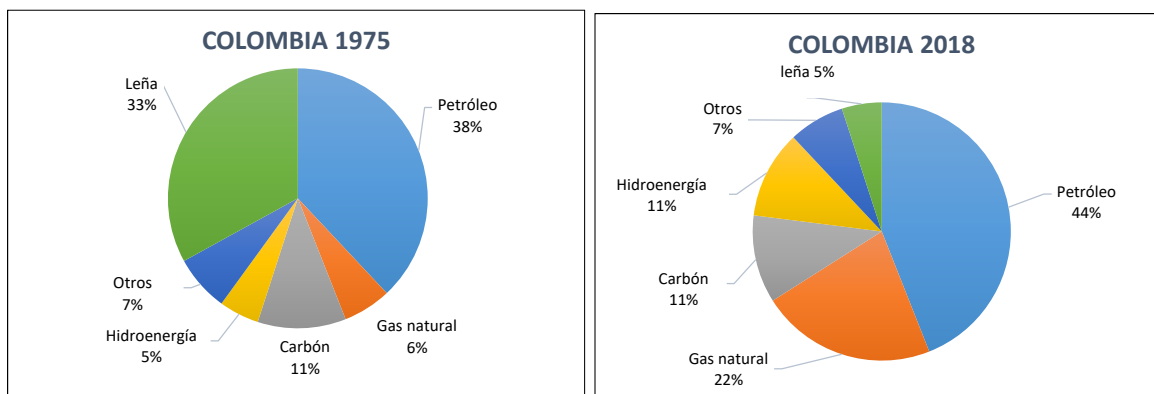
La federación rusa hizo parte de la Unión Soviética hasta 1991 por lo que su información no está disponible con certeza para sus primeros años, por lo que se toma como base la información de 1994. Observando la dinámica de su matriz energética vemos estabilidad en el consumo del crudo, 22%, aumento en un 5% de la participación del gas natural y una disminución de la participación de carbón en 8 puntos porcentuales, los cuales son reemplazados por energía nuclear e hidroenergía principalmente.

Rusia se compromete en su INDC [12] a limitar sus gases de efecto invernadero antropogénicos al 70-75 por ciento respecto a los niveles de 1990 para el año 2030 para ello implementará sus políticas en dos líneas la primera el manejo forestal sostenible y la segunda políticas energéticas. En cuanto al manejo forestal, los bosques boreales rusos tienen importancia mundial para mitigar el cambio climático y conservar la biodiversidad en el planeta. Rusia representa el 70% de los bosques boreales y el 25% de los recursos forestales del mundo [12], por lo que la gestión forestal de sus bosques (uso racional, protección, reproducción) constituye un elemento clave para reducir las emisiones de GEI. De otra parte, la línea energética se enfoca en la reducción de la intensidad energética de su economía, elevar el nivel de eficiencia energética y aumentar la participación de las energías renovables en el balance energético ruso.

COLOMBIA

La matriz energética de Colombia a 31 de diciembre de 2018 presenta un total de 46,9 Millones de Toneladas equivalentes de petróleo (MTEP).

Figura 11: Matriz Energética de Colombia 1975 - 2018.

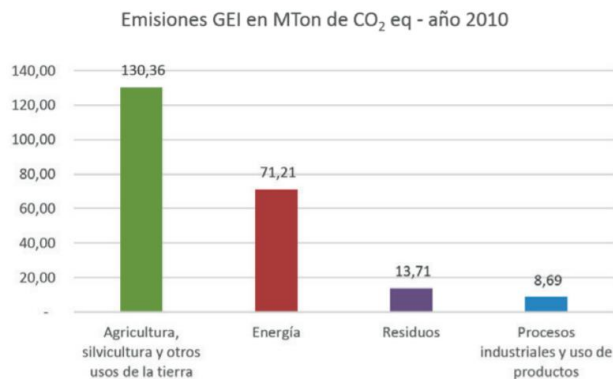


Fuente: Elaboración propia con datos UPME, IEA y BP 2019.

Al contrastar lo que ocurre actualmente con el consumo energético nacional frente a la forma en que se distribuía el consumo de energía en Colombia en 1975, se puede ver que para esa época los combustibles fósiles petróleo, el carbón y el gas natural tenían una demanda considerable y mayoritaria del 55%, complementada por un 5% de generación eléctrica con base hídrica, pero existía un segmento altamente representativo atendido por otras fuentes energéticas registradas por el Balance Energético Colombiano (BECO) como leña, bagazo y en general productos que son identificados como biomasa; se debe resaltar entonces que los efectos de la sustitución de la biomasa por otros energéticos entre 1975 y 2018 generó un aumento en la participación porcentual de los combustibles fósiles, alcanzado actualmente un 73% del total de energía consumida en el país, pero señalando allí un positivo incremento porcentual de la demanda de gas natural (6% en 1975 vs. 22% en 2018) que implica que este hidrocarburo liviano con menor nivel de emisiones de carbono a la atmósfera, empezó a hacerse relevante para atender la demanda energética del país.

Colombia contribuye al 0,46% de las emisiones mundiales y sus emisiones podrían aumentar cerca de 50% al 2030. A raíz del acuerdo de París, el país se comprometió a reducir 20% de sus emisiones con base en el escenario proyectado a 2030 e inclusive, a disminuir el 30% si cuenta con cooperación internacional [6], lo cual quedó consignado en su INDC. Para el cumplimiento de la meta, deben aportar todos los sectores emisores. A partir del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) del 2010 preparado por el IDEAM, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) adelantó la distribución de las emisiones de GEI contemplados por la NDC entre los sectores de cartera ministerial como se muestra a continuación

Figura 12 Distribución Sectorial de emisiones GEI 2010



Fuente: Tomado de Proyecto Informe Bienal de Actualización de Colombia, IDEAM-PNUD 2015 [8]

Tabla 2 Emisiones GEI de 2010 por cartera ministerial, (Mton de CO₂eq)

CARTERA	2010
MME	29,401
MinCIT	22,013
MADR	54,307
MVCT	14,558
MinTransporte	22,661
MADS	1,376
Bolsa Comercial Institucional	1,355
Emisiones por deforestación	78,295
TOTAL	223,966

Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLEÍA, 2017. [6]

El escenario proyectado para Colombia escenario Business as usual (BAU) a partir del INGEI 2010, describe las emisiones como:

- Año 2010: 224 Mton de CO₂eq
- Año 2020: 278 Mton de CO₂eq
- Año 2030: 335 Mton de CO₂eq

Poniendo en porcentaje las participaciones sectoriales presentadas en el gráfico anterior, las emisiones asociadas a la Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra representan el 58% mientras las asociadas a energía el 32% a residuos el 6% y a procesos industriales el 4%, estas asignaciones no se ven representadas directamente en las carteras ministeriales, tabla anterior, debido a que las emisiones por cartera están asociadas a su misión, por ejemplo algunas de las emisiones del sector transporte, se deben al combustible utilizado en los automotores y aunque el combustible es un energético, esas emisiones son asociadas a la cartera de transporte y no de energía requiriendo para su manejo de un trabajo de coordinación interinstitucional.

En 2017 el IDEAM publica los resultados anuales del INGEI como la Tercera Comunicación Nacional (TCN) del País [7] donde ajusta las cifras del sector minas y energía debido al acceso a mejor información relacionada con la quema de combustibles en refinación y el empleo de factores de emisión propios de país para estimar las emisiones de CO₂ por quema de combustibles y para las emisiones fugitivas de CH₄ en minería de carbón; pasando las emisiones del sector de 29,4 a 25,8MtonCO₂eq.

A partir de la línea base de emisiones GEI 2010 y su proyección a 2030 bajo un escenario *Business as usual*, el Ministerio de Minas y Energía establece las líneas estrategias y el potencial de reducción de emisiones.

Tabla 3. Compromiso de mitigación del sector minero-energético según sus líneas estratégicas

Línea estratégica	Potencial de reducción de emisiones de GEI en 2030 (Mton CO₂e)
Eficiencia Enegetica	1,21
Generación de electricidad	4,74
Gestión de la demanda	2,01
Emisiones Fugitivas	3,24
Compromiso de Mitigación	11,2

Fuente: Ministerio de Minas y Energía (2017)

La estrategia de eficiencia energética es transversal a los subsectores de energía eléctrica, minería e hidrocarburos, y se orienta a optimizar el uso del recurso energético en todas sus aplicaciones tomando como base de una parte lo desarrollado desde el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE) y de otra buscando esablecer lineamientos para promover la eficiencia en las centrales de generación eléctrica.

De acuerdo con análisis adelantados [23], para Colombia se proyecta un consumo energético superior a los 1.597PJ en 2030 y a los 2.125 PJ en 2050 con emisiones de CO₂ calculadas como mayores a 108.3 Mton y a 140.1 Mton respectivamente, siendo el sector transporte el mayor consumidor energético y gran responsable de emisiones e ineficiencias.

La línea estratégica de generación de la electricidad es la línea sobre la cual se espera mayor contribución en la disminución de CO₂ en el sector energético y se enfoca en la adecuada diversificación de la canasta energética colombiana de tal manera que permita la reducción de GEI fortaleciendo la garantía de suministro y confiabilidad del sistema.

En 2019 el Ministerio de Minas y Energía, la UPME y XM adelantaron análisis para definir el valor unificado de emisiones de CO₂ para la cuantificaión de GEI producidos en la generación de energía eléctrica nacional, el factor determinado es de 164,38 gr CO₂/kWh⁶

Reconociendo la importancia de la participación de la demanda, la estrategia de gestión de la demanda busca incentivar un consumo activo, que permita distribuir el consumo en horas pico hacia horas valle y gestionando una generación con fuentes menos contaminantes en estas horas.

Las actividades de extracción, procesamiento, producción, almacenamiento y distribución de productos de hidrocarburos generan emisiones fugitivas, por lo que se ha planteado como línea estratégica promover su adecuada gestión y aprovechamiento que bien podría representar no sólo una disminución de GEI sino un beneficio económico para las empresas, por ejemplo por el aprovechamiento económico del gas natural que podría ser capturado.

⁶ Las emisiones totales de CO₂ asociadas a la generación eléctrica colombiana fue de 11.815.408 ton y la generación total en 2019 fue de 71.879.581.392 kWh

ENERGIA RENOVABLE Y GAS NATURAL

Como se mencionó con anterioridad, en 2017 las emisiones de CO₂ asociadas a la quema de combustibles se incrementaron en 1,4% después de varios años de estabilidad. Entre 2010 y 2016, mientras la producción mundial de energía eléctrica creció un 16%, las emisiones solo lo hicieron un 7% debido a las mejoras en la eficiencia de la generación de fósiles y al aumento de la generación renovable. Para el 2016, la generación de electricidad y la climatización fueron la mayor fuente de emisiones, 42%, seguidos por el sector transporte que representó un 25% de las emisiones totales, luego la industria y el sector residencial. Así mismo, el consumo de electricidad por unidad de PIB disminuyó alrededor de un 1% anual y el consumo de petróleo por unidad de PIB disminuyó del orden del 4%. [13].

Siguiendo la tendencia energética y sus políticas actuales, de acuerdo con los análisis de la IEA [13], la atención de las nuevas necesidades energéticas mundiales estará enmarcada en el gas natural, las renovables y la eficiencia energética; esto bajo el supuesto que no se desarrollan tecnologías eficientes de captura, almacenamiento y reúso de CO₂ que harán caer al menos un 50% del consumo de carbón para la generación eléctrica para 2040.

La eficiencia energética garantizará un aumento controlado en el consumo de energía que de no ser así podría doblarse, y una mezcla eficiente de tecnologías de generación a partir de energías renovables, respaldadas por gas natural, con centrales altamente eficientes darán seguridad de suministro y estabilidad del sistema eléctrico. Sin embargo, el protagonismo del gas no se espera en el sector eléctrico, sino en el sector industrial en procesos donde su eficiencia logra ser mayor que la de la electricidad en particular en los sectores químico y manufacturero [15] y en el sector transporte debido a su característica como combustible fósil de bajas emisiones.

Teniendo en cuenta que Estados Unidos se ha convertido en exportador neto de gas y en un importante productor de petróleo, con lo cual ha mantenido una abundancia en el mercado y relativo nivel de bajos precios, la presión por un cambio acelerado hacia vehículos eléctricos no se ha materializado, sin embargo se considera relevante aprovechar la disponibilidad del gas, su nivel de precios y su característica de bajas emisiones para aplicar políticas de promoción de movilidad limpia, actualmente las políticas de eficiencia energética y calidad del aire, benefician el 80% de los vehículos vendidos y un 50% de los camiones.

Se espera que el gas continúe su crecimiento en la matriz energética, llegando en el 2040 a ser el segundo combustible luego del petróleo, es claro que los países que tengan mayor disponibilidad de este recurso generalizarán su uso como sustituto del petróleo, facilitando su consumo a economías en desarrollo encabezadas por China e India, por lo que se espera un importante desarrollo de infraestructura de transporte, licuefacción y regasificación para su mercado internacional.

De otra parte es importante no perder de vista que adicional al aporte del gas para la reducción de emisiones, cuando se le compara con otros combustibles fósiles, también se realiza reducción de emisiones cuando se hace la captura y el reúso del metano emitido en las operaciones de hidrocarburos, se calcula que anualmente 76 millones de toneladas de metano [14] se emiten, en estas operaciones y que la recuperación del 50% de ellas puede mitigarse sin ningún costo neto, por lo que es una medida de mitigación costo efectiva de gran impacto ambiental.

En relación con las energías renovables, el crecimiento en la generación eléctrica a partir de energías renovables no convencionales como la solar y la fotovoltaica, se ha visto acelerado a partir de la rápida reducción de sus costos; el crecimiento de la capacidad de generación solar fotovoltaica en

2016 fue mayor que el de las otras tecnologías; desde 2010, los costos de la energía solar FV han disminuido un 70%; los de la energía eólica un 25%; y los de las baterías un 40% lo cual permitió que estas fuentes energéticas lograran aumentar al 25% su participación como fuente de generación de energía eléctrica en 2017 [16].

El crecimiento mundial de las renovables en 2017 tuvo una participación del 36% en energía eólica, 27% en energía solar fotovoltaica, 22% en hidroenergía y 12% en bioenergía, para 2018 las energías renovables crecieron alrededor del 4%. A pesar del aumento en la generación eólica y solar fotovoltaica, la energía hidroeléctrica sigue siendo la principal fuente de generación de electricidad a partir de energías renovables, con una participación del 65% del total de producción con renovables [16], análisis de la IEA [17] proyecta que a 2022 la energía hidroeléctrica seguirá al frente en las renovables, seguida de la eólica, la solar y la bioenergía.

Para la participación de las renovables en la generación eléctrica se espera un crecimiento del 25% en 2017 al 30% en 2023, adicionalmente al uso de las renovables en la generación eléctrica, se cuenta con su participación en el sector transporte a través de los biocombustibles y de los vehículos eléctricos, sin embargo, su participación es marginal, alrededor del 3,4% y se proyecta un crecimiento a 2023 para llegar a penas al 3,8%; se han hecho progresos en relación con los biocombustibles avanzados, pero aún no logran ser competitivos. Las renovables también son utilizadas para el calentamiento de agua y espacios, y en procesos industriales, en 2017 el 10% de ese calor, se generó a partir de renovables y para 2023 se estima que aumente al 12% [18].

CONCLUSIONES

El hombre hace uso de los recursos naturales para el desarrollo de sus actividades y con ello causa impactos sobre el sistema climático y aunque reconoce las implicaciones de sus acciones, le resulta difícil hacer cambios en el corto plazo que implican inversiones económicas o disminución de su confort.

Aunque desde tiempo atrás se conoce de los impactos de las actividades antropogénicas sobre el medio ambiente, y como las emisiones de uno nos afectan a todos, fue a finales de 2015 con el acuerdo de París que se formalizó el compromiso internacional, por trabajar en el desarrollo sostenible. A pesar de ser conscientes de esa realidad, el compromiso y el aporte de cada país depende de sus condiciones actuales y de sus metas de desarrollo económico y social y buscará soluciones costo-efectivas para la mitigación y adaptación a los impactos causados por el cambio climático.

Han pasado poco menos de 3 años desde el acuerdo de París y algo más de 2 años desde que cada país firmante estableció su “intención de contribución determinada” por lo que los resultados obtenidos en cuanto a reducción de emisiones, obedecen a acciones que se venían adelantando desde tiempo atrás y que han sido potencializadas a partir del acuerdo, pero las políticas establecidas para el cumplimiento de los acuerdos, apenas se están estableciendo o implementando y sus efectos aún no se observan por lo que parece necesario acelerar las acciones para aumentar la posibilidad de cumplir con la meta establecida.

El último informe (octavo) de disparidad en las emisiones de medio ambiente de la ONU proporciona una evaluación técnica detallada del progreso mundial hacia la reducción de emisiones requeridas para avanzar en la ruta correcta hacia el cumplimiento de la meta del acuerdo de París, pero su conclusión, es que los compromisos de los firmantes son distantes de las necesidades de emisiones

que permitan permanecer por debajo de los 2 °C, lo cual resulta desalentador si a eso le sumamos que la implementación de medidas ha sido lenta.

Los combustibles fósiles siguen dominando las matrices energética y eléctrica a nivel mundial respaldados por su disponibilidad, su nivel de precios y el posicionamiento de infraestructura e instrumentos para su aprovechamiento que constituyen una barrera para el logro de la variación de la composición de las matrices, pues se cuenta con infraestructura y productos de larga vida sobre los cuales ya se hicieron las inversiones y se quiere maximizar su beneficio, lo anterior muestra la importancia de que las políticas establecidas sean ambiciosas pues sus efectos son de largo plazo y alto impacto.

Los desarrollos en materia de energía renovable han sido acelerados en los últimos años, logrando niveles de precio que los hacen cada vez más competitivos con las energías convencionales lo que les ha permitido ganar participación en la matriz eléctrica, su crecimiento continuará y el desarrollo de bioenergía tomará una posición importante, sin embargo, debido a su variabilidad e intermitencia, su desarrollo requerirá de un respaldo energético que de seguridad de suministro y estabilidad al sistema eléctrico.

El gas como el combustible fósil menos contaminante, en cantidades disponibles y a precios asequibles, resulta ser el primer llamado a reemplazar los fósiles de mayor contaminación carbón y petróleo. A medida que las renovables se conviertan en la forma más barata de generación eléctrica, el gas continuará su rol en la industria química, en el sector transporte y en el sector eléctrico como equilibrio del sistema en vez de generación de base.

REFERENCIAS

- [1] IPCC, 2013: “Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático” [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América. [En línea]. Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf [Último acceso: 21 mayo 2020]
- [2] IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza. [En línea]. Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf [Último acceso: 21 mayo 2020]
- [3] IPCC, 2014: Resumen para responsables de políticas. En: Cambio climático 2014: Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner,

- P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel y J.C. Minx (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América. [En línea]. Available: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf [Último acceso: 21 mayo 2020]
- [4] UNEP (2017). The Emissions Gap Report 2017. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. [En línea]. Available: <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2017> [Último acceso: 21 mayo 2020]
- [5] UNEP (2018) The Emissions Gap Report 2018. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. [En línea]. Available <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2018> [Último acceso: 21 mayo 2020]
- [6] WWF (2016) García Arbeláez, C., G. Vallejo, M. L. Higgins y E. M. Escobar. El Acuerdo de París. Así actuará Colombia frente al cambio climático. 1 ed. WWF-Colombia. Cali, Colombia. [En línea]. Available: https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia_hacia_la_COP21/el_acuerdo_de_paris_frente_a_cambio_climatico.pdf [Último acceso: 31 mayo 2020]
- [7] IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA (2015) Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Bogotá, Colombia. [En línea]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/comunicaciones-nacionales-de-cambioclimatico/tercera-comunicacion> [Último acceso: 31 mayo 2020]
- [8] Minambiente. 2015 Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional iNDC 2015. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente), Bogotá, Colombia. [En línea]. Available https://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/documentos_tecnicos_soporte/Contribuci%C3%B3n_Nacionalmente_Determinada_de_Colombia.pdf. [Último acceso: 28 mayo 2020]
- [9] IEA. 2017. Global Energy & CO2 Status Report 2017. International Energy Agency (IEA). [En línea] Available https://webstore.iea.org/download/direct/2460?fileName=Global_Energy_and_CO2_Status_Report_2017.pdf [Último acceso: 25 mayo 2020]
- [10] BP. 2020. Statistical Review of World Energy 2020 [En línea] Available <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> [Último acceso: 6 octubre 2020]
- [11] UNEP (2018) U.S. Cover Note, INDC and Accompanying Information.pdf. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. [En línea]. Available <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/United%20States%20of%20America/1/U.S.%20Cover%20Note%20INDC%20and%20Accompanying%20Information.pdf> [Último acceso: 31 mayo 2020]

- [12] UNEP (2018) Russian Submission INDC_eng_rev1.doc. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. [En línea]. Available <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Colombia/1/INDC%20Colombia.pdf> [Último acceso: 27 mayo 2020]
- [13] IEA. 2018. CO2 Emissions from fuel combustion an essential tool for analysts and policy makers. International Energy Agency (IEA). [En línea] Available <https://www.iea.org/statistics/co2emissions/> [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [14] IEA. 2017. World energy Outlook 2017. International Energy Agency (IEA). [En línea] Available <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2017> [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [15] IEA. 2018. Gas 2018 Analysis and forecasts to 2023. International Energy Agency (IEA). [En línea] Available <https://www.iea.org/gas2018/> [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [16] IEA. 2018. Global Energy and CO2 Status Report 2017. International Energy Agency (IEA). [En línea] Available <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2017> [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [17] IEA. 2017. Renewables 2017. International Energy Agency (IEA). [En línea] Available <https://www.iea.org/publications/renewables2017/> [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [18] IEA. 2018. Renewables 2018. International Energy Agency (IEA). [En línea] Available <https://www.iea.org/renewables2018> [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [19] UNEP (2018) Enhanced actions on climate change: China's Intended Nationally Determined Contributions. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. [En línea]. Available <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/China/1/China's%20INDC%20-%20on%2030%20June%202015.pdf> [Último acceso: 21 mayo 2020]
- [20] UNEP (2018) Submission of Japan's Intended Nationally Determined Contribution (INDC). United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi. [En línea]. Available https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Japan/1/20150717_Japan's%20INDC.pdf. [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [21] UNEP (2018) India's Intended Nationally Determined Contribution. United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. [En línea]. Available <https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/India/1/INDIA%20INDC%20TO%20UNFCCC.pdf> [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [22] IEA. (2019) Global Energy & CO2 Status Report 2019. International Energy Agency (IEA). [En línea] <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019/emissions> [Último acceso: 25 mayo 2020]
- [23] Energy (2018) J.A. Nieves, A.J. Aristizábal, I. Dyner, O. Báez, D.H. Ospina, Energy demand and greenhouse gas emissions analysis in Colombia: A LEAP model application, doi: 10.1016/j.energy.2018.12.051

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BP. (2018). BP statistical review of world energy energy [En línea] Available <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf> [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [2] Caineng Zou, Qun Zhao, Jianjun Chen, Jian Li, Zhi Yang, Qinqing Sun, Jialiang Lu, Gangxiong Zhang. Natural gas in China: Development trend and strategic forecast, *Natural Gas Industry B*, Volume 5, Issue 4, July 2018, Pages 380-390, <https://doi.org/10.1016/j.ngib.2018.04.010>
- [3] DNP. (2014). Impactos económicos del cambio climático en Colombia. Departamento Nacional de Planeación (DNP), CEPAL, BID. [En línea] Available from <https://publications.iadb.org/es/publicacion/13867/impactos-economicos-del-cambio-climatico-en-colombia> [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [4] Hsu, A.; Widerberg, O.; Weinfurter, A.; Chan, S.; Roelfsema, M.; Lütkehermöller, K. and Bakhtiari, F. (2018). Bridging the emissions gap - The role of nonstate and subnational actors. In *The Emissions Gap Report 2018. A UN Environment Synthesis Report*. United Nations Environment Programme. Nairobi.
- [5] IEA. 2017. World Energy outlook 2017. International Energy Agency (IEA). [En línea] Available from <https://www.iea.org/weo2017> [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [6] IEA. 2018. World Energy balances 2018. International Energy Agency (IEA). [En línea] Available from https://webstore.iea.org/download/direct/2263?fileName=World_Energy_Balances_2018_Overview.pdf [Último acceso: 23 noviembre 2019]
- [7] IEA. 2018. The gas industry's future looks bright over next five years, according to IEA análisis. International Energy Agency (IEA). [En línea] Available <https://www.iea.org/news/the-gas-industrys-future-looks-bright-over-next-five-years-according-to-iea-analysis> [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [8] IRENA 2018. Corporate Sourcing of Renewable Energy: Market and Industry Trends Remade Index 2018. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. [En línea] available from www.irena.org/publications/2018/May/Corporate-Sourcing-of-Renewable-Energy [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [9] LÁZARO TOUZA, L. (2016). Energía y clima tras el Acuerdo de París: la transición en marcha. *Tiempo de Paz*, (120), 56–65. Retrieved from <http://ezproxy.utadeo.edu.co:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=116841666&lang=es&site=eds-live&scope=site> [Último acceso: 31 mayo 2020]

- [10] MINMINAS 2018. Plan integral de gestión del cambio climático – Sector minero energético. Ministerio de Minas y Energía (Minminas), Bogotá, Colombia. [En línea] available from <https://www.minenergia.gov.co/plan-integral-cambio-climatico>. [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [11] UPME 2015. Estudio de generación eléctrica bajo escenario de cambio climático. Unidad de Planeación Minero Energética - UPME, Bogotá, Colombia. [En línea] available from http://www1.upme.gov.co/Documents/generacion_electrica_bajo_escenarios_cambio_climatico.pdf [Último acceso: 24 mayo 2020]
- [12] WEC 2019. World Energy Trilemma Index 2019, World Energy Council (WEC), United Kingdom. [En línea] available from https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WETrilemma_2019_Full_Report_v4_pages.pdf [Último acceso: 31 mayo 2020]
- [13] WEC 2017. The Role of Natural Gas (Perspective from the 2016 World Energy Scenarios), World Energy Council (WEC), United Kingdom. [En línea] available from <https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WEC-PERSPECTIVES-Word-Gas-Report-WEB.pdf> / [Último acceso: 31 mayo 2020]
- [14] Yuan, JH., Zhou, S., Peng, TD. et al. Petroleum substitution, greenhouse gas emissions reduction and environmental benefits from the development of natural gas vehicles in China. *Petroleum science* August 2018, Volume 15, pp 644–656. <https://doi.org/10.1007/s12182-018-0237-y> [Último acceso: 31 mayo 2020]