

Artículo de investigación

Cómo citar: O. Castiblanco y D. J. Cárdenas. "Importancia del transporte de hidrocarburos y su realidad en Colombia". *Inventum*, vol. 18. n.º 34, pp. 79-89, enero - junio 2023 doi: 10.26620/uniminuto.inventum.18.34.2023.79-89

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO.

ISSN: 1909-2520
eISSN: 2590-8219

Fecha de recibido: 01 de febrero de 2023
Fecha de aprobado: 01 de marzo de 2023
Fecha de publicación: 15 de marzo de 2023

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

Importancia del transporte de hidrocarburos y su realidad en Colombia¹

Importance of hydrocarbon transport and its reality in Colombia

Importância do transporte de hidrocarbonetos e sua realidade na Colômbia

Resumen:

El transporte de hidrocarburos es de gran importancia a nivel mundial debido a que permite la distribución desde su punto de extracción, terminales de almacenamiento, plantas de refinamiento de petróleo y de gas, hasta llegar a sus puntos de comercialización. En este artículo, se analizan las diferentes formas en la que los hidrocarburos pueden ser transportados, desde una perspectiva *onshore* y *offshore*, teniendo en cuenta los procesos de *midstream* y *downstream* de los hidrocarburos, y otorgándole una importancia significativa a los impactos ambientales asociados con estos medios de transporte, los posibles desastres que pueden generarse y cómo estos han contribuido a mejorar la propia infraestructura del transporte. Igualmente, se hace una revisión de la realidad colombiana en materia de transporte de hidrocarburos, describiendo algunas oportunidades de mejora y resaltando su importancia en la vida cotidiana del país.

Palabras clave: transporte de hidrocarburos, oleoducto, gasoducto, poliducto, buques, camiones cisterna.

Abstract:

The transportation of hydrocarbons is of great importance worldwide because it allows distribution from its point of extraction, storage terminals, oil and gas refining plants, to its marketing points. The different ways in which hydrocarbons can be transported are analyzed, from an

¹ Producto derivado del proyecto de investigación "Intensificación de procesos químicos y bioquímicos para la valorización de productos y servicios bajo un modelo sostenible de economía circular". Grupo de investigación en procesos de separación no convencionales (GPS). Departamento de Ingeniería Química, Fundación Universidad de América. Bogotá, Colombia.

O. Castiblanco

Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia
email: orlando.castiblanco@profesores.uamerica.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3238-0912>
Grupo de investigación en procesos de separación no convencionales (GPS)

D. J. Cárdenas

Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia
email: dany.cardenas@profesores.uamerica.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2041-0846>
Grupo de investigación en procesos



onshore and *offshore* perspective, taking into account the *midstream* and *downstream* processes of hydrocarbons, giving significant importance to the environmental impacts associated with these means of transport, the possible disasters that can be generated and how these have contributed to improving the transport infrastructure itself. A review of the Colombian reality in terms of hydrocarbon transportation is also made, describing some opportunities for improvement and highlighting its importance in the country's daily life.

Keywords: transportation of hydrocarbons, oil pipeline, gas pipeline, multipurpose pipeline, ships, tank trucks.

Resumo:

O transporte de hidrocarbonetos é de grande importância em todo o mundo, pois permite a distribuição desde seu ponto de extração, terminais de armazenamento, refinarias de petróleo e gás, até seus pontos de comercialização. São analisadas as diferentes formas de transporte dos hidrocarbonetos, numa perspectiva *onshore* e *offshore*, tendo em conta os processos *midstream* e *downstream* dos hidrocarbonetos, dando uma importância significativa aos impactos ambientais associados a estes meios de transporte, os possíveis desastres que podem ser gerados e como estes contribuíram para melhorar a própria infra-estrutura de transporte. Também é feita uma revisão da realidade colombiana em termos de transporte de hidrocarbonetos, descrevendo algumas oportunidades de melhoria e destacando sua importância na vida cotidiana do país.

Palavras-chave: transporte de hidrocarbonetos, oleoduto, gasoduto, oleoduto multiuso, navios, caminhões-tanque.

I. INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos, tanto crudos como refinados, son transportados desde los centros de producción y refinerías hacia las propias refinerías y centros de consumo, respectivamente; para esto se utilizan principalmente los llamados gasoductos y oleoductos, que son usados para el transporte del crudo y gas natural desde el campo petrolífero *onshore* hasta las refinerías o puntos de embarque. Por otro lado, para transportar el crudo y gas extraído en perforaciones *offshore*, se usan buques tanques, tuberías y métodos como la licuefacción del gas en buques, debido a las facilidades que se tienen en las vías marítimas [1].

Los oleoductos son tuberías e instalaciones utilizadas para el transporte de petróleo, que actúan como arterias en el interior de la tierra, ya que son extensas tuberías de acero y plástico, siendo la manera más económica de transportar estos productos en tierra [2]. En los oleoductos, el petróleo se mantiene en movimiento gracias a las estaciones de bombeo que son construidas a lo largo del oleoducto y permiten tener un flujo a una velocidad de 1 a 6 m/s [3].

Los gasoductos son unas tuberías en las que los gases circulan a alta presión desde un determinado punto hasta un centro de distribución, estos se construyen en zanjas a profundidades cortas dependiendo del terreno y la seguridad. Además, existen los poliductos a través de los cuales se transportan mezclas de hidrocarburos de crudo y gas. Por otro lado, el gas natural licuado es metano enfriado hasta el punto en que se vuelve líquido y se caracteriza por su alto poder calorífico [4], por su eficiencia, su versatilidad y su bajo impacto medioambiental, este es transportado a presión atmosférica en un buque de doble casco. Los sistemas de contención de carga están diseñados y construidos con materiales especiales para el aislamiento y tanques de almacenamiento para garantizar el transporte seguro de esta carga criogénica.

Con el pasar de los años se ha logrado un avance tecnológico importante que llevó a un mejoramiento en el transporte de los hidrocarburos, para evitar contaminaciones y explosiones. El transporte de crudo se hacía inicialmente en barriles de madera con un orificio, estos eran perfectamente sellados y la única manera de extraer el producto era por medio del propio orificio. A su vez, para el transporte marítimo se utilizaban vasijas de barro en barcasas de movimiento lento [5]; hoy en día, existe una gran variedad de envases donde se pueden almacenar estos compuestos de manera segura y con las medidas necesarias para evitar accidentes. Un punto de inflexión importante en el transporte de hidrocarburos

fue el avance tecnológico que se dio durante la Segunda Guerra Mundial, ya que antes los hidrocarburos eran transportados en ferrocarriles hacia las refinerías, pero luego hubo una disminución en importancia de este medio debido a la creación de los oleoductos y poliductos, y gracias al auge de la industria del acero, una aleación de hierro con carbono que forman un compuesto liviano, pero muy resistente. Este material es el empleado para las tuberías, de esta forma se tenía una manera más eficiente y más segura de transportar los hidrocarburos, lo cual se pudo evidenciar con el uso de oleoductos submarinos diseñados en Inglaterra durante esta gran guerra [5].

Los avances tecnológicos en materia de transporte de hidrocarburos se deben en gran parte a los diferentes accidentes ocurridos con el pasar de los años, ya que siempre se trata de buscar la seguridad de los trabajadores del sector y del transporte de este material; no obstante, siguen ocurriendo algunos accidentes. Por lo tanto, se han creado diferentes mecanismos para que se dé una respuesta de manera eficaz a los derrames de hidrocarburos y sus consecuencias económicas y medioambientales.

La cadena de valor en la industria petrolera está constituida por tres partes: el *upstream* corresponde a todo lo que se realiza en el subsuelo, exploración, perforación y extracción de los hidrocarburos. El *midstream* concierne al almacenamiento y el transporte de estos compuestos. Y, por último, se tiene el *downstream*, esta etapa corresponde al refinamiento y la distribución de estos compuestos al consumidor final [6]. Esta cadena empieza con el proceso de extracción del petróleo y el gas, después es llevado, por medio de tuberías, a los centros de refinación; luego se procede a su distribución y, por último, llega al consumidor para que pueda disfrutar de los productos terminados que se elaboran con estos hidrocarburos [7].

II. MÉTODO

Para el desarrollo de este trabajo, se decidió limitar la búsqueda de información a ciertas temáticas de gran relevancia para el transporte de hidrocarburos; por esto, en primer lugar, se tuvo en cuenta el contexto histórico que evidencia el desarrollo tecnológico y su implementación desde los inicios de los distintos medios de transporte, los cuales se seleccionaron de acuerdo con su importancia y utilización en la industria del petróleo y gas, como gasoductos, oleoductos, camiones cisterna y también los medios de transporte del gas licuado. A su vez, se hizo una revisión sobre los nuevos avances relacionados con la evolución de estos medios de transporte y cómo se mitigan los impactos causados al medio ambiente. Finalmente, se

hizo una descripción de los medios de transporte que son utilizados en la industria del petróleo y gas, así como su problemática ambiental, económica y social en Colombia.

III. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

A. Medios de transporte Offshore

1) Tuberías

Una tubería submarina (tubería *offshore*) se coloca en el lecho marino o debajo del lecho marino dentro de una zanja especialmente construida [8], [9], [10]. Estas tuberías suelen estar fabricadas en acero al carbono de alta calidad con base en criterios específicos para el producto final: tuberías utilizadas para el transporte de líquidos corrosivos (petróleo crudo y alto contenido de ácido pueden incluirse en esta categoría). Debe contener aleaciones especiales y protección contra la corrosión. Con respecto a su tamaño, el diámetro debe ser lo suficientemente grande para que pueda manejar un volumen máximo de fluido con la resistencia mínima para una eficiencia óptima. Las tuberías deben permitir el transporte de líquidos a una velocidad suficiente para mantener las características del producto que está fluyendo dentro de la tubería, sin corrosión ni residuos, ya que esto puede provocar obstrucciones [9].

Para la construcción de estas tuberías se deben tener en cuenta cinco factores físicos que son los siguientes: i) la movilidad en el fondo del mar, ii) los deslizamientos de tierra en el agua, iii) la alta corriente, iv) las ondas largas en el agua poco profunda y v) los problemas relacionados con el hielo. Las condiciones que se mencionaron deben tenerse en cuenta con el fin de minimizar daños en la tubería y de esta forma hacer que los oleoductos, gasoductos y poliductos submarinos sean sometidos a los menores riesgos posibles [5]. Lo anterior se debe a que la ocurrencia de un accidente puede causar un daño medio-ambiental que tiene posibilidades de extenderse con rapidez y no ser controlado y aislado de forma rápida, debido a que algunas locaciones donde se encuentran rutas de tuberías son poco concurridas [10]. Cabe aclarar que para minimizar estos riesgos no solo basta con tener en cuenta la locación de las tuberías, sino también los aspectos de fabricación de estas, por lo cual se debe tener en cuenta la normativa API, tanto para la industria del petróleo como para la del gas [11]. Esta normativa específica la composición mínima que deben tener los materiales de las tuberías, también tiene parametrizado ciertas características físicas que deben considerarse, como el estrés estructural que debe soportar la tubería, al igual que pruebas químicas para aspectos como la protección contra los distintos tipos de corrosión. Por ejemplo, API

5L contiene la normativa contra el estrés por fatiga en distintos tipos de acero [12]. Se pueden utilizar algunas aleaciones como X56, X70, X65 [12], [13]. Igualmente, se utilizan algunos materiales como concreto y caucho en algunas tuberías, debido a que estos materiales poseen ciertas características que se relacionan con la resistencia [14]. Tanto el concreto como el caucho se utilizan para el recubrimiento de las tuberías tradicionales de aleaciones de acero [15]. Algunos tipos especiales de caucho son “materiales aditivos” que mejoran sus características físicas y químicas, por consiguiente, su acción protectora contra la corrosión [16], [17].

Al final de la tubería normalmente se encuentra un tanque de almacenamiento de hidrocarburos, que por lo general es cilíndrico, esférico o esferoide, y se ubican en grandes terminales destinadas para ello [5]. En la mayoría de los casos, especialmente cuando se refiere al almacenamiento de hidrocarburos líquidos, los tanques tienen una forma cilíndrica con una combinación de un techo fijo y un techo flotante [4]. Estos tanques tienen como ventajas su fácil transporte en zonas de difícil acceso, su gran rapidez de instalación y desmantelamiento, la compatibilidad con la mayoría de los hidrocarburos, y estos evitan la contaminación y evaporación del producto [5]. Por otro lado, estos tanques poseen una capa aislante que permite reducir la transferencia de calor y evita el derrame de los hidrocarburos contenidos [18]. Los tanques son fabricados de diferentes materiales, como acero inoxidable, acero al carbono, fibra de vidrio y polietileno [19], [20].

2) Buques

En primer lugar, se tienen los petroleros, que son buques cisterna especializados en el transporte de crudo y se caracterizan por la estanqueidad al petróleo, la resistencia estructural, y su sistema de bombeo para la carga y descarga del combustible. Son embarcaciones de gran tamaño que deben realizar el atraque en alta mar y pueden albergar hasta dos millones de barriles de crudo [21]. Igualmente, existen los buques gaseros, los cuales cuentan con una tecnología más sofisticada para almacenar gas licuado. Estos están divididos en GNL, que son especializados en transportar gas natural licuado a temperaturas de hasta $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$, teniendo grandes tanques esféricos en la cubierta, y los GLP que hacen lo mismo con el gas licuado de petróleo a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una presión de 18 kg/cm^2 [22].

Los buques petroleros, los cuales transportan petróleo crudo desde el sistema de producción hasta la refinería o hasta la cabecera de un oleoducto, también son capaces de transportar derivados pesados como el *fuel oil* [23]. Los distintos tipos de buques se pueden clasificar según su capacidad de transporte e idoneidad para cada tráfico [24]. Coastal Tanker son utilizados en trayectos cortos

para el transporte de petróleo crudo o derivados; General Purpose Tanker operan en tráficos diversos y transportan petróleo crudo o derivados; Handy Size Tanker operan en áreas del Caribe y la Costa Este de Estados Unidos, puertos del Mar Mediterráneo y el Norte de Europa; Paramax, cuyo nombre se debe a que sus dimensiones correspondían con las máximas posibles en el Canal de Panamá, estos operan en tráficos clásicos como el Caribe, el Mar Mediterráneo, el Norte de Europa y en Argentina [25]; Aframax, con tráficos habituales entre los puertos ubicados en áreas como el Caribe, el Mar Mediterráneo o el Golfo Pérsico [26]; Suezmax, cuyo nombre se debe a que sus dimensiones correspondían con las máximas posibles en el Canal de Suez, y su demanda se concentra en la Costa Oeste de África con destino al Caribe, la Costa Este de Estados Unidos o el Norte de Europa y el Mar negro [27]. En la figura 1, se evidencian las cargas que pueden transportar algunos de los buques más usados y mencionadas acá.

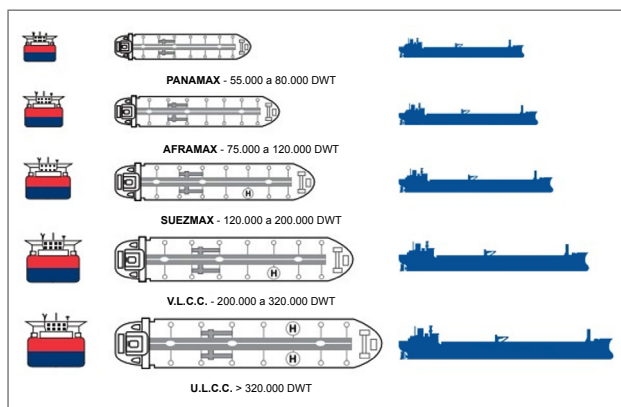


Figura 1. Carga de los buques más usados.
Fuente: [25].

Para la carga de estos tanques se debe mantener una presión positiva de gas inerte, con un 8 % de volumen de oxígeno antes de llegar a la terminal [28].

B. Medios de transporte Onshore

1) Camiones cisterna

Los camiones cisterna se suelen utilizar para el transporte de hidrocarburos refinados desde la refinera hasta los consumidores domésticos, comerciales e industriales [29]. Debido a los costos altos de transporte, estos camiones cisterna suelen usarse para unas entregas que estén dentro de un radio de 300 millas (482 km) [30]. En su interior, la mercancía es transportada de forma líquida debido a que los fluidos tienen un menor volumen en comparación con el estado gaseoso, logrando transportar un mayor volumen, pero a mayores presiones [31]. Los tanques

se caracterizan por tener un importante aislamiento y refuerzo para evitar fugas o contaminaciones durante el transporte, y su tamaño varía mucho según el tipo de camión. Respecto a los materiales y revestimientos utilizados, depende del uso previsto de la cisterna. Son muchos los materiales que se utilizan para garantizar el cumplimiento de las normas de seguridad respectivas: resistencia a la corrosión, si hay que utilizar contenedores presurizados o refrigerados, o simplemente para evitar daños por el transporte [32].

Generalmente, los tanques son semiovalados y están fabricados en acero al carbono o aluminio. Se utilizan técnicas avanzadas de soldadura y se instala un sistema de detección de fugas que garantiza la seguridad. Los gases pueden estar divididos en tres compartimientos que emplean un sistema de carga donde el líquido ingresa por la parte inferior del tanque para no generar electricidad estática y se recuperan los gases que están dentro sin que sean liberados a la atmósfera [33].

2) Gasoductos

El inicio de un gasoducto *onshore* puede estar en un yacimiento o una planta de regasificación, situada en un puerto marítimo al que llegan los buques que transportan gas licuado a muy bajas temperaturas. A lo largo de estos gasoductos, y en ciertos intervalos, se sitúan unas válvulas mediante las cuales se puede suspender el flujo de gas para evitar accidentes e incidentes; además, si el gasoducto es muy largo, se deben ubicar estaciones de compresión a intervalos determinados [34].

Para el transporte de gas se utilizan tuberías de acero o polietileno de forma cilíndrica de gran calibre; varias tuberías de gas natural son subterráneas [35]. Al igual que en los gasoductos *offshore*, los materiales que se utilizan en este tipo de tuberías los define la norma API 5L, con los mismos requisitos y características mencionadas anteriormente. Algunas normas adicionales que regulan los gasoductos son ASME B31.8, ASTM A53 y ASTM A 135. Por lo general, se fabrican partiendo de aceros del tipo ASTM A53 Grado 5L, debido a que este acero cumple con las exigencias normativas [36].

3) Oleoductos

Los oleoductos son la manera más rápida de transportar grandes cantidades de hidrocarburos líquidos, y tienen mayor capacidad y un costo menor por unidad [37]. Para la operación de estos oleoductos, el movimiento del petróleo está asegurado por un sistema de estaciones de bombeo construidas a lo largo del oleoducto, de forma similar que en los gasoductos. Las tuberías de transporte *offshore* poseen la mayoría de las características que tienen los

oleoductos *onshore*. Los oleoductos se construyen a partir de tubos de acero o plástico con un diámetro interior de 30 a 120 cm, y se recomiendan construir sobre tierra y no subterráneos. Sin embargo, en ciudades más desarrolladas o zonas con vegetación delicada, suelen enterrarse a una profundidad de un metro [38].

C. Aspectos ambientales

Un aspecto importante para tener en cuenta durante el transporte de hidrocarburos, tanto crudos como refinados, es la posibilidad de accidentes que tengan implicaciones en el medio ambiente. Debido al registro de accidentes en el pasado, esta es una de las razones que ha impulsado el avance tecnológico de los medios de transporte de hidrocarburos. El derrame de petróleo más grande que ha ocurrido fue la explosión del pozo Ixtoc-I en 1979, en territorio marítimo mexicano, contando con un derrame de 461 000 toneladas de crudo, y que no fue controlado en su totalidad, sino hasta nueve meses después de ocurrido el accidente [39].

Por otro lado, tras la primera guerra de Irak en 1991, se derramaron cerca de 1,4 millones de toneladas de crudo en el Golfo Pérsico, el derrame ocurrió en tierra y esto fue un punto crucial, debido a que se tiene una mayor facilidad para que el derrame pueda ser aislado y mitigar las afectaciones medio ambientales. En un derrame *offshore* el control del crudo es mucho más complicado y por consiguiente el daño al ecosistema es mayor. En cuanto a accidentes relacionados con medios de transporte, uno de los más significativos y que afectó en gran medida al ecosistema ocurrió en 1979, en un choque de buques, en el cual se derramaron 287 000 toneladas de crudo a mar abierto; pero a pesar de que la cantidad de crudo derramado fue alarmante, hay otras características que tienen mayor relevancia: la zona en la cual ocurre el derrame, las condiciones climáticas, el tipo de crudo que es derramado y el tiempo que tarde en controlarse el derrame.

Un ejemplo claro de esto es el accidente ocurrido en Alaska en 1989, en donde se derramaron solo 37 000 toneladas de crudo al mar, pero debido a la locación del accidente, este causó una gran y completa afectación del ecosistema de esta región, matando especies de aves, focas y ballenas. Allí, se ocasionaron daños a largo plazo en el ecosistema del golfo de Alaska que hoy en día siguen generando consecuencias en el medio ambiente [40]. El derrame de crudo en este accidente cubrió cerca de 1275 millas a lo largo de la costa, contaminándola en 757 segmentos; además, se generaron pérdidas económicas en ámbitos como la pesca, cuya cifra está alrededor de 12 millones de dólares [41], [42], [43].

A raíz de lo anterior, se plantearon algunos cambios en cuanto a la tecnología que deben tener los buques que transportan crudo con el fin de minimizar daños, como los buques de doble casco, un equipamiento de comunicación efectivo y la prohibición del autopiloto para realizar maniobras peligrosas [43]. También, se hallaron fallas en los servicios de movilización de maquinaria y mano de obra para mitigar los daños, por esto se hicieron mejoras en planes de acción de las agencias de tuberías y mejoras en planes de prevención de contención de derrames; al igual, que nuevos métodos para el tratamiento de derrames y biorremediación en contraposición de los tratamientos fisicoquímicos clásicos [44]. Un factor importante a señalar en estos grandes incidentes es que las organizaciones involucradas eran empresas grandes de la época como Exxon Mobile, quien enfrentó cargos y múltiples multas financieras [45].

D. Transporte de hidrocarburos en Colombia

En Colombia, alrededor del año de 1918, se encuentran datos del primer descubrimiento de crudo en el campo de La Cifra-Infantas en Barrancabermeja. No obstante, las primeras referencias a crudo en Colombia datan de los años de 1500, descritos como un pozo de betún a las orillas del Río Magdalena [46]. Debido a la existencia de estas fuentes de crudo, la industria del petróleo y en un futuro del gas empezaron a tener un auge en la economía colombiana. La extracción a gran escala en Colombia inició a mediados del siglo XX, especialmente en 1951, cuando se formó la empresa Ecopetrol a partir de activos que dejó la Tropical Oil Company, empresa que había extraído petróleo desde 1921. Ecopetrol adquirió gran parte de las refinerías en los siguientes años, como la de Barrancabermeja y Cartagena; y hasta la actualidad, ha continuado presencia en procesos de perforación, refinación y distribución de hidrocarburos a lo largo del país [47].

El primer oleoducto se inauguró en 1926 y conectó el campo Infantas con los centros de acopio en Barrancabermeja, mientras que la creación del primer oleoducto importante a lo largo del país fue en 1986, cuando se estableció el proyecto de construcción de un oleoducto entre Boyacá y Sucre, dividiéndose para su construcción en dos tramos distintos, y teniendo como punto intermedio el departamento del Huila. Este oleoducto permitiría la exportación de petróleo crudo de los campos localizados en el Alto Magdalena, Magdalena Medio y los Llanos Orientales [48].

Actualmente, existen siete grandes oleoductos en Colombia que conectan puntos de perforación con refinerías; los más extensos son los de Caño Limón - Coveñas y el oleoducto de Orensa. En la figura 2, se pueden identificar los principales oleoductos en Colombia [48].

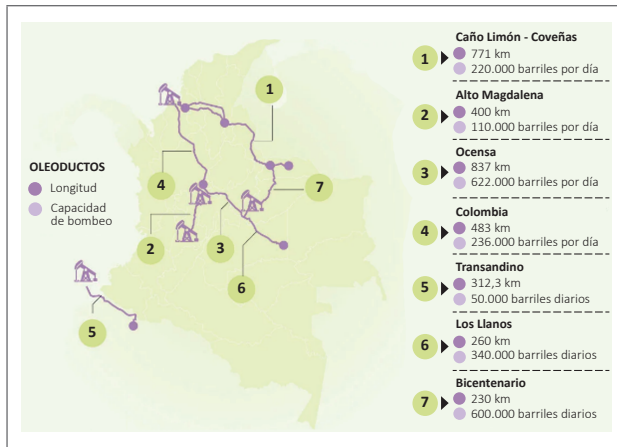


Figura 2. Sistema de oleoductos en Colombia.

Fuente: [48].

Se debe tener en cuenta que, a lo largo del territorio nacional, se transportan hidrocarburos por carretera, estadísticamente los productos principales son petróleo, diésel, gasolina, asfalto y productos petroquímicos [49]. La ruta 65 es la carretera que comunica gran parte de las refinерías con los puntos de extracción en los departamentos de los Llanos Orientales, Arauca, Casanare y Meta, donde se lleva a los departamentos del Meta y Putumayo para iniciar el proceso del refino [50].

Por lo anterior, es necesario la adecuación de vías y el acceso a nuevas tecnologías, ya que como consecuencia de este alto tráfico se pueden generar problemas como lo son la congestión vehicular, accidentes, daños en las vías y demás que afecta el transporte [51]. De igual manera, se pueden presentar afectaciones al medio ambiente por la polución, debido a que algunos lugares en donde se encuentran puntos de *midstream* y *downstream*, como Cartagena, que es la ciudad a la que llegan buques con petróleo o sus productos refinados, y esto se traduce en niveles de hidrocarburos sedimentados demasiados altos que pueden generar problemas de salud de los habitantes de estas zonas [52].

En cuanto al mercado de transporte de hidrocarburos en el territorio nacional, la tarea de administrar y operar la red de oleoductos y poliductos en el país le representó a la petrolera nacional Ecopetrol utilidades por 2,2 billones de pesos, lo que significó un 32,3 % del total de las ganancias obtenidas en el primer semestre de 2021, que fueron de 6,8 billones de pesos. Por otro lado, el negocio del transporte de gas natural está en manos de dos empresas: Promigas y Transportadora de Gas Internacional (TGI). La primera desarrolla su operación en la región de la costa Caribe, así como en el Eje Cafetero, Santander y Valle del Cauca, sin contar que tiene participación en la planta

regasificadora de Barú. Por su parte, la segunda tiene presencia en el centro y parte del norte del país, así como en Boyacá, Santander, los Llanos Orientales y Tolima [53].

Las inversiones para construir un oleoducto de 100 kilómetros pueden ser alrededor de US\$200 millones a US\$300 millones. Además, la construcción puede tomar entre tres y cuatro años. “Precisamente, reducir el costo de transporte es una de las necesidades de la industria en el país, ya que según un informe elaborado por la Asociación Colombiana del Petróleo (ACP), este rubro representa el 53 % de los costos de operación, pues el precio promedio fue de US\$8,6 por barril. Por el contrario, el promedio mundial de los costos de transporte no supera los US\$4 por barril y su participación en los costos de operación es de menos de 28 %” [54].

A pesar de la mayor capacidad de transporte que representan los oleoductos, uno de los grandes retos de este sistema en el país es la seguridad. En Colombia han ocurrido algunos sucesos y accidentes que han tenido un impacto negativo en el medio ambiente, como los eventos ocurridos en 2018, en los que cerca de 10 000 barriles de crudo fueron derramados en el río Caunapí que se conecta con el río Rosario, lo que contaminó gran parte de sus aguas, afectando el ecosistema y las especies que habitan allí [55]. Así, para mitigar los riesgos de derrames en otras zonas del país, se deben tomar medidas de mejora en las instalaciones y en los procedimientos de control, ya sea para evitar accidentes, o si estos ocurren, para mitigar los daños al medio ambiente y a la infraestructura en general. Es por esto que las empresas del sector han hecho inversiones muy fuertes en el tema de seguridad. Los oleoductos tienen sistemas que permiten monitorearlos en tiempo real y poseen cámaras en muchos puntos, lo que permite garantizar al máximo su operación y minimizar los riesgos, pero frente a atentados de terceros, lo único efectivo es la labor de inteligencia policiva y militar. Además de los atentados, otro de los problemas para la red de tuberías es el robo del crudo por medio de válvulas ilícitas, que, según registros de Ecopetrol, hacen que se pierdan en promedio 1160 barriles diarios de crudo [54].

Otra cuestión es el conflicto armado en Colombia, que ha tenido una relevancia histórica relacionada directamente con el transporte de hidrocarburos. Entre los años 2007 a 2020 se presentaron ataques por parte de la guerrilla de las FARC a múltiples oleoductos a lo largo del territorio [56]. De estos ataques, los más preocupantes se registraron en el periodo de 2013 a 2014, cuando se atacó tanto a la infraestructura como a los propios trabajadores de los oleoductos. Esto se relaciona con un aumento del riesgo asociado en cuanto a algún derrame o accidente, junto con los posibles daños al medio ambiente que puedan

presentarse. Adicionalmente, hay que sumarle la pérdida económica para las empresas, que estuvo alrededor de los 445 millones de dólares por ataques a tuberías en el 2001 [57].

Finalmente, teniendo en cuenta la incidencia del conflicto armado, el Gobierno nacional ha tomado medidas que buscan mitigar los daños en todos los sectores, por lo que se han reestructurado en múltiples ocasiones las normativas que rigen el transporte de hidrocarburos en Colombia.

IV. CONCLUSIONES

La importancia de los distintos medios de transporte de hidrocarburos crudos y refinados es evidente; en primer lugar, en la industria de petróleo y gas *offshore* cobran gran importancia los oleoductos, gasoductos y poliductos, debido a que son medios de transporte que sí tienen las tecnologías necesarias para el control y el seguimiento de las tuberías, se minimizan las posibilidades de generar accidentes que involucren pérdidas financieras y afectaciones medioambientales a los ecosistemas marinos, y se considera como punto importante una alta rigurosidad para el mantenimiento y construcción de tuberías, con múltiples normativas que aseguren su correcto funcionamiento. Sin embargo, se pueden identificar oportunidades de mejora en cuanto a la producción de nuevos materiales que puedan disminuir los costos para mantener o superar las prestaciones que se tienen actualmente.

En relación con los medios de transporte, como buques, se tienen mayores riesgos en cuanto a posibles accidentes y derrames, como se presentó en los casos expuestos, pero para mitigar esto se ha promovido la creación de nuevas normativas, la implementación de nuevos diseños en materiales y la capacitación al personal. De todas maneras, se debe tener en cuenta que el riesgo de un accidente al transportar este tipo de productos nunca va a ser cero, por esto las medidas que tomen las distintas empresas y agentes que manejen las zonas de extracción deben asegurar que se minimice la posibilidad de que ocurra un siniestro; y en dado caso que ocurra, se debe asegurar la acción rápida de las autoridades competentes y la disposición de las distintas maquinarias para realizar un control del derrame de manera rápida, con el fin de evitar daños a largo plazo.

Por otro lado, en la industria *onshore* se tienen medios de transporte muy similares a los de la industria *offshore*, en lo referente a oleoductos, gasoductos y poliductos; sin embargo, su manejo es más sencillo al estar en un entorno de menor riesgo para sus instalaciones; además,

los puestos de control y las estrategias de mitigación son más fácilmente aplicables que en el entorno marítimo, y la velocidad de respuesta para evitar accidentes es mayor. No obstante, se debe tener en cuenta que las tuberías terrestres, a diferencia de la industria *offshore*, sí se utilizan para el transporte con las distancias más largas posibles. A su vez, en la industria *onshore* se tiene el transporte en camiones cisterna, los cuales son utilizados para distancias medias y cortas debido a su alto costo.

En Colombia, el transporte de hidrocarburos crudos y refinados es un sector muy importante para la economía, al exportarse e importarse hidrocarburos crudos y refinados, lo cual demanda la existencia de una buena estructura vial. El territorio colombiano está cubierto por redes de oleoductos, gasoductos y poliductos, por lo cual el gobierno ha promovido el cuidado y el mejoramiento de estos medios de transporte; y a pesar de que en Colombia no exista un transporte masivo ferroviario, sí se utilizan medios de transporte como camiones cisterna para distribuir productos refinados al consumidor final.

Finalmente, se debe resaltar que, en el territorio colombiano, el conflicto armado interno representa una amenaza en cuanto a la seguridad de los medios de transporte de hidrocarburos, siendo esta infraestructura uno de los blancos principales de los grupos subversivos. Como consecuencia, la ocurrencia de un accidente o derrame de hidrocarburos en el territorio colombiano va más allá de una posible falla en el control, lo que puede conducir a la afectación de los distintos ecosistemas por donde estas redes de transporte de hidrocarburos circulan.

REFERENCIAS

- [1] B. White, T. Kreuz, and S. Simons, "Chapter 9 - Midstream". In: K. Brun, and R. Kurz (eds.), *Compression Machinery for Oil and Gas* (pp. 387-400). Gulf Professional Publishing, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814683-5.00009-2>
- [2] A. H. Alamri, "Localized corrosion and mitigation approach of steel materials used in oil and gas pipelines - An overview", *Engineering Failure Analysis*, vol. 116, 104735, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104735>
- [3] S. Kyriakides, and E. Corona, "Offshore facilities and pipeline installation methods". In *Mechanics of Offshore Pipelines*, vol. 1. pp. 15-58, Elsevier Science, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-008046732-0/50002-7>

- [4] R. K. Goel, B. Singh, and J. Zhao, "Underground storage of crude oil, liquefied petroleum gas, and natural gas", *Underground Infrastructures*, (pp. 173-197), Butterworth-Heinemann, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397168-5.00009-2>
- [5] J. G. Speight, "Transportation", In *Subsea and deepwater oil and gas science and technology*, (pp. 191-212), Gulf Professional Publishing, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-558-6.00007-6>
- [6] M. Farahani, and D. Rahmani, "Production and distribution planning in petroleum supply chains regarding the impacts of gas injection and swap", *Energy*, vol. 141, pp. 991-1003, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.013>
- [7] "Surefire industries to provide midstream, downstream equipment packages", *Filtration Industry Analyst*, no. 7, p. 5, 2015. Doi: [https://doi.org/10.1016/S1365-6937\(15\)30209-4](https://doi.org/10.1016/S1365-6937(15)30209-4)
- [8] R. J. Brown, and R. J. Brown Deepwater, "Past, present, and future towing of pipelines and risers", In: *Offshore Technology Conference*, 2006. Doi: <https://doi.org/10.4043/18047-MS>
- [9] B. C. Gerwick Jr., *Construction of marine and offshore structures*. Boca Raton: CRC Press, 2007.
- [10] Y. Bai, and Q. Bai, *Subsea engineering handbook*. Gulf Professional Publishing, 2018.
- [11] J. Lancaster, "Pipelines and process plant", In: *Handbook of Structural Welding*, (pp. 266-374), Woodhead Publishing, 1997. Doi: <https://doi.org/10.1533/9781845690328.266>
- [12] G. Yongjian, S. Yongbo, G. Xu-Dong, L. Tao, Z. Yiing, and L. Xiafei, "Corrosion fatigue crack growth of serviced API 5L X56 submarine pipeline", *Ocean Engineering*, vol. 256, 111502, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111502>
- [13] M. Wu, D. Sun, and K. Gong, "Microbiologically assisted cracking of X70 submarine pipeline induced by sulfate-reducing bacteria at various cathodic potentials", *Engineering Failure Analysis*, vol. 109, 104293, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104293>
- [14] Y. Guo, Z. Zhang, D. Wang, and S. Zhang, "Fretting wear behavior of rubber against concrete for submarine pipeline laying clamping", *Wear*, vol. 432-433, 102925, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2019.05.040>
- [15] A. C. Palmer, "Concrete coating for submarine pipelines", *Mag. Concr. Res.*, vol. 34, no. 120, pp. 119-129, 1982.
- [16] M.-X. Shen, F. Dong, Y. Ma, J.-F. Peng, and M.-H. Zhu, "Fretting wear behaviors of acrylonitrilebutadiene rubber (NBR) against diamond-like carbon and graphene coatings", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 96, pp. 1749-1759, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0946-1>
- [17] Y. Reudy, "¿Cómo leer un tubo API? Parte III Niveles de especificación de producto (PSL)", Steemit, s.f. Disponible en: <https://n9.cl/5l561>
- [18] C. D. Argyropoulos, M. N. Christolis, Z. Nivolianitou, and N. C. Markatos, "A hazards assessment methodology for large liquid hydrocarbon fuel tanks", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 25, no. 2, pp. 329-335, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.12.003>
- [19] L. Xiaodong, H. Zhongshu, D. Wenyi, Y. Anfeng, and W. Peng, "CFD Simulation of temperature field distribution of the liquefied hydrocarbon spherical tank leaking", *Procedia Engineering*, vol. 43, pp. 472-477, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.081>
- [20] A. Sharafian, P. Blomerus, and W. Mérida, "Liquefied natural gas tanker truck-to-tank transfer for on-road transportation", *Applied Thermal Engineering*, vol. 162, 114313, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114313>
- [21] M. M. Farhan, M. M. Al-Jumialy, A. D. Al-Muhammadi, and A. S. Ismail, "Development of a new method for reducing the loss of light hydrocarbons at breather valve of oil tanks", *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 471-478, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.061>
- [22] Álvarez-Santullano, F. M. (2006). El transporte de mercancías peligrosas por vía marítima.
- [23] M. A. L. Zagari, "El transporte de hidrocarburos fluidos por tuberías y buques tanques", tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 1961. Disponible en: <https://n9.cl/yzshd>
- [24] C. Martínez Fariña, "Adaptación de un buque de suministros a un buque de la Agencia Europea de Seguridad Marítima (EMSA) para la limpieza de vertidos de hidrocarburos", tesis de maestría, Universidad de Cantabria, 2020. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10902/24085>

- [25] T. Pineda Afonso, "Del transporte de hidrocarburos al servicio de bunkering", trabajo de grado, Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, 2018. Disponible en: <https://n9.cl/pyvw9>
- [26] J. R. Chicano, "Operaciones de carga y descarga de hidrocarburos terminal Refinería S.C. de Tenerife" tesis doctoral, Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, 2022. Disponible en: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/26778>
- [27] Á. García Sánchez, "Programación del transporte de hidrocarburos por oleoductos mediante la combinación de técnicas metaheurísticas y simulación", tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2007. Doi: <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.1262>
- [28] L. Colorado Franco y N. Colorado Franco, "Cálculo del margen de tolerancia permisible aplicando el factor de experiencia de buque en la transferencia marítima de petróleo crudo y derivados del petróleo". *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, vol. 7, no. 1, pp. 14-20, 2020. Doi: <https://doi.org/10.26423/rctu.v7i1.507>
- [29] M. E. Rerequeo Candia, "Procedimientos generales de las operaciones de carga y descarga de un buque tanque petrolero", trabajo de grado, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2009. Disponible en: <https://n9.cl/y0ekv>
- [30] E. T. R. Dean, *Offshore geotechnical engineering*, Thomas Telford Publishing, 2009.
- [31] J. G. Speight, *The chemistry and technology of petroleum*. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [32] J. G. Speight, *Handbook of petroleum product analysis*, 2.ª ed., John Wiley & Sons, 2015.
- [33] F. G. Gibaja Zela, "Mejora en el despacho de hidrocarburos a camiones cisterna - patio de maniobras Callao", trabajo de grado, Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, 2015. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14005/1881>
- [34] R. De Dicco, *Indicadores downstream hidrocarburos de Argentina*, Documento de Trabajo del Observatorio de la Energía, Tecnología e Infraestructura para el Desarrollo y Centro Latinoamericano de Investigaciones Científicas y Técnicas, 2014 Enero. Disponible en: <http://www.oetec.org/informes/downstream240114.pdf>
- [35] Kita A, et al (1999). Una doxigenasa catecólica arquetípica que escinde etradiol. 1999(31), 3-4. doi:10.1016/s1365-6937(99)80006-9
- [36] D. Marqués, and M. Morari, "On-line optimization of gas pipeline networks". *Automatica*, vol. 24, no. 4, pp. 455-469, 1988. Doi: [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(88\)90091-X](https://doi.org/10.1016/0005-1098(88)90091-X)
- [37] J. Yaksetig Castillo, "Análisis de la integridad mecánica de un tramo de oleoducto afectado por un fenómeno geodinámico", tesis de maestría, Universidad de Piura, Piura, 2011. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11042/1852>
- [38] A. F. Pérez-Suárez, S. Cabrales, R. Amaya-Gómez, And F. Muñoz, "Model for optimal sectioning of hydrocarbon transportation pipelines by minimization of the expected economic losses", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 62, 103939, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.103939>
- [39] R. H. Calderón Muñoz, "Construcción de oleoductos y gasoductos en Colombia", *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 4, pp. 65-69, 1996. Doi: <https://doi.org/10.18359/rcin.1556>
- [40] BBC News Mundo, "Los 10 peores derrames de la historia", BBC News Mundo, 2010, 18 Junio. Disponible en: <https://n9.cl/r59r0>
- [41] S. D. Rice, J. W. Short, M. G. Carls, A. Moles, and R. B. Spies, "Chapter 5 - The Exxon Valdez Oil Spill", In: R. B. Spies (ed.), *Long-term Ecological Change in the Northern Gulf of Alaska*, (pp. 419-520), Elsevier Science, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-044452960-2/50006-0>
- [42] P. Shrivastava, "Technological and organizational roots of industrial crises: Lessons from Exxon Valdez and Bhopal", *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 45, no. 3, pp. 237-253, 1994. Doi: [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(94\)90048-5](https://doi.org/10.1016/0040-1625(94)90048-5)
- [43] H. A. Linstone, and I. I. Mitroff, *The Challenge of the 21st Century: Managing technology and ourselves in a shrinking world*, New York: State University of New York Press, 1994.
- [44] J. S. Picou, D. A. Gill, C. L. Dyer, and E. W. Curry, "Disruption and stress in an Alaskan fishing community: initial and continuing impacts of the Exxon Valdez oil spill", *Industrial Crisis Quarterly*, vol. 6, no. 3, pp. 235-257, 1992. Doi: <https://doi.org/10.1177/108602669200600305>

- [45] S. Arora, S. Saxena, D. Sutaria, And J. Sethi, "Chapter 20 - Bioremediation: an ecofriendly approach for the treatment of oil spills", In: P. Das, S. Manna and J. K. Pandey (Eds.), *Advances in Oil-Water Separation* (pp. 353-373), Elsevier Science, 2022.
- [46] H. Pike, "Learning from the experience", *Methods in Chemical Process Safety*, vol. 1, pp. 37-86, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/bs.mcps.2017.02.002>
- [47] O. Llamosa, et al., "The energy transition in Colombia: 100 years of the oil industry and perspectives towards a geothermal future", AAPG European Region, 3rd Hydrocarbon Geothermal Cross Over Technology Workshop, 2019, 9-10 Abril. Disponible en: <https://n9.cl/l8i0fe>
- [48] Ecopetrol, "Nuestra historia", 2014, 8 Agosto. Disponible en: <https://n9.cl/oro-negro>
- [49] Oleoducto de Colombia, "Historia de los oleoductos", 2020. Disponible en: <https://www.oleoductodecolombia.com/la-compania/historia-2/>
- [50] J. Forigua, and L. Lyons, "Safety analysis of transportation chain for dangerous goods: A case study in Colombia", *Transportation Research Procedia*, vol. 12, pp. 842-850, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.02.037>
- [51] L. Tasciotti, D. Alejo, and A. Romero, "Oil industry and road traffic fatalities in contemporary Colombia", *Intenational Journal of Injury Control and Safety Promotion*, vol. 23, no. 4, pp. 362-372, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1080/17457300.2015.1047863>
- [52] A. Romero, L. Tasciotti, and F. Acosta, "Means of transportation choice for the residents of Villavicencio, Colombia: A quantitative analysis", *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 44, pp. 134-144, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.11.001>
- [53] Portafolio, "Las 6 empresas que controlan el transporte de hidrocarburos y energía", 2021, 10 Agosto. Disponible en: <https://n9.cl/69mkr>
- [54] Diario La República, "Seguridad, el reto del sistema de transporte en Colombia", 2018, 6 Noviembre. Disponible en: <https://www.larepublica.co/economia/seguridad-el-reto-del-sistema-de-transporte-de-petroleo-en-colombia-2790210>
- [55] C. H. Parga-Lozano, A. J. Marrugo-González, and R. Fernández-Maestre, "Hydrocarbon contamination in Cartagena Bay, Colombia", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 44, no. 1, pp. 71-74, 2002. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00201-6](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00201-6)
- [56] J. Angulo-Cuero, M. T. Grassi, R. G. Dolatto, A. M. Palacio-Cortés, M. Rosero-Moreano, and B. H. Aristizábal, "Impact of polycyclic aromatic hydrocarbons in mangroves from the Colombian pacific coast: Evaluation in sediments and bivalves", *Marine Pollution Bulletin*, vol. 172, 112828, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112828>
- [57] A. Palao Mendizabal, J. S. Holmes, N. Ortiz, M. Callenes, and A. Cardenas, "A hotspot analysis of critical hydrocarbons infrastructure in Colombia: ELN (Ejército de Liberación Nacional) and FARC (Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia) attacks on Colombian pipelines", *Applied Geography*, vol. 126, 102376, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102376>