

## Mathematics optimization models for downstream and midstream petroleum sectors. Literature review and future research directions

### Modelos de optimización matemática aplicables al sector downstream y midstream del petróleo. Revisión de la literatura y dirección de investigaciones futuras

J. Morales<sup>1</sup>      W. Quitiaquez<sup>1</sup>      I. Simbaña<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador

E-mail: [jmoralesc17@est.ups.edu.ec](mailto:jmoralesc17@est.ups.edu.ec); [wquitiaquez@ups.edu.ec](mailto:wquitiaquez@ups.edu.ec); [isaaxsin@hotmail.com](mailto:isaaxsin@hotmail.com)

#### Abstract

This article resumes a literature review about Integer Linear and No-linear programming models (MILP and MINLP) applied to petroleum supply chain, especially for Downstream and Midstream sectors. These sectors work in the hydrocarbons' production, tailored and distribution for final uses, such as intermediate distillates and LPG. The aim of this research is contrast 32 research articles of operations research, especially which considered multiproduct pipeline transport. The main aim of this article has focused on a future approach of research for petroleum supply chain in the Downstream and Midstream sectors. Of the articles analyzed, the 32 articles tailored a MILP, about of 26 tailored a fuel's distribution structure in Downstream sector. There is not evidence of MILP and MINLP researched in Ecuador. Finally, discusses about futures lines of research in this topic, such as applied a MILP for operative programing in multi-products pipelines network of Ecuador's petroleum supply chain. Tools that in the future will lead take effectives decisions a tactic and operative level, considered whole variables in the distributions multi-products pipelines network for satisfied the demand.

**Index terms**— Integer linear program, Supply Chain, downstream, midstream, hydrocarbons

#### Resumen

Este artículo presenta una revisión de la literatura sobre los modelos de Programación Lineal y No lineal de Enteros Mixtos (MILP y MINLP, respectivamente por sus siglas en inglés), aplicados a la cadena de suministro del petróleo crudo, especialmente en el sector *downstream* y *midstream*. Los cuales se encargan de la producción, preparación y distribución de hidrocarburos de uso final como gasolina, diésel, jet y gas licuado de petróleo. El objetivo de esta investigación es comparar 32 trabajos de investigación de operaciones, especialmente los que consideran el transporte de multi productos en una misma línea. El artículo tiene el enfoque principal de realizar un planteamiento de la dirección futura de la investigación para la cadena de suministro del petróleo en los sectores *downstream* y *midstream*. De todos los artículos analizados, los 32 generan un modelo MILP, de los cuales 26 modelan la estructura de distribución de combustibles en el sector *downstream*, no existe evidencia de trabajos de investigación de modelos MILP o MINLP desarrollados en el Ecuador. Finalmente, se discute futuras líneas de investigación referente a esta temática como la aplicación de MILP para la programación operativa de la red de la cadena de suministro del petróleo en el Ecuador. Herramienta que a futuro permitirá la toma de decisiones de nivel táctico y operativo de manera efectiva, considerando todas las variables de la red de distribución de combustibles para satisfacer una demanda prevista.

**Palabras clave**— Programación lineal de enteros mixtos, Cadena de suministro, Downstream, Midstream, Hidrocarburos.

Recibido: 10-05-2020, Aprobado tras revisión: 16-07-2020

Forma sugerida de citación: Morales, J.; Quitiaquez, W., Simbaña I.; (2020). Modelos de optimización matemática aplicables al sector downstream y midstream del petróleo, Revisión de la literatura y dirección de investigaciones futuras. Revista Técnica "energía". No. 17, Issue I, Pp. 103-111.

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2020 Operador Nacional de Electricidad, CENACE

## 1. INTRODUCCIÓN

Barbosa et al. [1] definen a la cadena de suministro como un sistema interconectado de entidades responsables del abastecimiento, producción y distribución de una variada oferta de productos en la industria química o biológica, los cuales manejan una amplia cantidad de información de los flujos de materiales e información. La finalidad de cualquier cadena de suministro es satisfacer la demanda al menor costo posible.

La gestión y planeación efectiva para la toma de decisiones de la cadena de suministro dependen de tres niveles: estratégico, táctico y operacional [2]. El nivel estratégico implica el planteamiento de objetivos y el análisis del entorno interno y competitivo de la empresa a largo plazo, el nivel táctico consiste en la coordinación de las actividades operativas a mediano plazo, mientras que, el nivel operativo se encarga de ejecutar las tareas asignadas por el nivel táctico con la finalidad de cumplir los objetivos estratégicos.

Saad et al. [3] desarrollaron e implementaron una red integrada para la optimización y planeación de la cadena de suministro del petróleo, limitándose a la refinación del petróleo, usando técnicas discretas y continuas de modelamiento obtuvieron valores  $2,57 \times 10^7$  toneladas de petróleo crudo para ser alimentado en la planta, utilizando como restricciones la tasa de alimentación de petróleo a las unidades de destilación atmosférica, la calidad del petróleo alimentado y la demanda de productos.

Un análisis de la cadena de suministro del petróleo amigable ambientalmente, fue planteado por Moradinasab et al. [4], en la que con la teoría de juegos crearon un MILP, el modelo fue implementado en la empresa *National Iranian Oil Company*, obteniéndose un incremento de 11,2 % en la rentabilidad para la empresa pública y una pérdida entre 25,4 y 28,1 % de rentabilidad para la empresa privada.

Zhang et al [5], investigaron una cadena de suministro de petróleo ambientalmente amigable, en el mismo plantean un contrato de subsidio de dos partes en la que se involucra la participación del gobierno mediante el cobro de tasas arancelarias, demostrándose que una intervención gubernamental más fuerte no siempre puede conducir a una mejora ambiental y que el gobierno debería cambiar de impuestos a subsidios en el escenario de alto costo de inversiones ambientalmente sustentables.

El trabajo de investigación de Siwi et al. [6] establece un modelo MINLP, en el cual se analiza el comportamiento no lineal de los reservorios de petróleo, el impacto ambiental basado en el *Eco-indicator 99* el cual se introduce en la función objetivo, además del rendimiento económico. Los resultados indican un efecto de considerar los impactos ambientales en la cadena de suministro del petróleo.

Farahini et al. [7] analizan la cadena de suministro de petróleo en los campos de perforación y mediante un MILP maximizan el Valor Actual Neto (VAN), en el mismo se incluye la planeación de producción, locación de facilidades, planeación de distribución. Se analiza también el impacto de la inyección de gas en los reservorios. En el caso de 5 importaciones, 5 exportaciones e inyección de gas, se observa que el VAN pasa de 17,42 a 12,35 unidades monetarias entre el caso 1 y 2.

La actual infraestructura de petróleo y su interacción en la cadena de suministro de biocombustibles es analizado con un MILP en el estudio de Tong et al. [8], en el cual se determina que la producción óptima para el estado de Illinois en sus 4 refinerías es 68,9 % de biocombustibles.

An et al. [9], realizan una revisión de la literatura de la cadena de suministro de petróleo integrada con la de biocombustibles en la que abordan estudios dentro de los tres niveles de planificación. Finalmente, se enfatiza la necesidad de la interacción de agricultores con productores de petróleo crudo para integrar la red de distribución y comercialización existente y plantea futuras investigaciones en este sentido.

El modelamiento de la cadena de suministro del petróleo es una gran herramienta para la planeación de la operación y distribución de hidrocarburos, la planeación adecuada y la optimización, permite incrementar las utilidades de las empresas mediante la reducción de gastos innecesarios. Esta es la razón principal por la cual las investigaciones acerca de la cadena de suministro del petróleo han incrementado en los últimos años, en una determinada base de datos al consultar con palabras claves "*supply chain petroleum*" se observa un incremento de las publicaciones de 290 % en la última década (981 en 2.009 y 3.826 en 2.019), la Figura 1 muestra la cantidad de artículos referentes a la temática por año de publicación.

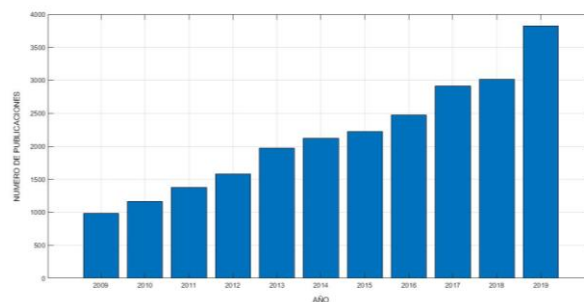


Figura 1. Publicaciones sobre cadena de suministro del petróleo en el periodo 2.009 – 2.019 [10]

En el caso de Ecuador no existen publicaciones referentes al presente tema de estudio.



## 2. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

La industrialización del petróleo se divide en tres macroprocesos: *Up-Stream*, *Down-Stream* y *Mid-Stream* [11]. El *Up stream* se refiere a los procesos de prospección, perforación y extracción de petróleo. *Down stream* engloba a los procesos de refinación y transformación petroquímica del petróleo crudo, mientras que *Midstream* es el proceso de transferencia de hidrocarburos entre dos lugares ya sea como petróleo crudo, productos refinados o petroquímicos como gasolinas, diésel y gas licuado.

Los procesos de *downstream* y *midstream* son los que generan un mayor margen económico dentro de la cadena de suministro del petróleo, razón por la cual es necesario contar con un modelo óptimo que permita maximizar las ganancias y reducir tiempos muertos en los sistemas de producción y distribución [12]. Los cuales se deben incluir variables como producción de centros de refinación, volúmenes de productos importados, inventarios en los centros de mezclas y distribución de hidrocarburos, volúmenes transportados por poliductos u otros medios y secuencias de estos, con la finalidad de satisfacer la demanda con un bajo costo operativo.

El flujo de materiales en la cadena de suministro se mueve desde la extracción del petróleo crudo hasta el usuario final y la información es retroalimentada en la cadena de acuerdo con las necesidades del cliente final, regulaciones ambientales u otros organismos de control.

Dentro de la Investigación de Operaciones se introducen los MILP y los modelos MINLP que son utilizados para formular reglas que permitan decidir entre diferentes opciones mediante los programas de optimización [13]. Para el caso del Ecuador, la generación del modelo debe incluir los tres centros de refinación nacional (Refinería Esmeraldas, Refinería La Libertad y Refinería Shushufindi), los productos que se transportan por diferentes medios (gasolinas, diésel, jet, GLP y naftas bases de refinerías), productos importados y descargados en diferentes puertos (naftas y diésel), así como la mezcla (blending and pooling) en los centros de preparación de combustibles.

## 3. PLANEACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO DEL PETROLEO

Una de las actividades de mayor criticidad en el sector *dowstream* es la planificación de las cargas y descargas de materias primas y productos [14]. En la literatura los trabajos referentes al área de la cadena de suministro no establecen de forma concisa la cantidad de factores de incertidumbre o disrupciones en el gerenciamiento de la cadena y de los modelos MILP planteados, esto a su vez ocasiona que estos modelos no se aproximen de manera adecuada a la realidad y no puedan utilizarse para la toma de decisiones. La tendencia actual es trabajar en el desarrollo de modelos con una mayor robustez.

A pesar de estos inconvenientes existen empresas que han desarrollado modelos comerciales tales como RPMS®, PIMPS®, GRTMPS® entre otros, basados en programación lineal a través de información introducida en tablas tipo GAMS. Los cuales son analizados por Popescu [15], estos se centran en la planificación de la producción de plantas de refinación y petroquímicas para estructurar la adquisición de materia prima y ventas de productos finales, permite estimar los márgenes de refinación, pero tiene como deficiencia establecer los planes de transporte y distribución de hidrocarburos.

La Tabla 1 muestra un reporte que ha sido realizado sobre las principales investigaciones relacionadas a la temática en estudio, de los 32 trabajos descritos, 20 han sido publicados en la revista *Computer and Chemical Engineering* del Reino Unido especializada en artículos de automatización y optimización de los procesos de la industria química. El 90 % de los artículos tiene procedencia de Asia y destacan 14 trabajos precedentes de China. Todos los trabajos muestran el desarrollo de modelos MILP y MINLP con la finalidad de reducir costos de operación y facilitar la toma de decisiones al nivel operacional y táctico de las empresas hidrocarburíferas. No existe evidencia de trabajos que incluyan como medio de transporte buques entre terminales. El 40 % incluye el transporte de hidrocarburos a través de poliductos, uno de los trabajos incluye factores hidrodinámicos para calcular los tiempos en que el producto llega de un terminal a otro, incluyendo las pérdidas de presión a través de la línea.

No está por demás mencionar el trabajo del cálculo óptimo entre producción de petróleo y GLP en la Estación de producción Aguarico [46], estudio que al ser aplicado a nivel nacional, incrementaría los volúmenes de GLP y gasolina natural recuperados en los campos petroleros, lo que tendría un impacto en el *blender* de Gasolinas en los Terminales Beaterio y Refinería Shushufindi por el cambio de las especificaciones de calidad de la nafta base de Refinería Shushufindi la cual es enviada a la Terminal Beaterio para producción de gasolina Extra. Además, estudios que investigan el reemplazo de los combustibles fósiles por combustibles que permitan avanzar a una economía sustentable [47] cambiarían radicalmente la cadena de suministro de hidrocarburos en el Ecuador y el mundo.

La topología (relación entre Centro de Distribución y Fuentes) más básica, es la distribución a un Centro de Distribución desde una fuente, investigaciones como la de Relvas et al [48] en la cual se cumple el objetivo de suplir la demanda del Centro de distribución y evitar el sobre stock, minimizando el flujo en el poliducto, como conclusión muestra indicadores operacionales en los cuales existe una variación de 30 % en los inventarios.



Tabla 1: Principales características de artículos revisados sobre modelamiento de la cadena de suministro del petróleo

| Autor                   | Comportamiento estadístico |             | Nivel de planeación |         |             | Cadena de suministro del Petróleo |           |            | Tipo de modelo                      | Aplicación |            | Año de publicación |
|-------------------------|----------------------------|-------------|---------------------|---------|-------------|-----------------------------------|-----------|------------|-------------------------------------|------------|------------|--------------------|
|                         | Determinístico             | Estocástico | Estratégico         | Táctico | Operacional | Upstream                          | Midstream | Downstream |                                     | Real       | Simulación |                    |
| Hong et al. [16]        |                            | X           |                     |         | X           |                                   | X         |            | MILP                                | X          |            | 2019               |
| Bian et al. [17]        | X                          |             | X                   |         | X           |                                   | X         |            | MILP                                |            | X          | 2019               |
| Wang et al. [18]        |                            | X           |                     |         | X           |                                   | X         |            | MILP                                |            | X          | 2018               |
| Liao et al. [19]        | X                          |             |                     | X       | X           |                                   | X         |            | MILP                                | X          |            | 2018               |
| Chen et al. [20]        | X                          |             |                     | X       | X           |                                   | X         |            | MILP                                |            | X          | 2017               |
| Liao et al. [21]        | X                          |             |                     |         | X           |                                   | X         |            | MILP                                | X          |            | 2018               |
| Zhang et al. [22]       |                            | X           |                     |         | X           | X                                 |           |            | MILP                                |            | X          | 2017               |
| Moradinasab et al. [4]  |                            | X           | X                   |         |             |                                   | X         | X          | MILP                                | X          |            | 2018               |
| Zhou et al. [23]        |                            | X           | X                   |         |             | X                                 | X         |            | MINLP                               | X          |            | 2018               |
| Wang et al. [24]        |                            | X           | X                   |         |             |                                   | X         |            | MILP                                | X          |            | 2019               |
| Siddiqui et al. [25]    | X                          |             | X                   |         |             |                                   | X         | X          | MILP                                |            | X          | 2018               |
| Albahri et al. [26]     | X                          |             | X                   | X       |             |                                   |           | X          | MILP                                | X          |            | 2019               |
| Wang et al. [27]        |                            | X           | X                   |         |             | X                                 |           |            | MILP                                | X          |            | 2019               |
| Assis et al. [28]       |                            | X           |                     |         | X           | X                                 | X         |            | MILP / MINLP                        |            | X          | 2019               |
| Almedallah et al. [29]  |                            | X           |                     |         | X           | X                                 |           |            | MILP                                | X          |            | 2019               |
| Attia et al. [30]       |                            | X           |                     | X       |             | X                                 |           |            | MILP                                |            | X          | 2019               |
| Franzoi et al. [31]     |                            | X           |                     | X       |             |                                   |           | X          |                                     | X          |            | 2019               |
| Quinteros et al. [32]   |                            | X           |                     | X       |             |                                   | X         |            | MILP                                | X          |            | 2019               |
| Xin et al. [33]         |                            | X           |                     | X       |             |                                   | X         | X          | Multi Objetivo MILP                 | X          |            | 2019               |
| Bayu et al. [34]        |                            | X           |                     | X       | X           |                                   |           | X          | Algoritmo genético gráfico          |            | X          | 2019               |
| Qiu et al. [35]         |                            | X           |                     | X       |             |                                   | X         |            | MINLP                               | X          |            | 2019               |
| hang et al. [36]        |                            | X           |                     | X       | X           |                                   | X         |            | MILP                                |            | X          | 2018               |
| Siwi et al. [6]         |                            | X           |                     | X       |             |                                   | X         | X          | MINLP                               |            | X          | 2018               |
| Zaghian et al. [37]     |                            | X           |                     | X       |             |                                   |           | X          | MILP                                |            | X          | 2015               |
| Abdellaoui et al. [38]  |                            | X           |                     | X       |             |                                   | X         |            | MILP                                | X          |            | 2018               |
| Qu et al. [39]          |                            | X           |                     | X       |             |                                   |           | X          | MINLP                               |            | X          | 2018               |
| Kirschstein Thomas [40] |                            | X           | X                   |         |             |                                   | X         |            | Programación de Lote Económico MILP |            | X          | 2018               |
| Zhang et al. [41]       |                            | X           |                     | X       |             |                                   | X         |            | MILP                                |            | X          | 2017               |
| Rosa et al. [42]        |                            | X           |                     | X       |             | X                                 |           |            | MILP                                |            | X          | 2018               |
| Jalanko et al. [43]     |                            | X           | X                   |         |             |                                   |           | X          | MILP / MINLP                        |            | X          | 2018               |
| Akgul et al. [44]       |                            | X           | X                   |         |             |                                   | X         | X          | MILP                                |            | X          | 2011               |
| Bittante et al. [45]    | X                          |             | X                   | X       |             | X                                 | X         | X          | MILP                                |            | X          | 2018               |

La Tabla 1, resume los diferentes trabajos que tratan de la programación de la cadena de suministro de hidrocarburos y los clasifica de acuerdo con el tipo de datos que manejan. Se observa que 25 de los 32 artículos trabajan con un MILP, desarrollados para diferentes tipos de topologías, la más común en los estudios revisados es la distribución a un Centro de Distribución a partir de una Fuente. Algo común es que ninguno de ellos analiza el uso de baches como interfaces entre baches de productos que por cuestiones de estabilidad y calidad no deben transportarse en secuencia, además del análisis de reductores de fricción que pueden variar las tasas de flujo en los poliductos.

Ninguno de ellos aborda los tres macroprocesos de la cadena de suministro de hidrocarburos a la vez.

#### 4. TRABAJOS FUTUROS

La elaboración de un modelo de la cadena de suministro de petróleo, que permita la planificación de los procesos de producción y mezclas para elaboración de productos y el transporte de estos a través de una red de poliductos, cuya topología muestre la complejidad que existe en los casos reales como abastecimiento de un Centro de distribución o Terminal desde dos Fuentes o Refinerías diferentes. El cual sea modelado en tiempo continuo y considere los tiempos de los operativos de descarga/carga de importaciones /exportaciones, transferencias de productos entre tanques y tiempos de preparación de productos en general y cumplimiento de las normas de calidad de productos, así como la operación de las refinerías. Constituirá una herramienta de gran valor para las empresas del sector ya que a partir de una buena proyección de la demanda permitirá conocer la manera en la que Refinerías, Terminales y poliductos dentro de una red, deben trabajar para evitar sobre stocks o desabastecimiento de productos en cualquiera de sus elementos.

Un modelo de esta complejidad permitirá a los analistas de movimiento de productos o programadores dentro de la cadena de suministro destinar parte del tiempo que utilizaban en la planificación antes de esta herramienta, en otras actividades de valor dentro de la empresa.

Del estado del arte realizado respecto a los MILP, se puede deducir que es menester para el Ecuador iniciar investigaciones de modelos MILP en la cadena de suministro del petróleo, a su vez intentar cubrir la brecha de conocimiento que existe en modelos que no consideran a más de una disrupción. Entre las futuras investigaciones se incluye:

(i) Desarrollo de gerenciamiento de incertidumbres en un ambiente real.

(ii) Extensión del modelo a toda la cadena de suministro (Upstream, Downstream and Midstream).

(iii) Modelos que consideren más de un factor de incertidumbre en un solo estudio.

El modelo planteado para la realidad ecuatoriana pretende trabajar en los puntos (i) y (iii) mencionados. Limitándose desde la entrada de petróleo crudo en las unidades de destilación atmosférica hasta la llegada de producto a los terminales de combustibles de la empresa petrolera del Ecuador, incluyendo los siguientes centros de refinación:

(i) Refinería Esmeraldas, RE (110.000 bopd).

(ii) Refinería Shushufindi, RSH (20.000 bopd).

(iii) Refinería Libertad y Cautivo, RLL (45.000 bopd).

Se excluye el proyecto del Decreto Ejecutivo 861 de 2.018 de la construcción de un centro de refinación de 300.000 bopd en la Región Costa del Ecuador.

Se considera los terminales (T):

Se considera los siguientes modos de transporte (t):

(i) Poliducto (p).

(ii) Cabotaje (c)

(iii) Autotanque (at)

Se consideran los siguientes productos (p):

(i) Gasolinas (Súper, Extra, Ecopaís y Premezcla).

(ii) Nafta Base.

(iii) Nafta de bajo octano importada.

(iv) Nafta de alto octano (NAO)

(v) Diésel (Premium, Diésel 2, Diésel 1).

(vi) Jet A1 (J).

(vii) Gas licuado de petróleo (GLP).

Se definen los siguientes tipos de movimientos (m):

(i) Demanda (D).

(ii) Oferta (O).

(iii) Importación (i)

La Figura 2 esquematiza la información con la que se modelaría el MILP aplicado a la realidad nacional, obteniéndose como resultado información que permita la programación de la operación de las Refinerías, Terminales de Mezclas y volúmenes de importaciones, además de la programación de las mezclas para la preparación de gasolinas.

El modelo propuesto se centra exclusivamente en productos limpios, por lo que investigaciones adicionales podrían analizar la inclusión de productos como Fuel Oil de exportación y la importación de Cutter Stock.





Figura 2. Esquema del flujo de información del modelo propuesto

## 5. CONCLUSIONES

En la presente investigación se realizó la revisión de la literatura sobre los modelos MILP referentes a la cadena de suministro del sector downstream y midstream con uno o más factores de incertidumbre de lo que resumimos lo siguiente.

A. Los 32 modelos tratan de la cadena de distribución de hidrocarburos a través de poliductos, además, ninguno comprende un modelo global que incluya actividades del downstream y de preparación de combustibles antes del despacho.

B. El desarrollo de un modelo que permita la planificación de manera adecuada debe incluir los tiempos de transferencia de hidrocarburos de entre tanques y los tiempos de recirculación, muestreo y análisis de calidad en la obtención de productos de consumo final.

C. Modelar la complejidad de la cadena de suministro del petróleo en el contexto nacional, implica el levantamiento de información base de toda la estructura del país como se muestra en la Figura 2, y el desarrollo de un modelo que incluya la planificación de la operación de refinerías y terminales, la mezcla de productos y la transferencia entre los distintos centros, todo ello con la finalidad de satisfacer la demanda de hidrocarburos a nivel nacional.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Grupo de Investigación en Energías Renovables e Implementación Mecánica de Pymes (GIERIMP) de la Universidad Politécnica Salesiana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A. P. Barbosa-Póvoa y J. M. Pinto, «Process supply chains: Perspectives from academia and industry», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 132, p. 106606, ene. 2020.

[2] M. Govil y J.-M. Proth, «Supply Chain Design and Management Strategic and Tactical Perspectives», en *Supply Chain Design and Management*, M.

Govil y J.-M. Proth, Eds. San Diego: Academic Press, 2002, pp. 1-6.

[3] S. M. Saad, E. H. Elsaghier, y D. Ezaga, «Planning and optimising petroleum supply chain», *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 803-810, ene. 2018.

[4] N. Moradinasab, M. R. Amin-Naseri, T. J. Behbahani, y H. Jafarzadeh, «Competition and cooperation between supply chains in multi-objective petroleum green supply chain: A game theoretic approach», *Journal of Cleaner Production*, vol. 170, pp. 818-841, 2018.

[5] X. Zhang y H. M. A. U. Yousaf, «Green supply chain coordination considering government intervention, green investment, and customer green preferences in the petroleum industry», *Journal of Cleaner Production*, p. 118984, 2019.

[6] R. G. Siwi, F. Aljumah, J. Li, y X. Xiao, «Optimal Strategic Planning of Integrated Petroleum and Petrochemical Supply Chain», en *28th European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, vol. 43, A. Friedl, J. J. Klemeš, S. Radl, P. S. Varbanov, y T. Wallek, Eds. Elsevier, 2018, pp. 1201-1206.

[7] M. Farahani y 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.

[8] K. Tong, F. You, y G. Rong, «Robust design and operations of hydrocarbon biofuel supply chain integrating with existing petroleum refineries considering unit cost objective», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 68, pp. 128-139, 2014.

[9] H. An, W. E. Wilhelm, y S. W. Searcy, «Biofuel and petroleum-based fuel supply chain research: A literature review», *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, n.o 9, pp. 3763-3774, 2011.

[10] Sciences direct, «40,021 Search Results – Keywords (supply chain petroleum) - ScienceDirect». [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2230/search/advanced>

- ?qs=supply%20chain%20petroleum&show=50&sortBy=relevance. [Accedido: 10-nov-2019].
- [11] «Oilfield Glossary en español - Schlumberger Oilfield Glossary». [En línea]. Disponible en: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es.aspx>. [Accedido: 11-nov-2019].
- [12] J.-P. Favennec, «Petroleum Refining. Vol. 5 Refinery Operation and Management», en *Petroleum Refining*, 2001.
- [13] G. Towler y R. K. Sinnott, «12.11 Mixed Integer Programming», en *Chemical Engineering Design - Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*, 2da edición., Elsevier, 2013.
- [14] A. Fragkogios y G. K. D. Saharidis, «Modeling and Solution Approaches for Crude Oil Scheduling in a Refinery», en *Energy Management—Collective and Computational Intelligence with Theory and Applications*, C. Kahraman y G. Kayakutlu, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 251-275.
- [15] P. Popescu, «Software Implementation for Optimization of Production Planning within Refineries», *Econ. Insights – Trends Chall*, vol. VII(LXX), no 1, pp. 1-10, 2018.
- [16] B. Hong et al., «An integrated MILP method for gathering pipeline networks considering hydraulic characteristics», *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 152, pp. 320-335, 2019.
- [17] C. Bian, H. Li, F. Wallin, A. Avelin, L. Lin, y Z. Yu, «Finding the optimal location for public charging stations – a GIS-based MILP approach», *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 6582-6588, 2019.
- [18] B. Wang, Y. Liang, J. Zheng, R. Qiu, M. Yuan, y H. Zhang, «An MILP model for the reformation of natural gas pipeline networks with hydrogen injection», *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 43, n.o 33, pp. 16141-16153, 2018.
- [19] Q. Liao, Y. Liang, N. Xu, H. Zhang, J. Wang, y X. Zhou, «An MILP approach for detailed scheduling of multi-product pipeline in pressure control mode», *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 136, pp. 620-637, 2018.
- [20] H. Chen et al., «Optimizing detailed schedules of a multiproduct pipeline by a monolithic MILP formulation», *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 159, pp. 148-163, 2017.
- [21] Q. Liao, H. Zhang, N. Xu, Y. Liang, y J. Wang, «A MILP model based on flowrate database for detailed scheduling of a multi-product pipeline with multiple pump stations», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 117, pp. 63-81, 2018.
- [22] H. Zhang, Y. Liang, J. Ma, C. Qian, y X. Yan, «An MILP method for optimal offshore oilfield gathering system», *Ocean Engineering*, vol. 141, pp. 25-34, 2017.
- [23] X. Zhou et al., «A MILP model for the detailed scheduling of multiproduct pipelines with the hydraulic constraints rigorously considered», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 130, p. 106543, 2019.
- [24] B. Wang, Y. Liang, T. Zheng, M. Yuan, y H. Zhang, «Optimisation of a downstream oil supply chain with new pipeline route planning», *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 145, pp. 300-313, 2019.
- [25] A. Siddiqui, M. Verma, y V. Verter, «An integrated framework for inventory management and transportation of refined petroleum products: Pipeline or marine? », *Applied Mathematical Modelling*, vol. 55, pp. 224-247, 2018.
- [26] T. A. Albahri, C. S. Khor, M. Elsholkami, y A. Elkamel, «A mixed integer nonlinear programming approach for petroleum refinery topology optimisation», *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 143, pp. 24-35, 2019.
- [27] Y. Wang, S. F. Estefen, M. I. Lourenço, y C. Hong, «Optimal design and scheduling for offshore oil-field development», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 123, pp. 300-316, 2019.
- [28] L. S. Assis, E. Camponogara, B. C. Menezes, y I. E. Grossmann, «An MINLP formulation for integrating the operational management of crude oil supply», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 123, pp. 110-125, 2019.
- [29] M. K. Almedallah y S. D. C. Walsh, «A numerical method to optimize use of existing assets in offshore natural gas and oil field developments», *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 67, pp. 43-55, 2019.
- [30] A. M. Attia, A. M. Ghaithan, y S. O. Duffuaa, «A multi-objective optimization model for tactical planning of upstream oil & gas supply chains», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 128, pp. 216-227, 2019.
- [31] R. E. Franzoi, B. C. Menezes, J. D. Kelly, y J. A. W. Gut, «Design for Online Process and Blend Scheduling Optimization», en *Proceedings of the 9th International Conference on Foundations of Computer-Aided Process Design*, vol. 47, S. G. Muñoz, C. D. Laird, y M. J. Realff, Eds. Elsevier, 2019, pp. 187-192.
- [32] M. Quinteros, M. Guignard, A. Weintraub, M. Llambias, y C. Tapia, «Optimizing the pipeline planning system at the national oil company», *European Journal of Operational Research*, vol.

- 277, n.o 2, pp. 727-739, 2019.
- [33] S. Xin et al., «A two-stage strategy for the pump optimal scheduling of refined products pipelines», *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 152, pp. 1-19, 2019.
- [34] F. Bayu, D. Panda, M. A. Shaik, y M. Ramteke, «Scheduling of Gasoline Blending and Distribution using Graphical Genetic Algorithm», *Computers & Chemical Engineering*, p. 106636, 2019.
- [35] R. Qiu et al., «A multi-scenario and multi-objective scheduling optimization model for liquefied light hydrocarbon pipeline system», *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 141, pp. 566-579, 2019.
- [36] H. Zhang, Y. Liang, Q. Liao, J. Gao, X. Yan, y W. Zhang, «Mixed-time mixed-integer linear programming for optimal detailed scheduling of a crude oil port depot», *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 137, pp. 434-451, 2018.
- [37] A. Zaghian y H. Mostafaei, «An MILP model for scheduling the operation of a refined petroleum products distribution system», *Operational Research*, vol. 16, n.o 3, pp. 513-542, oct. 2016.
- [38] W. Abdellaoui, A. Berrichi, D. Bennacer, F. Maliki, y L. Ghomri, «Optimal Scheduling of Multiproduct Pipeline System Using MILP Continuous Approach», en *Computational Intelligence and Its Applications*, Cham, 2018, pp. 411-420.
- [39] H. Qu, J. Xu, S. Wang, y Q. Xu, «A novel MINLP model of front-end crude scheduling for refinery with consideration of inherent upset minimization», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 117, pp. 42-62, 2018.
- [40] T. Kirschstein, «Planning of multi-product pipelines by economic lot scheduling models», *European Journal of Operational Research*, vol. 264, n.o 1, pp. 327-339, 2018.
- [41] H.-R. Zhang, Y.-T. Liang, Q. Liao, J. Ma, y X.-H. Yan, «An MILP approach for detailed scheduling of oil depots along a multi-product pipeline», *Petroleum Science*, vol. 14, n.o 2, pp. 434-458, may 2017.
- [42] V. R. Rosa, E. Camponogara, y V. J. M. F. Filho, «Design optimization of oilfield subsea infrastructures with manifold placement and pipeline layout», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 108, pp. 163-178, 2018.
- [43] M. Jalanko y V. Mahalec, «Supply-demand pinch based methodology for multi-period planning under uncertainty in components qualities with application to gasoline blend planning», *Computers & Chemical Engineering*, vol. 119, pp. 425-438, 2018.
- [44] O. Akgul, N. Shah, y L. G. Papageorgiou, «An MILP Model for the Strategic Design of the UK Bioethanol Supply Chain», en *21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, vol. 29, E. N. Pistikopoulos, M. C. Georgiadis, y A. C. Kokossis, Eds. Elsevier, 2011, pp. 1799-1803.
- [45] A. Bittante, F. Pettersson, y H. Saxén, «Optimization of a small-scale LNG supply chain», *Energy*, vol. 148, pp. 79-89, 2018.
- [46] P. Gutiérrez et al, «Análisis Nodal para determinar el punto óptimo de operación entre producción de petróleo y producción de GLP, maximizando el recurso energético de la Estación de producción de Petróleo, Aguatico», *Revista Técnica "energía"*, Edición No. 16, Vol. 16 Núm. 2 (2020).
- [47] S. Golla et al, «Primer Estudio para una Transición Energética Completa y Sostenible para Ecuador "El Fin del Petróleo"», *Revista Técnica "energía"*. No. 14, Pp. 246-255.
- [48] Susana Relvas and Suelen N. et al, «Integrated scheduling and inventory management of an oil products distribution system», *Revista Omega*. No. 6, Pp. 955 - 968.

---

**Jonnathan Morales.** - Nació en Quito, Ecuador en 1989. Se tituló de Ingeniero Químico de la Universidad Central del Ecuador en 2014. Actualmente cursa la Maestría en Producción y Operaciones Industriales en la Universidad Politécnica Salesiana. Su interés se centra en campos de



Programación lineal y optimización de procesos industriales.

**William Quitiaquez.** - Nació en Quito en 1988. Recibió su título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Politécnica Salesiana en 2011; de Magister en Gestión de Energías de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en 2015; de Magister en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, en 2019. Actualmente, obtuvo la distinción de Candidato a Doctor en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, su campo de investigación se encuentra relacionado a Fuentes Renovables de Energía, Termodinámica, Transferencia de Calor







**Isaac Simbaña.** - Nació en Quito, Ecuador en 1990. Recibió su título de Ingeniero Mecánico de la Universidad Politécnica Salesiana en 2018. Sus campos de investigación están relacionados a Procesos de Manufactura, así como el estudio de Transferencia de Calor y Fuentes Renovables de Energía.