

ANÁLISIS DE LA PROSPECTIVIDAD DEL PETRÓLEO CRUDO Y SU MERCADO EN
COLOMBIA, MEDIANTE LA FORMULACIÓN DE DISTINTOS ESCENARIOS

JOSE NICOLAS RUEDA RUEDA
ANDRÉS FELIPE MANRIQUE PÉREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2021

ANÁLISIS DE LA PROSPECTIVIDAD DEL PETRÓLEO CRUDO Y SU MERCADO EN
COLOMBIA, MEDIANTE LA FORMULACIÓN DE DISTINTOS ESCENARIOS

JOSE NICOLAS RUEDA RUEDA
ANDRÉS FELIPE MANRIQUE PÉREZ

Trabajo de grado para optar título de Ingeniero de petróleos

Director:

Erik Giovany Montes Páez
M. Sc. en Ingeniería de Hidrocarburos

Codirector:

Camilo Andrés Guerrero Martín
M. Sc. en Macromoléculas

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2021

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	21
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	21
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2. GENERALIDADES	22
2.1. USOS Y DERIVADOS DEL PETRÓLEO	23
2.2. MERCADO INTERNACIONAL DEL PETRÓLEO.....	26
2.2.1. Referencias de barriles de petróleo.....	26
2.3. ESTADÍSTICAS DE PETRÓLEO EN EL MUNDO	30
2.3.1. Canasta energética mundial.....	30
2.3.2. Reservas de petróleo mundiales	33
2.3.3. Producción de petróleo.....	35
2.3.4. Producción mundial.....	36
2.3.5. Comparación del petróleo con otras fuentes energéticas.....	37
2.4. MERCADO DEL PETRÓLEO EN COLOMBIA.....	38
2.4.1. Reservas nacionales	40
2.4.2. Producción nacional	42
2.4.3. Principales departamentos y municipios productores.....	44
2.4.4. Refinación.	45
2.5. CANASTA ENERGÉTICA COLOMBIANA	50
2.6. CONSUMO DE ENERGIA POR SECTOR	51
2.7. OFERTA ENERGÉTICA 1975 - 2019.....	53
2.8. CONSUMO DE ENERGÉTICOS DEL SECTOR TRANSPORTE.....	54
2.9. CONSUMO DE ENERGÉTICOS DEL SECTOR INDUSTRIAL.....	56
2.10. CONSUMO DE ENERGÉTICOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL.....	57
2.11. IMPORTANCIA DEL PETRÓLEO EN COLOMBIA	57

3.	FORMULACIÓN DE ESCENARIOS.....	62
3.1.	ESCENARIOS DE PLANIFICACIÓN.....	63
3.2.	HIPÓTESIS Y VARIABLES SIGNIFICATIVAS.....	65
3.3.	HIPÓTESIS RELEVANTES DEL CONTEXTO MUNDIAL.....	66
3.4.	HIPÓTESIS RELVANTES DEL CONTEXTO NACIONAL.....	66
3.5.	SELECCIÓN DE VARIABLES RELEVANTES.....	67
3.6.	METODOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS.....	70
3.6.1.	Integración de planes.....	71
3.7.	ENTIDADES NACIONALES E INTERNACIONALES REFERENTES EN PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA.....	74
3.7.1.	Escenarios planteados por el WEC.....	75
3.7.2.	Escenarios planteados por British Petroleum (BP).....	78
3.7.3.	Plan energético nacional 2020-2050 (UPME).....	80
3.7.4.	Escenarios planteados por Shell.....	81
3.8.	ESCENARIOS NACIONALES DEL CRUDO PROPUESTOS POR LOS AUTORES.....	83
3.8.1.	Ganimedes.....	85
3.8.2.	Calisto.....	86
3.8.3.	Ío.....	87
4.	PROSPECTIVA.....	90
4.1.	DEFINICIÓN.....	90
4.2.	ANÁLISIS PROSPECTIVO.....	91
4.3.	MÉTODOS Y MODELOS DE ESCENARIOS PARA LA PROSPECTIVA ..	93
4.4.	ENFOQUE SIMPLIFICADO: PROSPECTIVA DEL BALANCE ENERGETICO	94
4.5.	LEAP.....	95
4.6.	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	97
4.7.	PROSPECTIVA DE LOS ESCENARIOS PROPUESTOS.....	97
4.7.1.	Ganimedes.....	98

4.7.2. Calisto	100
4.7.3. Ío	102
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	104
6. CONCLUSIONES.....	108
7. RECOMENDACIONES	110
BIBLIOGRAFÍA	111
ANEXOS	121

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Resultados cuestionario Delphi realizado por UNAL/UNIVALLE	121
Anexo B. Resultados Encuesta: es adecuada la regulación colombiana para la transición energética	123
Anexo C. Factores que dificultan la transición energética, actores del sector.....	124
Anexo D. Factores que dificultan la transición energética, expertos	125
Anexo E. Políticas adoptadas por Colombia enfocadas a la transición energética	126
Anexo F. Data de reservas de crudo en Colombia.....	128
Anexo G. Data histórica de producción de crudo en Colombia	129
Anexo H. Data histórica de consumo de crudo en Colombia	130
Anexo I. Data histórica de consumo de derivados del crudo en Colombia.....	131
Anexo J. Data histórica de comportamiento de la canasta energética en Colombia	132
Anexo K. Data histórica población colombiana	133
Anexo L. Data histórica de PIB y PIB per cápita	134

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ejemplos de los derivados del petróleo crudo y sus usos	25
Tabla 2. Crudos de referencia	27
Tabla 3. Exportaciones colombianas para 2019	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso de destilación y productos obtenidos del petróleo crudo	24
Figura 2. Evolución del precio del crudo	29
Figura 3. Consumo de energía primaria por fuente	31
Figura 4. Distribución de reservas de petróleo por región	34
Figura 5. Países con mayores reservas de petróleo	35
Figura 6. Participación de la producción por regiones	36
Figura 7. Emisiones de CO ₂ mundial	37
Figura 8. Relación de reservas y producción de crudo en Colombia	41
Figura 9. Producción colombiana de petróleo	42
Figura 10. Producción fiscalizada en Colombia 2020	43
Figura 11. Principales departamentos productores de petróleo en Colombia	44
Figura 12. Carga a refinería en Colombia	45
Figura 13. Producción fiscalizada en Colombia 2020	46
Figura 14. Cadena de distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo	49

Figura 15. Diagrama Sankey de balance energético de Colombia en 2015.	51
Figura 16. Canasta energética Colombia 1975 vs 2019.	52
Figura 17. Oferta por energéticos 1975 vs 2019	53
Figura 18. Participación de la canasta energética para el sector transporte	54
Figura 19. Parque automotor registrado en el RUT a 2021	55
Figura 20. Participación de la canasta energética para el sector industrial	56
Figura 21. Participación de la canasta energética para el sector residencial	57
Figura 22. Inversión extranjera directa por sectores 2018-2019	59
Figura 23. Beneficios económicos dependiendo de la etapa del proyecto	60
Figura 24. Cuenta corriente colombiana	61
Figura 25. Camino hacia la prospectiva	63
Figura 26. Curva económica de Kuznets.	73
Figura 27. Curva ambiental de Kuznets	74
Figura 28. Descripción gráfica de prospectiva	91
Figura 29. Descripción gráfica de prospectiva	92

Figura 30. Entrada o interfase de LEAP	97
Figura 31. Reservas petróleo Ganimedes	98
Figura 32. Producción de petróleo Ganimedes	98
Figura 33. Consumo total de barriles de crudo en Ganimedes	99
Figura 34. Consumo total de barriles de derivados del crudo en Ganimedes	99
Figura 35. Reservas Calisto.	100
Figura 36. Producción Calisto.	100
Figura 37. Consumo total de barriles de derivados del crudo en Calisto	101
Figura 38. Consumo total de barriles de derivados del crudo en Calisto	101
Figura 39. Reservas Ío	102
Figura 40. Producción Ío	102
Figura 41. Consumo total de barriles de derivados de crudo en Ío	103
Figura 42. Consumo total de barriles de derivados del crudo en Ío	103

GLOSARIO

Barril Equivalente De Petróleo: Es una unidad de energía equivalente a la energía liberada durante la quema de un barril (aproximadamente 42 galones estadounidenses o 158,9873 litros de petróleo crudo).

Commodity: Es un material tangible que se puede comerciar, comprar o vender. Normalmente se utilizan como insumos en la fabricación de otros productos más refinados. Lo que distingue a los *commodities* de otros bienes es que están estandarizados y son intercambiables con otros bienes del mismo tipo. Generalmente los *commodities* se extraen, cultivan, producen y comercializan en cantidades lo suficientemente grandes como para sostener liquidez¹.

Demanda: La demanda es el valor global del mercado que expresa las intenciones adquisitivas de los consumidores. La curva de la demanda muestra la cantidad de un bien específico que los consumidores o la sociedad están dispuestos a comprar en función del precio del bien y a la renta disponibles. Esta curva muestra una relación inversa entre el precio del producto y la cantidad demandada dando lugar a una pendiente negativa. La razón por la que esto ocurre se conoce como la ley de la demanda: *ceteris paribus*, y considerando bienes ordinarios, cuanto más alto sea el precio, menor será la demanda y viceversa².

Por otro lado, la UPME³ da una definición más enfocada en el hecho de que es una variable impredecible y mucho más difícil de ajustar que la oferta, además plantea que

¹ INSTITUTO DE ESTUDIOS CAJASOL BUSINESS SCHOOL. 2020

² POLICONOMICS. En: Oferta y demanda. 2017. <https://policonomics.com/es/oferta-demanda/>

³ UPME. En: Plan estratégico nacional 2020-2025. 2019

puede ser afectada por: Ciclos económicos, crecimiento mundial de PIB, estacionalidad, comportamiento del dólar americano y liquidez de los mercados financieros.

Escenarios: Es un método para el análisis del entorno que permite identificar y comparar diferentes factores estratégicos, situándolos en un contexto futuro determinado y estudiar su posible impacto⁴.

Demanda De Energía Final: Es la demanda de energía primaria descontando el consumo de los sectores energéticos y transformadores, así como las pérdidas relacionadas con la transformación de energía. Es una medida de las necesidades de energía de los consumidores finales de un país o región⁵.

Demanda De Energía Primaria: Es la cantidad total de recursos energéticos consumidos, ya sea directamente o para su transformación en otra forma de energía⁶.

Intensidad Energética Primaria Respecto Al Pib: Es la cantidad de energía primaria consumida para generar una unidad de producto interno bruto (PIB)⁷.

Mercado: Es definido como un grupo de compradores y vendedores de un determinado bien o servicio⁸.

⁴ CELY, A. En: Metodología de los Escenarios para Estudios Prospectivos. 1999.

⁵ REPSOL. 2020

⁶ Ibid.

⁷ Ibid.

⁸ NUÑEZ, Fernando. En: Capítulo 2. Mercados. El modelo básico oferta-demanda. 1° Economía Industrial. Titulación de Ingeniería Industrial. Curso 2009/2010.
http://accioneduca.org/admin/archivos/clases/material/que-es-el-mercado_1563889630.pdf

Fisher & Espejo⁹ exponen que para la mercadotecnia toma una definición totalmente distinta. Está constituida por los consumidores reales y potenciales de algún producto o servicio y deben cumplir con tres condiciones: la primera es que existan individuos con necesidad y deseos por satisfacer, la segunda es que haya un producto capaz de satisfacer esas necesidades y deseos, por último, deben existir personas que vendan esos productos.

En Preguntas Sobre Marketing y Publicidad; El mercado es "donde confluyen la oferta y la demanda. En un sentido menos amplio, el mercado es el conjunto de todos los compradores reales y potenciales de un producto. Por ejemplo: El mercado de los autos está formado no solamente por aquellos que poseen un automóvil sino también por quienes estarían dispuestos a comprarlo y disponen de los medios para pagar su precio"¹⁰.

Matriz Energética: La matriz energética es definida como el conjunto de recursos energéticos disponibles o la cantidad de energía disponible en un territorio determinado. Está compuesta principalmente por fuentes no renovables; como petróleo, carbón y gas natural, también por fuentes renovables, como la energía eólica, solar y geotérmica, pero en menor medida¹¹.

Oferta: Es el conjunto de promesas hechas en el mercado por los bienes y servicios a la venta. La curva de oferta recoge la localización de los puntos correspondientes a las cantidades ofertadas de un bien o servicio particular a diferentes precios. Esta curva muestra una relación directa entre la cantidad ofertada y el precio, dando una pendiente

⁹ FISHER, Laura & ESPEJO, Jorge. En: Mercadotecnia. Cuarta edición. 2012. https://www.academia.edu/28714916/Mercadotecnia_Laura_Fisher_pdf

¹⁰ FARBER, Bonta. En: 199 preguntas sobre marketing y publicidad. Estados Unidos de América. 2019. <https://www.iberlibro.com/buscar-libro/titulo/199-preguntas-marketing-publicidad/autor/bonta-farber/>

¹¹ POLYEXCEL. Matriz energética: entienda qué es y para qué sirve. Disponible en: <https://polyexcel.com.br/es/productos/matriz-energetica-entienda-que-es-y-para-que-sirve/>

positiva. La razón por la que esto existe se conoce como la ley de la oferta: *caeteris paribus*, y considerando bienes ordinarios, cuanto mayor sea el precio, mayor será la cantidad ofertada, y viceversa¹².

PIB (Producto Interno Bruto): Representa el resultado final de la actividad productiva de las unidades de producción residentes. Se mide desde el punto de vista del valor agregado, de la demanda o las utilizaciones finales de los bienes y servicios y de los ingresos primarios distribuidos por las unidades de producción residentes¹³.

Planificación: Se define como: “Plan general, metódicamente organizado y frecuentemente de gran amplitud, para obtener un objetivo determinado, tal como el desarrollo armónico de una ciudad, el desarrollo económico, la investigación científica, el funcionamiento de la industria, etc”¹⁴.

Prospectiva: Es el conjunto de análisis y estudios realizados con el fin de explorar o predecir el futuro.

Para este caso, existen dos formas de predicción del futuro como se explica a continuación¹⁵:

Predicción (Forecast): Es una de las formas de predicción del futuro y hace referencia a la aplicación de modelos matemáticos con el fin de generar una vista de cómo serán las condiciones a futuro, entre las más comunes tenemos: econometría, demografía, meteorología y astronomía¹⁶.

¹² POLICONOMICS. Op. Cit.

¹³ DANE. En: Boletín Técnico Exportaciones (EXPO). Diciembre 2018.

¹⁴ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. En: Planificación. <https://dle.rae.es/planificaci%C3%B3n>

¹⁵ CASTILLO, J. Planificación estratégica y prospectiva: https://www.youtube.com/watch?v=5gbQpxj4AvM&t=155s&ab_channel=Jos%C3%A9MiguelCastillo

¹⁶ CASTILLO, J. Op. Cit.

Previsión (*Foresight*): Es la segunda manera de realizar predicciones y depende de un entorno social lo que hace más difícil de controlar las variables¹⁷, algunos ejemplos de estas son:

- Revelaciones de visionarios o astrólogos, la cual es la menos recomendada por Castillo debido al nulo sustento científico
- Opinión individual, en este caso se refiere a los escritos de opinión de expertos, académicos y analistas del tema en discusión
- Finalmente menciona a la opinión grupal, la cual hace referencia a la prospectiva general de una entidad, o a la planificación energética de un país.

¹⁷ Ibip.

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DE LA PROSPECTIVIDAD DEL PETRÓLEO CRUDO Y SU MERCADO EN COLOMBIA, MEDIANTE LA FORMULACIÓN DE DISTINTOS ESCENARIOS*

AUTOR: ANDRÉS FELIPE MANRIQUE PÉREZ, JOSE NICOLAS RUEDA RUEDA**

PALABRAS CLAVE: Petróleo, Análisis, Prospectiva, Mercado, Escenarios, Consumo, Producción, Reservas.

DESCRIPCIÓN: En este trabajo de investigación, que es de hecho una continuación del trabajo “Análisis de la Prospectividad del Mercado del Gas en Colombia Mediante la Formulación de distintos Escenarios”, los cuales fueron elaborados en el Grupo de Investigación en Planeamiento Energético GALILEO, se realiza un análisis del mercado del crudo en la actualidad, caracterizando el consumo de petróleo y sus derivados, así como su producción y reservas en Colombia.

Con base en los principios de planeamiento estratégico se consideraron y plantearon tres escenarios para el mercado del crudo en Colombia hasta 2040. Para la elaboración de estos escenarios fue necesaria la definición de variables significativas e hipótesis. Tanto entidades internacionales (WEC, EIA, BP, SHELL, entre otras) como nacionales (UPME, UIS, UNAL) han publicado sus trabajos de investigación, los cuales fueron utilizados como guía teniendo en cuenta su experticia y criterio de planeamiento. Estas entidades toman en consideración aspectos económicos, sociales, medioambientales, y políticos para plantear sus escenarios enfocados en la prospectiva energética

Finalmente, el software de simulación de uso libre LEAP, fue utilizado para modelar estos escenarios, permitiendo el análisis del panorama de estimaciones de reservas, consumo, producción y reservas en el tiempo estimado. Los resultados para Ganimedes, lo y Calisto representan tres diferentes realidades para Colombia; sus resultados y análisis se presentarán en este trabajo para uno de los escenarios planteados.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Erik Giovany Montes Páez, M. Sc. ingeniería de hidrocarburos. Codirector: Camilo Andrés Guerrero Martín, M. Sc Macromoléculas.

ABSTRACT

TITLE: PROSPECTIVE ANALYSIS OF THE PETROLEUM MARKET IN COLOMBIA THROUGH THE FORMULATION OF SCENARIOS*

AUTHOR: ANDRÉS FELIPE MANRIQUE PÉREZ, JOSE NICOLAS RUEDA RUEDA **

KEY WORDS: Petroleum, Analysis, Forecasting, Market, Scenarios, Consumption, Production, Reserves.

DESCRIPTION: On this research project, which is in fact an analogous research work of Prospective Analysis of the Natural Gas Market in Colombia Through the Formulation of Scenarios” both researches conducted at GALILEO, is analysed the current crude oil market, by characterizing petroleum consumption and its by-products, same as its production and reserves in Colombia.

By the usage of strategic planning principles three prospective scenarios were contemplated and set for crude oil market in Colombia to 2040. To elaborate those scenarios, define significant variables and hypothesis was necessary. International (WEC, EIA, BP, SHELL, etc) and national (UPME, UIS and UNAL) entities have published their own research works which have been used as guidelines due to their expertise and planning criteria. Those entities consider aspects such as economic, social, environmental, and politic to plan their scenarios focused on energy foresight.

Finally, the free usage software simulation, LEAP, was utilised for modelling these scenarios, permitting the outlook analysis of consumption, production and reserves estimates within the set timeframe. The results for Ganymede, Callisto and Io represent three different but possible realities for Colombia and their analysis will be shown on this project.

* Degree work

** Faculty of Physico-chemical Engineering. School of Petroleum Engineering. Director: Erik Giovany Montes Páez, M. Sc. Hydrocarbur Engineering. Co-director: Camilo Andrés Guerrero Martín, M. Sc. Macromolecules.

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía es intrínseco del ser humano, ya sea con el fin de suplir necesidades básicas como cocinar, o satisfacer comodidades, como ver televisión. La evolución de esta sociedad humana ha significado históricamente, un aumento en la demanda energética.

El uso de fuentes para suplir estas necesidades energéticas depende de la disponibilidad de estas, además, de otros factores como la tecnología con la que se cuenta para explotarlas. Durante el siglo anterior y este, el energético más utilizado ha sido uno con origen no renovable, el petróleo.

Actualmente; el crecimiento poblacional, la contaminación, la disponibilidad de los recursos y el costo de extracción de estos son algunas de las variables consideradas a la hora de plantear proyectos de extracción y producción de energéticos, sin embargo, la tendencia marca que la humanidad requiere una oferta mayor para suplir la demanda en constante crecimiento.

Es así como naciones y expertos de la materia energética discuten acerca de; cuál será el comportamiento de consumo de energía en el futuro, cómo se va a suplir la demanda de energía, de que fuentes va a provenir, que impacto generará al medio ambiente y si esto infiere un crecimiento económico.

Algunas entidades internacionales como *British Petroleum*, Repsol, la Agencia Internacional de la Energía, *Shell* o el Consejo Mundial de la Energía, han realizado

estudios prospectivos, basándose en distintos criterios e hipótesis, pero enfocados en la transición energética y Colombia no es ajena a este tipo de análisis, de hecho, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) también ha publicado diversos estudios enfocados en esta temática para Colombia.

En Colombia, el petróleo es la materia prima con mayor participación en la canasta energética¹⁸, este genera liquidez para el país; debido a sus exportaciones, a la inversión extranjera y a las regalías relacionadas con sus proyectos, y, todo esto en un contexto en el que las reservas colombianas no superan los 6 años¹⁹ y que Colombia se ha comprometido a disminuir las emisiones de CO₂

Teniendo en cuenta lo anterior, este trabajo tiene como propósito plantear distintos escenarios con base en variables e hipótesis significativas y simularlos en el software LEAP, con el fin de analizar el comportamiento del consumo, reservas y producción de crudo y sus derivados. Esto se realizará en cuatro partes, la primera parte va enfocada hacia el crudo, cuáles son sus principales derivados, el uso intensivo por sectores, como se comporta el mercado internacional y el papel que juega en Colombia. La segunda parte se dirige hacia la construcción de escenarios y la metodología que se utilizó para ello, la cual es la recomendada por la Organización Latinoamericana De Energía (OLADE). La tercera explica los análisis prospectivos y como se realizó la recolección de información para finalmente introducirla en el software LEAP con el cual se generaron los pronósticos de consumo, producción y reservas de crudo para los escenarios planteados con un horizonte temporal a 2040.

¹⁸ UPME. En: Evolución y perspectivas del precio del petróleo. 2020.

¹⁹ UPME. Balance Energético Colombiano. Unidad de Planeación Minero-Energética

Este documento busca darle continuidad al trabajo Análisis Prospectivo del Mercado del Gas Natural en Colombia Mediante la Formulación de Escenarios, trabajos realizados en el Grupo de Investigación en Planeamiento Energético de la Universidad de Santander, que buscan ayudar en la construcción de políticas alrededor de la diversificación de la canasta energética, reconociendo el protagonismo que tiene y tendrá el crudo durante los próximos años sirviendo como puente hacia la transición energética.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis prospectivo del mercado del petróleo crudo en Colombia mediante la formulación de distintos escenarios

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión bibliográfica basada en el estudio del mercado, el comportamiento histórico y situación actual de las reservas, así como el consumo y la producción en la industria petrolera colombiana
- Formular escenarios prospectivos en el mercado del crudo en Colombia teniendo como punto de partida los referentes nacionales e internacionales relacionados con esta área de investigación
- Generar pronósticos de producción, demanda y reservas de crudo para cada uno de los escenarios planteados, teniendo en cuenta las suposiciones que estarán basadas en la situación actual de la industria petrolera colombiana

2. GENERALIDADES

El descubrimiento del petróleo no es reciente, es posible que la primera referencia que se tenga sobre este compuesto date de hace más de 4.000 años, donde el “asfalto” se usó para la construcción de los muros de la torre de Babel como pegamento o cemento²⁰. No obstante, su uso extensivo se dio posterior a 1859; con el suceso ocurrido en Titusville Pensilvania, donde Edwin L. Drake logró perforar el primer pozo comercialmente viable²¹, tras este hecho el consumo de crudo ha estado en constante crecimiento hasta convertirse en el energético más utilizado por el humano en la actualidad.

El crudo es mayormente utilizado en Colombia y en el mundo, en el sector transporte, en ello se profundizará en la sección 3.5 de este libro.

El petróleo, sin embargo, no es utilizado por los consumidores finales directamente; sino son sus derivados los que combustionan en los motores, se utilizan como lubricantes, o son utilizados para la fabricación de carreteras, plásticos, y camisetas, en otras palabras, el crudo debe ser sometido a un proceso de refinación con el fin de obtener estos derivados.

²⁰ Capitulo 1, Versículo 3, Biblia

²¹ ASTM INTERNATIONAL. A ctimeline of highlights from the shistories of ASTM Committee D02 and the petroleum history. https://www.astm.org/COMMIT/D02/to1899_index.html

2.1. USOS Y DERIVADOS DEL PETRÓLEO

El petróleo es un pilar fundamental para el desarrollo de diferentes industrias como la textil, farmacéutica, química, fertilizantes, alimenticia y en especial la automotriz así lo evidencia SENER en su investigación en petroquímica²².

Simultáneamente, el avance de la tecnología en las refinerías y la demanda de los derivados del petróleo ha aumentado, haciendo el proceso de refinación del crudo más eficiente. Con el objetivo de entender como es este proceso de obtención de estos derivados se explica:

En la figura 1 se muestra a la izquierda el tanque de almacenamiento de donde parte el petróleo crudo²³ que alimenta el proceso de destilación fraccionaria. Inicialmente el crudo es calentado hasta 400°C antes de ingresar a la torre de destilación, para que este ingrese en fase gaseosa. Allí el fluido se eleva a través de las placas o bandejas perdiendo calor, permitiendo la retención de líquidos condensados; los diferentes puntos de ebullición de los hidrocarburos permiten la obtención de los diferentes derivados²⁴, los puntos de ebullición son directamente proporcionales a la longitud de la cadena de hidrocarburos, es decir, más larga la cadena, mayor será su punto de ebullición.

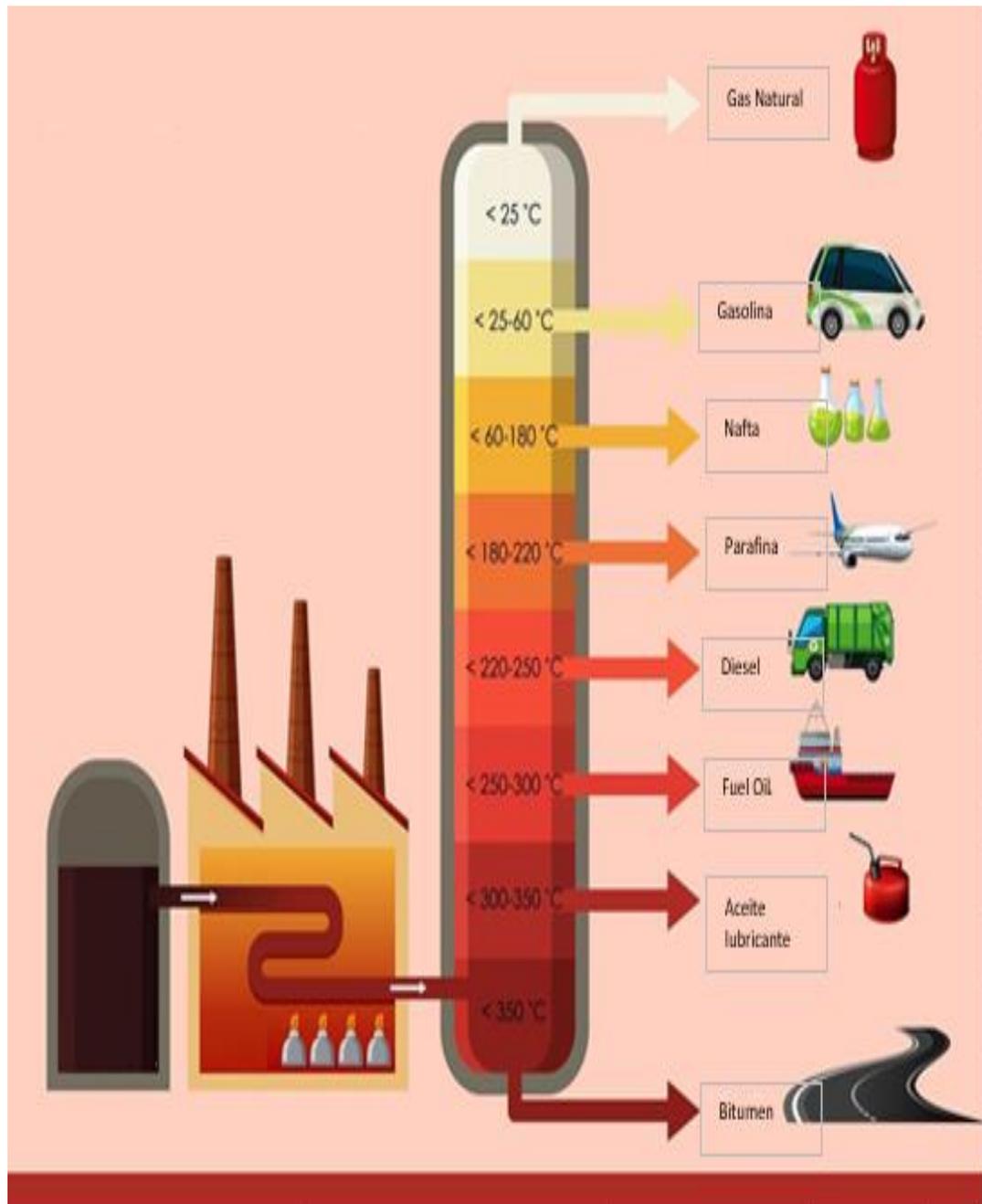
Durante las diferentes etapas de destilación se obtienen derivados específicos, estos, así como sus usos se pueden observar en la tabla 1. Sin embargo, es relevante mencionar que la mayoría de los destilados deben ser reprocesados químicamente para remover impurezas.

²² METANO, E., LA, M., & INSTALADA, C. En: *11_Petroquimica_final_sener_gob_mexico*.

²³ Petróleo sin procesar

²⁴ CHOW PANGTAY, S. *Petroquímica y sociedad*. Capítulos 2, 3 y 6
<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/petroqui.html>

Figura 1. Proceso de destilación y productos obtenidos del petróleo crudo



Fuente: adaptado de PIXTA. Stock de ilustración

Tabla 1. Ejemplos de los derivados del petróleo crudo y sus usos

DERIVADO	USO
DIÉSEL	Combustible utilizado en los motores diésel, de uso común en camiones y buses, al igual que en pequeñas plantas de generación eléctrica
GASOLINA MOTOR CORRIENTE	Combustible utilizado en motores de combustión interna principalmente
FUEL OIL	Combustible pesado para hornos y calderas industriales
GAS PROPANO	Se utiliza como combustible doméstico e industrial
TURBOSINA	Gasolina para aviones con turbinas tipo propulsión o Jet
ACEITES LUBRICANTES	Son materia prima para la producción de aceites, tintas y grasas lubricantes
ASFALTO O BITUMEN	Utilizada en la elaboración de pavimentos
GLP (Gas Licuado del Petróleo)	Materia prima para la elaboración del polipropileno, insumo para el sector de plásticos de baja y alta densidad
ASFALTO	Utilizado para la creación y reparación de vías (pavimentación y techado)
QUEROSENE	utilizado en estufas domésticas y en equipos industriales
ALQUITRÁN AROMÁTICO	Materia prima para la elaboración de humo negro, que a su vez se utiliza para la fabricación de llantas
BENCENO	Sirve para obtener ciclohexano
POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	Materia prima para la industria de plástico en general
ACEITES LUBRICANTES Y CERAS	Generalmente utilizados en la industria automotriz
GASÓLEO DE CALEFACCIÓN	Utilizado principalmente como combustible para calefacción
JP-A	Destilado empleado para el movimiento de motores de turbina, es un queroseno proveniente de la destilación primaria del petróleo

Fuente: elaboración propia, datos tomados de ECOPETROL. Petróleo y su mundo

2.2. MERCADO INTERNACIONAL DEL PETRÓLEO

El mercado del petróleo, a diferencia del mercado del gas, es un mercado constituido, con reglas claras y globalizado, incluso, actualmente, cualquier persona con una cuenta bancaria podría invertir en la bolsa y especular sobre el precio del crudo²⁵²⁶, esto debido a que el crudo es un bien transable, también llamado “comodity”.

Desde la década de los 80’s el crudo empezó a cotizar en contratos a futuro en los mercados:

- *Chicago Board of Trade (CBT)*
- *New York Mercantile Exchange (NYMEX)*
- *International Petroleum Exchange en Londres (IPE)*
- *Rotterdam Energy Futures Exchanges (ROEFEX) de Rotterdam*
- *Singapur Mercantile Exchange (SIMEX) en Singapur*

Sin embargo, en la actualidad los mercados más relevantes son el SIMEX y el NYMEX para el comercio de estos títulos de valor. Y se transan en moneda estadounidense (dólar estadounidense (USD))²⁷. El proceso de negociar es posible gracias a la existencia de distintas referencias de crudo.

2.2.1. Referencias de barriles de petróleo. Los crudos con mayor calidad tienen mayor precio, mientras que con la cantidad de azufre el precio es inversamente proporcional, esto debido a que los crudos livianos y con poco azufre, tienen un costo de refinación más bajo, ya que requieren menos energía para su procesamiento²⁸.

²⁵INVESTOPEDIA. Guía para invertir en crudo:
<https://www.investopedia.com/articles/investing/100515/learn-how-trade-crude-oil-5-steps.asp>

²⁶ IG. Cómo tradear con crudo: <https://www.ig.com/en/commodities/oil/how-to-trade-oil>

²⁷ UPME. Evolución perspectivas precios petróleo. 2020. Capítulo 1 y 2, pág. 6-11.

²⁸ ICCT. Tutorial de refinación. 2011. Capítulo 3 y 4

El valor de comercialización del petróleo es dependiente de distintos factores, los precios se establecen de acuerdo con la cotización del día del crudo de referencia o marcador y de que tan desfasado esté de sus características como: calidad API, contenido de azufre, contenido de agua, cantidad de sedimentos.

En el mundo existen distintos crudos de referencia en la tabla 2, se sintetizan algunos importantes:

Tabla 2. Crudos de referencia

Crudo tipo	país de origen	Clasificación	Propiedades	
			Gravedad (°API)	Azufre (%P/P)
Brent	Reino Unido	Liviano dulce	38,0	0,37
WTI	Estados Unidos		39,8	0,24
Arabian Extra Lt. Export	Arabia Saudita	Liviano Agrio	38,1	1,1
Daqing	China	Medio Agrio	33,0	0,1
Forcados Export	Nigeria		29,5	0,2
Arabian Light Export	Arabia Saudita	Medio Agrio	34,0	1,9
Kuwait Export Blend	Kuwait		30,9	2,5
Marlim Export	Brasil	Pesado Dulce	20,1	0,7
Caño Limón	Colombia		25,2	0,9
Oriente Export	Ecuador	Pesado Agrio	25,0	1,4
Maya Heavy Export	México		21,3	3,4

Fuente: Modificado de ICCT, *Refining* tutorial, 2011

Acerca de estos crudos de referencia se tiene que:

- *Brent*: Es el tipo de petróleo de referencia en Europa y también para el 65% de las diferentes variedades de crudo mundial, que lo toman como referente para el establecimiento de sus precios. Se compone de 15 crudos procedentes de campos de extracción del mar del Norte. Es un petróleo de altísima calidad, su gravedad API es de 38, ligero y dulce 0,37% de azufre

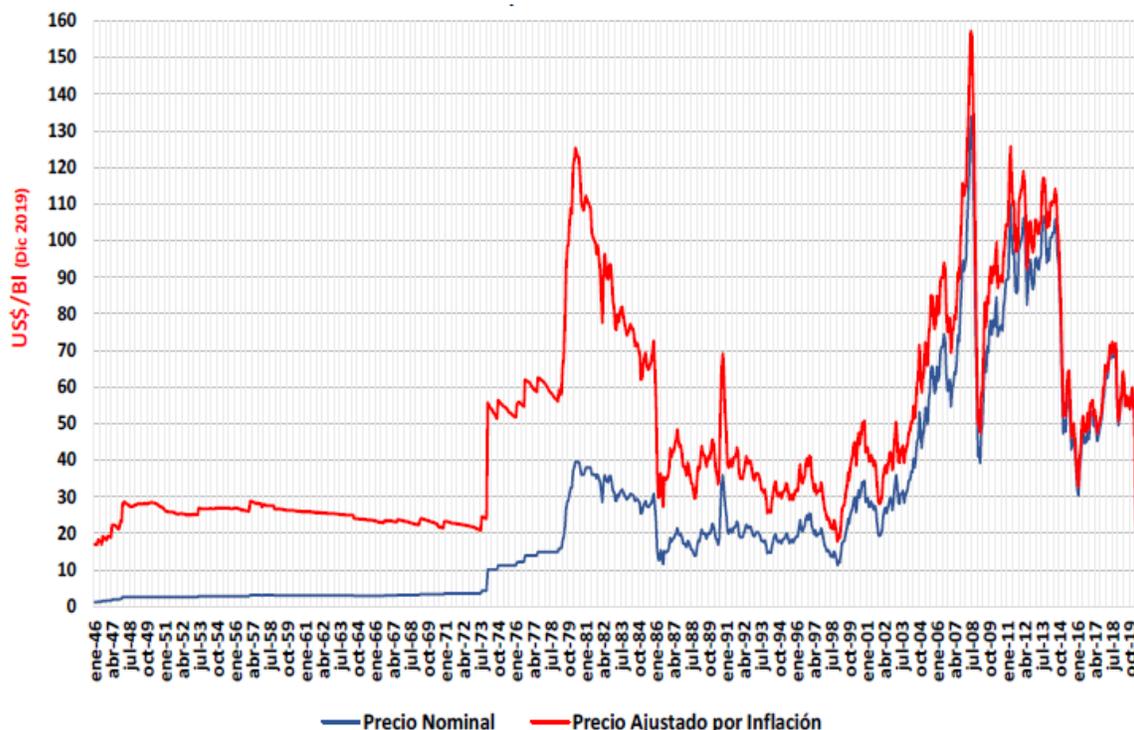
- *West Texas intermediate*: Constituye el petróleo de referencia para el mercado de Estados Unidos. Sus contratos de futuros se cotizan en la *New York Mercantile Exchange* (Nymex) en Nueva York. Este crudo tiene 39,6 °API y 0,24% de azufre
- *Dubái*: Es un crudo que sirve de referencia en Asia. Se cotiza tanto como en la *Singapore International Monetary Exchange* (Simex). A partir de este se referencian, mediante una prima o descuento, otros crudos de la zona que no cotizan en el mercado. La relevancia de este crudo en los últimos años ha crecido paralelamente a las importaciones de crudo de las economías emergentes asiáticas, entre las que se destaca China
- *Arab light*: Principal yacimiento productor de este crudo, Ghawar, es el más grande del mundo. Hasta el año 1981 constituyó la referencia mundial para el precio del petróleo, que se fijaba como una prima o descuento sobre esta variedad saudí.
- Cesta OPEP: La OPEP fija sus decisiones de política petrolera partiendo de la denominada cesta OPEP, una media aritmética de siete variedades de crudo (*Saharan Blend* (Argelia), Minas (Indonesia), *Bonny light* (Nigeria))

Por otro lado, el hecho de que el petróleo sea un mercado estructurado no significa que sea un mercado estable y fácil de prever, por el contrario, es un mercado imprevisible y altamente fluctuante como se ve a continuación en la figura 2.

Se puede observar el comportamiento del precio del petróleo históricamente, donde es importante denotar que los valores:

- De 1948 a 1978 corresponden a *Arabian Light*
- Desde 1979 a 1984 *Brent*
- Desde 1985 a 2020 WTI

Figura 2. Evolución del precio del crudo



Fuente: tomado de UPME. Evolución prospectivas de precios petróleo. 2020.

Además, se aprecia la variación del precio, teniendo en cuenta el año; donde se evidencian los años de bonanza petrolera (2008 o 2012) y como las fuertes crisis (año 1986, 2015). También, muestra lo fluctuante que es esta industria puesto que los valores del crudo no se mantienen estables con el paso de los años, sino que tienen comportamientos totalmente irregulares, estos cambios están muy relacionados con la política global, embargos, guerras, bloqueos económicos, oferta, demanda y crecimiento tecnológico son algunos de los factores que enmarcan esta variación en los precios.

Con respecto a los cambios en los precios entre el crudo WTI y la referencia *Brent* la UPME²⁹, en 2020 explica que los precios de estas dos referencias se cotizaban prácticamente a paridad, pese a la ligera diferencia entre calidad a favor del WTI, el crudo que tiene su centro de recolección en el mar del norte es el crudo marcador para la cotización petrolera en el IPE (*International Petroleum Exchange*) en Londres y aquel que tiene una ventaja de precio en el mercado, esto se puede atribuir a la disminución en su producción y reservas desde comienzos del año 2011.

En Colombia el crudo de referencia oficial es el *Brent* puesto que en términos generales el crudo colombiano tiene características similares a esta referencia además aprovecha de su precio un poco más alto en el mercado, sin embargo, existen algunas empresas que aún tienen como su crudo de referencia al WTI.

Lo anterior, es importante y sienta las bases para entender el mercado del petróleo en Colombia.

2.3. ESTADÍSTICAS DE PETRÓLEO EN EL MUNDO

2.3.1. Canasta energética mundial. Actualmente, el consumo de energía primaria³⁰ del mundo es de 9839843,3022 Barriles equivalentes de petróleo (Bep) como se muestra en la figura 3, este valor creció 1,3% con respecto del obtenido a final del 2018, a pesar de que este aumentó, fue menos de la mitad del presentado ese mismo año con respecto del 2017 el cual fue 2,8%.

Para entender mercado mundial del petróleo es necesario comprender cual es el contexto del mercado del crudo en la actualidad.

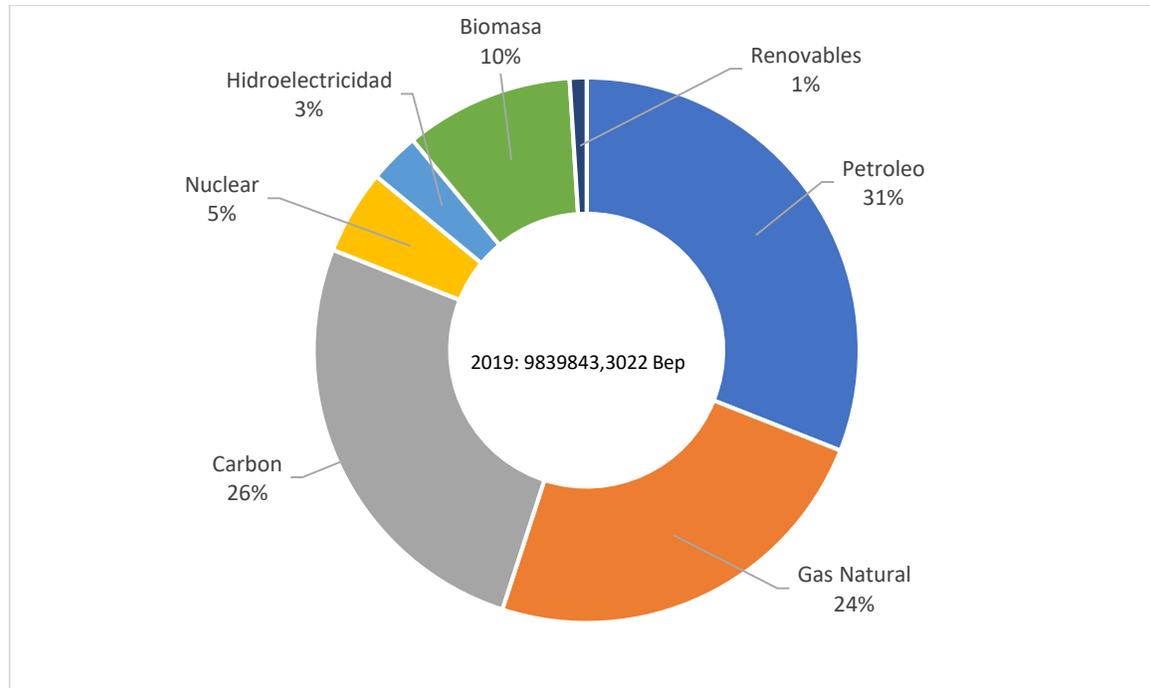
²⁹ UPME. Evolución de los precios del Petróleo. 2020. Capítulos 1, 2 y 3.

³⁰ Energía primaria es toda forma de energía disponible naturalmente antes de ser transformada

Para esta sección del trabajo se expondrán las cifras y estadísticas del petróleo tomadas del documento *Statistical Review of World Energy* publicado anualmente por la compañía *British Petroleum* (BP) en este caso de la publicación más actualizada 2020 la cual presenta las cifras del 2019³¹:

- China tuvo el mayor crecimiento en demanda de energía, aportando con más de las tres cuartas partes del incremento en el consumo, Estados Unidos y Alemania fueron los países con mayor disminución en su demanda
- El consumo de petróleo creció por debajo del promedio de 0,9 millones de barriles por día (bbl/d) o 0,9%
- Estados Unidos tuvo un fuerte aumento en su oferta, de más de 1,7 millones de bbl/d (aunque fue menor que los 2,2 millones de bbl/d) de 2018

Figura 3. Consumo de energía primaria por fuente



³¹ BP Statistical Review of World Energy, 2020 edition.

Fuente: Tomado de BP. En: *Statistical Review of World Energy*. 69th Edition. 2020.

- Asimismo, Brasil y Canadá aumentaron su producción en 200.000 bbl/d y 150.000 bbl/d (aunque en valores más bajos de crecimiento en producción que en 2017 y 2018)
- El decrecimiento de la producción conjunta de la OPEP fue de Dos millones de bbl/d, donde Irán tuvo una fuerte disminución de producción de 1,3 millones de bbl/d, Venezuela de 560.000 bbl/d y la producción proveniente de Arabia Saudí cayó 430.000 bbl/d; en contraste, en esta misma organización países como Iraq y Nigeria aumentaron su producción en 150.000 bbl/d y 100.000 bbl/d respectivamente
- El uso de la refinación cayó 1,2%, mientras que la capacidad creció 1,5 millones de bbl/d
- Por producto el crecimiento del consumo estuvo liderado por el etano y el GLP (un total de 380.000 b/d), esto con relación la sustitución de la nafta en la industria petroquímica haciendo que cayera 15.000 bbl/d.
- La Organización Internacional Marítima acordó una disminución del *fuel oil* (específicamente de combustibles con alto contenido de azufres), lo que desencadenó una disminución de este combustible en 320.000 bbl/d y aumentando la demanda de diésel, generando un crecimiento un poco por encima de su promedio (un total de 360.000 bbl/d)

Este contexto en el año 2019 muestra que el crecimiento en los renovables es fuerte y a altas velocidades, sin embargo, apenas alcanza para suplir la demanda creciente de energía, no directamente para la demanda ya existente, por lo que el crecimiento de estas tecnologías es un reto, en especial teniendo en cuenta que se plantea que este tipo de consumo de energía desplace energías más contaminantes como lo son el carbón o el petróleo.

2.3.2. Reservas de petróleo mundiales. Las naciones están en una constante búsqueda de la llamada “Suficiencia energética” y como se evidenció, la mayor participación proviene de los hidrocarburos, por ende, constantemente existen inversiones con el fin de nuevos descubrimientos para aumentar sus reservas y así garantizar el abastecimiento de energía para no depender de la importación de esos energéticos, esta no es la única razón, además existe el interés hacia los beneficios económicos que conlleva explotar sus reservas petroleras. La figura 4, muestra cómo se comporta la distribución de reservas por regiones.

La región de medio oriente encabezada por Arabia Saudí posee alrededor del 48.1% de las reservas mundiales, sin embargo, su participación en las reservas cayó, caso contrario se puede observar para la región de Sur y Centroamérica, que ha sido la región con mayor crecimiento en la participación.

En los países con mayores reservas de petróleo en el mundo, se encuentra: Venezuela con alrededor de 300 millones de bbl, Arabia Saudí, que con 250 millones de bbl ocupa el segundo lugar, seguido de Canadá que supera los 160 millones de bbl, mientras que Irán e Irak cuentan con cerca de 150 millones de bbl.

Como se identifica que en la figura 5, los 10 países con mayores reservas, la mitad se encuentran en la región de medio Oriente.

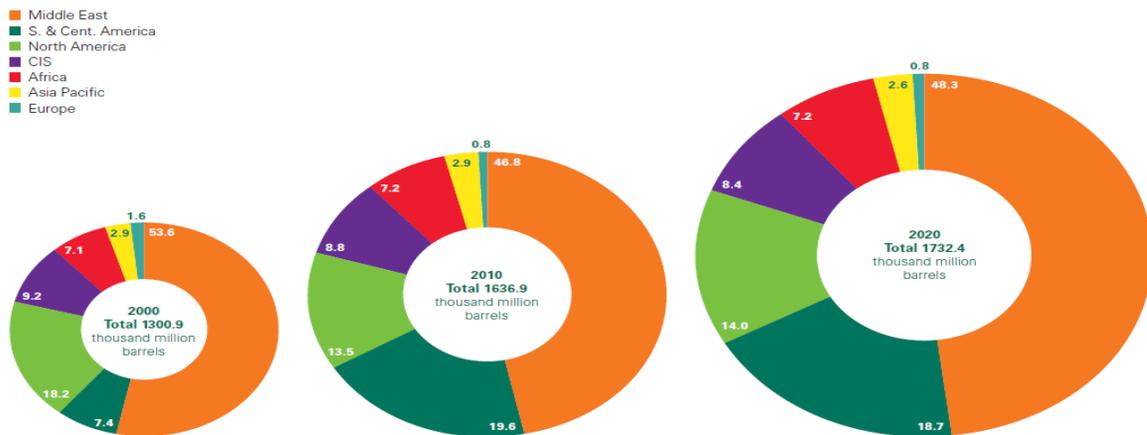
También se puede identificar que estos países con mayores reservas son aquellos que pertenecen a la OPEP³², siendo esta entidad muy influyente en el mercado del petróleo mundial, como lo son:

³² OPEC. Organization of the Petroleum Exporting Countries:
https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/25.htm

- Venezuela
- Irán
- Irak
- Arabia Saudí
- Kuwait
- Emiratos Árabes Unidos

También, es importante mencionar que varios de estos países actualmente no tienen su producción más alta, ya sea por decisiones para mantener o controlar el precio disminuyendo la oferta³³, por embargos puestos por tensiones políticas (como el Caso de Irán³⁴ y Venezuela³⁵).

Figura 4. Distribución de reservas de petróleo por región



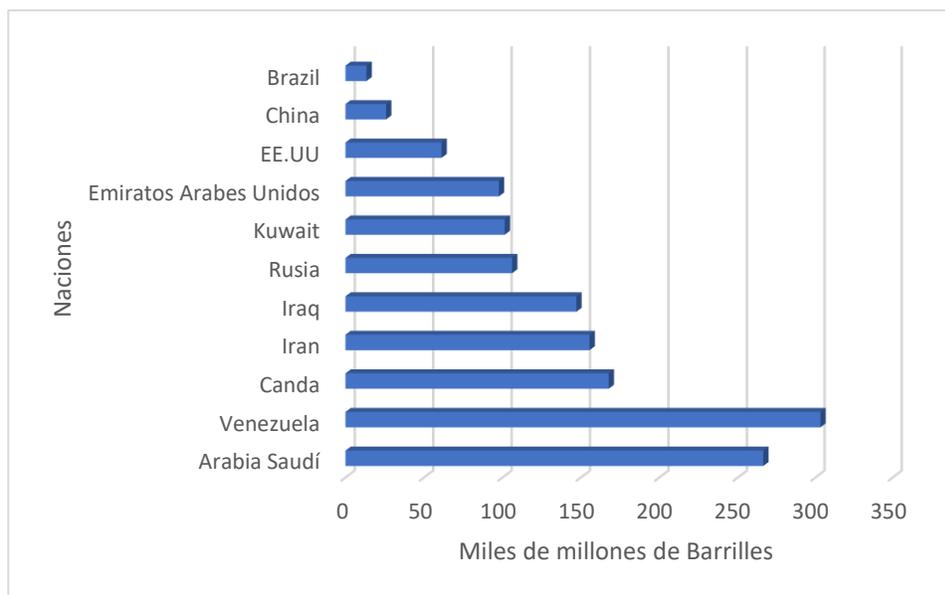
Fuente: Toedimado de BP. En: *Statistical Review of World Energy. 69th Edition. 2021*

³³ WORDL OIL. El mayor comerciante de petróleo del mundo dice que Estados Unidos ha dejado a la OPEP en control de los precios mundiales del crudo. 2021. <https://www.worldoil.com/news/2021/6/7/world-s-largest-oil-trader-says-us-has-left-opec-in-control-of-global-crude-prices>

³⁴ CAMPETROL. Balance de petróleo. 2021. p. 19.

³⁵ WORLD OIL. Nuevas sanciones ahogan las exportaciones de petróleo de Venezuela. 2021. <https://www.worldoil.com/news/2021/3/2/new-us-sanctions-on-traders-choke-venezuela-s-oil-exports>

Figura 5. Países con mayores reservas de petróleo



Fuente: Elaboración propia datos tomado de BP. En: *Statistical Review of World Energy*. 69th Edition. 2020.

2.3.3. Producción de petróleo. DATHORNE, M.³⁶ en su manual de criterios claves para la industria de exploración y producción de petróleo y gas afirma que la producción obedece diferentes variables socioeconómicas mundiales como los son: crecimiento poblacional, crisis económicas, accidentes, tecnología para la explotación, planes económicos, desarrollo social y político, entre otras; por lo que la producción no es un valor constante sino un valor cambiante (normalmente con pendiente positiva, es decir, creciente) como se verá a continuación.

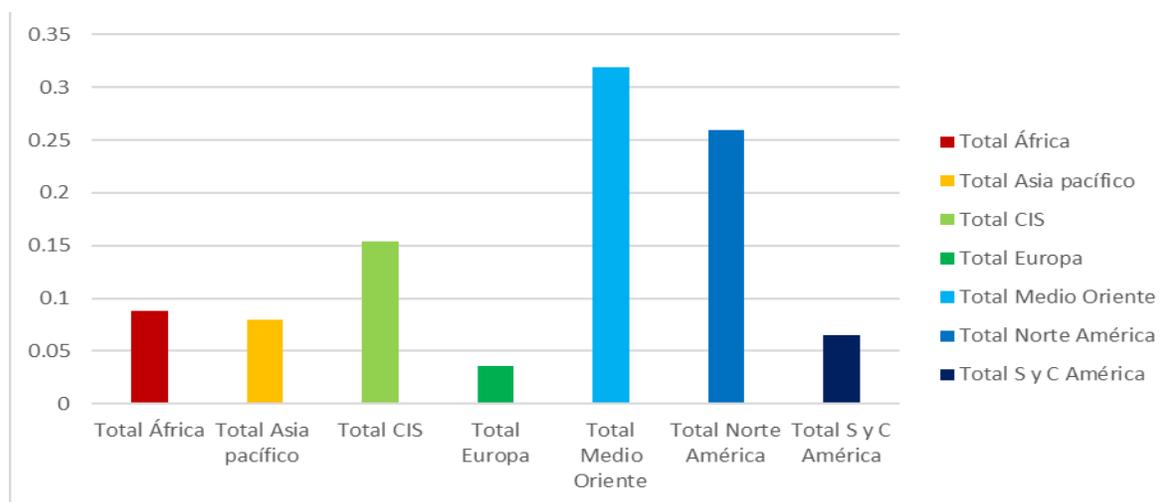
³⁶ DATHORNE, M. Manual de criterios claves para la industria de exploración y producción de petróleo y gas, 2017.

2.3.4. Producción mundial. La producción de petróleo mundial según BP, en el año 2019 alcanzó valores de 95,19 millones de bbl/d, experimentado una caída del 0,1% con respecto al año anterior la cual en promedio fue de 95,25 millones de bbl/d.

La región con mayor producción de crudo fue Medio Oriente con un aporte de más de treinta millones de bbl/d, sin embargo, disminuyó su producción en 4,8% con respecto del año anterior, siendo aproximadamente el 32% de la producción de crudo en 2019, seguido de la región de Norte América, donde Estados Unidos siguió con un crecimiento similar al presentado en los últimos años y aumentó su producción respecto a 2018 en 11%, esta región representa el 25,9% de la producción mundial.

En la región de Centro y sur América, Brasil contribuyó con la mayor parte de producción de aceite crudo, con más de dos millones de barriles por día, sin embargo, la disminución en la extracción de crudo en Venezuela hizo que la región cayera más del 4% con respecto del año anterior, produciendo el 6,5% del crudo total. En la figura 6, se puede ver cómo fue la participación de estas regiones en el año 2019.

Figura 6. Participación de la producción por regiones

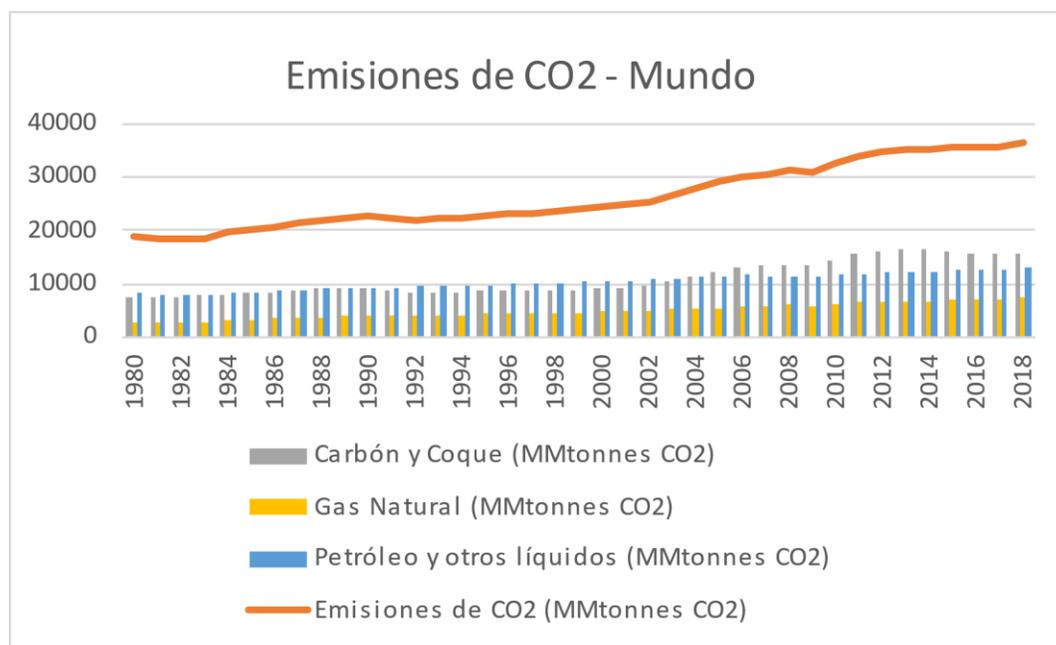


Fuente: Elaboración propia datos tomado de BP. En: *Statistical Review of World Energy*. 69th Edition. 2020

2.3.5. Comparación del petróleo con otras fuentes energéticas. El petróleo como se puede ver en la figura 7, es más contaminante que el gas natural, sin embargo, cabe resaltar que está también relacionado con el consumo de petróleo, que es significativamente mayor. El crudo tiene menores emisiones de CO₂ que el carbón a pesar de que el carbón es usado en menor cantidad.

En esa misma gráfica se puede evidenciar que las emisiones de CO₂ han estado en constante crecimiento, esto relacionado al aumento en la población mundial, el mejoramiento en la calidad de vida del humano y el crecimiento de las industrias, entre otras.

Figura 7. Emisiones de CO₂ mundial



Fuente: elaboración propia. Datos EIA, 2020

2.4. MERCADO DEL PETRÓLEO EN COLOMBIA

A lo largo de esta sección se analizará el mercado del crudo en Colombia teniendo en cuenta diferentes aspectos como: historia, reservas, producción, refinación, entidades que hacen parte del mercado del crudo e importancia económica.

Contextualizando la industria del petróleo y su historia en Colombia³⁷:

- 1536: Llegada de la expedición de Gonzalo Jiménez de Quesada a la Tora (hoy Barrancabermeja); donde los indígenas nativos (Yariguíes) utilizaban el petróleo de los manaderos como una sustancia reconfortante para el cuerpo mientras que los españoles para impermeabilizar las embarcaciones
- 1886: Jorge Isaacs firmó contratos de concesión de petróleo en Urabá
- 1905: Diego Martínez firma la concesión con el gobierno para construir planta de refinación para producir aceite de iluminación en Cartagena. Este mismo año Virgilio Barco firmó la concesión en Tibú, norte de Santander para exploración y explotación petrolera. Roberto de Mares firma la conocida concesión De Mares para la exploración y explotación en Barrancabermeja, Santander
- 1909 Se inaugura Cartagena *Oil Refining Company*, cerrada en 1922
- 1918: Primeros descubrimientos en la Cira Infantas con reservas de 800.000 bbl
- 1922: inicia la refinación de crudo en Barrancabermeja
- 1926 el oleoducto entre La Cira infantas y Cartagena fue inaugurado con una longitud de 538 kilómetros, este mismo año el primer buque con crudo zarpó desde Cartagena hacia Estados Unidos.
- 1931, el sector petrolero fue declarado como de interés público, dándole potestad al gobierno de expropiar
- 1938: Se otorgó la concesión Yondó, Antioquia

³⁷ VÁSQUEZ, H. La historia del petróleo en Colombia. In *Revista Universidad EAFIT*. Vol. 30, Issue 93, pp. 99–109. 1994.

- 1940 y 1941: Se descubrieron Tibú y Casabe, con reservas de 270.000 bbl y 300.000bbl respectivamente
- 1951: Creación de la Empresa Colombiana de Petróleos (Ecopetrol)
- 1974: Se crea el contrato de asociación como la forma de poder explotar y producir petróleo en Colombia
- 1983: Caño Limón es descubierto con más de $1,25 \cdot 10^6$ recuperando la autosuficiencia perdida en 1973 (cuando Colombia tuvo que empezar a importar crudo)
- 1985: Inauguración del oleoducto Caño Limón-Coveñas con 770km de longitud
- 1993: Cupiagua fue descubierto 4 años después de Cusiana, cuyas reservas en conjunto sumaban 1.26 millones de bbl
- 2003: Conformación de la ANH, entidad desde ese momento encargada de la administración de los contratos de explotación y exploración.
- 2008: Ecopetrol ingresa a la bolsa de Nueva York

Actualmente, las entidades adscritas al proceso de exploración, explotación y comercialización de hidrocarburos están bajo el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, esto tras la publicación del decreto 1076 de 2015 el cual tiene como última fecha de actualización el 22 de abril de 2021 y declara: “Por la cual medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía”.

Entidades Adscritas:

- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH): “La Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH, tiene como objetivo administrar integralmente las reservas y recursos hidrocarburíferos de propiedad de la Nación; promover el aprovechamiento óptimo y sostenible de los recursos hidrocarburíferos y contribuir a la seguridad energética nacional.”³⁸

³⁸ MINENERGIA. Decreto 1073 de 2015.

- Servicio Geológico Colombiano: Tiene como objeto realizar la investigación científica básica y aplicada del potencial de recursos del subsuelo; adelantar el seguimiento y monitoreo de amenazas de origen geológico.
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME): “Tiene como objetivo planear en forma integral, indicativa, permanente y coordinada con los agentes del sector minero energético, el desarrollo y aprovechamiento de los recursos mineros y energéticos; producir y divulgar la información requerida para la formulación de política y toma de decisiones; y apoyar al Ministerio de Minas y Energía en el logro de sus objetivos y metas”³⁹.

En Colombia existe el esquema de concesión, donde el modelo permite que el 100% de la producción vaya al contratista a cambio del pago de impuestos y regalías. Existen 3 tipos de modalidades de contratos de concesión: Contrato de Exploración y Producción (E&P), contrato de Evaluación Técnica (TEA) y el especial.

2.4.1. Reservas nacionales. En Colombia, las reservas de petróleo han mantenido a “estable” la industria extractiva del país. Aunque no se destaca entre los países con más reservas, mantiene valores mínimos de la relación Reservas/Producción de 5.1 años, en la figura 8 se puede apreciar el comportamiento de esta relación de los últimos años para Colombia. Para el año 2019 las reservas colombianas se estiman en 2036 millones de bbl.

También se puede evidenciar que las reservas de Colombia históricamente no han significado suficiencia energética para el país por más de 10 años, hasta el año 2019, como lo indica BECO⁴⁰, Colombia cuenta con reservas para 6,3 años, sin embargo,

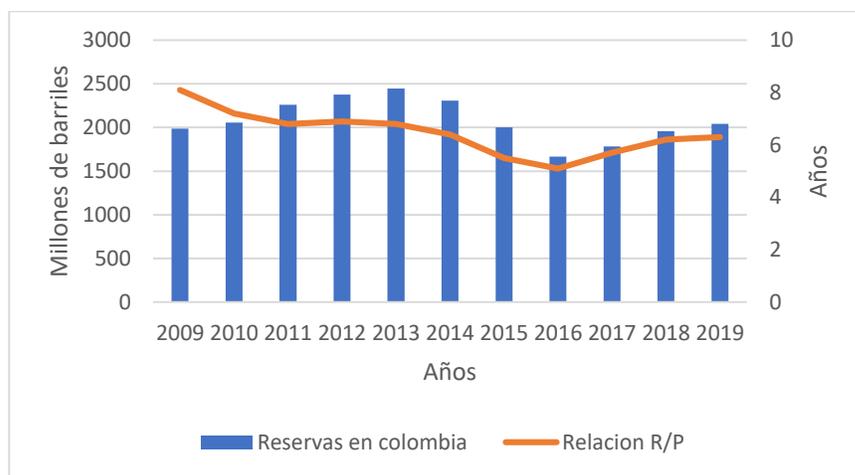
³⁹ Ibid

⁴⁰ UPME. Balance Energético Colombiano. Unidad de Planeación Minero-Energética

como se puede ver en la figura 8, esto es un comportamiento común en la industria petrolera colombiana.

De igual manera, Colombia es un país donde, un aporte importante a su economía depende de la exportación o la inversión extranjera directa relacionada a este recurso, por lo que plantear la aplicación de nuevas tecnologías que ayuden al aumento de estas reservas, como el recobro mejorado, la exploración en zonas prospectivas, o incluso la implementación del *fracking*⁴¹ son temas de discusión entre expertos y políticos de nuestro país; esto con el objetivo de continuar con el crecimiento económico y el abastecimiento de las industrias y otros sectores dependientes del crudo.

Figura 8. Relación de reservas y producción de crudo en Colombia



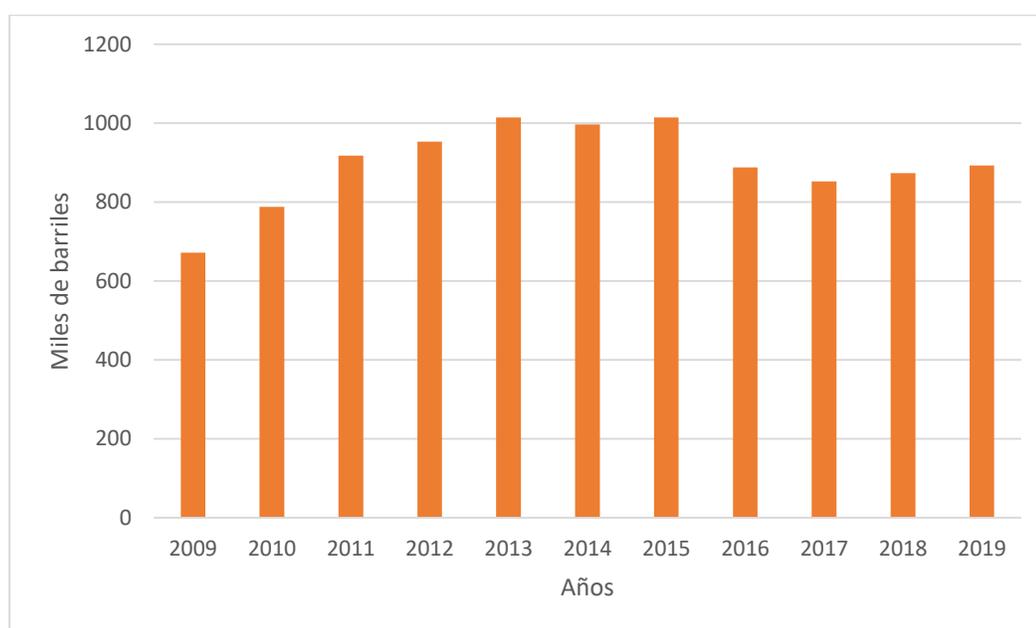
Fuente: elaboración propia datos tomados de UPME. Balance Energético Colombiano

⁴¹ SENADO DE LA REPÚBLICA. En: "No al worl, ganó la vida": senador Guillermo García. <http://www.senado.gov.co/index.php/component/content/article/13-senadores/1741-no-al-fracking-gano-la-vida-senador-quillermo-garcia?Itemid=101>

2.4.2. Producción nacional. Colombia actualmente, cuenta con una producción cerca de los 850.000 bbl/d, un valor que en contraste con los grandes productores de crudo del mundo es hasta 15 veces menor⁴².

La producción en Colombia abastece parte del consumo interno, y es un pilar importante en el sector económico del país no sólo por las regalías, también por la inversión extranjera, los empleos directos e indirectos, entre otras. A continuación, en la figura 9, se puede apreciar la producción de petróleo de Colombia de los últimos 10 años.

Figura 9. Producción colombiana de petróleo



Fuente: Elaboración propia datos tomado de BP. En: *Statistical Review of World Energy*. 69th Edition. 2020.

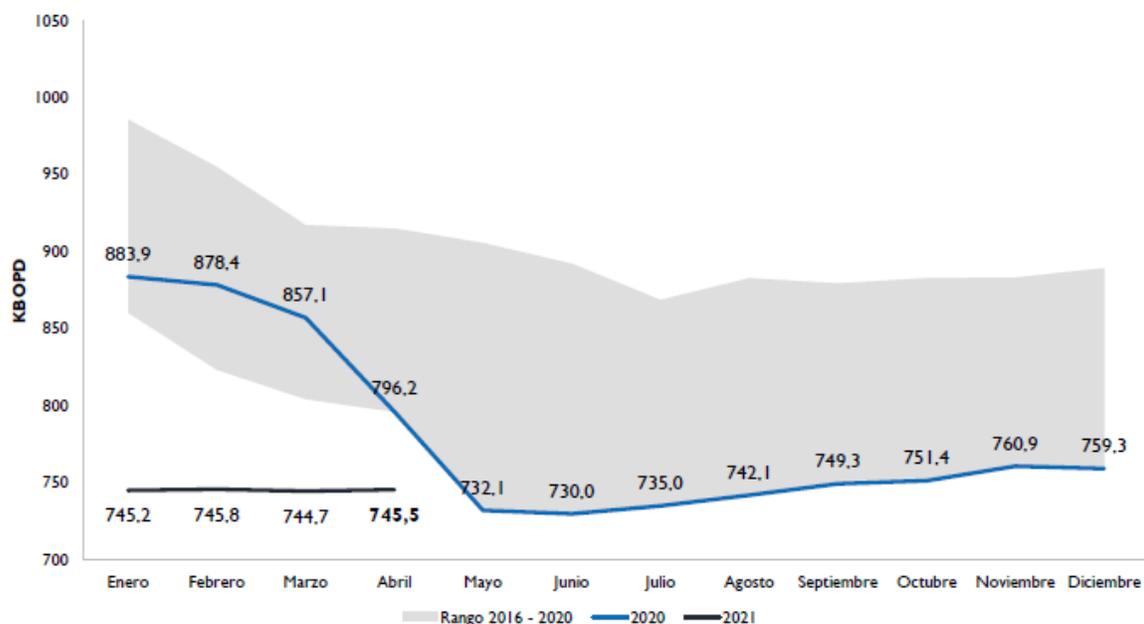
La producción que se ha mantenido entre los 800.000 y 1.000.000 de bbl/d en los últimos 10 años a excepción del año 2020 (como se ve en la figura 9), y lo transcurrido de 2021, donde Colombia produce cerca de 745.000 bbl/d en promedio, esto

⁴² Estados Unidos, Rusia y Arabia Saudita que superan el umbral de los diez millones de bbl/d

relacionado a la caída de los precios del crudo y de la demanda por la pandemia desatada tras el SARS CoV-2 (Covid), a comienzo del año 2020 la producción era de casi 890.000 bbl.

Cabe resaltar también de esta figura 10, que en abril de 2021 se observó una producción de 745.000 bbl/d en promedio, siendo una disminución del 6,4% con respecto del mismo mes del año pasado; esto podría relacionarse con las variaciones en los campos Castilla Norte, Chichimene, Casabe y Cohembi, por trabajos de mantenimientos y fallas eléctricas.

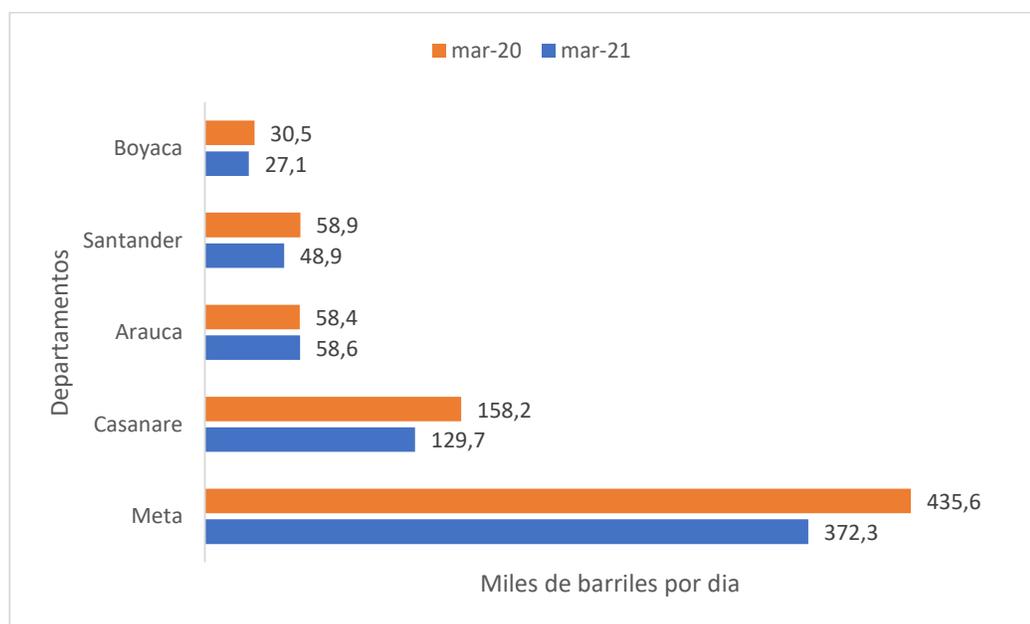
Figura 10. Producción fiscalizada en Colombia 2020



Fuente: CAMPETROL. Informe de Taladros. 2020

2.4.3. Principales departamentos y municipios productores. Los principales departamentos productores son Meta y Casanare, el primero con cerca del 50% de la producción total de crudo (a pesar de que presentó un decrecimiento en producción de 14,5%), mientras que Casanare con el 17,4% evidenció una contracción anual del 18% en su producción esto se puede evidenciar en la figura 11, de hecho, para 2018 el 70% de la producción del crudo del país se encontraba en Meta y Casanare⁴³.

Figura 11. Principales departamentos productores de petróleo en Colombia



Fuente: modificado de CAMPETROL. Informe de taladros. 2020.

En el departamento del Meta Colombia cuenta con campos como: Rubiales, Castilla, Quifa, Chichimene, los cuales se encuentran entre los 10 campos con mayor producción de Colombia ⁴⁴. Casanare cuenta con Campos como: Pauto Sur, Jacana con producción

⁴³ OCENSA. ¿Dónde está el petróleo en Colombia? 2019. <https://www.ocensa.com.co/Paginas/donde-esta-el-petroleo-en-colombia.aspx>

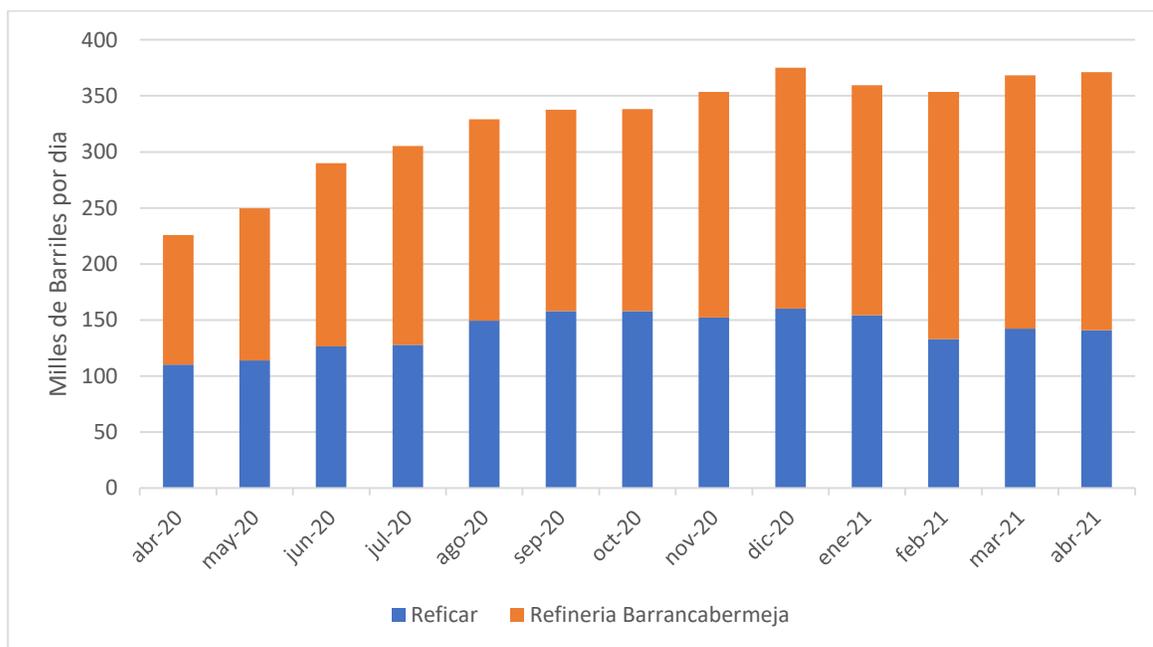
⁴⁴ ANH, 2021

de 28.500 bbl/d y 25.000 bbl/d y Arauca cuenta con Caño Limón que aporta 21.000 bbl/d.

2.4.4. Refinación. La carga a refinería en Colombia está dividida en sus dos principales refinерías: Reficar y Refinería de Barrancabermeja, la carga a refinería se ha recuperado este último año a volúmenes cercanos a los estimados pre-COVID.

Para el primer trimestre de 2021 se cargaron en promedio 361.100 bbl/d, representando un aumento del 4,3% con respecto del primer trimestre de 2020⁴⁵. Esto se puede evidenciar en la Figura 12.

Figura 12. Carga a refinería en Colombia



Fuente: CAMPETROL. Informe de Taladros. 2020

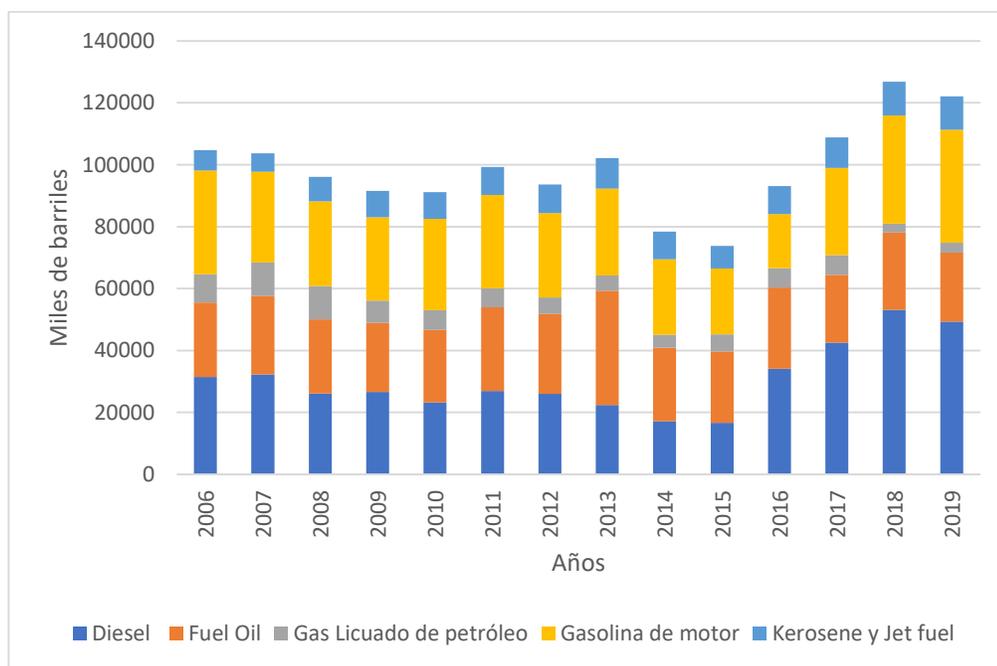
⁴⁵ CAMPETROL. Informe de Taladros. 2020

Esto en el contexto de que la capacidad de refinería de Colombia es de 415.000BPD, Cartagena 165.000 bbl/d y Barrancabermeja 250.000 bbl/d.

La cantidad de hidrocarburos producidos en refinería fue de 122,461 millones de bbl/d en promedio en 2019.

La figura 13, permite mostrar cuales fueron los derivados de mayor producción encabezada por el Diesel con más de 49.000 barriles, seguido por la gasolina de motor con 36.000 barriles y en menor proporción derivados como el *fuel oil*, el gas licuado del petróleo (GLP), el jet fuel y el kerosene⁴⁶.

Figura 13. Producción fiscalizada en Colombia 2020



Fuente: Elaboración propia datos tomado de UPME. Balance Energético Colombiano.

⁴⁶ UPME. Beco. 2021

Con respecto de las definiciones importantes en el mercado de los combustibles líquidos se tiene la ficha metodológica EP-F-14 del 25-07-2019⁴⁷:

- Alcohol carburante: La definición establecida en la Resolución 180687 del 17 de junio de 2003, modificada por la Resolución 18 1069 del 18 de agosto de 2005, expedida por el Ministerio de Minas y Energía, o en aquellas normas que la modifiquen, adicionen o sustituyan, la cual se transcribe: "Compuesto orgánico líquido, de naturaleza diferente a los hidrocarburos, que tiene en su molécula un grupo hidroxilo (OH) enlazado a un átomo de carbono. Para efectos de esta resolución se entiende como alcohol carburante al Etanol Anhidro combustible desnaturalizado obtenido a partir de la biomasa"⁴⁸.
- Almacenador: Toda persona natural o jurídica dedicada a ejercer la actividad de almacenamiento de combustibles líquidos derivados del petróleo, en los términos de los Artículos 2.2.1.1.2.2.3.81 y 2.2.1.1.2.2.3.82 del presente Decreto⁴⁹.
- Biocombustibles: Se refiere al alcohol carburante, biodiesel y otros combustibles líquidos derivados de la biomasa. BIODIESEL. Biocombustibles de origen vegetal o animal para uso en motores diésel, según la definición y clasificación adoptada por el artículo 6º de la Ley 939 de 2004.
- Buque o nave: La definición establecida en la Ley 658 de 2001, la cual se transcribe: "Toda construcción principal o independiente, idónea para la navegación y destinada a ella, cualquiera que sea su sistema de propulsión"⁵⁰.
- Combustibles básicos: La definición establecida en la Resolución 180687 del 17 de junio de 2003 expedida por el Ministerio de Minas y Energía, o en aquellas normas que la modifiquen, adicionen o sustituyan, la cual se transcribe: "Son

⁴⁷ MINENERGIA. Ficha metodológica Comercialización Crudo.

⁴⁸ SISTEMA ÚNICO DE INFORMACIÓN NORMATIVA. Decreto 4299. (25, noviembre, 2005). Por lo cual se reglamenta el artículo 61 de la Ley 812 de 2003 y se establecen otras disposiciones. Art 4º.

⁴⁹ Ibid. Art 4º.

⁵⁰ Ibid. Art 4º.

mezclas de hidrocarburos derivados del petróleo que han sido diseñadas como combustibles de motores de combustión interna, ya sean solas o en mezcla con componentes oxigenantes, para reformular combustibles con mejores características de combustión. Para efectos del presente Decreto se entienden como combustibles básicos la gasolina corriente, la gasolina extra, el diésel corriente y el diésel extra o de bajo azufre⁵¹.

- Combustibles líquidos derivados de petróleo: Son todos los productos clasificables dentro de las categorías de las gasolinas, gasóleos, querosenes y fuelóleos, entre los cuales se cuentan: Combustibles para aviación (avigás), gasolina motor (gasolina extra, gasolina corriente, gasolina corriente oxigenada, gasolina extra oxigenada), combustibles de aviación para motores tipo turbina, queroseno, diésel extra o de bajo azufre, diésel corriente (ACPM), diésel marino (se conoce también con los siguientes nombres: diésel fluvial, marine diésel, gas oil, intersol, diésel número 2), y combustible para quemadores industriales (combustóleos *fuel oil*)⁵².
- Comercializador Industrial: Es el distribuidor minorista que utilizando vehículos tipo carrocería tanque o barcazas habilitadas para almacenar y distribuir combustibles líquidos derivados del petróleo, en los términos previstos en los artículos 2.2.1.1.2.2.3.90 a 2.2.21.1.2.2.3.92 del presente decreto⁵³.
- Despacho: Salidas físicas de combustibles líquidos, alcohol carburante y biodiesel, de la instalación del Agente.
- Distribuidor Mayorista: Toda persona natural o jurídica dedicada a ejercer la distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo, a través de una

⁵¹ Ibid. Art 4°.

⁵² Ibid. Art 4°.

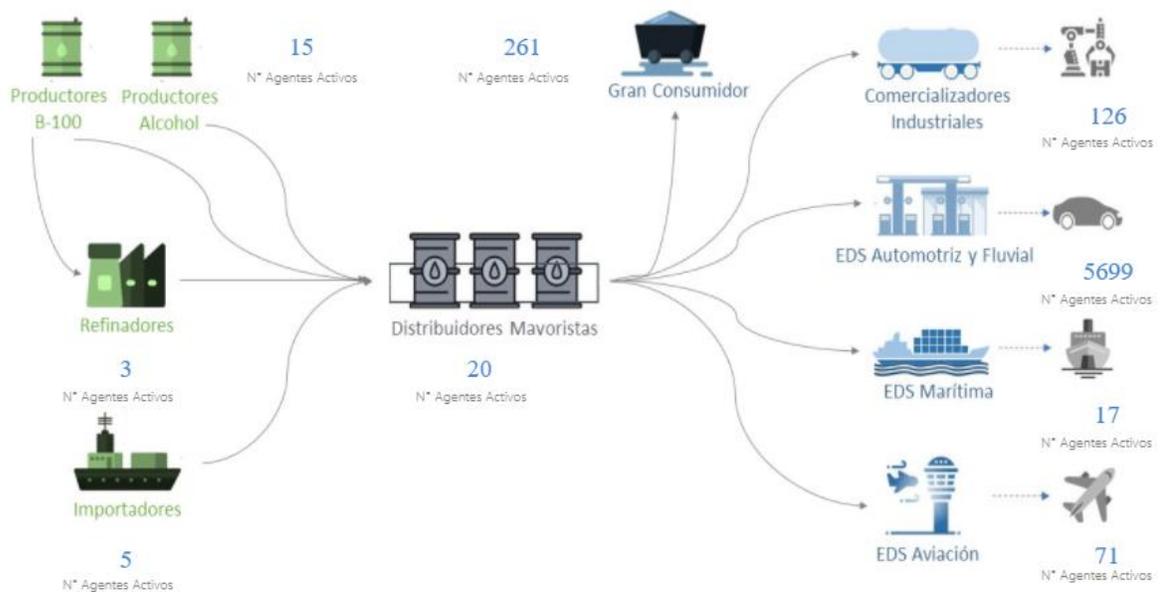
⁵³ Ibid. Modificado por SISTEMA ÚNICO DE INFORMACIÓN NORMATIVA. Decreto 1717. (21, mayo, 2008). Por el cual se modifica el Decreto 4299 de 2005 y se establecen otras disposiciones. Art 2°.

Planta de Abastecimiento conforme a lo señalado en el Artículo 2.2.1.1.2.2.3.83 y siguientes del presente Decreto⁵⁴.

- Distribuidor Minorista: Toda persona natural o jurídica dedicada a ejercer la distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo al consumidor final, a través de una estación de servicio o como comercializador Industrial, en los términos del artículo 2.2.1.1.2.2

Esta cadena de distribución se puede sintetizar en la figura 14.

Figura 14. Cadena de distribución de combustibles líquidos derivados del petróleo



Fuente: Tomada de ministerio de Minas y Energía

⁵⁴ Ibid. Modificado por SISTEMA ÚNICO DE INFORMACIÓN NORMATIVA. Decreto 1333. (19, abril, 2007). Art 2°.

Cabe resaltar que, el mercado del crudo no solo está compuesto por los combustibles líquidos, como se mencionó anteriormente existen otros tipos de derivados, sin embargo, el mercado más relevante es el de los combustibles.

2.5. CANASTA ENERGÉTICA COLOMBIANA

La matriz energética colombiana o balance de energía como lo llama el Departamento Nacional de Planeación 2016⁵⁵, es una representación del proceso de transformación de energía primaria y secundaria, así como las importaciones y exportaciones de cada país.

Jean Pierre Hansen define el balance energético de un país como: la representación contable de la forma en que es producida, importada, transformada y utilizada la energía de un país en el transcurso de un período, que generalmente es un año⁵⁶

En la siguiente gráfica que fue tomada del informe publicado en 2016 por el Departamento Nacional de Planeación se observa el balance energético para el año 2015.

En Colombia, la utilización de energía primaria está dominada mayormente por los combustibles fósiles, ya que, estos representan un valor alrededor del 77%, mientras el 23% restante está relacionado a la hidroelectricidad y otras fuentes no convencionales de energía. Como se puede ver en el diagrama Sankey en la figura 15.

La producción de energía primaria fue de aproximadamente 142.000KTEP de las cuales se exportaron aproximadamente 92.000 KTEP, es decir, el 65% de la producción. Para el caso del crudo de las 53.363KTEP producidas se exportaron 41.943KTEP en el 2015.

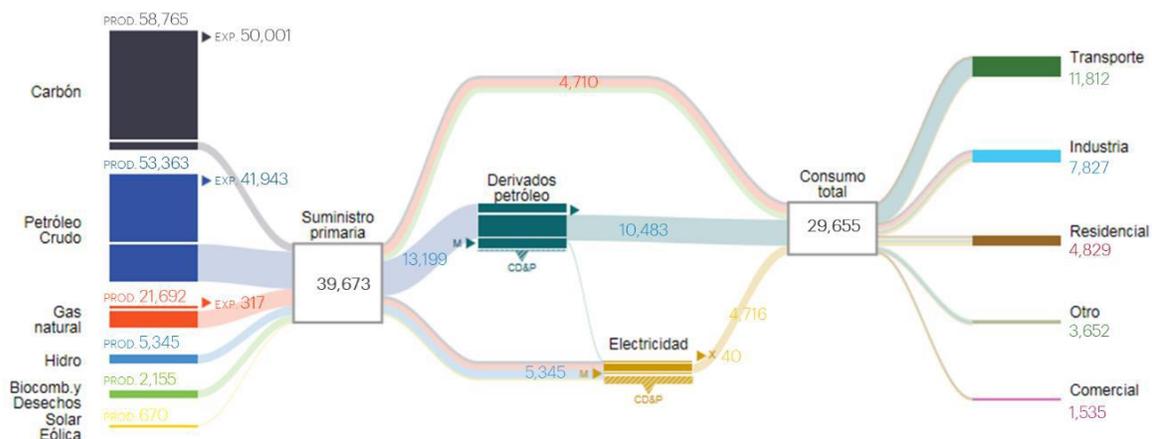
⁵⁵ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Energy Demand Situation in Colombia. 2017

⁵⁶ PIERRE HANSE, J. Energía, Economía y Políticas.

Esto muestra que Colombia utiliza el crudo como un “commodity” más que como energético.

El 35% restante del suministro primario fue empleado para satisfacer la demanda de energía interna, tuvo una alta porción que fue transformada a electricidad y otra importante a derivados del petróleo.

Figura 15. Diagrama Sankey de balance energético de Colombia en 2015.



Fuente: Tomado de Energy Demand Situation in Colombia, Departamento Nacional de Planeación, 2017.

2.6. CONSUMO DE ENERGIA POR SECTOR

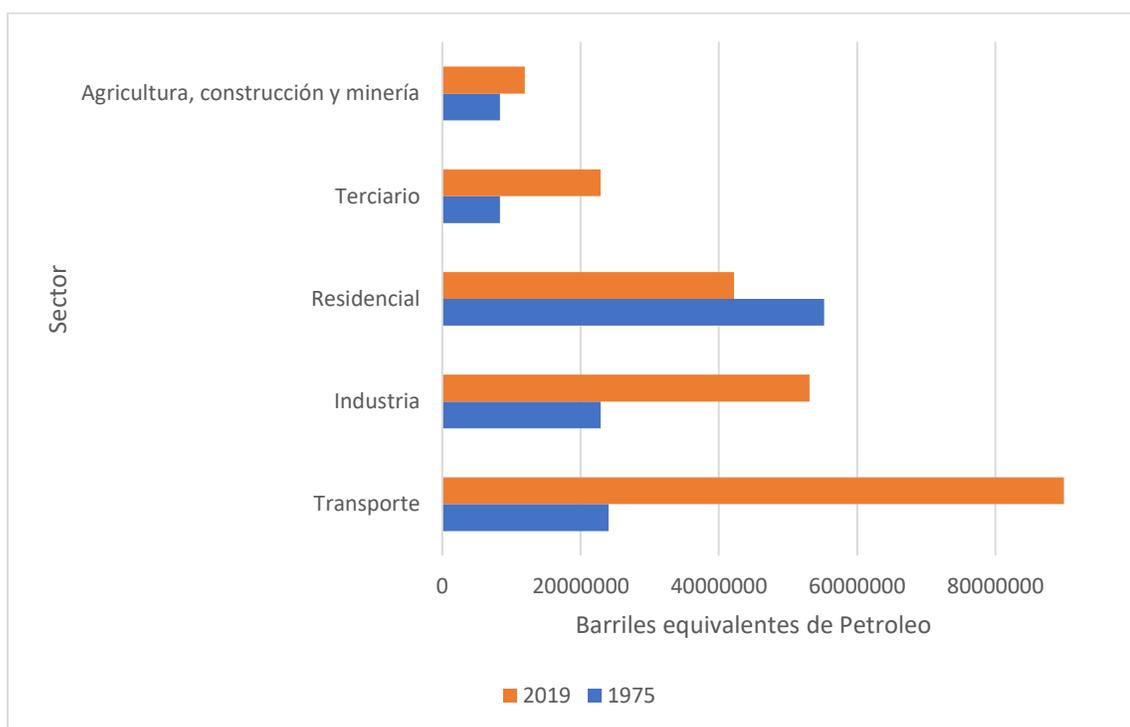
En esta sección se mostrará la canasta energética por fuentes, por sectores y enfocada, esta información es tomada del Balance Energético Colombiano, 2021 y del Plan Energético Nacional 2020 – 2050, ambas publicaciones a cargo de la UPME.

En primer lugar, se muestra la matriz energética colombiana tanto en 1975 como en 2019 en barriles equivalentes de petróleo, esto en la figura 16. Es importante partir por el hecho de que la población colombiana se duplicó, pasando de 24 a 49 millones de habitantes y el Producto Interno Bruto o PIB creció 4.8 veces en este lapso⁵⁷.

⁵⁷ DANE. Cifras 2020

Durante este periodo el consumo final de energía aumentó desde 118.832.512 barriles equivalentes de petróleo a 220.011.776 Barriles equivalentes de petróleo, mostrando el crecimiento económico, la industrialización y la urbanización.

Figura 16. Canasta energética Colombia 1975 vs 2019.



Fuente: UPME. Elaboración propia datos tomados de La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible. Plan Energético Nacional 2020-2050. 2020.

Los sectores con mayor crecimiento son la industria manufacturera 2,4% y el transporte con 5,9%. En el caso del transporte, estuvo fuertemente impulsado por la cantidad de vehículos terrestres que pasó de 3,2 millones a 13.86 millones entre 2002 y 2018. Esto mencionado contrasta con la disminución del consumo de energía del sector residencial, que era el más intensivo 1975, el cambio está relacionado con la sustitución de leña a

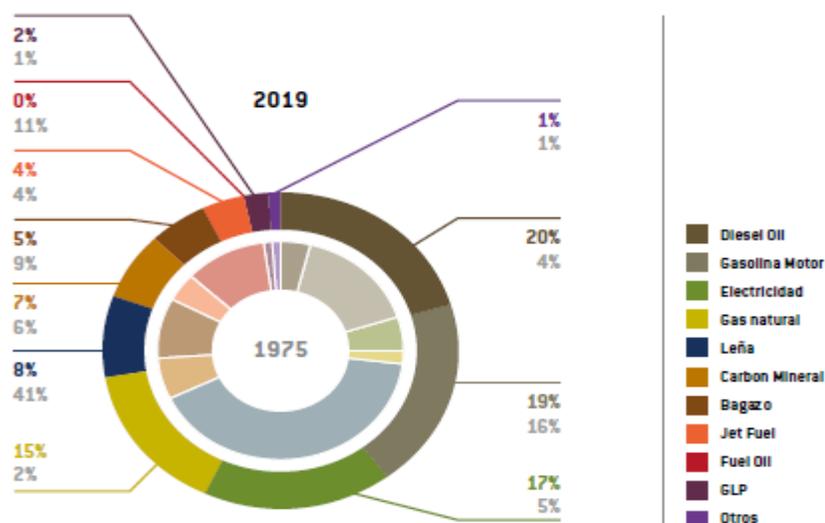
combustibles menos contaminantes y más eficientes, como la energía eléctrica y el gas natural.

2.7. OFERTA ENERGÉTICA 1975 - 2019

La composición en la oferta energética cambió también considerablemente en este lapso como puede ver en la figura 18, esto debido a la masificación de tecnologías de motor, los combustibles líquidos pasaron a representar el 40% en 2019 mientras que en 1975 representaban el 20%.

Otros energéticos que ganaron protagonismo fueron la energía eléctrica y el gas natural, el crecimiento de estos fue de más de tres veces y más de ocho veces respectivamente, esto debido a la urbanización del país y a la política de crecimiento en la cobertura y sustitución de combustibles tradicionales de baja eficiencia como la leña y el bagazo⁵⁸.

Figura 17. Oferta por energéticos 1975 vs 2019



Fuente: UPME. La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible. Plan Energético Nacional 2020-2050. 2020.

⁵⁸ UPME. Plan estratégico nacional 2020-2025. 2019.

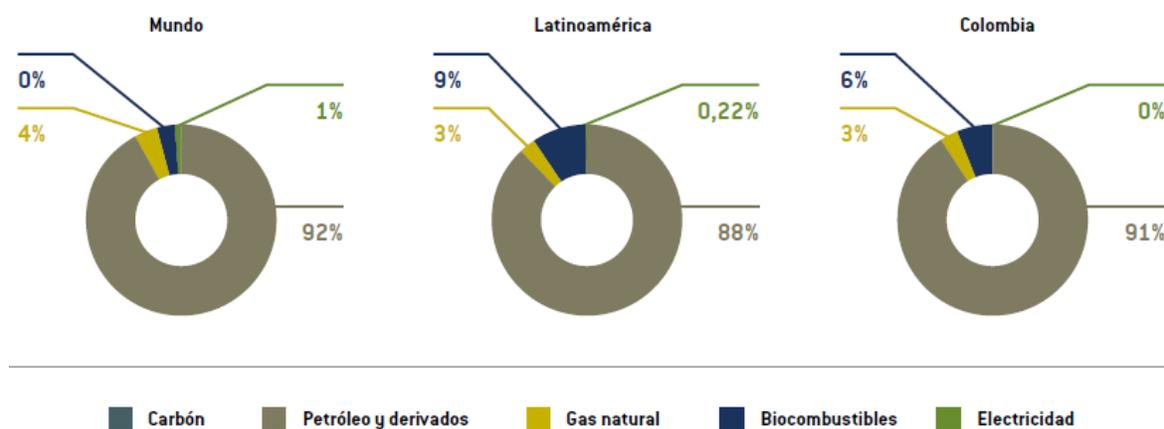
2.8. CONSUMO DE ENERGÉTICOS DEL SECTOR TRANSPORTE

El principal consumidor de energía en Colombia es el sector transporte, el consumo energético de este renglón corresponde al 40% del total en 2018. El modo de transporte con mayor contribución es el terrestre o carretero (88%).

En esto Colombia es bastante similar al comportamiento de la participación del resto del mundo, donde el petróleo representa la gran mayoría, como se ve en la figura 18, en el mundo 92%, en Latinoamérica el 88% y en Colombia el 96%.

La participación de la electricidad es casi nula en el mundo, mostrando que tiene un gran camino por recorrer para competir con los derivados del petróleo y con el gas mismo.

Figura 18. Participación de la canasta energética para el sector transporte



Fuente: UPME. La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible. Plan Energético Nacional 2020-2050. 2020.

- Parque automotor en Colombia

Con fin de tener un mejor entendimiento del consumo y de la existencia misma de los vehículos en Colombia, se muestra a continuación la distribución del parque automotor de Colombia a corte febrero 2021⁵⁹.

El consumo de estos derivados en el sector del transporte se soporta en el parque automotor colombiano, que se describe para el presente año a continuación: se tuvo más de 16 millones de vehículos registrado según datos del RUNT (registro único nacional de tránsito) de los cuales el 59% corresponde a motos y el 40% a vehículos en los que encuentran (automóviles, camionetas, camiones, buses, busetas, entre otros). La evolución de infraestructura y carreteras ha hecho que se utilice de mayor manera los vehículos como se muestra la figura 19.

Figura 19. Parque automotor registrado en el RUT a 2021

Total registrado en el RUNT	16.176.803	100%
Motos	9.517.694	59%
Vehículos (automóvil, camioneta, camión, bus, buseta, entre otros)	6.487.843	40%
Maquinaria, remolques y semirremolques	171.266	1%



Fuente: RUNT. En: Parque automotor registrado en RUNT

⁵⁹ RUNT. En: Parque automotor registrado en RUNT. <https://www.runt.com.co/runt-en-cifras/parque-automotor>

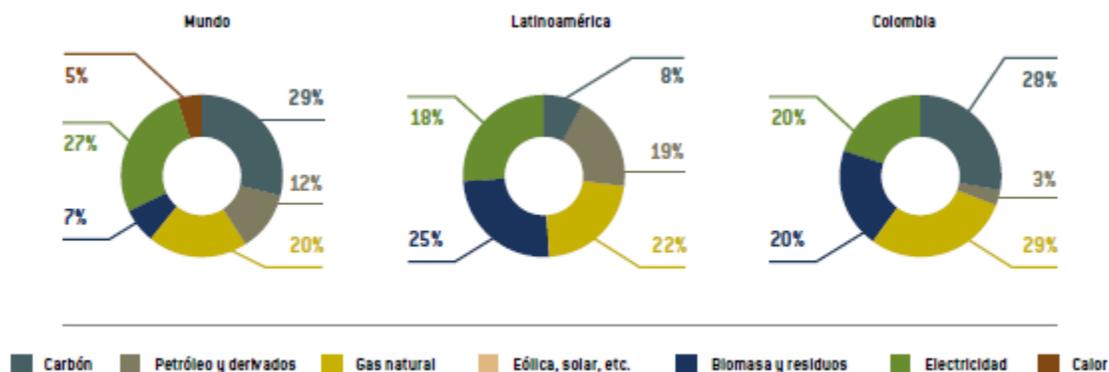
2.9. CONSUMO DE ENERGÉTICOS DEL SECTOR INDUSTRIAL

Este sector es el segundo mayor consumidor de energía del país, con una participación del 22% del consumo total.

Los energéticos más utilizados en la industria son el gas natural, el carbón, el bagazo y la energía eléctrica, en este caso la gran diferencia entre la demanda Mundial, y colombiana se encuentra en el uso de las biomazas, ya que Colombia y Latinoamérica convergen en un uso extendido. Por otro lado, en promedio Latinoamérica no utiliza tanto carbón como Colombia y el mundo.

Sin embargo, lo más relevante para este proyecto, es el hecho de que en Colombia el petróleo y sus derivados sólo representen el 3%, valor al menos 4 veces menor que el del mundo y 6 veces menos que en Latinoamérica, como se puede evidenciar en la Figura 20.

Figura 20. Participación de la canasta energética para el sector industrial



Fuente: UPME. La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible. Plan Energético Nacional 2020-2050. 2020.

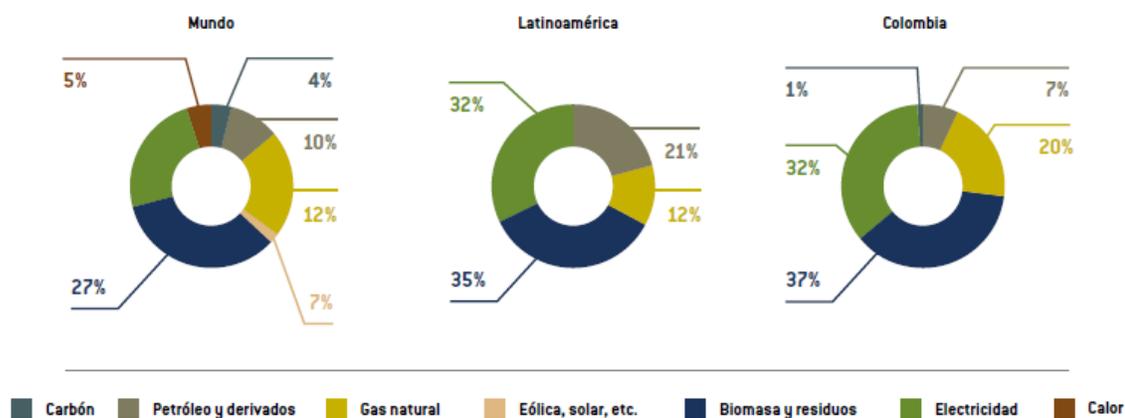
2.10. CONSUMO DE ENERGÉTICOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL

Este sector representa el 20% del consumo de energía final del país y las actividades con mayor demanda son cocción y refrigeración.

Como se puede observar en la Figura 21, los energéticos más usados son leña con un 37%, la energía eléctrica con 35%, gas natural con 20% y el GLP con el 7% de participación.

En Colombia se tiene esta participación tan alta de las biomazas por la población que aún no tiene acceso a la red de gas natural, el petróleo y sus derivados son los relegados en Colombia, mientras que en Latinoamérica representan el 21% y en el mundo el 10%.

Figura 21. Participación de la canasta energética para el sector residencial



Fuente: UPME. La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible. Plan Energético Nacional 2020-2050. 2020

2.11. IMPORTANCIA DEL PETRÓLEO EN COLOMBIA

Conociendo la canasta energética colombiana, su comportamiento tras el paso del tiempo, la producción de crudo, sus precios y el contexto general del sector en

Colombia, podríamos concluir que el crudo tiene una relevancia alta en el sector del transporte, sin embargo, esta no es la única razón por la que el crudo es importante para Colombia.

Por un lado, cómo se observa en la tabla 3, el petróleo encabeza las exportaciones colombianas con un porcentaje de participación del 32,9% por encima de la insignia más representativa de Colombia, el café, según la oficina de Estudios Económicos de Colombia⁶⁰. Esto le permitió a la nación tener una entrada de aproximadamente 13.000 millones de dólares.

Tabla 3. Exportaciones colombianas para 2019

Producto de Exportación	Entrada en dólares (Miles de USD)	Participación (%)
Petróleo	\$ 12.979.699,00	32,9
Carbón	\$ 5.668.329,00	14,4
Derivados del petróleo	\$ 2.982.254,00	7,6
Café	\$ 2.272.874,00	5,8
Química básica	\$ 2.206.013,00	5,6
Resto	\$ 13.379.998,00	33,9

Fuente: Elaboración propia datos tomados de OFICINA DE ESTUDIOS ECONÓMICOS Colombia. Datos generales. Contexto Macroeconómico de Colombia

No solamente es importante por el dinero que genera en exportaciones, sino también, por la inversión extranjera directa que atrae el sector petrolero, ya que esta es la segunda razón de inversión directa, después de los servicios financieros y empresariales (aunque en 2018 el sector petrolero fue el que más atrajo inversores) así está en la figura 22.

⁶⁰ OFICINA DE ESTUDIOS ECONÓMICOS. En: Colombia. Datos generales. Contexto Macroeconómico de Colombia. 2019

Es así como este energético genera importantes ingresos al país por diferentes frentes, y a pesar de que en la actualidad la situación sea favorable con respecto de las reservas; hace algunos años, para ser específicos en el 2003, Colombia tuvo que importar de crudo debido a la disminución drástica de sus reservas⁶¹. Este contexto fue esencial para la creación de la ANH, entidad que lideró políticas tributarias e incentivos económicos para el desarrollo y explotación de actividad petrolera en el país. Modificando el contrato de asociación y creando un nuevo contrato de regalías, impuestos y derechos centrado en: las tres modalidades: Exploración, perforación, transporte y comercialización, mostrado en la figura 22.

Figura 22. Inversión extranjera directa por sectores 2018-2019



Fuente: Elaboración propia datos tomados de OFICINA DE ESTUDIOS ECONÓMICOS Colombia. Datos generales. Contexto Macroeconómico de Colombia

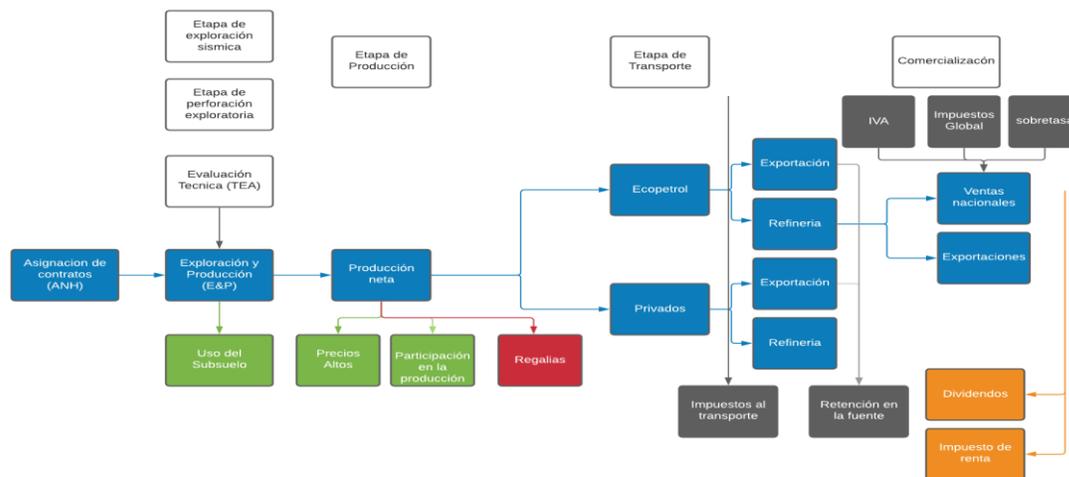
De esta manera, es como el Estado mediante esta nueva modalidad de contrato logró generar una participación entre el 50 % y 60 %. En la figura 23, se pueden ver los ingresos que le generan al Estado.

⁶¹ Precios del petróleo de Colombia.

En caso de tener un estancamiento o reducción en la producción y exportaciones, generaría una desestabilización económica; en el informe que presenta Daniel Castillo titulado “Importación de Crudo y Gas: Crisis Económica u Oportunidad de Cambio” menciona que, aunque se cuenta con una excelente actividad económica proveniente del petróleo, la cuenta corriente nacional se encuentra en números rojos. Esto se puede corroborar en la figura 23, donde las exportaciones han sido inferiores a las importaciones desde el año 2013, lo que ha desembocado a un déficit fiscal desde hace 8 años.

Este contexto nacional e internacional es fundamental a la hora de hablar de prospectiva, puesto que teniendo en cuenta el entorno y situación actual del país energéticamente hablando se pueden plantear distintos escenarios hacia donde podría dirigirse el futuro energético del país, en este caso se enfoca en el papel del petróleo.

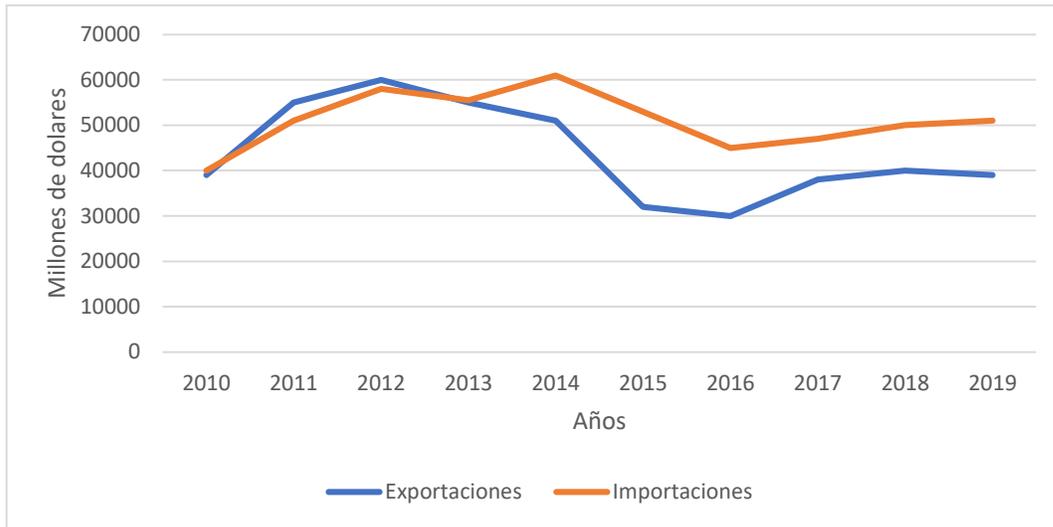
Figura 23. Beneficios económicos dependiendo de la etapa del proyecto



CONVENCIONES	
Proceso de Producción	Impuestos
Derechos Económicos ANH	Obligaciones Ecopetrol
Obligaciones de la ANH	

Fuente: modificado de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)

Figura 24. Cuenta corriente colombiana



Fuente: Elaboracion propia datos tomado de CASTILLO, Daniel. Importación de crudo y gas: crisis económica u oportunidad de cambio. Crudo Transparente. Por un sector minero-energético abierto informado y responsable. 2020

3. FORMULACIÓN DE ESCENARIOS

La formulación de escenarios no es propia de la prospectiva ambiental, por el contrario, el proceso de formulación o planteamiento de escenarios es natural del ser humano, sin embargo, este proceso en principio es instintivo.

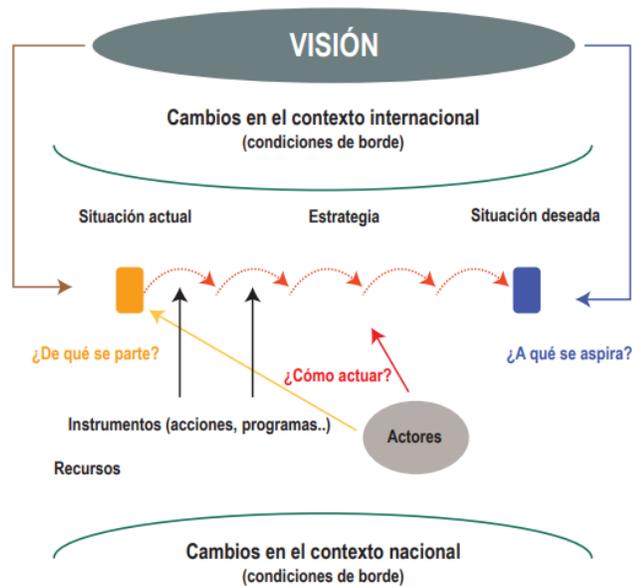
Actualmente, la formulación de escenarios es importante para el desarrollo de empresas, la viabilidad de proyectos o como en este caso para dar una vista a los posibles futuros de la industria petrolera en Colombia.

El ejercicio de prospectiva es dinámico y complejo, ya que, como mencionamos en el capítulo anterior, debe partir de información completa que explique el contexto actual para así, mediante unas condiciones específicas, llegar al objetivo o situación deseada como lo muestra la figura 25, durante el proceso, se deben incluir las estrategias o instrumentos que posibiliten el cumplimiento de la situación deseada, entre ellos podemos encontrar; razones políticas, económicas, precios del insumo (precio del petróleo), emisiones de CO₂, contaminación del medio ambiente, tensiones políticas globales, entre otras⁶².

Es así como, con el fin de encaminar este análisis prospectivo, se hacen necesarios escenarios de planificación, los cuales permiten descubrir y vincular las variables o hipótesis claves que definan su trayectoria.

⁶² OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

Figura 25. Camino hacia la prospectiva



Fuente: OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

3.1. ESCENARIOS DE PLANIFICACIÓN

Según la OLADE se definen como “las condiciones que se vislumbran como posibles, para cierto horizonte de planificación o prospectiva”⁶³, es decir, los escenarios de planificación ayudan a definir las posibilidades eventuales de que la situación deseada ocurra, ya que su construcción está basada en conductas estructurales en una lógica posible.

En la construcción de escenarios de planificación, históricamente dos factores han impulsado la aplicación constante y así el desarrollo de estos. Uno de ellos fueron las crisis económicas, presentes en la historia humana y la otra las guerras, estos acontecimientos aceleraron las investigaciones en esta rama con el fin de prever daños

⁶³ OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

mayores a futuro, es claro que en la historia contemporánea se tuvo un avance mayor con las crisis de los últimos siglos y las guerras mundiales del siglo pasado.

Otros autores como Godet⁶⁴, mencionan a los escenarios como herramienta sustancial en la sensibilización de las existencias de múltiples futuros, favoreciendo la identificación de problemas, relaciones o temas ignorados por ser controversiales.

Por otro lado, D.matos⁶⁵ también resalta la funcionalidad de los escenarios en trabajos de prospectiva, destacando que ayudan a describir un futuro posible, mediante parámetros o elementos, tanto cuantitativos como cualitativos, entre los cuales se pueden encontrar datos tecnológicos, políticos, ambientales, culturales y sociales. De igual forma, señala que los escenarios necesariamente no tienen por qué ser probables o creíbles, sino que debe ser consistentes.

En cuanto a la utilización de los escenarios en planificación energética, estos, empezaron a ser tenidos en cuenta desde la década del 60⁶⁶, a partir de la preocupación generada alrededor del cambio climático, por eso se empezaron a plantear políticas públicas alrededor de esta problemática, y cuáles serían las posibles repercusiones de estas políticas, cuando estas tienen en cuenta temáticas como eficiencia energética y demanda futura de energía.

Grandes corporaciones como *Shell*, *British Petroleum* (BP), Agencia Internacional de Energía (EIA por sus siglas en inglés), *World Energy Council* (WEC), entre otras han planteado estudios de la prospectiva mercado, producción, balance energético y demás, a través del planteamiento y de escenarios, los cuales veremos más a fondo en la sección 3.4.

⁶⁴ OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

⁶⁵ Ibid

⁶⁶ Ibid

3.2. HIPÓTESIS Y VARIABLES SIGNIFICATIVAS

Previo a la metodología y construcción de escenarios, es importante identificar cuáles son las variables e hipótesis que se consideraran en los escenarios energéticos. Como se mencionó anteriormente, estas pueden ser de tipo cualitativo y cuantitativos, en el primer grupo se pueden encontrar el desarrollo tecnológico, el uso racional de energía y de nuevas fuentes energéticas. En el segundo grupo, se encontrarán variables como el PIB, comportamiento de la población, precios de los energéticos, entre otras.

Sin embargo, con base en datos de tipo cualitativo pueden llevarse a otras de tipo cuantitativo, un ejemplo de esto es el desarrollo tecnológico, ya que este no se puede medir *per se* numéricamente el conocimiento tecnológico, sin embargo, con base en este se podrían estimar valores de variables cuantitativas como los precios de ciertas tecnologías, o la importancia/participación de esta tecnología en el futuro. Otro ejemplo, es el cambio (aumento o disminución) en cierto sector de la población donde hasta ahí la hipótesis es cualitativa, sin embargo, es sabido que el cambio de cierta parte de la población implica cambios en consumo, los cuales pueden ser cuantificados.

Asimismo, debe tenerse en cuenta que, en la formulación de escenarios, en términos generales, los hechos ocurren en sistemas mundiales y/o regionales, por lo que, para el análisis de un sistema global comprendería el contexto social, económico, tecnológico, ambiental y político del mercado del crudo a nivel mundial, mientras que, en un subsistema regional, el mercado del crudo en Colombia, las variables que deben ser evaluadas son nacionales, que es el alcance que le dimos a este proyecto de grado.

En este sentido, se precisa de encontrar factores los cuales puedan entrelazar estos sistemas, ya que un país o región debe considerar tanto las condiciones internas como externas en la construcción de sus escenarios.

3.3. HIPÓTESIS RELEVANTES DEL CONTEXTO MUNDIAL

En línea con lo denotado, las hipótesis que se refieren al contexto mundial o global deben englobar dos visiones, uno de ellos se relaciona con aquellas cuestiones particulares que afectan directamente al país o región en estudio (nuestro caso Colombia), por ejemplo: inversiones, acceso a los mercados internacionales, accesos a las divisas; mientras que la otra visión tiene que ver con la organización y funcionamiento del sistema económico mundial⁶⁷.

Es así como la organización latinoamericana de energía (OLADE), con el fin de realizar hipótesis significativas, dicta hacer un análisis cualitativo alrededor de aspectos como:

- Grado de competencia regional del mercado del crudo
- Cadencia de crecimiento por regiones del mercado del crudo
- Nivel de exportación de crudo en los mercados regionales
- Índice de inversión extranjera al país
- Inclusión de los acuerdos medio ambientales
- Grado de globalización del país

3.4. HIPÓTESIS RELVANTES DEL CONTEXTO NACIONAL

Con respecto del sistema nacional, las hipótesis que se tendrán en cuenta se deben evaluar desde cuatro dimensiones las cuales son:

Dimensión económica global y sectorial:

- Acceso a inversión extranjera
- Evolución de las exportación e importaciones
- Participación de las empresas PYMES en el mercado

⁶⁷ OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

- Contribución al crecimiento económico

Dimensión social:

- Evolución del ingreso medio de la población
- Niveles de desempleo e informalismo
- Distribución de los ingresos; pobreza y marginalidad
- Acceso a los diferentes niveles de educación

Dimensión demográfica:

- Natalidad de la población y crecimiento
- Evolución en los niveles de urbanización
- Migraciones al país

Dimensión ambiental:

- Grado de adhesión a los tratados internacionales en pro al medio ambiente
- Política nacional a la preservación de los recursos de patrimonio natural e impactos al medio ambiente local

3.5. SELECCIÓN DE VARIABLES RELEVANTES

Para darle validez a las hipótesis expuestas que conformarán los escenarios, se utilizarán las variables más relevantes, tanto exógenas como endógenas al mercado del crudo en Colombia, con el fin de tener puntos de referencias a los que se quiere llegar.

En este proceso, previo a la formulación de los escenarios, la Organización Latinoamericana de Energía dicta que: “La multiplicidad de las variables no es una virtud en sí misma, la cantidad y tipo de variables que han de utilizarse para construir escenarios es una definición previa indispensable. Requiere conocimiento teórico y

experiencia práctica sobre el funcionamiento del sector o subsector objeto de la planificación”⁶⁸.

De esta manera, una primera selección de variables va ligada a la inclusión del país en materia energética, considerar si es un importador o exportador (en este caso de crudo), si forma parte de bloques o tratados económicos multinacionales o si puede ser influenciado por conflictos internacionales⁶⁹.

Una segunda selección de variables se relaciona ya con las grandes variables macroeconómicas, en las cuales se conectan con el aparato productivo interno como: el crecimiento esperado del PIB, urbanización, elasticidad de ingreso de la demanda y distribución del ingreso.

Por último, el tercer criterio de selección se inclina hacia la forma en que la sociedad y el gobierno generan política, es decir, hace referencia a las variables cualitativas sociales, ambientales y tecnológicas, por ejemplo la manera de impulsar o dificultar el cambio de tecnologías vanguardistas hacia la transición energética y la manera en la que procesan las demandas en materia de cuidados ambientales.

Las variables son de tipo cualitativo y cuantitativo a escala global y local, como ya se mencionó, y para este trabajo se consideraron oportunas las siguientes:

VARIABLES CUANTITATIVAS GLOBALES:

- Población mundial
- Crecimiento económico mundial
- Consumo de energía

⁶⁸ OLADE. En: Manual de Planificación Energética. 2017

⁶⁹ Ibid

- Participación de fuentes alternativas o renovables en la demanda global de energía
- Precio internacional de petróleo

VARIABLES CUANTITATIVAS LOCALES:

- Población, con respectivas migraciones
- Crecimiento económico local. PIB, PIB per cápita
- Intensidad energética

VARIABLES CUANTITATIVAS DE RELACIONAMIENTO GLOBAL – LOCAL:

- Mercados de exportación
- Participación del crudo importado en el total de la oferta
- Integración en bloques regionales

VARIABLES CUALITATIVAS GLOBALES:

- Conflictividad interna en países relevantes en el mercado del crudo
- Conflictividad global
- Conflictividad regional que afecten rutas de abastecimiento de energía

VARIABLES CUALITATIVAS TECNOLÓGICAS:

De impacto sobre la demanda:

- Implementación o evolución de políticas de uso eficiente de la energía
- Penetración de automóviles eléctricos e híbridos

De impacto sobre la oferta:

- Cambios en tecnología de fuentes alternativas (solar o eólica)
- Difusión de técnicas de fracturamiento (*fracking*) sobre shale oil y shale gas
- Desarrollo de yacimientos off shore

VARIABLES CUALITATIVAS AMBIENTALES:

- Adhesión teórica y práctica a políticas sobre efecto invernadero
- Implantación o evolución de políticas sobre contaminación de aire, suelos y aguas

Cabe resaltar, que estas variables se modelaron de acuerdo con la visión de los autores, el tipo de mercado al que se desea estudiar, los alcances y la dimensión de la planificación a proponer.

3.6. METODOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS

Una vez se han identificado las variables e hipótesis relevantes que darán forma y cuerpo a los escenarios, el siguiente paso es construirlos. En el trabajo análogo Análisis Prospectivo del Mercado del Gas Natural en Colombia Mediante La Formación de Escenarios, se explican los dos métodos principales en la construcción de escenarios (trabajados inicialmente por Antezana en 2012), por un lado, está el método llamado “lógicas de construcción con alta formalización”, el cual se asocia a métodos de análisis cuantitativos del que se busca obtener la probabilidad de ocurrencia de los escenarios. El segundo método “lógicas de construcción intuitivas”, que surgen de la consulta de expertos asociados con métodos cuantitativos y cualitativos de información.

Para la elaboración de este documento se utilizará el método de “lógicas de construcción intuitivas” descrito en el manual de planificación de la OLADE⁷⁰ en el cual se destaca el reconocimiento de la diversidad en los actores, culturas, especialidades, disciplinas y sectores, y la información recolectada debe tener disponibilidad de estudios y opiniones de expertos.

La construcción de los escenarios bajo este criterio consta de cinco etapas:

⁷⁰ OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

- Se debe determinar el foco u objetivo principal y horizonte temporal.
- La segunda etapa consta de fomentar una lluvia de ideas con el cual se identifiquen factores representativos que puedan configurar realidades distintas hacia el futuro.
- La tercera etapa precisa en distinguir las tendencias estructurales y factores de ruptura.
- Comprende en identificar la lógica de los escenarios, es decir, conocer los factores críticos que representen las incertidumbres más relevantes y analizar las posibles situaciones a las que se llegaría.
- Durante la quinta etapa, se deben redactar los escenarios, describiéndolo como se va desde el presente hacia el futuro o situación deseada.

3.6.1. Integración de planes. En la construcción de escenarios con fines de planificación energética, no se puede desligar de la visión que presenta el propio país, ya que oficialmente presentan programas estratégicos de tipo social, económico y ambiental, lo cual facilitaría la posibilidad de que ciertas variables se conviertan en datos congruentes para alguno de los escenarios⁷¹. Ahora bien, si estos programas estratégicos no existieran otorgarían al investigador más grados de libertad, sin embargo, la incertidumbre aumentaría y posiblemente desembocaría en poca claridad y conflictos con quienes eventualmente tomarían las decisiones políticas.

Así como, las hipótesis y variables relevantes se tienen en cuenta en un contexto global, también deben considerarse los planes y proyectos energéticos globales, ya que muchos países y organizaciones han identificado y establecido cuales son los

⁷¹ OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

parámetros que apuntan sus políticas energéticas, además de las metas cualitativas y cuantitativas que desean obtener⁷².

En resumen, algunas metas relevantes a las que estos escenarios energéticos deben apuntar son:

- Seguridad de abastecimiento
- Acceso a energía y de calidad
- Cuidados ambientales y reestructuración del sector energético
- Crecimiento desmesurado de la demanda de energía

En conjunto, estas metas ayudarían a perfilar el futuro del sector energético y el camino en el cual se desarrollarán las actividades.

También se muestra el concepto de la Curva Medio Ambiental de Kuznets siendo esta utilizada en la planificación energética:

Roman Kuznets en 1955 planteó en su libro “Economic Groth and Income Inequality” la curva mostrada en la figura 40, su hipótesis, donde los países desarrollados tienen niveles de desigualdad bajos⁷³, pero su crecimiento económico o como originalmente él denotó los ingresos per cápita, también lo son, en la fase de industrialización y crecimiento del país, la desigualdad debe crecer y los ingresos per cápita deben ser directamente proporcionales, haciendo crecer la economía, finalmente los países ya desarrollados tendrán niveles de desigualdad bajos con valores de ingresos per cápita altos. ⁷⁴

⁷² OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

⁷³ LEVINSON, Arik. En: The ups and downs of the environmental Kuznets curve, Arik Levinson: <https://faculty.georgetown.edu/aml6/pdfs&zips/ups%20and%20downs.PDF>

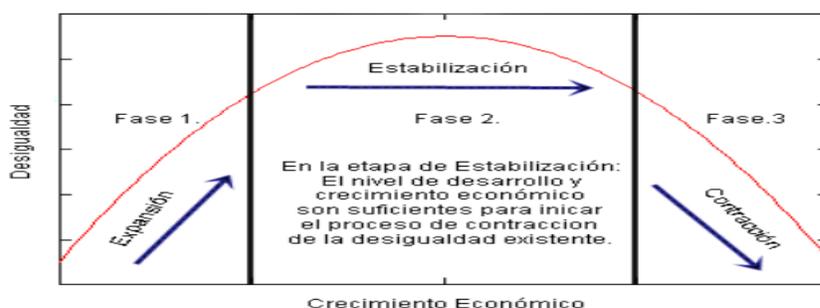
⁷⁴ URRIETA, Carlos. En: Análisis del crecimiento económico y la contaminación del aire en Mexico de 1980-2012 basado en el proceso de la curva ambiental de kuznets. Universidad Autónoma del Estado de

Esta curva fue adaptada por parte del Banco Mundial en su estudio *World Bank Development Report*, del ámbito político al medio ambiental bajo el nombre de “Curva Ambiental de Kuznets”, donde relacionan esta gráfica y los descubrimientos realizados por Grossman y Krueger en sus gráficas de emisiones vs PIB per cápita en 1991.

Teniendo en cuenta que Colombia se encuentra en su etapa de estabilización, donde aún sigue siendo en gran parte una economía pre-industrial⁷⁵, con el fin de que Colombia obtenga crecimientos en su economía, siguiendo la lógica de la curva, esta nación tendería a generar más impactos ambientales.

Finalmente, se tiene en cuenta que si estos ingresos per cápita, así como la economía no aumentan, por lo que no habrá una migración hacia el uso de energías menos contaminantes como el transporte eléctrico, factor clave para el uso de petróleo y sus derivados en Colombia. Esta imagen se muestra en la figura 27.

Figura 26. Curva económica de Kuznets.



Fuente: Tomado de Análisis del crecimiento económico y la contaminación del aire en México de 1980-2012 basado en el proceso de la curva ambiental de kuznets.

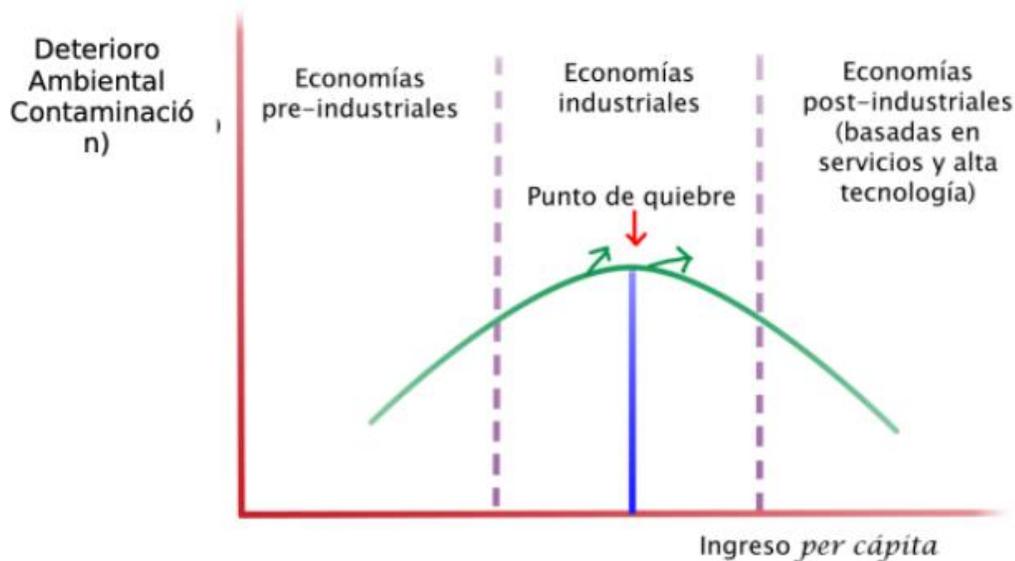
México.

2017.

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68004/An%20E1lisis%20del%20crecimiento%20econ%20y%20la%20contaminaci%20n%20del%20aire%20en%20M%20E9xico%20de%201980-2012,%20basado%20en%20el%20proceso%20de%20la%20curva%20ambiental%20de%20Kuznets.pdf> ;jsessionid=F812E38B1EEF399667223F9BC373DEEB?sequence=1

⁷⁵ La curva medio ambiental de Kuznets, evidencia empírica para Colombia, 2004

Figura 27. Curva ambiental de Kuznets



Fuente: Tomado de Análisis del crecimiento económico y la contaminación del aire en México de 1980-2012 basado en el proceso de la curva ambiental de kuznets.

3.7. ENTIDADES NACIONALES E INTERNACIONALES REFERENTES EN PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA

Múltiples entidades tanto mundiales como nacionales, públicas y privadas, se han encargado de realizar estudios referentes a prospectiva energética bajo la formulación de escenarios. A continuación, se presentarán los estudios realizados por algunos de ellos como el Consejo Mundial de energía o WEC (*World Energy Council*), BP (*British Petroleum*), SHELL y UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética)

3.7.1. Escenarios planteados por el WEC. Son tres los escenarios planteados por la WEC (2019), donde describe el comportamiento de la canasta energética mundial esto presentado en el documento *World Energy Scenarios 2019*⁷⁶ ahí podemos encontrar la descripción de estos escenarios:

Modern Jazz: Este detalla un escenario disruptivo volcado hacia un mundo digitalizado, en el cual el ritmo económico crece de manera desigual a razón de la centralización. Los consumidores se convierten en productores debido a la abundante oferta de las energías limpias. La eficiencia energética en este escenario es visiblemente mayor. La innovación debe ir de la mano con políticas que las soporten, posiblemente la innovación exceda el alcance de las contingencias políticas.

Unfinished symphony: Es un escenario coordinado y comandado por la política, con una planeación a largo plazo, pero una unidad mundial dirigida a los retos, particularmente un futuro con bajas emisiones de carbón. Existe un acuerdo mundial por alcanzar las emisiones cero, sin embargo, cada región toma políticas distintas diferentes haciendo que la meta sea cada vez más difícil de alcanzar. Este escenario se sustenta en tres pilares importantes⁷⁷:

- Políticas integradas y estrategias acoplando distintos sectores.
- Manejo y dirección de la infraestructura energética.
- Inversiones en energías limpias, almacenamiento y tecnologías con emisiones nulas de carbón. Todo esto nos lleva a un escenario en el que la transición es bien manejada pero lenta y altamente costosa, eso hace que no se cumplan del todo los acuerdos de París, dejando así una sinfonía sin terminar.

⁷⁶ WORLD ENERGY COUNCIL. World Energy Scenarios. Exploring innovation pathways to 2040. 2019.

⁷⁷ WORLD ENERGY COUNCIL. World Energy Scenarios. Exploring innovation pathways to 2040. 2019.

Hard Rock: Es un escenario caótico, en el cual se siente un mundo fragmentado insatisfecho por las políticas ineficientes enfocadas en cada país. Su crecimiento en energías alternativas se ve pausado debido a que el carbón, el petróleo y el gas (energías convencionales) aún son más baratas por lo que su uso seguirá siendo intensivo.

La crisis del Coronavirus (Covid-19), ha generado un impacto significativo en nuestra sociedad, así como en el sector económico.

Emerger tras la crisis y dirigir la transición energética son definitivamente dos situaciones retadoras.

El WEC oportunamente planteó escenarios a corto plazo tras lo ocurrido con el Coronavirus en 2020: Escenarios tras el impacto del Covid (WEC,2021) ⁷⁸.

Estos escenarios hasta 2024 están enfocados en tres variables: Ambición, confianza y control del virus y fueron planteados con el fin de entender y brindar una ayuda a la comunidad energética los escenarios son los siguientes:

- Pausa (Pause): Un contexto con colaboraciones centradas en el objetivo volver a la normalidad; Después de la pausa impuesta por las cuarentenas, las sociedades se abren a colaborar en un intento de recuperar la normalidad pre-pandemia. La aparición de vacunas y el anhelo de colaborar y contener el virus antes de 2022. La demanda de energía empieza a crecer lentamente, aunque no llega a niveles de años pasados, los precios del barril de petróleo empiezan a recuperarse entre otras cosas porque la pandemia dejó menos compañías en competencia, dando una ventaja fuerte a favor de las grandes corporaciones,

⁷⁸ WORLD ENERGY COUNCIL. COVID- 19 crisis scenarios. Summary. 2020.

aquellas con alto poder adquisitivo aumentando la brecha con las pobres o las de bajo financiamiento.

El golpe generado en la economía hace que los nuevos proyectos de energías renovables sean menos viables (esto relacionado a las deudas, incertidumbre y busca de estabilidad). A pesar de que existe un compromiso con los acuerdos de París, hay una aceptación general de que el progreso será más lento de lo esperado.

- *Atrasar (Rewind)*: Un alejamiento de la globalización con fin de revivir las economías locales, dejando de lado los compromisos ambientales. La búsqueda de la reparación de las economías locales genera un estancamiento en la globalización. La producción y efectiva vacunación es lenta y los gobiernos buscan mitigar el virus con medidas de comportamiento. La pandemia ha expuesto la vulnerabilidad global de las cadenas de abastecimiento y los peligros de la interdependencia.

La mayoría de los países responden generando estrategias históricas como el proteccionismo con fin de que sectores como la energía, la agricultura y farmacéutico dejen de ser globales y se conviertan en bilaterales. Esto ocasiona nuevamente que la brecha entre países ricos y pobres sea cada vez mayor. La demanda de crudo aumenta, aumentando fuertemente los precios de este combustible, todo esto hace que las potencias inviertan en energías renovables mientras que los países pequeños sean dejados a su suerte y recursos, así como el carbón.

- *Adelantar (Fast Forward)*: La colaboración científica, la utilización de la *big data*, los recursos combinados de laboratorios y una infraestructura de rápido crecimiento para la generación de vacunas y vacunación lograron detener al coronavirus.

Un nuevo orden mundial con China a la cabeza empieza su desarrollo. Una colaboración entre los países petroleros permite un aumento en el precio del crudo, esto genera que energías renovables sean más competitivas, especialmente en un contexto colaborativo que permite el crecimiento de estas energías. Lo anterior, también genera una base para el progreso de las políticas de cambio climático. A pesar de que en este contexto el progreso de transición es mayor al esperado y más rápido, no es suficiente para llegar a la meta de los acuerdos para 2050.

3.7.2. Escenarios planteados por British Petroleum (BP). Esta entidad plantea 4 escenarios con distintos parámetros y características que son: Transición evolutiva (*Evolving transition*), Más energía (*More energy*), Menos globalización (*Less globalization*), y Transición rápida (*Rapid transition*) y son simulados hasta 2040⁷⁹.

Los escenarios fueron planteados con base en distintos parámetros algunos transversales como:

- Economías en crecimiento
- Búsqueda de combustibles limpios con bajas emisiones de carbón o CO2
- Necesidad de más energía y menos emisiones de carbón
- Para todos los escenarios se plantea que el consumo de energía primario aumente por la demanda natural de las economías en crecimiento.
- Las energías renovables aumentan en participación y consumo neto esto es un comportamiento transversal de los 4 escenarios a pesar de sus diferencias
- Otro energético que aumenta en todos los escenarios es el gas

⁷⁹ BP OUTLOOK. BP Energy Outlook 2019 edition The Energy Outlook explores the forces shaping the global energy transition out to 2040 and the key uncertainties surrounding that. *BP Energy Outlook 2019*. 2019.

Otros parámetros que varían por caso son: Asunciones relacionadas con las políticas y el crecimiento tecnológico, además de los comportamientos sociales.

- Transición evolutiva (*Evolving transition*): Plantea que las posiciones políticas, tecnológicas y preferencias sociales, continúan comportándose y evolucionando de la misma manera y con la misma velocidad que se ve en el pasado reciente. Con relación al consumo primario de energía por fuente, se mantiene la tendencia, aunque la demanda de petróleo no tiene un crecimiento exponencial, sigue siendo el líder en la participación del consumo. El consumo de energía aumenta debido al aumento en la población y este puede ser abastecido por la inserción de la generación de energías a través de fuentes renovables. Con respecto de las emisiones de CO₂ para este caso tienen un comportamiento creciente, pero en un rango considerado, esto generan un contexto en el que los acuerdos de París se perciben poco alcanzables.
- Más energía (*More energy*): Es el escenario con mayor demanda de energía primaria donde se evidencia un aumento en el consumo de todas las fuentes relacionadas, las energías limpias o renovables aumenta su participación considerablemente, pero no direcciona este escenario a la descarbonización por el aumento del uso de carbón y petróleo; así mismo es aquel escenario que más lejano está de los acuerdos de París por su aumento exponencial en las emisiones de CO₂.
- Menos globalización (*Less globalization*): En este escenario se evidencia un comportamiento similar al estudiado en *evolving transition* en términos de demanda y consumo energético además de la participación porcentual de los distintos energéticos, sin embargo, está relacionado a las posiciones políticas y de mercado que se asumen en este escenario. Respecto a las emisiones de CO₂, la pendiente y comportamiento son igualmente cercanos al escenario ya mencionado.

- Transición rápida (*Rapid transition*): Es el único escenario en donde las energías renovables no sólo crecen significativamente, sino que además de esto se apoderan de la participación cedida especialmente por el carbón (combustible que es relegado en este escenario al último lugar de energéticos) y el petróleo. Esta disminución en el consumo de carbón, energético más contaminante, se evidencia en las bajas emisiones de CO₂, siendo *Rapid Transition* el único que se acerca al cumplimiento de los acuerdos de París.

3.7.3. Plan energético nacional 2020-2050 (UPME). En el plan energético nacional 2020-2050 detalla el ejercicio de imaginar a que país se podría convertir Colombia energéticamente hablando y que pasos son los que se deben recorrer para llegar a ese fin. En el texto original se puede estimar un juicio de la situación actual y enseguida las hipótesis clave para proponer los 4 escenarios, entre los que se pueden encontrar:

- Escenario I (Actualización): En él se destaca el crecimiento económico a largo plazo, manteniéndose por encima del 3%, la dinámica de importación de crudo se mantiene y adicional se incursiona en temas de yacimientos no convencionales. Se destaca la continua mejora en combustibles líquidos y eficiencia energéticas en el sector de hidrocarburos. Del mismo modo se da por hecho la sustitución de la leña por GLP en el sector rural y la inserción de vehículos electrificados.
- Escenario II (Modernización): Está abanderado por la gasificación como paso hacia la descarbonización, el crecimiento económico se mantiene alrededor del 3.1%. Se abre el paso hacia biocombustibles, biogás y energías no convencionales como la eólica. Además, la participación de energía eléctrica y gas en el sector transporte toma un gran protagonismo.
- Escenario III (Inflexión): Para este escenario se abren las puertas a la electrificación como fuente económica, allí se puede observar que el crecimiento

económico es de 3.5% más alto que en los escenarios anteriores. Para impulsar la electrificación se desarrollan proyectos en geotermia y pequeños reactores nucleares, también se estimula la electrificación en sectores industriales y automotriz.

- Escenario IV (Disrupción): El pilar fundamental de este escenario es la innovación con el fin de estar encaminado hacia la carbono-neutralidad, en él también se ve un crecimiento económico de 3.5%, para dar cabalidad es necesario el desarrollo de hidrogeno verde como energético insignia, apalancado de las fuentes de energía no convencional⁸⁰.

3.7.4. Escenarios planteados por Shell. Empresa mundialmente reconocida fundada oficialmente en 1907 con el nombre de "*Royal Dutch Shell*", con experticia en exploración, producción, refinería y mercado del crudo y gas natural además de la manufactura y el mercadeo de otros químicos.

Shell reconoce usar tecnologías avanzadas e innovadoras que ayudan a construir un futuro energéticamente sostenible. Y en su propósito está atacar el cambio climático generando una transición hacia un sistema con baja emisión de CO2.

Teniendo en cuenta lo anterior, *Shell* investiga constantemente y publica trabajos como: *The energy transformation scenarios, World energy model a view to 2100*⁸¹, en estos plantea tres escenarios prospectivos los cuales están contextualizados en el mundo actual donde *Shell* menciona como importantes: Calentamiento global, Activismo político enfocado a favor energías renovables, evolución del mercado, desarrollo de

⁸⁰ UPME. La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible. Plan Energético Nacional 2020-2050.

⁸¹ SHELL. The energy transformation scenarios.

tecnologías (en donde las energías renovables tienen precios más bajos) y aumento en la eficiencia energética. Es importante mencionar que tienen en cuenta la existencia e impacto del COVID – 19.

Los escenarios son:

- *Waves*: Escenario en el que primero las naciones se centran en reparar la economía, una vez la recuperación ocurre se inician los procesos de transición seriamente, sin embargo, estos son rápidos, lo que hace que se llegue a lo estipulado, pero tarde. En este, el producto interno bruto de los países genera una expectativa de desarrollo sin embargo la inequidad es notoria y en crecimiento; el mundo es más rico sin embargo esta riqueza se concentra en los países ricos. Para 2030 los combustibles fósiles siguen en auge, incluso se duplica la producción en aguas profundas, el gas es el energético no renovable con mayor crecimiento y aceptación sin embargo sólo es hasta 2050 que los renovables desplazan a los combustibles fósiles
- *Islands*: Las empresas y países se centran en recuperarse internamente, enfatizando en el nacionalismo, y la autosuficiencia, en este contexto algunos países tendrán buenos resultados mientras que otros basados en políticas ineficientes no tendrán el mismo rumbo, las tensiones geopolíticas hacen parte del contexto de este escenario. La innovación se centra en solucionar problemas locales. Los acuerdos de París no son alcanzados y se termina con valores promedios de temperatura de 2.5°C y aumentando lentamente, Esto relacionado con el uso de carbón y gas el cual sólo tiene una disminución notoria hasta cerca del final del siglo.
- *Sky 1.5*: Escenario que plantean como el único en el que debe ser conducido el mundo. Un camino ambicioso, técnicamente posible, pero con muchos retos. Es necesaria la coalición de muchas partes, líderes pioneros, países y negociantes con fin del cumplimiento de sus objetivos. Fue planteado con base en lecciones aprendidas de otros escenarios prospectivos anteriores. En este las acciones con

fin de cumplir los acuerdos de París son rápidas y oportunas, el COVID-19 dejó una lección aprendida con relación a la coalición internacional necesaria para superar esta crisis, y afrontar distintas situaciones como humanidad mas no como regiones o países. La sinergia provocada por el restructuramiento de la canasta energética, la conciencia ambiental de la sociedad, políticas sostenibles hacen posible las metas del acuerdo de París, donde se logra mantener por debajo de 1.5°C por encima de los niveles preindustriales antes del final de este siglo.

3.8. ESCENARIOS NACIONALES DEL CRUDO PROPUESTOS POR LOS AUTORES

Para la elaboración de estos escenarios no sólo se tiene en cuenta la información descrita en las secciones anteriores de variables e hipótesis significativas y los parámetros que las grandes entidades tienen en cuenta, sino que también la información obtenida tras el trabajo realizado por la Universidad del Valle y la Universidad Nacional de Colombia llamado Transición energética para Colombia 2050, realizado en 2018. En el Anexo A se referencian los resultados de la encuesta realizada a 31 Expertos y 119 Actores del sector; de allí fundamentalmente se tomó que:

Para los expertos encuestados las variables más relevantes hacia a transición energética son:

- Crecimiento rápido en las tecnologías de energía limpia
- Crecimiento de la demanda, principalmente, en países en desarrollo
- Mejora de la eficiencia energética (sector industria, transporte, residencial)
- Rápido crecimiento de las energías renovables
- Aceleración de la urbanización

Por otro lado, en los Anexos B, C y D se muestran los resultados para las preguntas: “¿El marco regulatorio actual es adecuado para la transición energética en Colombia?”

Y “¿Cuáles son los factores que dificultan la transición energética?” respectivamente; allí la mayoría de encuestados estuvieron de acuerdo en que la regulación actual no es la precisa para la transición energética y en que este es el factor que más dificulta la transición energética, seguida de las condiciones climáticas

Además de esto en Colombia existen políticas enfocadas en la transición energética, algunas de ellas se encuentran enlistadas en el anexo E el en donde se diferencia por el sector y si hace parte de la oferta o la demanda, estas también influyeron en la creación de nuestros escenarios

Es indispensable mencionar que, bajo estos criterios, Colombia le apuesta a la transición, en base a la autosuficiencia y seguridad energética ya que, al estar situado en el trópico, el abastecimiento de energía por fuentes como las hidroeléctricas, es susceptible a los cambios ocasionados por el calentamiento global⁸². Por otro lado, se logra identificar que en el sector transporte en general, el crudo es el principal demandado mediante sus derivados (como fue mostrado en la sección 2.5.4) no cuenta con un sustitutivo que pueda emplearse de manera y su uso sea generalizado, el energético con mayor avance hasta el momento es el gas como elemento sustituto, sin embargo, Colombia cuenta ni con las reservas ni con la infraestructura para abastecer la flota automotriz basada en combustibles fósiles por más de 7 años.

⁸² UPME. Plan nacional de adaptación al cambio climático. p. 33.

3.8.1. Ganimedes. Escenario basado en la transición energética, tecnológicamente muy innovador. En este se busca cumplir a cabalidad los compromisos ambientales internacionales tales como el Tratado de París en donde los combustibles fósiles pierden protagonismo, se busca aprovechar los beneficios intrínsecos de las energías renovables, biocombustibles y el gas natural, este último actúa como indicador de diversificación energética y se convierte en el protagonista junto con esas energías no convencionales. En consecuencia, concibe planes de gobierno orientados hacia la inserción de fuentes renovables de energía en la base del consumo energético, por lo tanto, se espera un evidente decrecimiento de la producción y consumo de crudo. Junto con lo anterior el bajo precio del barril y la limitada demanda hacen que la perforación y exploración baje en términos alarmante. El petróleo se ve relegado y programas energéticos pro-alcohol fomentando el uso de biocombustibles son características de este escenario en donde los vehículos a gasolina pasan a la historia, los vehículos Flex (movidos por alcohol anhidro o hidratado y gasolina) y eléctricos toman el mercado del transporte así mismo existen políticas como los incentivos económicos para productores de etanol. Para Colombia el hecho de tener más crudo no comprometido para su propio consumo, genera una posibilidad de venta de este.

En este caso Ganimedes hacer referencia a un entorno en el que la tierra empiece su vía a la recuperación del medio ambiente en donde hasta su apariencia es notablemente parecida a la de la Tierra.

Características del escenario:

- Innovación digital como una ventaja competitiva: Importante en un mercado volátil dependiente de los avances tecnológicos
- Nuevas soluciones de energía en un mundo digitalizado: China, Norte América Europa e India como los innovadores. Carros eléctricos, reciclaje de baterías y pilas

- Combustibles fósiles en transición: Toman más importancia en otras partes como la petroquímica, los mercados no electrificados como aviación y materiales de construcción
- Innovación en la demanda: Consumidores más conscientes, prefieren energías limpias, mercados maduros (energía solar); mercados no maduros dan espacio a empresas de mediano tamaño e inversores que apuesten por estas tecnologías
- Disrupción del mercado: Los inversores del entorno digital empiezan a ingresar al sector energético debido a sus ansias de tener un sistema integrado y entregar un "servicio completo"
- Reto del cambio climático: no se cumplen con los acuerdos de París, de hecho, se entiende que la gente no está preocupada por las emisiones de CO2 sino de la contaminación local
- Tendencia a la electrificación empresas y Estado comienzan a incursionar en la generación de energía eléctrica, además de reglamentar un parque automotriz libre de emisiones de gases de efecto invernadero (ojo para generar electricidad también se necesita de combustibles fósiles) (sacado Proyección de precios de los energéticos)
- Tecnología apuntada a la mejora de la eficiencia energética con el fin de aliviar la presión del calentamiento global (tomado plan indicativo de abastecimiento de combustibles líquidos)

3.8.2. Calisto. Este escenario plantea un rumbo bastante similar al entorno en el que vivimos actualmente, puesto que el predominio de los combustibles fósiles sigue estando marcado, la intención de insertar fuentes renovables de energía sigue siendo una intención. El precio del barril no es el más alto ni estable haciendo que haya exploración esporádica, sin embargo, la suficiencia energética puede verse comprometida por la falta de yacimientos significativos encontrados.

Características del escenario:

- Los gobernantes son conscientes de 4 riesgos importantes
- Cambio climático.
- Vulnerabilidad sistemática debido a la digitalización (*cyber* ataques)
- Necesidad de balancear las políticas ambientales con la seguridad energética, el costo y la disponibilidad
- Necesidad de transición energética de una manera rentable y socialmente aceptada
- Consciencia emergente: tanto social como políticamente. Los gobernantes se basan en 3 iniciativas para la generación de las políticas: inversión público-privada, restructuramiento audaz en la innovación e integración, comercialización de energías limpias
- Políticas coherentes y alineadas: congruencia entre países. Incentivos energías limpias, menos impuestos, premios y demás
- Caminos regionales: Regiones proponen su propia canasta o matriz teniendo en cuenta su contexto e intereses.

3.8.3. Ío. Es un escenario favorable para la industria petrolera, pues se espera que el precio del barril se mantenga al alza y por encima de los 80 dólares lo que concederá espacios para seguir en el desarrollo y exploración de pozos tanto de tipo convencional como no convencional. Al estar la industria de los hidrocarburos sólida, corta el avance hacia la tecnificación de energías renovables dejando a un lado los pactos globales por el cambio climático y los objetivos de desarrollo sostenible.

Características de este escenario:

- La economía global es volátil e invertir en energías renovables no es rentable por lo que los inversionistas huyen de este mercado, junto con esto los países regresan a soluciones de energía locales, el carbón económico y la producción de gas y petróleo no convencional (tecnologías ya conocidas y en

funcionamiento) terminan de enmarcar este contexto. (Los resultados obtenidos muestran un importante potencial en materia de hidrocarburos en el país. En cuanto a reservas de petróleo se prevé la incorporación de volúmenes totales que oscilan entre 7.474 millones de bbl en un escenario de escasez, 39.511 MMBBL en el escenario de abundancia, y un total de 10.468 MMBBL en el escenario base durante los próximos 22 años.)(En gas natural se estima una incorporación entre 7,5 TPC (terapíes cúbicos) en un escenario de escasez y 22,01 TPC en el escenario de abundancia, mientras que el valor asciende a 11,7 TPC en el escenario base) (tomado de actualización de escenarios de oferta y demanda).

- La era de la ansiedad: “Primero yo... luego el mundo”, Brexit, disolución EU, nacionalismo en Estados Unidos y China, regionalismo en medio oriente en donde el precio del barril es controlado.
- Las políticas más radicales y polarizadas son aquellas que lideran este contexto, y argumentan que los procesos de descarbonización son demasiado caros.
- China e India a pesar de que continúan con su innovación estratégica local, gastan mucho en renovables pero su grueso sigue siendo los combustibles fósiles y la energía nuclear.
- El cambio en la industria petroquímica sigue estando vigente, pero a una velocidad menor esto por la necesidad de mostrar algún avance ante la inminente contaminación.
- El calentamiento global para 2030 junto con las emisiones de dióxido de carbono siguen aumentando, mientras que los activistas prevén la catástrofe.
- La escasez de agua también es la detonante de tensiones sociales en ciertas regiones.
- Países quedan a su propia suerte, los países en desarrollo buscan sostener sus economías, y no comprometer su seguridad energética, el fracturamiento hidráulico en Colombia es planteado como una buena opción.
- Los buenos y estables precios del crudo, permiten que una gran oportunidad para la masificación de procesos EOR en el país, al igual que la potencial producción

de crudos pesados (tomado de actualización de escenarios de oferta y demanda) Se visualiza una continuación en los niveles de precios actuales para crudo, en el que las fuerzas de oferta y demanda lo mantengan entre USD \$75/bbl y USD \$125/bbl, nivel de precios atractivo para el sector, permitiendo el aumento volumétrico de producción, no sólo de recursos convencionales, sino también algunos no convencionales (*Shale gas, Shale oil* y CBM).

4. PROSPECTIVA

La finalidad en este capítulo es exhibir el proceso de elaboración de la prospectiva del mercado del crudo en Colombia, caracterizando la información empleada y las herramientas necesarias. Describiendo a cabalidad los elementos necesarios para hacer un buen ejercicio de prospectiva, donde abarque el consumo de crudo, la producción y las reservas.

Por el lado de la demanda, se establece la información necesaria para construirla ya sea basándose en información de balances energéticos o resultados de estudios de campo⁸³. Para la producción una vez obtenida la data, se analizan los sectores involucrados que conformen el requerimiento total de abastecimiento para así proceder con modelos de simulación u optimización. Para el desarrollo de esta simulación se utilizará el software LEAP.

4.1. DEFINICIÓN

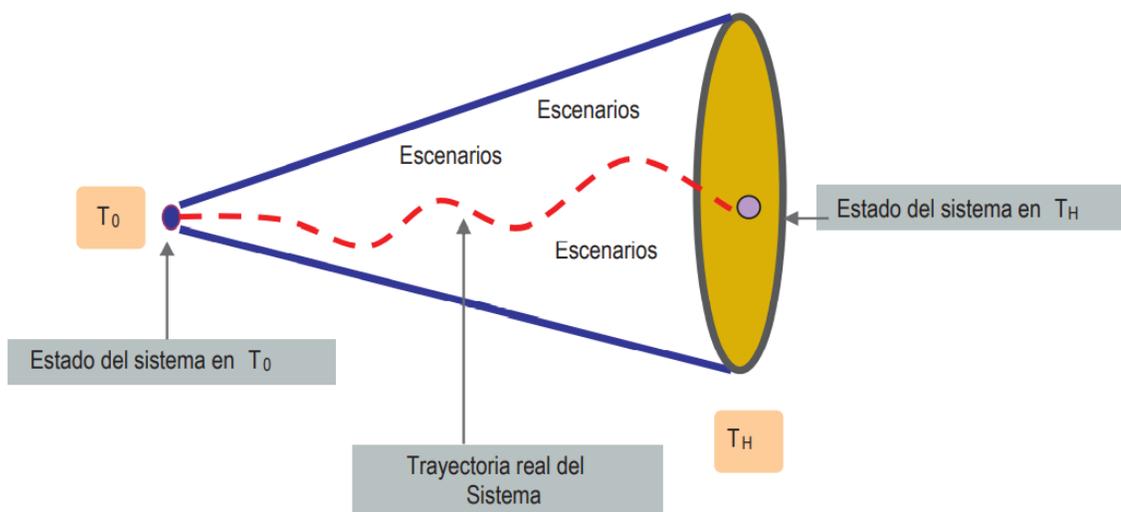
La prospectiva se describe como, el ejercicio que pretende aclarar la acción presente a la luz de la visión de los futuros posibles o deseados (tomado de la prospectiva estratégica de Michael Godet (2009)). La primera persona en atribuirle conocimientos científicos en prospectiva fue al filósofo Gaston Berger, llamado “el padre de la prospectiva” gracias a su artículo publicado en 1957, donde deja entrever que el futuro es la razón del presente, esto justificado en que buena parte de nuestras acciones se explican con los proyectos que queremos alcanzar. La prospectiva es entonces, una disciplina que permite adelantar y predecir el futuro mediante el análisis prospectivo sin caer en ramas como la adivinación o profecía que, simplemente son especulaciones bajo fines sobrenaturales.

⁸³ OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

4.2. ANÁLISIS PROSPECTIVO

Es fundamental entender la prospectiva desde un análisis el cual posibilita sondear o reconocer futuros posibles, para comprender un poco más su función se describirá de manera gráfica, como lo muestra la figura 28.

Figura 28. Descripción gráfica de prospectiva



Fuente: tomado de OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

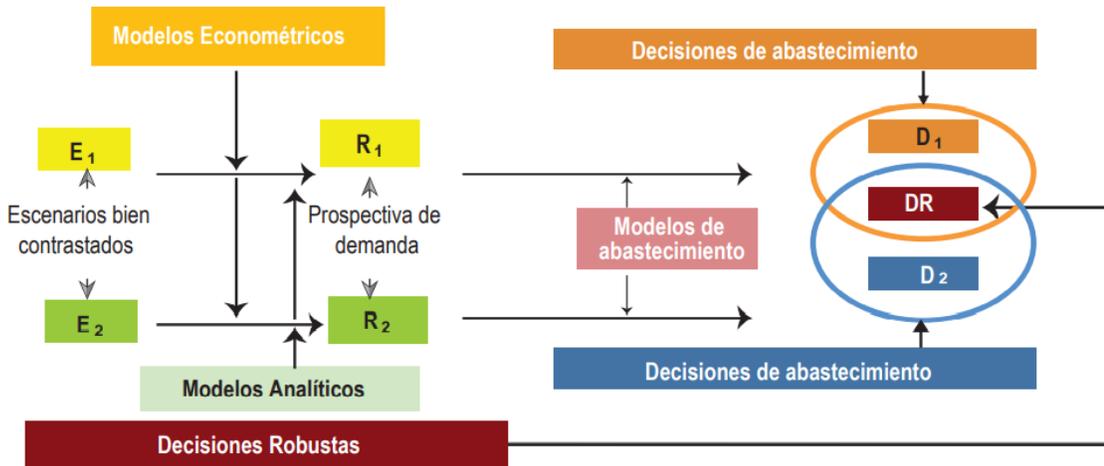
Se puede entender el proceso de prospectiva como forma de cono, lo que se muestra en la figura como T_0 (vértice del cono) es el momento exacto en el presente y T_H es el futuro o la situación deseada, a medida que se prolonga el horizonte prospectivo el futuro se hará más incierto y las situaciones o hipótesis del sistema se amplían, generando que el diámetro del cono se haga cada vez más amplio⁸⁴. Es esta la razón que el análisis prospectivo supone la elaboración de escenarios que representen hechos

⁸⁴ OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

opuestos lo cual contengan los extremos del diámetro del cono, de tal modo que permita prever con acciones el devenir del futuro.

La figura 29, muestra el esquema del proceso prospectivo, en el que permite la toma de decisiones, y así explicar cómo a través de los escenarios se puede obtener el análisis prospectivo.

Figura 29. Descripción gráfica de prospectiva



Fuente: tomado de OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

Inicialmente, se parte de los escenarios E1 y E2 que tienen el fin de abarcar los futuros posibles, con el uso de modelos ya sean econométricos o analíticos, que para nuestro caso será el simulador LEAP, se obtiene la prospectiva de la demanda en este caso representadas como R1y R2. Con base en estas prospectivas, se determinan las decisiones correspondientes para cada situación representados como D1 y D2, la

decisión robusta o DR será la que contenga las dos decisiones la cual ayudará afrontar cualquiera de los dos futuros⁸⁵.

4.3. MÉTODOS Y MODELOS DE ESCENARIOS PARA LA PROSPECTIVA

Como se mostró en la figura 27, la prospectiva de la demanda R1 y R2 de los escenarios propuestos se puede realizar mediante el uso de modelos econométricos o analíticos. El uso de un modelo u otro está básicamente condicionado por el tiempo en el que se dispone para ejecutar el trabajo. Es decir, cuando se trabaja con modelos analíticos la recolección de la información conlleva un tiempo considerablemente mayor, mientras que, si se emplean modelos econométricos, se utilizarán series de tiempos determinados de un grupo limitado de variables que formarán parte de los escenarios⁸⁶. Basados en la interpretación para este trabajo se utilizará el modelo econométrico, ya que el tiempo en la elaboración de este proyecto es reducido en comparación con el del modelo analítico.

MODELOS ECONOMÉTRICOS: Son modelos en los que la demanda de una fuente energética se verá directamente relacionado con el ingreso del consumidor final si se habla estrictamente para un sector de consumo o del nivel de actividad si se tratase de un sector productivo, de los precios relativos de los energéticos y la tecnología requerida para su implementación.

Esto quiere decir, que, si se hablara de la demanda de mercado para los consumidores residenciales, la función presente en el modelo econométrico se verá directamente involucrada con el precio de la fuente, precio del energético sustituto, ingreso medio de

⁸⁵ OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

⁸⁶ OLADE. Manual de Planificación Energética. 2017

los consumidores, precio de la tecnología para utilizarla, el indicado de distribución de ingresos, las variables demográficas y ambientales.⁸⁷

Cabe resaltar que, como todo modelo presenta ventajas y debilidades, en este caso la debilidad o limitación más significativa es la dificultad de presentar cambios estructurales futuros, ya que no puede replicar en el futuro trazos estructurales del pasado, por otro lado, su mayor fortaleza es que se puede implementar a un corto plazo, debido que se maneja un volumen de información moderada⁸⁸.

4.4. ENFOQUE SIMPLIFICADO: PROSPECTIVA DEL BALANCE ENERGETICO

La prospectiva del balance energético es un caso común de aplicación de prospectiva, en el cual se utilizan los datos proporcionados por el balance energético del país en estudio, para el caso de este trabajo es el BECO (Balance Energético Colombiano), esta es una plataforma de la UPME en la que se puede encontrar información anual de oferta interna, consumo final, productos de transformación e indicadores energéticos.

Con los datos recopilados de este balance y algún software de simulación, es posible encontrar el consumo final por sectores, el uso intensivo de las fuentes energéticas, el consumo final por fuentes y la producción de energía primaria. Comúnmente se modelan los sectores residenciales, transporte e industrial (para esto se requiere una data histórica de al menos 10 años ya que de lo contrario las proyecciones no serían fidedignas; esta información fue recopilada tomando en cuenta desde el año 2000 y se encuentran en los anexos del F al L; Data histórica colombiana, donde se encuentran datos de: Reservas, Producción, Consumo, Consumo de derivados, Comportamiento de la canasta energética, Población, PIB y PIB per cápita, usados como información alimento para el software de simulación utilizado.

⁸⁷ Ibid

⁸⁸ Ibid

4.5. LEAP

La herramienta de simulación que se utilizara para el desarrollo de este trabajo es LEAP (*Long-range Energy Alternative Planning*), o en español sistema de planeamiento de alternativas energéticas de largo plazo, desarrollado por *Stockholm Environment Institute* (SEI). LEAP, funciona bajo el principio de coeficientes técnicos de tipo “*Bottom-up*”, es decir, analizando las actividades de manera local hacia la global en este caso el mercado del crudo.

Su finalidad, es brindar un soporte para el desarrollo de estudios en planeación energética integral y de mitigación de gases de efecto invernadero basados en escenarios⁸⁹. La lógica global del programa es clara y hoy cuenta con más de 36.000 usuarios en todo el mundo, por lo que ha servido como herramienta clave para múltiples trabajos en prospectiva. Esto le ha permitido al usuario representar el sistema energético a analizar y las implicaciones de los escenarios que ha propuesto, mediante salidas como: la demanda final de energía, necesidades de ampliación de los procesos de producción de energía, impactos ambientales y costos asociados⁹⁰. Estas salidas son alimentadas por balances integrales sobre la forma en que se consume, produce y convierte la energía, cual es la participación que representa cada energético.

Como herramienta LEAP permite realizar las proyecciones de oferta y demanda de energía a lo largo de un periodo de planificación, analizar las políticas energéticas y evaluar los efectos de programas de inversiones en energías alternativas, así de esta manera identificar problemas potenciales futuros⁹¹.

⁸⁹ FUNDACIÓN BARILOCHE. En: Sistema de planificación de alternativas energéticas de largo plazo. Manual del usuario para la versión 2004 de LEAP. 2004.

⁹⁰ Ibid

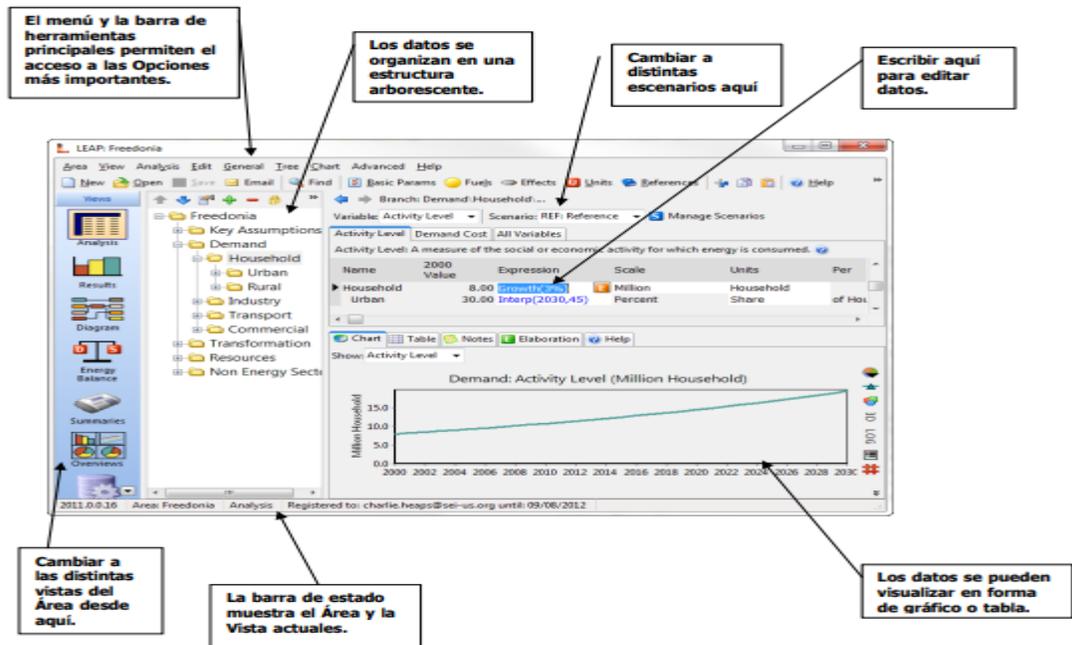
⁹¹ Ibid

La pantalla principal o interfaz de LEAP es bastante intuitiva como lo muestra la figura 28, en la parte superior está el menú y barra de herramientas con los cuales se maneja la configuración o ajustes de acceso previo al desarrollo de las variables; en él se puede definir los objetivos a cumplir, que nivel de escala desea aplicar (ya sea global, regional o nacional), el horizonte temporal, año en el que los recursos se empiezan agotar, entre otras. En el costado izquierdo se despliega verticalmente las opciones de “Views”, en ellas no vamos a poder mover para saber si estamos trabajando desde la ventana de análisis (*Analysis*) que sirve para poder estructurar y editar los datos en el árbol. De izquierda a derecha seguido del menú de “Views” se encuentra la estructura de árbol (*Tree*) y este es el lugar donde se organizan los datos de entrada de manera jerárquica con el fin de identificar las variables por sectores, nivel de actividad o uso de los energéticos a estudiar. Del lado inferior derecho se puede visualizar los datos de entrada, ya sea en forma de tabla o a manera de gráfica. En el recuadro intermedio de la sección de la derecha, se introducen los datos y expresiones utilizadas para el manejo de los escenarios como número de habitantes, participación energética, intensidad final de energía, la escala en la que se encuentra y las unidades en las que se utilizó. Por último, en la pestaña escenarios (*Scenarios*) ubicada en la parte superior, funciona para crear los escenarios propuestos por los autores y a su vez navegar entre ellos⁹².

Una ventana importante dentro de LEAP es la de *Results*, desde allí se pueden visualizar los resultados al detalle con una gran variedad de gráficos y tablas que muestran el comportamiento de la demanda por energéticos, sectores y años ya sea para un solo escenario o comparándolo entre ellos.

⁹²FUNDACIÓN BARILOCHE. En: Long-range Energy Alternatives Planning System Sistema de Planeamiento de Alternativas Energéticas de Largo Plazo EJERCICIOS DE PRÁCTICA septiembre 2011 (versión actualizada para LEAP 2011)

Figura 30. Entrada o interfase de LEAP



Fuente: tomado de *Long-range Energy Alternatives Planning System* Sistema de Planeamiento de Alternativas Energéticas de Largo Plazo EJERCICIOS DE PRÁCTICA septiembre 2011 (versión actualizada para LEAP 2011)

4.6. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

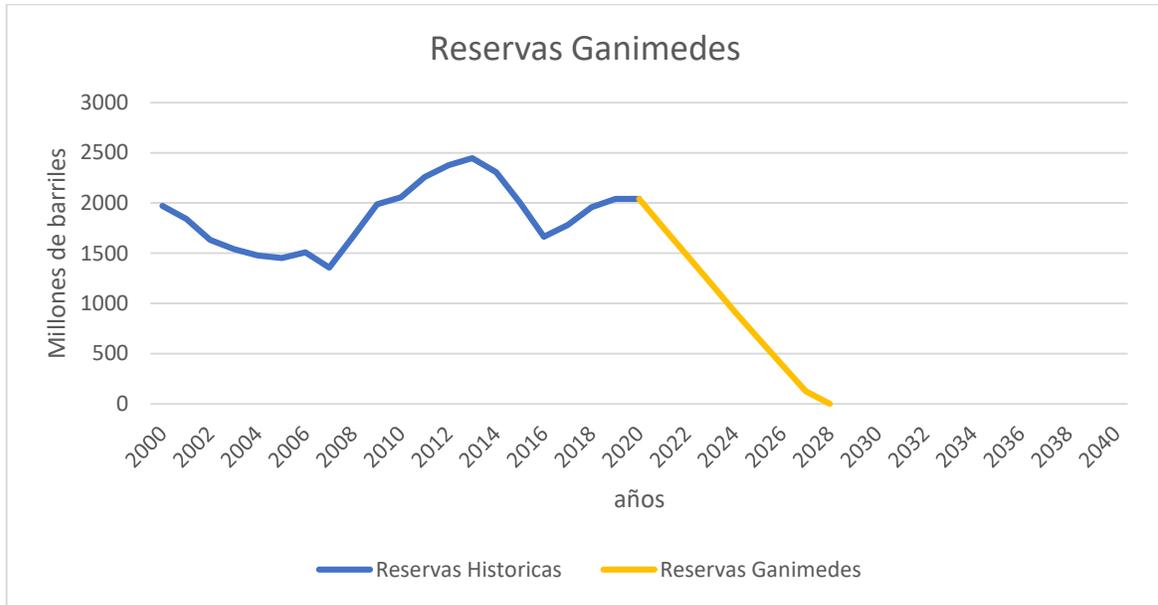
En esta sección del capítulo se reunirá la información y data histórica, que se utilizaran como apoyo para realizar las proyecciones de los escenarios planteados (Ganimedes, Calisto e Ío).

4.7. PROSPECTIVA DE LOS ESCENARIOS PROPUESTOS

Ya una vez fueron planteados las hipótesis y variables para la construcción de los escenarios que se plantearon durante el desarrollo del trabajo, se precede a realizar el análisis empleando la información y data recolectada, más la ayuda del simulador LEAP, se proyecta un horizonte de 20 años con el fin de mostrar la evolución de las reservas, producción y consumo del crudo en Colombia.

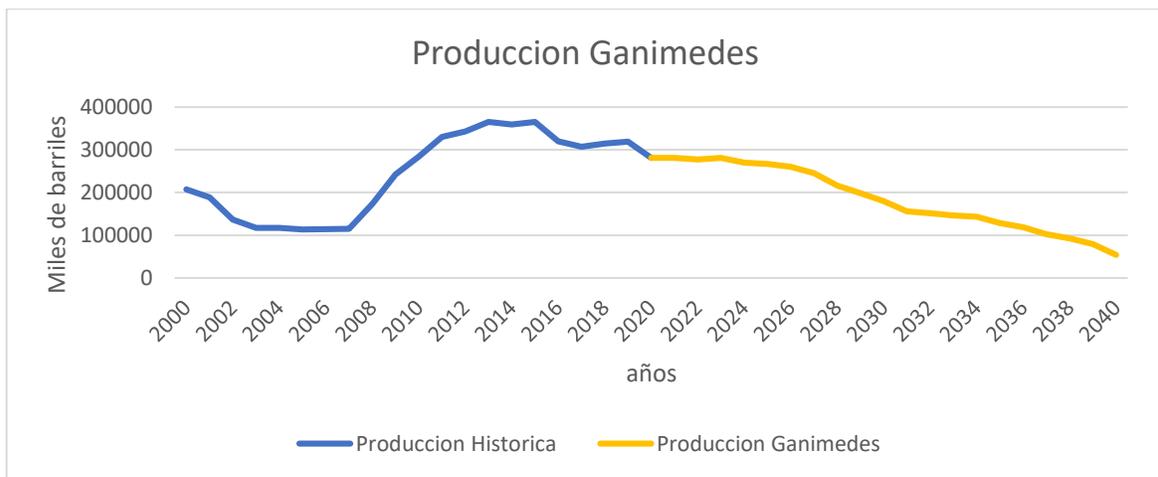
4.7.1. Ganimedes. Los resultados de simulación de reservas se encuentran en la figura 31, los de producción en la figura 32, mientras que los datos de consumo total y por derivados del escenario, están representados en las figuras 33 y 34.

Figura 31. Reservas petróleo Ganimedes



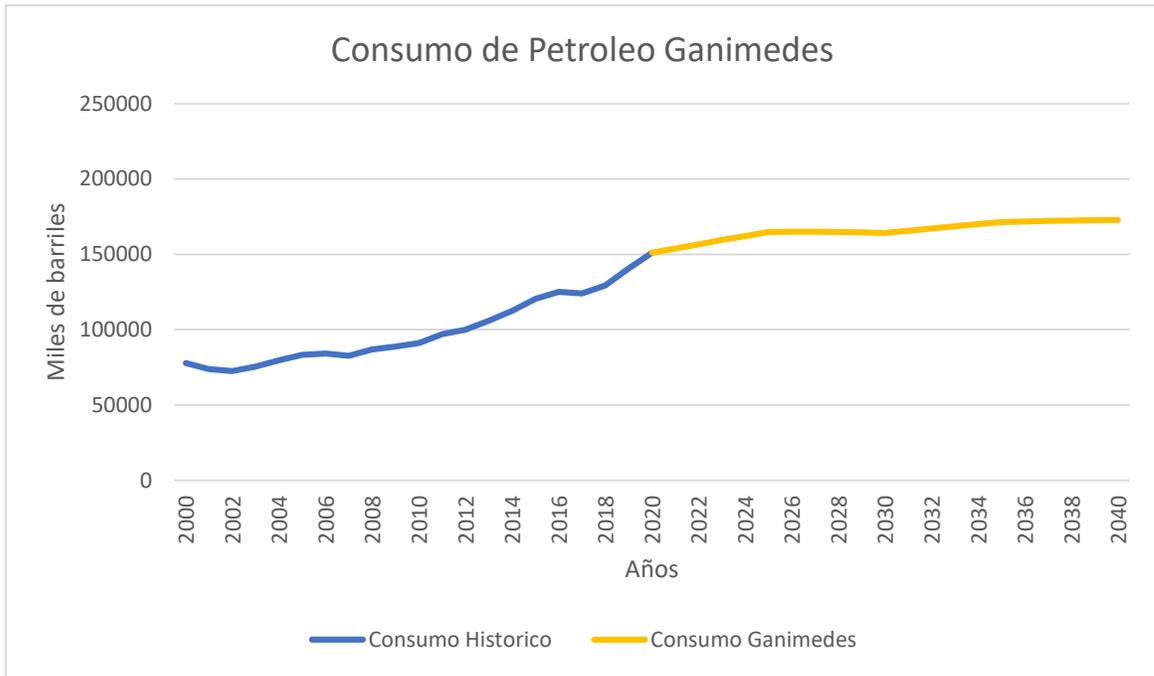
Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LEAP

Figura 32. Producción de petróleo Ganimedes



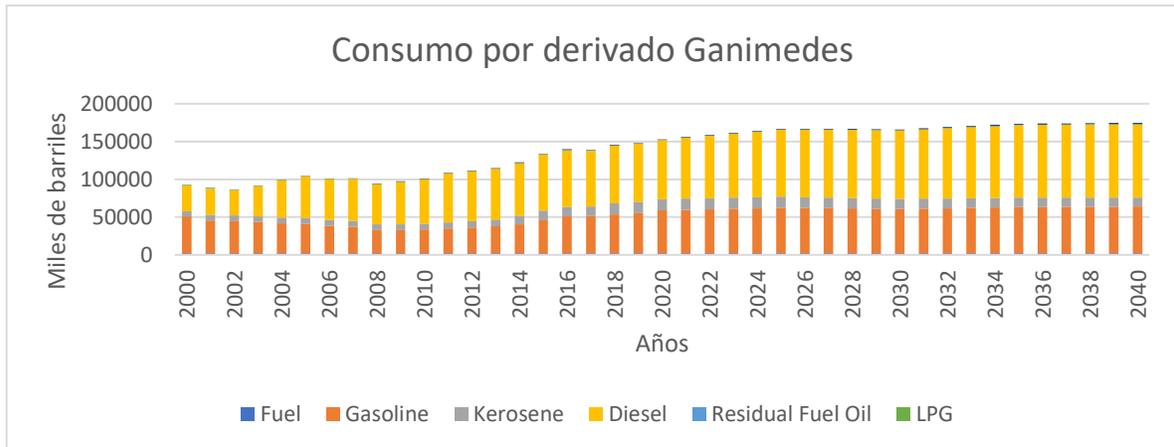
Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LEAP

Figura 33. Consumo total de barriles de crudo en Ganimedes



Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LEAP

Figura 34. Consumo total de barriles de derivados del crudo en Ganimedes



Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LEAP

4.7.2. Calisto. Con respecto de los resultados de Calisto, en las figuras 35, 36, 37, 38 se muestran reservas, producción, consumo total y consumo por derivados respectivamente.

Figura 35. Reservas Calisto.



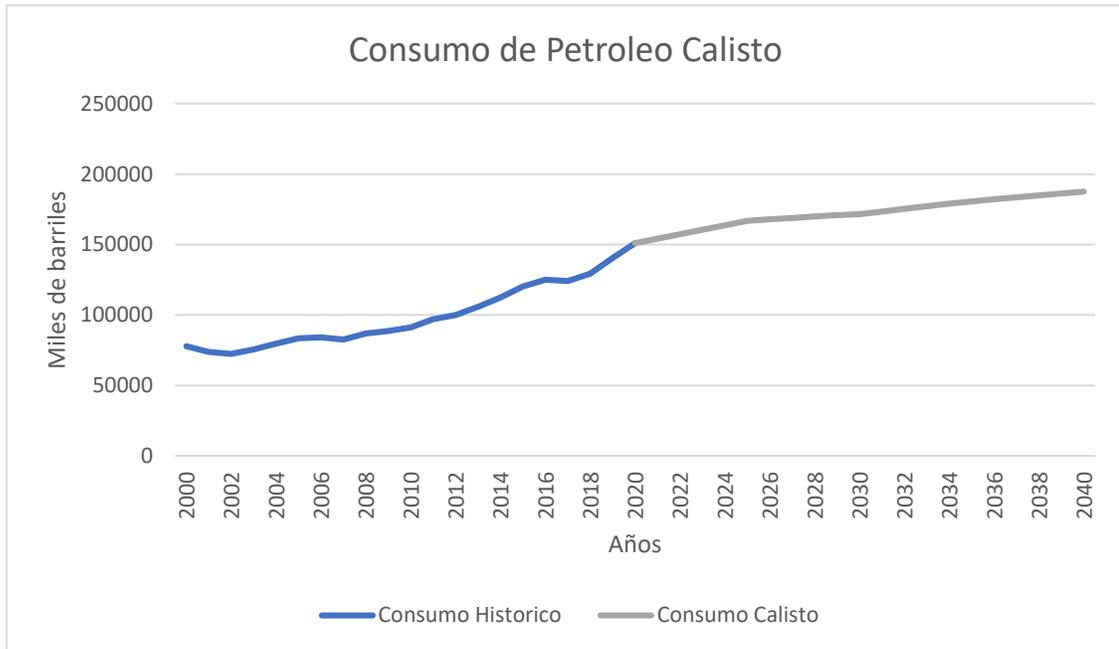
Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LEAP

Figura 36. Producción Calisto.



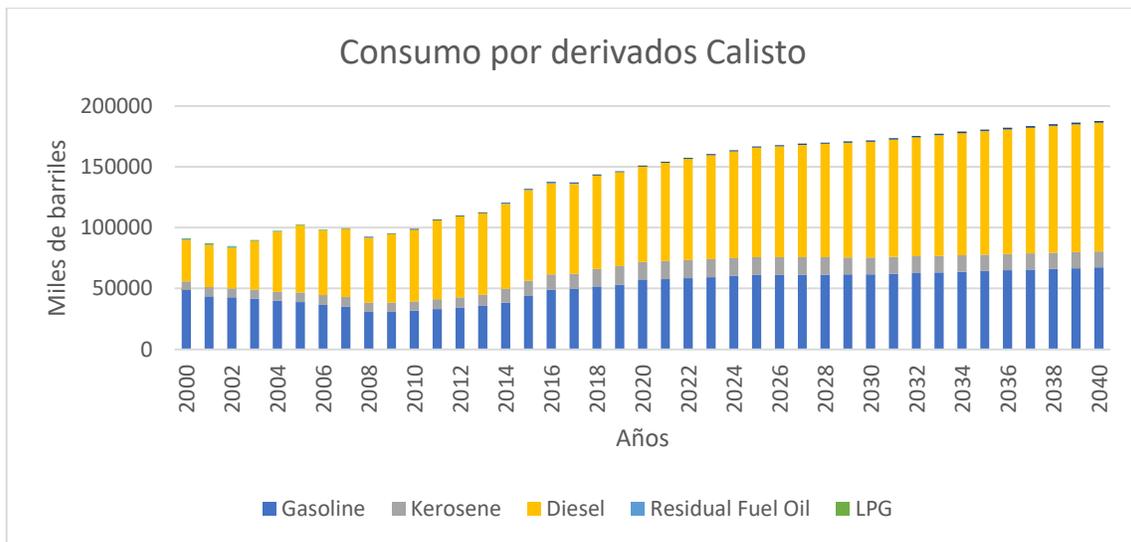
Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LE

Figura 37. Consumo total de barriles de derivados del crudo en Calisto



Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LEAP

Figura 38. Consumo total de barriles de derivados del crudo en Calisto



Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LEAP

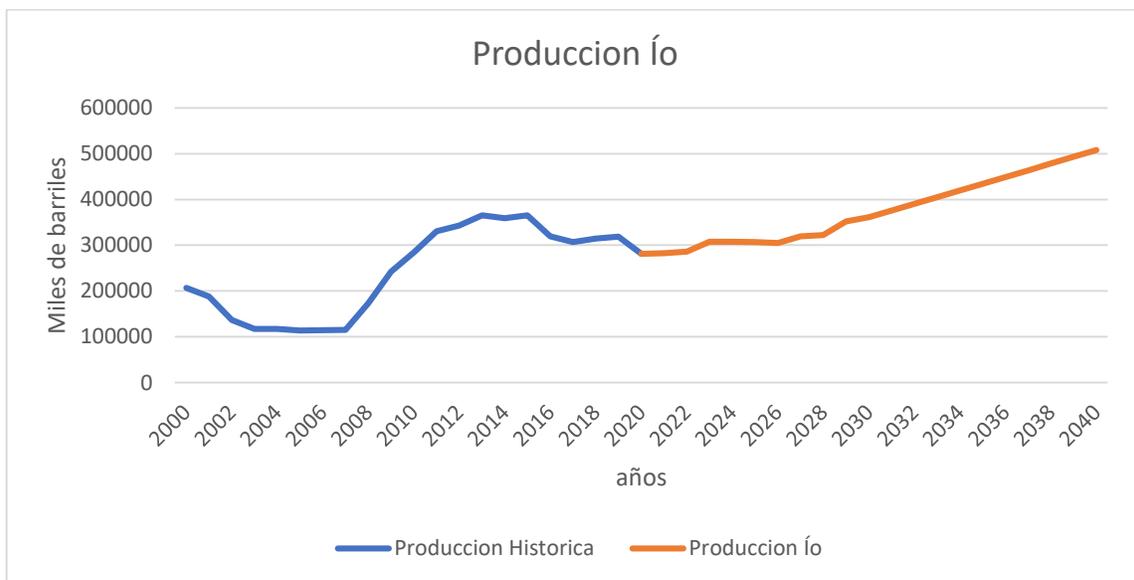
4.7.3. Ío. Se presentan los datos de reservas, producción, consumo total y por derivados del escenario, representadas en la figura 39,40,41 y 42.

Figura 39. Reservas Ío



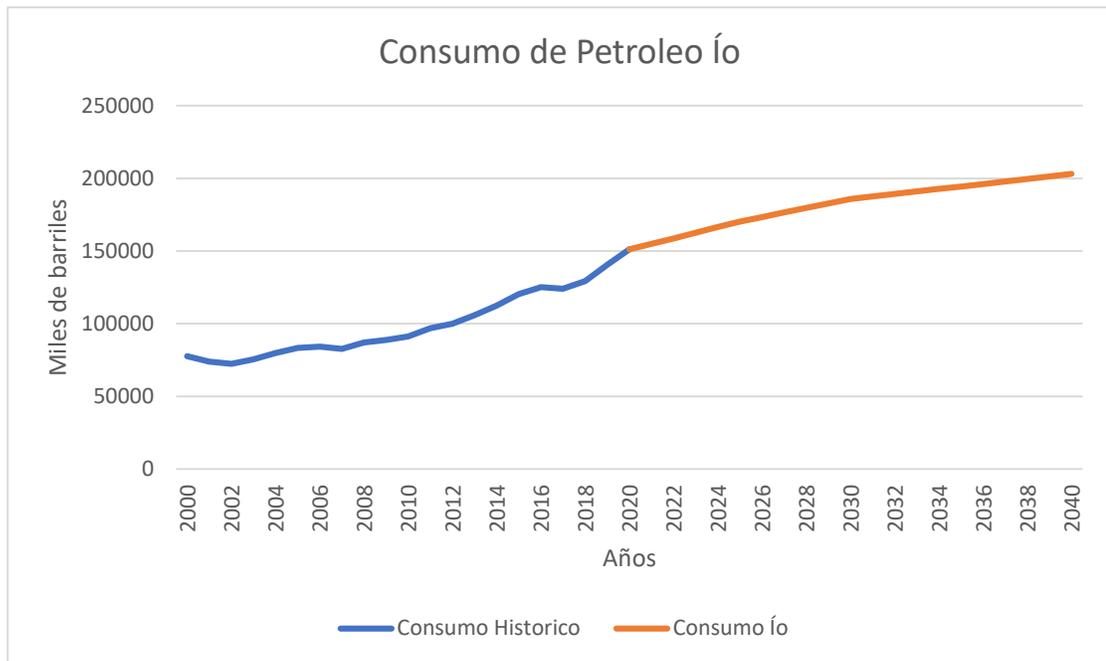
Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LEAP

Figura 40. Producción Ío



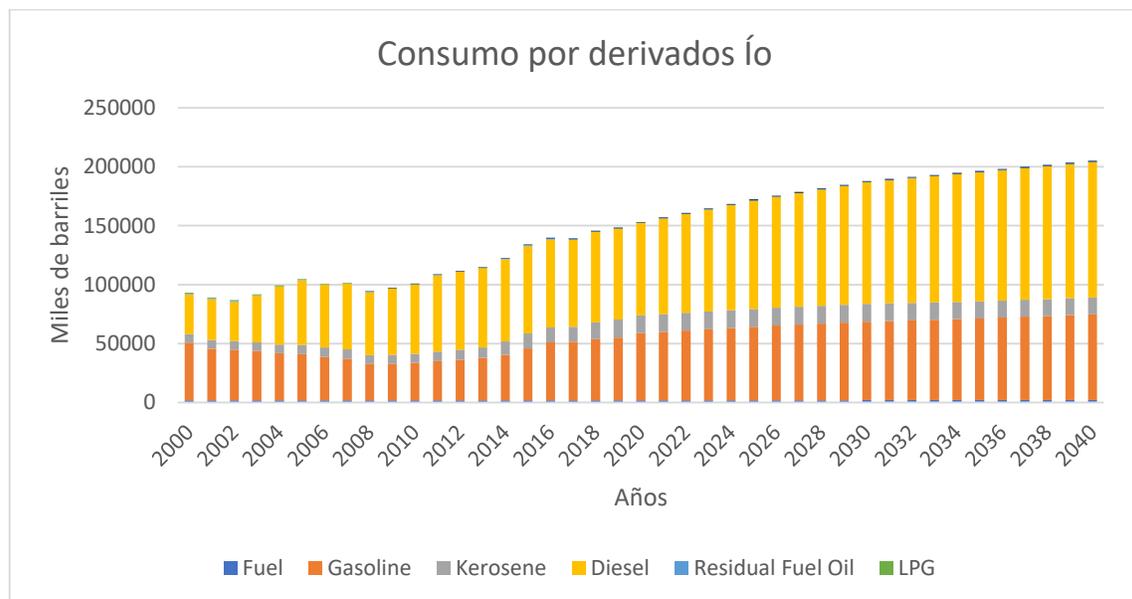
Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LEAP

Figura 41. Consumo total de barriles de derivados de crudo en Ó



Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LEAP

Figura 42. Consumo total de barriles de derivados del crudo en Ó



Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas Prospectiva LEAP

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras los resultados mostrados por el simulador para cada uno de nuestros escenarios, los análisis respectivos se muestran a continuación:

5.1. GANIMEDES.

Se puede observar de la figura 50, que el crecimiento en el consumo de crudo es gradual entre los años 2020 y 2030, se logra estabilizar entre 2030 y 2040.

La participación del crudo disminuye principalmente relacionada a:

- La inserción de nuevas fuentes energéticas como las renovables para incentivar el uso de carros eléctricos, le quita participación al crudo y sus derivados finalizando la década del 2020 y durante la del 2030.
- La construcción de motores más eficientes, las políticas públicas relacionadas con los biocombustibles y el potencial que Colombia tiene en para estos combustibles
- Otra variable que afecta en menor medida, pero igual cabe resaltar, el uso de GLP en el sector residencial disminuirá por la extensión de la red de gas natural para los hogares colombianos.

Sin embargo, en las gráficas podemos evidenciar que estos valores en especial de los derivados más importantes (gasolina y Diesel) no tienden a la baja, sino que tienden a estabilizarse. Los factores que no permiten que el consumo neto de crudo disminuya en este escenario son:

- El aumento en la demanda: se espera que a 2040 la población colombiana aumente en más del 10%.
- Viabilidad de la reforma en el parque automotriz: la reforma en el parque automotriz se intenta llevar a la práctica, pero, los recursos de la nación y de los ciudadanos son limitados, por ende, a pesar de; las políticas públicas, el crecimiento en la economía y el crecimiento en hábitos de uso responsables; no logra ser llevada a cabo como se plantea. Esto relacionado también, con la curva ambiental de Kuznets, ya que Colombia, un país que se encuentra en su fase pre-industrial, aún no cuenta con un crecimiento económico para soportar los gastos relacionados a un cambio estructural en la conformación del parque automotriz.

Generando finalmente, que los derivados del crudo continúen como protagonistas del sector más demandante, el transporte.

Con respecto de las reservas de petróleo, estas se mantendrán durante los siguientes 10 años es decir a 2030, debido a que los sustitutos han entrado al mercado a un precio competitivo, la exploración de hidrocarburos está influenciada por la búsqueda de gas, sin embargo los descubrimientos de petróleo no son viables por su alto costo de extracción, presión social y legislación colombiana, por lo que a partir del inicio de la simulación se ve un descenso drástico de las mismas de las mismas, esto hace que Colombia entre 2030 y 2040 deba importar combustibles, aumentando aún más el precio de las gasolinas en Colombia.

Con respecto de la producción, no se logra recuperar la producción en el pico productivo de 2013 por encima de 1 millón bbl/d de hecho la producción se estabiliza entre los 700.000 y 600.000 bbl/d entre 2020 y 2028, para caer en los últimos 2 años por debajo de los 400.000 bbl/d, hasta 2030 en donde Colombia tiene reservas demasiado bajas, produciendo cerca de 150.000bbl/d en promedio entre 2030 y 2040.

En síntesis, Colombia inicia la obtención de energía primaria a través de fuentes más limpias y bajas en emisión de dióxido de carbono. Ganimedes representa el escenario disruptivo, en donde el petróleo pierde participación más no disminuye en consumo.

5.2. Calisto.

Enmarca el escenario tendencial, se puede observar en las ilustraciones 47 y 48, el crecimiento leve pero constante en el consumo del crudo está relacionado a la estabilidad en los precios del petróleo, siendo una industria bastante rentable, relega las técnicas de energía renovable, en especial en los primeros años. La producción de hidrocarburos se mantiene estable cerca de los 700.000bbl/d con pequeño aumento cerca de los 800.000bbl/d, sin embargo, finalizando la siguiente década esta producción cae hasta llegar a los 300.000 bbl/d.

Por último, las reservas caen entre los años 2020 y 2025, sin embargo, políticas laxas y la búsqueda de la suficiencia energética generan que pilotos de fracturamiento hidráulico en yacimientos no convencionales se llevan a cabo pero en ciertas zonas del país, generando un aumento en las reservas asegurando así la producción nacional entre los años 2028 y 2035, año en donde las reservas decrecerían, sin embargo, en la búsqueda de gas se siguen haciendo descubrimientos de yacimientos pequeños de crudo, manteniendo unas reservas mínimas, permitiéndole a Colombia mantener su balance económico estable mientras invierte en energías más limpias y logra diversidad en el sector transporte.

5.3. Ío

Es en esencia, el escenario más atractivo para la industria petrolera se puede observar en la figura, que el consumo aumenta rápidamente, a nivel mundial el precio del petróleo se mantiene alrededor de los 100 dólares por barril, lo que incentiva el uso de los derivados del petróleo como energéticos del diario vivir, además, le permite a Colombia

generar más divisas y mantener una economía en crecimiento; se espera que el PIB y PIB per cápita aumente en un 30% más. Políticas en pro del bienestar ambiental no se ven tan importantes, ya que un país como Colombia al no ser un influyente en la contaminación global, tiene un margen para seguir consumiendo de los derivados del crudo sin causar grandes problemas ambientales. Como se mencionó, la recuperación en los precios del crudo genera actividad exploratoria destacándose en ella los yacimientos no convencionales, que le aportaran al país significativas reservas como se muestra en la figura, es importante destacar, que esto le permitirá a Colombia mantener el abastecimiento necesario para suplir las necesidades energéticas, lo cual le quitaría esa zozobra de entrar en la dinámica importación de crudo, derivando en un mayor déficit fiscal para el país. En cuanto la producción de crudo, el país logra la meta de 1 millón de bbl/d cerca del año 2025 cuando se logra poner en producción los pozos estimulados con el *fracking*.

6. CONCLUSIONES

- El Coronavirus es un hecho histórico no sólo en temas de salubridad sino en la economía y en el medio ambiente, abriendo la posibilidad de redireccionar el rumbo energético, no obstante, la viabilidad de un plan energético requiere sinergia desde distintos frentes (político, social, ambiental).
- Una parte fundamental de la formulación de escenarios es la selección de variables significativas y creación de hipótesis de tipo cualitativo y cuantitativo, con base en la recolección de información y el criterio de los autores, por lo que la definición de cual escenario es mejor puede cambiar con la perspectiva del lector.
- El crudo es el energético más utilizado en el mundo y en Colombia, a pesar de que la canasta energética colombiana es diversa, en 2020 representó el 45% de la oferta de combustibles en el país, por lo que reducir su participación es un proceso que será paulatino e inferirá compromiso social y gubernamental.
- Ganimedes, a pesar de ser el escenario más comprometido con el medio ambiente y en el cual la inserción a nuevas tecnologías es el más apresurado, el consumo de petróleo es aún significativo en nuestro límite temporal, pues la transición no es inmediata y el costo de esta es alto tanto gubernamentalmente como para los consumidores.
- Es necesaria la exploración de nuevas fuentes de energía y adoptar tecnologías más eficientes, sobre todo en el sector transporte ya que es el sector más demandante de petróleo y sus derivados. Esto teniendo en cuenta las reservas de crudo colombianas y la posible necesidad de importar crudo.

- Al ser el petróleo la fuente principal de entrada de divisas a Colombia queda al descubierto la fragilidad de la economía colombiana. Es por ello, que, para continuar con estabilidad, es necesario buscar alternativas económicas para Colombia o invertir en proyectos que aumenten las reservas de petróleo.

7. RECOMENDACIONES

- Darle continuidad a este estudio siendo abordado desde el análisis económico, mediante el cálculo de cifras, variables y otras herramientas propias del análisis con el fin de darle mayor trascendencia a los escenarios propuestos
- Estudiar mediante una investigación análoga el mercado energético enfocado en las energías renovables y el carbón, y de esta manera tener una visión 360 de la prospectiva energética colombiana.
- En la construcción de los escenarios es importante integrar disciplinas complementarias, que ayuden a enriquecer las hipótesis a considerar, con el fin de dar una mejor caracterización a temas sociales, políticos, ambientales y económicos.
- Plantear una posible matriz energética para el país teniendo en cuenta sus recursos, consumos, tecnologías, economía y comportamiento político social.

BIBLIOGRAFÍA

ARDILA RIBO, S. En: Análisis Prospectivo del Mercado del Gas Natural en Colombia mediante la formulación de Escenarios. Universidad Industrial de Santander. 2020.

AHMED, T. En: Reservoir Engineering handbook. Second edition. Gulf Professional Publishing.

ANH. Historia del Petróleo en Colombia.
<https://www.anh.gov.co/portalregionalizacion/Paginas/Historia-del-petroleo-en-Colombia.aspx>

ANIMAS, Y., & TORTOLERO, L. En: Fundamentos de Química Orgánica y Aplicaciones en Ciencias de la Tierra. 161. 2017.
[http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13731/Fundamentos de química orgánica y aplicaciones en ciencias de la tierra.pdf?sequence=3](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/13731/Fundamentos%20de%20química%20orgánica%20y%20aplicaciones%20en%20ciencias%20de%20la%20tierra.pdf?sequence=3)

ASTM International: A timeline of highlights from the histories of ASTM Committee D02 and the petroleum history. Disponible en:
https://www.astm.org/COMMIT/D02/to1899_index.html

BARRIOS BERNAL, Edson. En: Panorama de la explotación de hidrocarburos no convencionales y energías no convencionales a nivel mundial. Universidad Nacional Autónoma de México. 2015.

BP. En: Statistical Review of World Energy. 69th Edition. 2020.

BP OUTLOOK. En: BP Energy Outlook 2019 edition The Energy Outlook explores the forces shaping the global energy transition out to 2040 and the key uncertainties

surrounding that. *BP Energy Outlook 2019*. 2019.
<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>

BURYAKOVSKY, L.; EREMENKI, NA.; GORFUNKEL, MV.; CHILINGARIAN, GV. En: *Geología y geoquímica del petróleo y el gas*. Vol. 52. 1er Edición.
<https://www.elsevier.com/books/geology-and-geochemistry-of-oil-and-gas/buryakovsky/978-0-444-52053-1>

CAMPETROL. En: *Informe de Taladros*. 2020

CANCELO, T. En: *Emisiones de CO2 y crecimiento económico en los países de la UE*. 1999.

CASTILLO, Daniel. En: *Importación de crudo y gas: crisis económica u oportunidad de cambio*. *Crudo Transparente*. Por un sector minero-energético abierto informado y responsable. <https://crudotransparente.com/2020/04/17/importacion-de-crudo-y-gas-crisis-economica-u-oportunidad-de-cambio/>

CELY, A. En: *Metodología de los Escenarios para Estudios Prospectivos*. 1999.

CONGRESO DE COLOMBIA. En: *Ley N° 1964*. 2019.

DANE. En: *Boletín Técnico Exportaciones (EXPO) Boletín Técnico*. 1–17. Bogotá, D. C. 2021.

DANE. En: *Boletín Técnico Exportaciones (EXPO)*. Diciembre 2018.

DENG, Yinke. En: *Ancient Chinese Inventions*. 2011. p. 40.

ECOPETROL. En: El petróleo y su mundo. Unidad de Comunicaciones Corporativas de Ecopetrol. Bogotá. 2014.

EITI Colombia. En: Sector hidrocarburos.
<https://www.eiticolombia.gov.co/es/informes-eiti/informe-2016/marco-institucional/sector-hidrocarburos/>

ENERSIC. En: Energy Demand Situation in Colombia. 2017.

ESCOBAR MACUALO, F. En: Fundamentos de ingeniería de yacimientos. Editorial Universidad Surcolombiana. 2012.

ESTE, O. C. S. A., CUALQUIER, O. C. S. A., & CONTROLADA, C. N. O. En: *MANUAL DEL*. 2011.

FARBER, Bonta. En: 199 preguntas sobre marketing y publicidad. Estados Unidos de América. <https://www.iberlibro.com/buscar-libro/titulo/199-preguntas-marketing-publicidad/autor/bonta-farber/>

FEDER, J. En: ESG and energy Transition. Balancing Value and Values in a Post-Pandemic World.

FISHER, Laura & ESPEJO, Jorge. En: Mercadotecnia. Cuarta edición. https://www.academia.edu/28714916/Mercadotecnia_Laura_Fisher_pdf

FUNDACIÓN BARILOCHE. En: Sistema de planificación de alternativas energéticas de largo plazo. Manual del usuario para la versión 2004 de LEAP. 2004.

FUNDACIÓN BARILOCHE. En: Long-range Energy Alternatives Planning System. Sistema de Planeamiento de Alternativas Energéticas de Largo Plazo. Ejercicios de práctica. 2011.

ICCT. En: Introducción a la refinación del petróleo y producción de gasolina y diésel con contenido ultra bajo de azufre, 2011.

IEA. Agencia Internacional de Energía por sus siglas en ingles. 2020

IORES, W. En: *Manual de Planificación Energética Julio, 2014* (Issue March 2017). 2018.

LANDETA AVELLANEDA, G. Caracterización y evaluación de Crudos pesados del Oriente Ecuatoriano. 2014

LA, D. D. E., & ANÁLISIS, F. D. E. En: *Prospectiva estratégica del sector energético*. 1–59. 2014.

LEVINSON, Arik. En: The ups and downs of the Enviromental kuznets curve. 2000.

MARTÍNEZ HOYOS, F. En: El petróleo. *Historia y Vida*, 418, 14–17. 2003.

METANO, E., LA, M., & INSTALADA, C. En: *11_Petroquimica_final_sener_gob_mexico*.

MINENERGIA. En: Movilidad eléctrica. 2019.

MINENERGIA. En: Plan de acción indicativo de eficiencia energética 2017-2022. Una realidad y oportunidad para Colombia.

MPOC. En: No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. *Malaysian Palm Oil Council (MPOC)*, 21(1), 1–9. 2020.
<http://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/>

NUÑEZ, Fernando. En: Capítulo 2. Mercados. El modelo básico oferta- demanda. 1º Economía Industrial. Titulación de Ingeniería Industrial. Curso 2009/2010.
http://accioneduca.org/admin/archivos/clases/material/que-es-el-mercado_1563889630.pdf

О.В.Ковалишина, О. Р. Ш. И. В. И. En: Опыт аудита обеспечения качества и безопасности медицинской деятельности в медицинской организации по разделу «Эпидемиологическая безопасность»No Title. *Вестник Росздравнадзора*, 4, 9–15. 2017.

OCENSA. En: Manual del transportador. 2011-

OFICINA DE ESTUDIOS ECONÓMICOS. En: Colombia. Datos generales. Contexto Macroeconómico de Colombia

OLADE. En: Análisis de los impactos de la pandemia del COVID-19. Sobre el sector energético de América Latina y el Caribe.2020.

OLADE. En: Manual de Planificación Energética. 2017

OPEC. Organization of the Petroleum Exporting Countries:
https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/25.htm

PANGTAY, S. C. En: *Petroquímica y sociedad*. Fondo de cultura económica. 2014.

Perilla. En: El desplome de los precios del petróleo. *Anales de Ingeniería*, 935, 12. 2009.

PERILLA JIMÉNEZ, J. En: El impacto de los precios del petróleo sobre el crecimiento económico en Colombia.

PETROLEO UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS PUEBLA. (Recuperado el día 7 de febrero de 2017) http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leip/gomez_s_mi/capitulo4.pdf. (n.d.). 3.

PIXTA. En: Stock de ilustración: Diagrama que muestra el petróleo crudo de la destilación fraccionada. <https://www.pixtastock.com/illustration/59543795>

POLYEXCEL. En: Matriz energética: entienda qué es y para qué sirve. Disponible en: <https://polyexcel.com.br/es/productos/matriz-energetica-entienda-que-es-y-para-que-sirve/>

POLICONOMICS. En: Oferta y demanda. <https://policonomics.com/es/oferta-demanda/>

PRMS. En: Sistema de Gerencia de los Recursos de Petróleo. 2018.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. En: Planificación. <https://dle.rae.es/planificaci%C3%B3n>

REPSOL. En: Anuario Estadístico-Energético. *Dirección de Estudios, Octubre*, 169. 2019.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. En: Biocombustibles en Colombia. Unidad de Planeación Minero Energética.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. En: Comisión de Regulación de Energías y Gas. Resolución 156. 2015.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. En: Resolución 1988. 2017.

ROMO, D; PÉREZ, F; JIMÉNEZ, R. En: La industria petrolera de noruega ¿Experiencias aplicables en México? 2013

RUNT. En: Parque automotor registrado en RUNT. <https://www.runt.com.co/runt-en-cifras/parque-automotor>

SENADO DE LA REPÚBLICA. “No al fracking, ganó la vida”: senador Guillermo García. <http://www.senado.gov.co/index.php/component/content/article/13-senadores/1741-no-al-fracking-gano-la-vida-senador-guillermo-garcia?Itemid=101>

SHELL. En: The energy transformation scenarios.

SHELL. En: Shell energy. Transformation Strategy. 2021.

SHELL. En: World Energy Model a View to 2100.

SIGME. En: Transacción de Volúmenes de Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo. 2019

SISTEMA ÚNICO DE INFORMACIÓN NORMATIVA. Decreto 4299. (25, noviembre, 2005). Por lo cual se reglamenta el artículo 61 de la Ley 812 de 2003 y se establecen otras disposiciones

SMITH, A. En: La riqueza de las naciones. Edición de Carlos Rodríguez Braun

SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS. En: Oil and gas reserves committee. 2005.

SPE INTERNATIONAL. En: SPE petroleum resources management system guide for non-technical users.

SPE INTERNATIONAL. En: Prevention and Control of Emerging Infectious Disease Outbreaks in Global Oil and Gas Workplaces.

SPE INTERNATIONAL. En: Maintaining Business Continuity During the Ebola Crisis.

SPE INTERNATIONAL. En: Application of Renewable Energy in the Oil and Gas Industry.

STATISTIC REPORT. En: Monthly OECD Oil Statistics. 2020.

STEWART, L. En: *La búsqueda de petróleo y gas*. 2, 65–66.

STOCKHOLM ENVIRONMENT INSTITUTE. En: Low Emissions Analysis Platform. Training Exercises. 2020.

S&p GLOBAL. En: Factores crediticios clave para la industria de explotación y producción de petróleo y gas. Criterios. 2013.

UNIVERSITAS AMERICARUM. En: Revisión bibliográfica.

UPME. En: Cadena del petróleo. República de Colombia. Ministerio de Minas y Energía.

UPME. En: Evolución y perspectivas del precio del petróleo. 2020.

UPME. En: Seguridad Energética para Colombia. *Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico - CIDET*, 213. 2016.

UPME. En: La transformación energética que habilita el desarrollo sostenible. Plan Energético Nacional 2020-2050.

UPME, U. D. P. M. E. En: La cadena del Petróleo en Colombia. In *La cadena del petróleo*. 2005.

UPME. En: La utilidad de combustibles en el sistema nacional interconectado y la contratación de suministro del gas natural para termoelectricidad.1995.

UPME. En: Planeación del sistema de transporte de crudo y derivados por los oleoductos y poliductos del país. Análisis de casos. Unidad de planeación minero-energética. 2000.

UPME. En: Plan estratégico nacional 2020-2025. 2019.

URRIETA, Carlos. En: Análisis del crecimiento económico y la contaminación del aire en México de 1980-2012 basado en el proceso de la curva ambiental de Kuznets. Universidad Autónoma del Estado de México. 2017. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/68004/An%20E1lisis%20del%20crecimiento%20econ%20mico%20y%20la%20contaminaci%20n%20del%20aire%20en%20M%20E9xico%20de%201980-2012,%20basado%20en%20el%20proceso%20de%20la%20curva%20ambiental%20de%20Kuznets.pdf;jsessionid=F812E38B1EEF399667223F9BC373DEEB?sequence=1>

US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. En: International Energy Outlook 2019 with projects to 2050.

VÁSQUEZ, H. En: La historia del petróleo en Colombia. In *Revista Universidad EAFIT* (Vol. 30, Issue 93, pp. 99–109). 1994.

VILLAR, L., CASTRO, F., FORERO, D., RAMÍREZ, J. M., REINA, M., BECERRA, L., BEDOYA, J. G., MACÍAS, S., ZUBIETA, I., & ZUUR, A. En: Evaluación de la contribución económica del sector de hidrocarburos colombiano frente a diversos escenarios de producción. *Upme*, 1–239. 2015. https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/1688/Repor_Diciembre_2014_Villar_et_al.pdf?sequence=1&isAllowed=y

WORLD ENERGY COUNCIL. En: *World Energy Scenarios. Exploring innovation pathways to 2040*. 2019.

WORLD ENERGY COUNCIL. En: *COVID- 19 crisis scenarios. Summary*. 2020.

WORLD ENERGY COUNCIL. En: *The world's energy agenda & its evolution issues monitors*. 2019.

WORLD ENERGY COUNCIL. En: *World Energy Trilemma Index*. 2020.

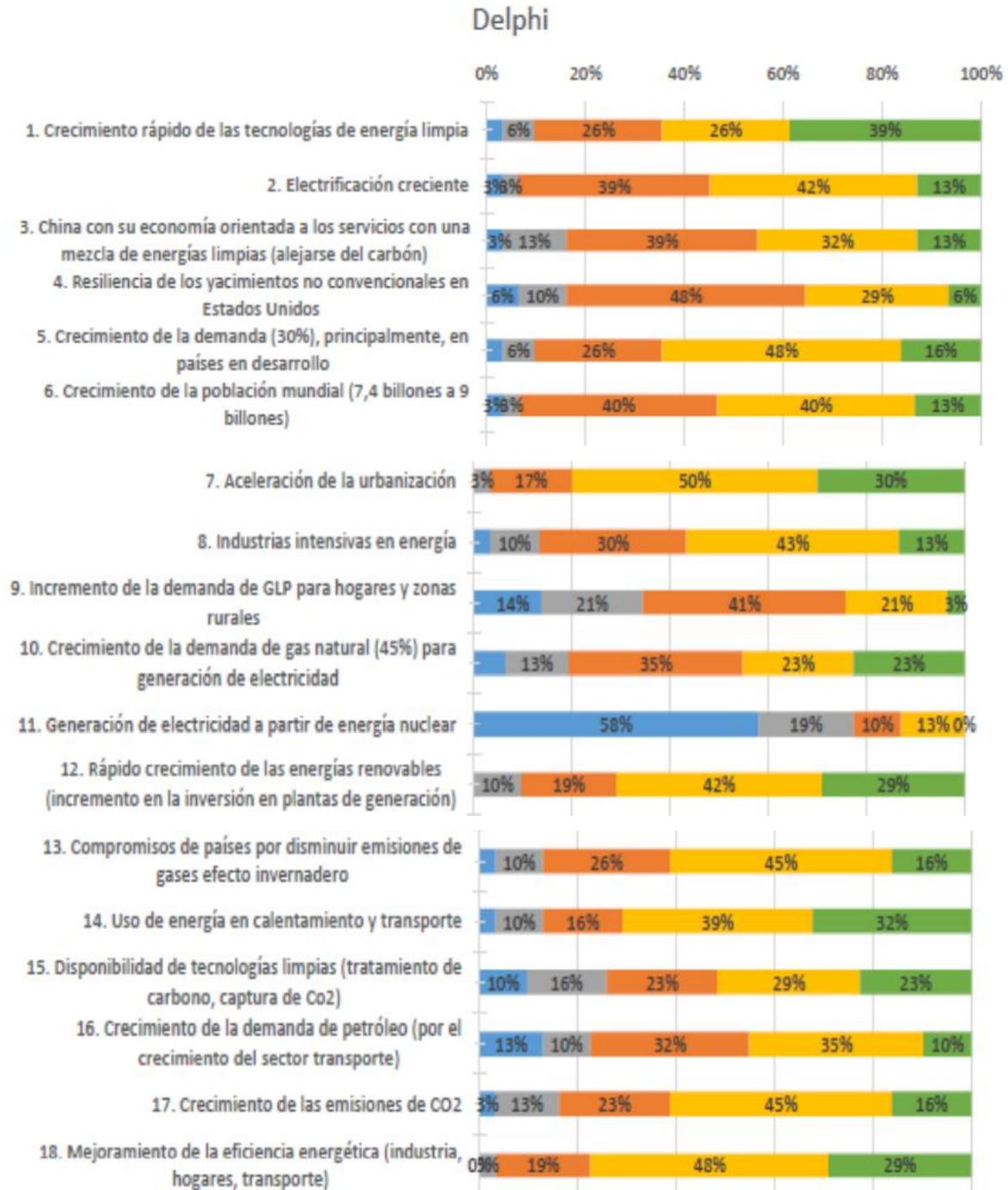
WORLD ECONOMIC FORUM. En: *Electric vehicles for smarter cities: the future of energy and mobility*. 2018.

WORDL OIL. El mayor comerciante de petróleo del mundo dice que Estados Unidos ha dejado a la OPEP en control de los precios mundiales del crudo. <https://www.worldoil.com/news/2021/6/7/world-s-largest-oil-trader-says-us-has-left-opec-in-control-of-global-crude-prices>

WORLD OIL. Nuevas sanciones ahogan las exportaciones de petróleo de Venezuela. 2021. <https://www.worldoil.com/news/2021/3/2/new-us-sanctions-on-traders-choke-venezuela-s-oil-exports>

ANEXOS

Anexo A. Resultados cuestionario Delphi realizado por UNAL/UNIVALLE



Este cuestionario se realizó calificando de 1 a 5 la importancia que tenía cada variable propuesta por el EIA en la transición energética del mundo y de Colombia, bajo la pregunta: ¿Qué relevancia en una escala de uno (1) a cinco (5) les asignan a las variables propuestas por la EIA? Estos cuestionarios se repartieron en dos grupos: experto y actores del sector.

La lectura de los resultados es de la siguiente manera: Para la variable “electrificación creciente”, trece por ciento de los expertos encuestados consideran que es 5 (Verde) la puntuación máxima en relevancia en la transición energética, el 42% considera que es 4 (Amarillo), en ese orden, el 39% sopesa que es 3 (Naranja); 6% que es 2 (Gris) y por último 3% que es el 1 (azul).

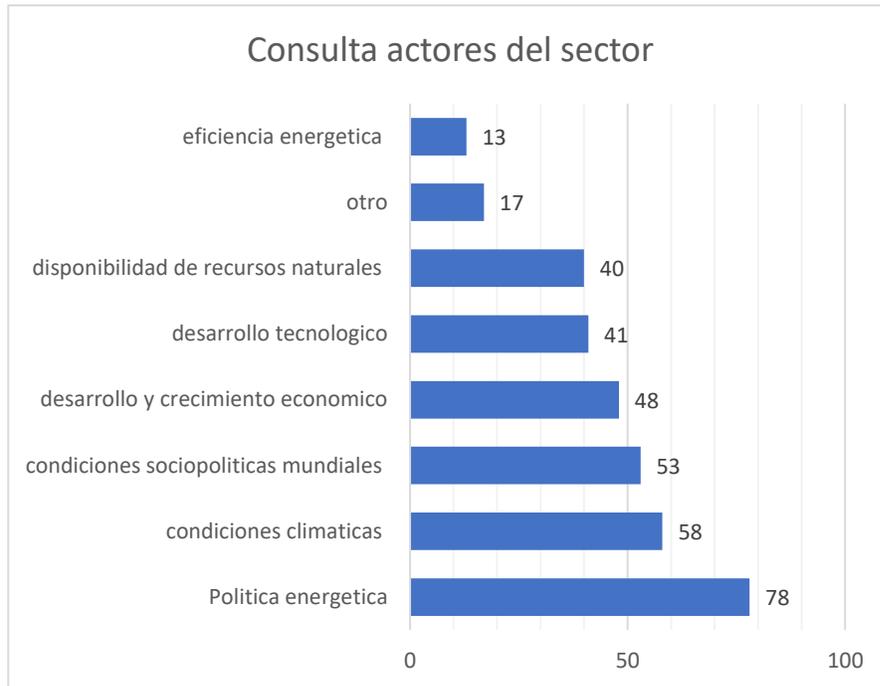
Anexo B. Resultados Encuesta: es adecuada la regulación colombiana para la transición energética



Fuente: modificado de ARDILA RIBO, S. En: Análisis Prospectivo del Mercado del Gas Natural en Colombia mediante la formulación de Escenarios. Universidad Industrial de Santander. 2020.

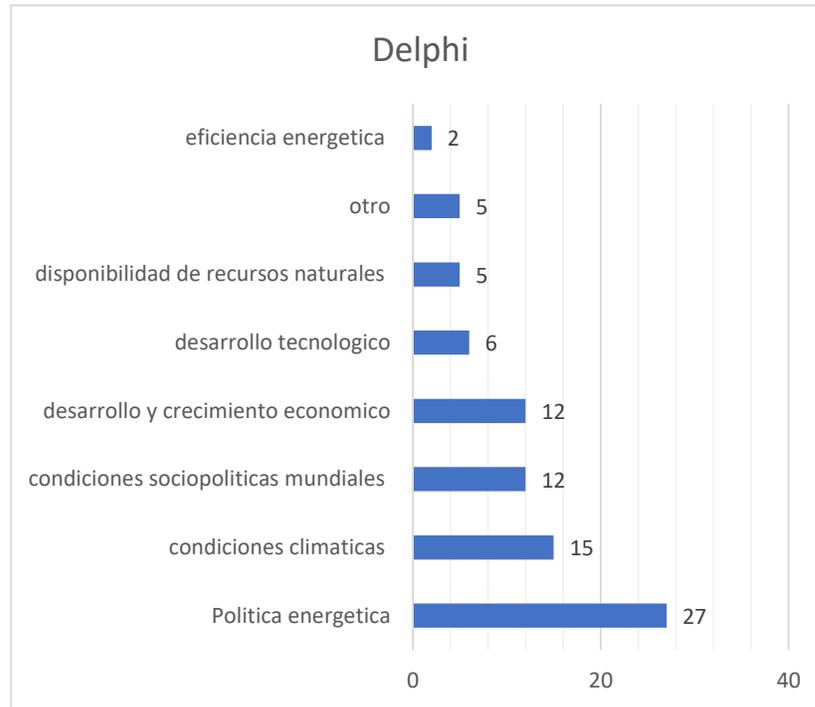
Para la mayoría de los encuestados, tanto expertos como actores del sector, no están en acuerdo con el marco regulatorio que existe actualmente en el país en términos de transición energética.

Anexo C. Factores que dificultan la transición energética, actores del sector



Fuente: modificado de ARDILA RIBO, S. En: Análisis Prospectivo del Mercado del Gas Natural en Colombia mediante la formulación de Escenarios. Universidad Industrial de Santander. 2020.

Anexo D. Factores que dificultan la transición energética, expertos



Fuente: modificado de ARDILA RIBO, S. En: Análisis Prospectivo del Mercado del Gas Natural en Colombia mediante la formulación de Escenarios. Universidad Industrial de Santander. 2020.

Anexo E. Políticas adoptadas por Colombia enfocadas a la transición energética

SECTOR	SUB-SECTOR	INICATIVAS	Políticas Adoptadas
DEMANDA	TRANSPORTE	Uso de gas en transporte masivos	ley 1715 del 2014 desarrollo y la utilización de las fuentes de energías no convencionales
		Uso de electricidad en transportes masivos	ley 1814 de 2017 adopción de los acuerdos de parís
		Gasificación de transporte de carga	ley 1955 de 2019 plan nacional de desarrollo 2018-2022 articulo 96 uso de recursos con energéticos y tecnologías bajas en emisiones para una movilidad inteligente
		Electrificación en transporte de carga	ley 1964 del 2019 la cual promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia
		Uso de GLP en transporte fluvial	ley 1972 de 2019 articulo 9 promoción del uso de energías renovables a partir del 2030 en los sistemas integrados de transporte
	RESIDENCIAL	Cambio de cocción de leña por GLP	ley 1955 de 2019 plan nacional de desarrollo 2018-2022 articulo 293 promociona la expansión de redes de GLP para conectar a los usuarios donde sea técnica y económicamente viable
	INDUSTRIAL	Sustitución de combustibles fósiles por electricidad	ley 1972 de 2019 la cual establece la protección de los derechos a la salud y al medio ambiente sano estableciendo medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes de fuentes móviles
		Sustitución de combustibles fósiles por hidrogeno verde	ley 1937 del 2018 por la cual se establecen directrices para la gestión del cambio climático
		Sustitución de combustibles fósiles por gas	Impuesto al carbono articulo 221 y 222 de la ley 1819 de 2016
	OFERTA	CONBUSTIBLES LIQUIDOS	Producción de hidrocarburos de YNC

		obligándolo a consumir en centros urbanos con más de 500.000 habitantes
	Mejora en la calidad de combustibles líquidos	ley 939 de 2004: establece de exenta en la renta líquida a quienes utilicen la mezcla ACPM-Biodiesel
	Aumento en la mezcla de Biocombustibles	decreto 2629 de 2007 dice que a partir del 2010 el cual las mezclas de Diesel deben ser 90, 10 en la cual la mayor participación es ACPM y la menor es Biocombustibles

Fuente: elaboración propia datos tomados de Plan energético nacional (2020-2050)

Anexo F. Data de reservas de crudo en Colombia

Año	Reservas (Miles de bbl)	Año	Reservas (Miles de bbl)
2000	1972	2010	2058
2001	1842	2011	2259
2002	1632	2012	2377
2003	1542	2013	2445
2004	1478	2014	2308
2005	1453	2015	2002
2006	1510	2016	1665
2007	1358	2017	1782
2008	1668	2018	1958
2009	1988	2019	2041

Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas de UPME. Balance Energético Colombiano.
Unidad de Planeación Minero-Energética

Reserva histórica de crudo en Colombia. La tabla muestra las reservas probadas de crudo en Colombia durante los últimos 20 años, esta información fue recolectada de la página oficial de BECO indicadores, seccionales de la UPME.

Anexo G. Data histórica de producción de crudo en Colombia

Año	Producción (Miles de bbl)	Año	Producción (Miles de bbl)
2000	251000	2010	287000
2001	221000	2011	334000
2002	211000	2012	346000
2003	198000	2013	368000
2004	193000	2014	361000
2005	192000	2015	367000
2006	193000	2016	324000
2007	194000	2017	312000
2008	215000	2018	316000
2009	245000	2019	323000

Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas UPME. Balance Energético Colombiano.
Unidad de Planeación Minero-Energética

Anexo H. Data histórica de consumo de crudo en Colombia

Año	Consumo (Miles de bbl)	Año	Consumo (Miles de bbl)
2000	59014800	2010	93550000
2001	76427000	2011	99513000
2002	76149000	2012	109064000
2003	72139000	2013	120656000
2004	78888000	2014	110003000
2005	76202000	2015	95014000
2006	87409000	2016	121332000
2007	98576000	2017	118239000
2008	96722000	2018	127108369,9
2009	88863000	2019	126008000

Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas de UPME. Balance Energético Colombiano.

Unidad de Planeación Minero-Energética

Anexo I. Data histórica de consumo de derivados del crudo en Colombia

Año	Diesel (bbl/año)	Fuel oil (bbl/año)	Gasolina Motor (bbl/año)	Kerosene (bbl/año)
2000	22517000	254000	37811000	4980000
2001	23275000	254000	33776000	5268000
2002	22083000	264000	33115000	5135000
2003	26377000	186000	32424000	5028000
2004	32884000	109000	30924000	5132000
2005	36996000	137000	30204000	5441000
2006	37746000	0	29567000	5947000
2007	40307000	0	28787000	6040000
2008	41961000	0	27562000	6231000
2009	44309000	0	27512000	6270000
2010	46024000	360	28214000	6274000
2011	50570000	33480	29310000	6610000
2012	51880000	1080	30409000	7071000
2013	52664000	10080	31833000	7372000
2014	54199000	287640	34008000	9350000
2015	57002000	446760	38464000	10130000
2016	57009000	519480	42599000	10168000
2017	56300000	425160	43079000	10090000
2018	58378000	103320	44695000	11558000
2019	60733000	48960	47437000	12549000

Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas de UPME. Balance Energético Colombiano.

Unidad de Planeación Minero-Energética

Anexo J. Data histórica de comportamiento de la canasta energética en Colombia

Año	Petróleo (BEP)	Gas Natural (BEP)	Electricidad (BEP)	Carbón (BEP)	Leña (BEP)
2000	8850844,24	6833581,06	13077600,3	13239936	32950024,3
2001	8537848,24	7254668,86	13776563,3	12357273,6	32094271,4
2002	8414425,73	7126381,03	14024224,2	10984243,2	32440806,7
2003	8292829,54	6974998,22	14167062,2	11213081,6	33140979,5
2004	8133838,16	6814124,34	14333100,3	12586112	28475589,9
2005	8277746,04	6923113,63	14654582,4	14645657,6	31944952,4
2006	7613245,26	18407918,9	13816056,9	14596620,8	27130160,6
2007	5278793,94	16467584,4	13898310,1	9186227,2	23853028,4
2008	5748125,41	16467676	13091989,9	16002342,4	28064789,9
2009	5271722,05	16606732,1	12246073,3	14939878,4	32932984,3
2010	5325716,37	16562587,7	12507602,9	14662003,2	29778153,5
2011	5512033,38	17837213,4	13503320	13812032	26773042,1
2012	5498681,83	18737212,7	13501107,3	16541747,2	27824248,3
2013	5607129,56	20570815,7	13936746,2	14776422,4	26540698,3
2014	5921102,25	19204158,1	14076107,4	15691776	29738451,5
2015	6724886,32	19961994,7	13805454,7	13158208	22493947,5
2016	6663786,4	23921894,8	14147133,8	13566848	22086222,5
2017	6171756,41	24807399,2	15140739,6	14531238,4	24740238,9
2018	6539544,08	23668615,5	14596063,5	14662003,2	24738490,4
2019	7037522,02	23033808,2	15954385,1	15511974,4	22868189,1

Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas de UPME. Balance Energético Colombiano.

Unidad de Planeación Minero-Energética

Para la recolección de estos datos fue preciso convertirlos todos a una misma unidad, en este caso Barriles Equivalentes de Petróleo.

Anexo K. Data histórica población colombiana

Año	Población	Año	Población
2000	40285966	2010	45346994
2001	40260000	2011	45880249
2002	41217269	2012	46280513
2003	41750155	2013	46680224
2004	42416215	2014	47213294
2005	43347888	2015	47746734
2006	43880774	2016	48810104
2007	44134474	2017	49210553
2008	44813739	2018	49609709
2009	44750000	2019	50123330

Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2020)

Anexo L. Data histórica de PIB y PIB per cápita

Año	PIB	PIB per cápita	Año	PIB	PIB per cápita
	Miles de millones USD	USD		Miles de millones USD	USD
2000	99,89	2520,48	2010	286,1	6326,55
2001	98,21	2439,68	2011	334,5	7324,38
2002	97,96	2396,63	2012	370,6	8042,53
2003	94,64	2281,4	2013	381,9	8212,67
2004	117,1	2782,64	2014	381,1	8114,08
2005	145,2	3404,19	2015	293,5	6175,88
2006	161,2	3731,17	2016	282,8	5871,22
2007	205,7	4703,21	2017	311,8	6375,93
2008	241,7	5461,78	2018	331	6667,79
2009	232,5	5195,39	2019	343,36	6815,98

Fuente: Elaboración Propia, cifras tomadas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2020)