



**Desarrollo de un Modelo Analítico para definir el número óptimo de contenedores móviles en el**

**Gasoducto Virtual del Distrito Amazónico**

Mosquera Anturi, Leonardo

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría en Gestión de Sistemas de Información e Inteligencia de Negocios

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magister en Gestión de Sistemas de Información  
e Inteligencia de Negocios

MSc. Jaramillo Vinuesa, Byron Orlando

28 de Agosto del 2020





## Document Information

---

<b>Analyzed document</b>	TESIS_LMOSQUERA.docx (D82922815)
<b>Submitted</b>	10/27/2020 7:38:00 PM
<b>Submitted by</b>	Gualotuña Alvarez Tatiana Marisol
<b>Submitter email</b>	tmgualotunia@espe.edu.ec
<b>Similarity</b>	1%
<b>Analysis address</b>	tmgualotunia.espe@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

---

<b>W</b>	URL: <a href="https://www.petroamazonas.gob.ec/?p=4174Piatetsky">https://www.petroamazonas.gob.ec/?p=4174Piatetsky</a> , Fetched: 10/27/2020 7:48:00 PM	 <b>3</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/56876428-A-erasmo-saenz-carrete-por-su-apoyo-incondicional.html">https://docplayer.es/56876428-A-erasmo-saenz-carrete-por-su-apoyo-incondicional.html</a> Fetched: 4/6/2020 9:06:55 AM	 <b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47923/3560903501141UTFSM.pdf?seq...">https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/47923/3560903501141UTFSM.pdf?seq ...</a> Fetched: 7/5/2020 4:19:07 AM	 <b>1</b>
<b>SA</b>	<b>Tesis RUFINO CCALLO Z..docx</b> Document Tesis RUFINO CCALLO Z..docx (D42641732)	 <b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://revistas.uigv.edu.pe/index.php/perspectiva/article/view/568/493Gornila">http://revistas.uigv.edu.pe/index.php/perspectiva/article/view/568/493Gornila</a> , Fetched: 10/27/2020 7:47:00 PM	 <b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.petroamazonas.gob.ec/?page_id=80Petroamazonas">https://www.petroamazonas.gob.ec/?page_id=80Petroamazonas</a> Fetched: 10/27/2020 7:48:00 PM	 <b>1</b>

.....

Msc. Jaramillo Vinuesa, Byron Orlando

Director

**C.C.: 1714555255**



## VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y

### TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

### CENTRO DE POSGRADOS

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Desarrollo de un Modelo Analítico para definir el número óptimo de contenedores móviles en el Gasoducto Virtual del Distrito Amazónico**” fue realizado por el señor **Mosquera Anturi, Leonardo** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 28 de Agosto del 2020

.....

Msc. Jaramillo Vinuesa, Byron Orlando

Director

**C.C.: 1714555255**



## VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y

### TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

### CENTRO DE POSGRADOS

### RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Mosquera Anturi, Leonardo**, con cédula de ciudadanía nº 1751234863, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Desarrollo de un Modelo Analítico para definir el número óptimo de contenedores móviles en el Gasoducto Virtual del Distrito Amazónico** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 28 de Agosto del 2020**

.....

Mosquera Anturi, Leonardo

**C.C.: 1751234863**



## VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y

### TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

### CENTRO DE POSGRADOS

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Mosquera Anturi, Leonardo**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Desarrollo de un Modelo Analítico para definir el número óptimo de contenedores móviles en el Gasoducto Virtual del Distrito Amazónico** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 28 de Agosto del 2020

.....

**Leonardo Mosquera Anturi**

**C.C.: 1751234863**

## Dedicatoria

Dedico este trabajo a todas las personas que siempre creyeron y confiaron en mí.

En especial a mis hijos Diego y Angélica, por quienes tenemos junto con mi hermosa esposa, la alegre convicción y el firme compromiso de mejorar todos los días.

A mis padres, que me dieron la vida y me enseñaron los principios que como persona me han ayudado en mi formación profesional y personal.

...Y a los soñadores:

¡porque siempre es posible aportar al menos un granito de arena, buscando construir un mundo mejor!

## Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir y permitirme afrontar grandes retos con su ayuda.

Mis más sinceros agradecimientos a mis guías, quienes me orientaron durante el desarrollo del proyecto, e hicieron posible su culminación: Byron por su profesionalismo, paciencia y asertividad en la dirección del trabajo. El Profe Edwin, por su habilidad, conocimiento y empatía para compartir el mismo. A la Doctora Tatiana por su comprensión y exigencia oportuna en el transcurso de la maestría.

Agradezco las amistades generadas en la ESPE: MaryLo, Frank, Res, Marco, Hugo, Diego, Naty, Kary, Jhonatan, Meryzu, MauMery, Escobar, y todos los que ahora se me escapan, pero formaron parte en revivir nuevamente esa adrenalina durante deberes y pruebas.

A mis amigos de OGE SEN: Daniel, Guti, Falcon, Javi, Lorena, Luis, Enrique, Héctor, Joselo, Juan Carlos, Sue, Edwin, Jerry, Frank, Alejo, Carlos con los que he sentido el orgullo de trabajar bajo convicción y por propósito de beneficio común a la sociedad. Desarrollando habilidades a lo largo de estos años, con ideales compartidos por un ejemplo de vida personificado, Berend vdb. Aunque algunos de ellos han emprendido nuevos rumbos, estoy seguro que siempre tendrán parte de ese ADN OGE

Gracias al equipo financiero Gloria y Christian quienes confiaron en la realización del estudio y los resultados esperados

A Hernán quien despertó una nueva visión en esta nueva área, con el entusiasmo y transparencia que le caracteriza.

## Índice de Contenido

Resumen .....	15
Abstract.....	16
Problema de Investigación.....	17
Antecedentes.....	17
Contexto del Problema.....	19
Planteamiento del Problema.....	20
Justificación y Alcance .....	21
Hipótesis .....	23
Categorización de las Variables .....	24
Metodologías de Investigación.....	24
Objetivos.....	25
Objetivo General .....	25
Objetivos Específicos.....	26
Preguntas de Investigación.....	27
Estado del Arte y Marco Teórico .....	28
Estado del Arte .....	28
Criterios de Inclusión y Exclusión .....	28
Estructura del Grupo de Control.....	30
Construcción de la Cadena de Búsqueda.....	30
Selección de Estudios.....	32
Análisis de los Resultados y Características del Estado del Arte.....	33



Marco Teórico .....	50
Variable Independiente.....	50
Variable Dependiente .....	54
Marco Conceptual .....	56
Metodología de Investigación AdHoc.....	61
Fase 1 Estado Actual.....	62
Fase 2 Viabilidad.....	62
Expectativa .....	63
Consideraciones .....	63
Fase 3 Construcción.....	64
Definición de la Tarea.....	64
Recolección y Análisis de Datos de entrada,.....	65
Formato de los Datos .....	65
Selección y Configuración del Modelo.....	65
Análisis Técnico de Resultados.....	66
Fase 4 Validación .....	66
Desarrollo del Modelo .....	68
Definición de la Tarea .....	68
Arquitectura analítica para solucionar el problema .....	69
Recolección y Análisis de Datos.....	70
Diccionario de Datos .....	70
Consolidado de las Fuentes de Datos para Uso en el Modelamiento .....	78
Análisis Exploratorio de los Datos .....	80
Formato de los Datos .....	83

Extracción o Selección de las Variables de interés EPr .....	83
Transformación de Unidades en Estaciones Productoras .....	83
Extracción de Variables de interés en ECo .....	85
Visualización de las Estaciones EPr y ECo Candidatas.....	86
Depuración de Flares y plantas (EPr y ECo).....	87
Selección y Configuración del Modelo .....	90
Selección de la Técnica de Minería de Datos para el Modelo .....	90
Selección del Algoritmo de Programación Lineal para el Modelo .....	100
Análisis Técnico de Resultados .....	117
Reporte a los Tomadores de Decisión .....	122
Conclusiones y Recomendaciones .....	125
Conclusiones.....	125
Recomendaciones .....	126
Bibliografía .....	128

## Índice de Tablas

Tabla 1 Grupo de Control.....	30
Tabla 2 Agrupación por contexto de las variables .....	31
Tabla 3 Iteraciones de la cadena de búsqueda.....	32
Tabla 4 Estudios Seleccionados.....	33
Tabla 5 Ejemplo de Designación de Variables del Modelo .....	47
Tabla 6 Ejemplo de Indicadores y metodología considerados en plantas de generación .....	48
Tabla 7 Homologación entre Metodologías de Investigación y Desarrollo .....	67
Tabla 8 Criterio de Aceptación en Calidad del Gas para el Gasoducto Virtual .....	73
Tabla 9 Criterio de Captación de Gas para el Gasoducto Virtual para cubrir la demanda .....	73
Tabla 10 Análisis de Oferta y Demanda de gas en estaciones (EPR y ECO) .....	89
Tabla 11 Propiedades de los Clusters en la Data de entrada.....	94
Tabla 12 Estaciones Productoras Titulares .....	97
Tabla 13 Tiempo de Viaje Ida-Vuelta del contenedor Móvil .....	102
Tabla 14 Extracto de Resultados obtenidos en Solución Óptima Modelo I.....	105
Tabla 15 Extracto de Resultados Obtenidos en Solución Óptima 2.....	109
Tabla 16 Resultados obtenidos en Solución Óptima Modelo III .....	114
Tabla 17 Frecuencia de Rutas en función del número de viajes.....	115
Tabla 18 Número de contenedores por Estación Consumidora.....	116
Tabla 19 Sumario 0 de Datos Técnicos del Modelo .....	117
Tabla 20 Sumario 1 de Datos Técnicos del Modelo .....	117
Tabla 21 Sumario 2 de Datos Técnicos del Modelo .....	118
Tabla 22 Sumario 3 de Datos Técnicos del Modelo .....	119
Tabla 23 Estimación Referencial de Beneficios y Costos con la Solución Óptima III .....	122

## Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de Bloques Petroleros en el Distrito Amazónico (D.A.).....	19
Figura 2 Diagrama de Pescado Ishikawa.....	20
Figura 3 Diagrama Bloques producción y relación con protocolo de Kyoto.....	22
Figura 4 Categorización de Variables.....	24
Figura 5 Coevolución entre Política y Avance Tecnológico.....	37
Figura 6 Diagrama de bloques Generación eléctrica a Gas Relleno Sanitario .....	38
Figura 7 Interface de modulo GIS .....	40
Figura 8 Ejemplo Extracto de Especificaciones Técnicas Turbina a Gas .....	41
Figura 9 Ejemplo Cromatografía Básica para Análisis de Combustibles .....	42
Figura 10 Topología de Red de distribución de Gas y Electricidad .....	43
Figura 11 Red de Distribución Integrada de Energía con 54 líneas eléctricas y 19 de Gas.....	44
Figura 12 Esquema general del proyecto de combustión paja biomasa .....	45
Figura 13 Ejemplo de Cálculo Reducción de Emisiones ER, según ACM006.....	45
Figura 14 Reducción de Emisiones de CO2 pertenecientes al proyecto.....	46
Figura 15 Enfoque de Proceso Cuantitativo.....	61
Figura 16 Diagrama de bloques Metodología de Investigación General del proyecto.....	61
Figura 17 Marco de procesos para empresas basado en las fases de CRISP-DM .....	64
Figura 18 Etapas para desarrollo del Modelo Analítico .....	68
Figura 19 Encuesta KDnuggets uso de herramientas de Machine Learning.....	69
Figura 20 Tablero de control de las Fuentes de datos.....	70
Figura 21 Extracto RFI Estaciones Consumidoras .....	71
Figura 22 Extracto de Tiempo promedio de Descarga del Contenedor.....	72

Figura 23	Extracto de listado de estaciones productoras.....	74
Figura 24	Extracto de Tiempo de Carga del Contenedor.....	75
Figura 25	Muestra de cromatografías.pdf.....	76
Figura 26	Extracto de FACT_PRODUCION_FLUIDOS_REAL.....	77
Figura 27	Modelo Relacional.....	79
Figura 28	Extracto del Resumen Estadístico Estaciones Consumidoras E.Co.....	80
Figura 29	Extracto del Resumen Estadístico Estaciones Consumidoras E.Pr.....	81
Figura 30	Visualización de Coordenadas EPR y ECO Inicial.....	82
Figura 31	Código de Selección de Variables en EPr.....	83
Figura 32	Código Transformación de unidades E.Pr.....	84
Figura 33	Resultado de transformar tiempos de viaje y uso de Coordenadas Geográficas.....	84
Figura 34	Código de Extracción de Variables ECo.....	85
Figura 35	Resultado de Extracción de Variables ECo.....	85
Figura 36	Código de Visualización de Estaciones EPr y ECo.....	86
Figura 37	Ubicación de Estaciones Productoras y Consumidoras con Flares Candidatos.....	86
Figura 38	Código de Depuración de Flares E.Pr.....	87
Figura 39	Código para representación gráfica de EPR y ECO Depuradas.....	87
Figura 40	Ubicación de Estaciones Productoras y Consumidoras Depuradas.....	88
Figura 41	Resumen de Oferta y Demanda de Gas en Estaciones (EPR y ECO).....	89
Figura 42	Ejemplo de Segmentación con Algoritmo K-Medias.....	91
Figura 43	Código de Selección de Variables para K Medias.....	91
Figura 44	Extracto de df_kmedia.....	92
Figura 45	Código de Escalamiento de las variables.....	92
Figura 46	Extracto de df_kmedias_scale.....	92

Figura 47 Código para determinación del número apropiado de Clusters.....	93
Figura 48 Gráfico de Codo.....	93
Figura 49 Código de visualización de Clusters generados por el algoritmo k-medias.....	95
Figura 50 Visualización de los clúster y elementos.....	95
Figura 51 Código para Agregar el Identificador de cada Cluster a la Base de Flares(EPR) .....	96
Figura 52 Extracto de Resultado por Agregación del identificador de clúster en Flares .....	96
Figura 53 Código para determinación y separación de los Flares(EPR).....	97
Figura 54 Código empleado para visualizar EPr Titulares, EPr Suplentes, ECo.....	98
Figura 55 Ubicación EPR Suplentes-Titulares y Consumidoras.....	99
Figura 56 Esquema de Modelo de Transporte.....	100
Figura 57 Modelo Matemático para Problema Transporte I .....	103
Figura 58 Código Programación Lineal Modelo I Variables de Decisión.....	104
Figura 59 Código Programación Lineal Modelo I Condiciones.....	104
Figura 60 Modelo Matemático para Problema Transporte II .....	108
Figura 61 Código Programación Lineal Modelo PL 2.....	108
Figura 62 Modelo Matemático para Problema Transporte III .....	113
Figura 63 Código Programación Lineal Modelo PL 3.....	113
Figura 64 Código de Representación de la Red de Distribución .....	120
Figura 65 Red de Distribución del Gasoducto Virtual .....	121
Figura 66 Estimación del Flujo Económico Anual .....	123
Figura 67 Resumen de Beneficios obtenidos con el Gasoducto Virtual .....	124

## Resumen

La Industria Hidrocarburífera se centra en los procesos de Extracción, Producción y Comercialización del crudo. Por motivos de seguridad, luego de la extracción se separa el gas asociado y usualmente se lo quema; imposibilitando su reutilización, tanto para generación eléctrica, como para producción de derivados (Gasolinas blancas y gas residual). Sin embargo, esta práctica, evidencia un punto de ineficiencia del proceso y contaminación ambiental de interés mundial.

El presente trabajo, tuvo como finalidad determinar una red de distribución de gas entre múltiples estaciones usando contenedores móviles, para recuperar el gas antes de que sea quemado en los mecheros de las estaciones y en su lugar entregarlo en las plantas adecuadas para su reutilización.

Para esto se aplicó la inteligencia artificial a la industria hidrocarburifera del Distrito Amazónico siguiendo una metodología propia de investigación, que combino el enfoque de proceso cuantitativo y la metodología CRISP-DM, con las siguientes fases: 1. Identificación de la situación actual, 2.

Viabilidad de la propuesta, 3. Diseño y Construcción del modelo, 4. Validación de la solución.

El resultado final, fue un modelo analítico con un número óptimo de 102 contenedores para mejorar el aprovechamiento del gas, en la red de estaciones denominada Gasoducto Virtual. Con beneficios: Técnicamente más eficientes con un potencial de incremento de generación energética de 500 Mil MWH anuales, y un mínimo de creación de 300 plazas de trabajo; Económicamente más rentables por desplazamiento de combustible generando \$122 Millones de dólares ante un ROI del 173%; y Ambientalmente deseables por mitigación del impacto ambiental en 300 Mil Toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalentes a retirar alrededor de 49 Mil Vehículos de circulación.

Palabras clave:

- **MODELO ANALÍTICO**
- **CONTENEDORES MÓVILES**
- **GASODUCTO VIRTUAL**
- **INDUSTRIA HIDROCARBURIFERA**
- **DISTRITO AMAZÓNICO**

## Abstract

The Hydrocarbon Industry focuses on the Extraction, Production and Commercialization of crude oil. For security reasons, after extraction, the associated gas is separated and usually burned; making its reuse impossible, both for electricity generation and for the production of derivatives (white gasoline and residual gas). However, this practice shows a point of inefficiency in the process and environmental contamination of global interest.

The purpose of this work was to determine a gas distribution network between multiple stations using mobile containers, to recover the gas before it is burned in the lighters of the stations and instead deliver it to the appropriate plants for reuse. For this, artificial intelligence was applied to the hydrocarbon industry of the Amazon District following its own research methodology, which combined the quantitative process approach and the CRISP-DM methodology, with the following phases: 1. Identification of the current situation, 2. Viability of the proposal, 3. Design and Construction of the model, 4. Validation of the solution.

The final result was an analytical model with an optimal number of 102 containers to improve the use of gas, in the network of stations called Gasoducto Virtual. With benefits: Technically more efficient with a potential to increase energy generation of 500 thousand MWH per year, and a minimum of 300 jobs creation; Economically more profitable for fuel displacement generating \$ 122 Million dollars with an ROI of 173%; and Environmentally desirable due to mitigation of the environmental impact in 300 thousand tons of CO<sub>2</sub>, equivalent to removing around 49 thousand vehicles from circulation.

Keywords:

- **ANALYTICAL MODEL**
- **MOBILE CONTAINERS**
- **VIRTUAL GAS PIPELINE**
- **HYDROCARBON INDUSTRY**
- **AMAZON DISTRICT**



## Problema de Investigación

### Antecedentes

Existe una tendencia mundial por resolver el problema de contaminación ocasionada por emanaciones de CO<sub>2</sub> al ambiente, como se detalla en la revisión de Hsuan:

“El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)<sup>1</sup> es uno de los instrumentos de política del Protocolo de Kioto (PK) para estabilizar el impacto en el calentamiento global.

Los propósitos específicos son: reducciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), para la integridad ambiental, sostenibilidad para los países receptores y mitigación rentable para los inversionistas.” (Hsuan & Napoles, 2014).

La mayor rentabilidad se obtiene captando el gas hacia los flare<sup>2</sup> de las estaciones petroleras, y reutilizándolo , en las Plantas de Generación Eléctrica (PGE)<sup>3</sup> y plantas de refinación de gas.

A continuación, se citan cronológicamente antecedentes relevantes relacionados dentro del desarrollo energético de la Industria Hidrocarburífera en Ecuador:

Existen proyectos como Optimización de Generación Eléctrica (OGE), que desde su creación en el año 2008, revoluciona el esquema tradicional de generación eléctrica en Petroamazonas EP, como expone Neira : “En el período 2009-2014 el proyecto OGE&EE logró el ahorro neto de USD 446 millones por desplazamiento de diésel y una reducción de emisiones al ambiente de 612.486 toneladas de CO<sub>2</sub>” (PETROAMAZONAS\_EP, 2015).

---

<sup>1</sup> MDL/CDM: Clean Development Mechanism (por sus siglas en Inglés), o MDL Mecanismo de Desarrollo Limpio, a partir del protocolo de Kyoto, permite establecer políticas de desarrollo sostenible con el medio ambiente

<sup>2</sup> FLARE: Sinónimos de Mechero o Teas, constituyen las áreas del proceso de extracción de crudo donde se quemara de forma controlada el gas excedente para evitar riesgo de una atmósfera explosiva

<sup>3</sup> PGE: (Siglas de Plantas de Generación Eléctrica): Son componentes macro de la industria cuyo objetivo es convertir la energía química de un Combustible (Gas, Crudo, o Diésel) en energía eléctrica, para alimentar los diferentes equipos que permiten el procesamiento de crudo

En 2017 el Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero SEIP, pudo recibir energía eléctrica adicional del Sistema Nacional Interconectado SNI, "El enlace de estos sistemas eléctricos tiene una capacidad inicial de hasta 40 MW de potencia y permite la sustitución de hasta 2 millones de galones de diésel por mes" (CELEC, 2017), indicando en el mismo artículo que: "representará un ahorro bruto de más de USD 230 millones por año" (CELEC, 2017)

En el 2017 el presidente Moreno, mediante decreto ejecutivo No.135 NORMAS DE OPTIMIZACIÓN Y AUSTERIDAD DEL GASTO PUBLICO, promovió la creación de oportunidades de ahorro en el sector público, considerando: "Que, el artículo 83 de la Constitución de la República, preceptúa conservar el patrimonio cultural y natural del país y cuidar y mantener los bienes públicos" (Moreno, 2017, pág. 1). Adicionalmente en otro apartado se indica: "Que, el artículo 285 de la Constitución de la República establece la generación de incentivos para la inversión en los diferentes sectores de la economía y para la producción de bienes y servicios, socialmente deseables y ambientalmente aceptables" (Moreno, 2017, pág. 1)

En base a los precedentes expuestos, la gestión de los sistemas de información e inteligencia de negocios permite apalancar la toma de decisiones respecto a la optimización de procesos en la industria hidrocarburífera, aplicando la minería de datos sobre los sistemas SCADA<sup>4</sup> y repositorios de datos en diferentes áreas del negocio, en casos como: mantenimiento predictivo de moto generadores, optimización de puntos de operación de las máquinas. Y concretamente en el presente estudio, donde se requiere un modelo analítico para determinar una red de redistribución del gas, útil para las PGE y procesos de refinación.

---

<sup>4</sup> SCADA: (Supervisory Control and Data Acquisition) Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos, permite mediante un conjunto de elementos de campo adquirir datos, facilitando la interfaz de un operador con el proceso a monitorear y controlar. Si dispone servidores de datos puede guardar los datos adquiridos en el tiempo.

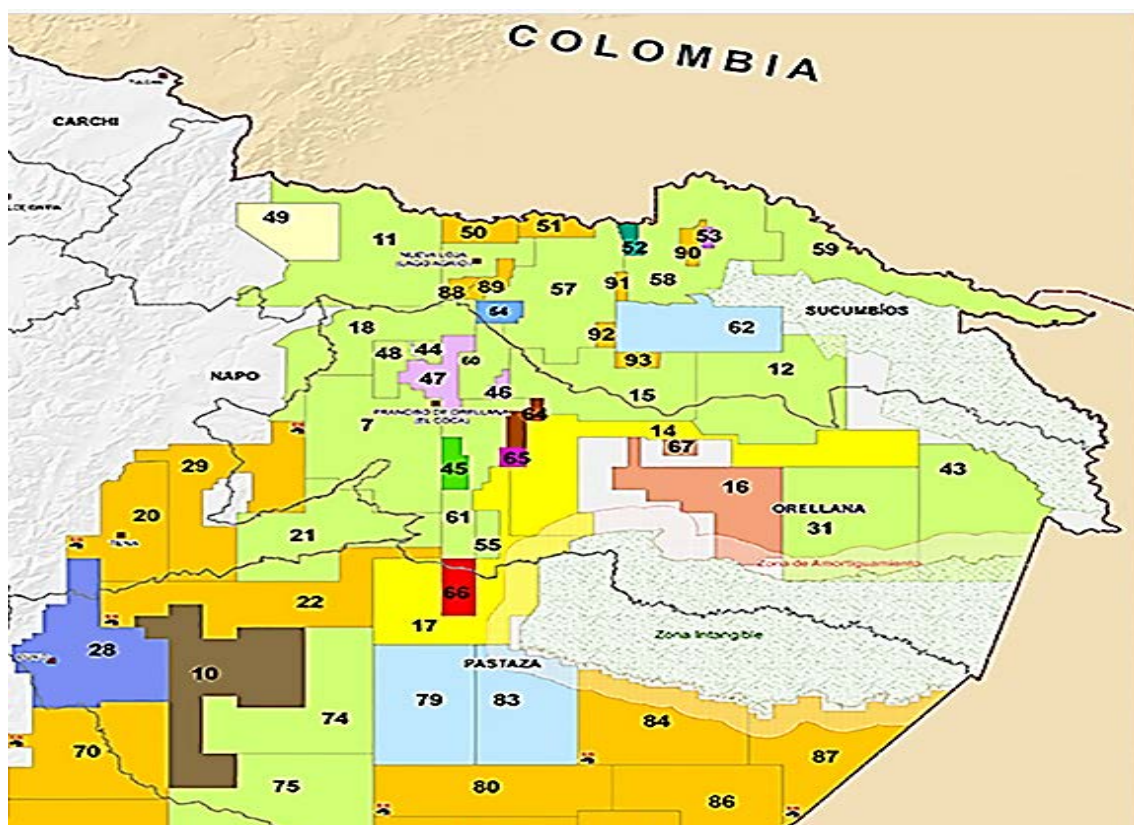
## Contexto del Problema

Desperdiciar el gas mediante su quema en los flare, aunque sea por motivos de seguridad genera una emanación de gases de efecto invernadero (GEI), los cuales contribuyen al calentamiento global ocasionando un alto impacto al ambiente a nivel mundial. Esta preocupación es tratada internacionalmente por el protocolo de Kyoto (Hsuan & Napoles, 2014) y resulta de interés dentro de la Política Nacional.

En la industria Hidrocarburífera ecuatoriana en el Distrito Amazónico existen puntos de quema de gas en cada bloque, los bloques se encuentran numerados y se ubican de una forma dispersa como se puede ver en la Figura 1, (se destaca los bloques de interés en color verde)

**Figura 1**

*Ubicación de Bloques Petroleros en el Distrito Amazónico (D.A.)*



Fuente: Tomado de (MINISTERIO DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR, 2018)

**Planteamiento del Problema**

El gas asociado al proceso de extracción de crudo, presenta un comportamiento variable. En ocasiones puede ser necesario una etapa de acondicionamiento y manejo previo a su utilización; pero por la dificultad operativa adicional, económicamente puede ser más conveniente quemar dicho gas en lugar de tratarlo, desperdiciando así este recurso natural (con ayuda del Banco Mundial, se midieron cerca de 39 Millones de Pies cúbicos diarios de gas)

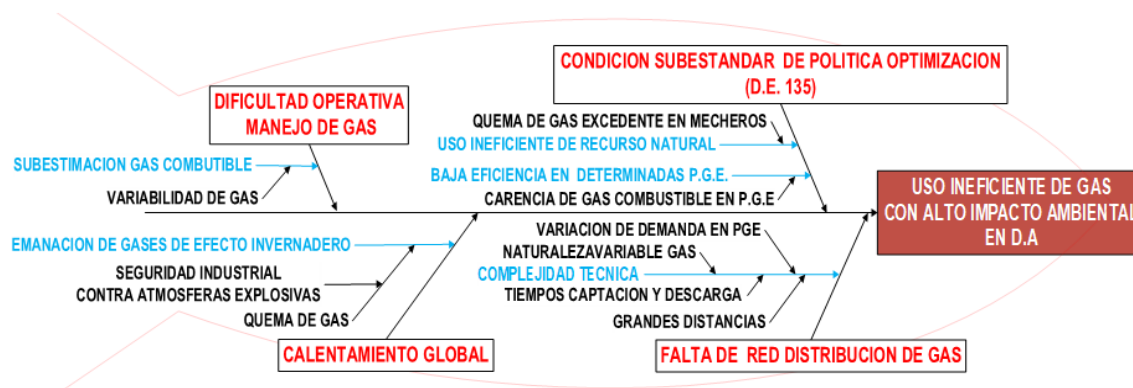
La quema del gas para evitar atmosferas explosivas origina los GEI, contribuyendo al calentamiento global, y generación de alto impacto ambiental. Mientras continúe esta quema de gas en ciertos bloques y falta del mismo en otros, se padecerá una condición subestándar de la Política Nacional de Optimización (D.E. 135) por uso ineficiente de recursos del estado.

Finalmente, para disminuir la desviación de estos recursos, reutilizando el gas en lugar de quemarlo, se debe analizar datos de: variación de la demanda de gas de los bloques con PGE, naturaleza variable del gas, tiempos de carga y descarga, y las grandes distancias. Pero por la complejidad técnica generada, actualmente no se cuenta con un modelo de red para dicho fin.

La Figura 2 sintetiza las causas y efectos de la problemática descritos:

**Figura 2**

*Diagrama de Pescado Ishikawa*



## **Justificación y Alcance**

Para hacer un uso más eficiente y responsable con el medio ambiente, existen tratados internacionales ya establecidos, los cuales se preocupan de salvaguardar la vida en el planeta.

“Las naciones unidas en un afán por controlar las emisiones contaminantes, establecen un acuerdo internacional de reducción de emisiones contaminantes el 11 Diciembre de 1997 llamado protocolo de Kioto, durante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)” (Navarro, 2008). Como resultado se cita la descripción de uno de los mecanismos con los cual se lleva a la práctica el acuerdo: “El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un procedimiento en el cual los países desarrollados pueden financiar proyectos de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dentro de países en desarrollo, y recibir a cambio Certificados de Reducción de Emisiones aplicables a cumplir con su propio compromiso de reducción” (INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018)

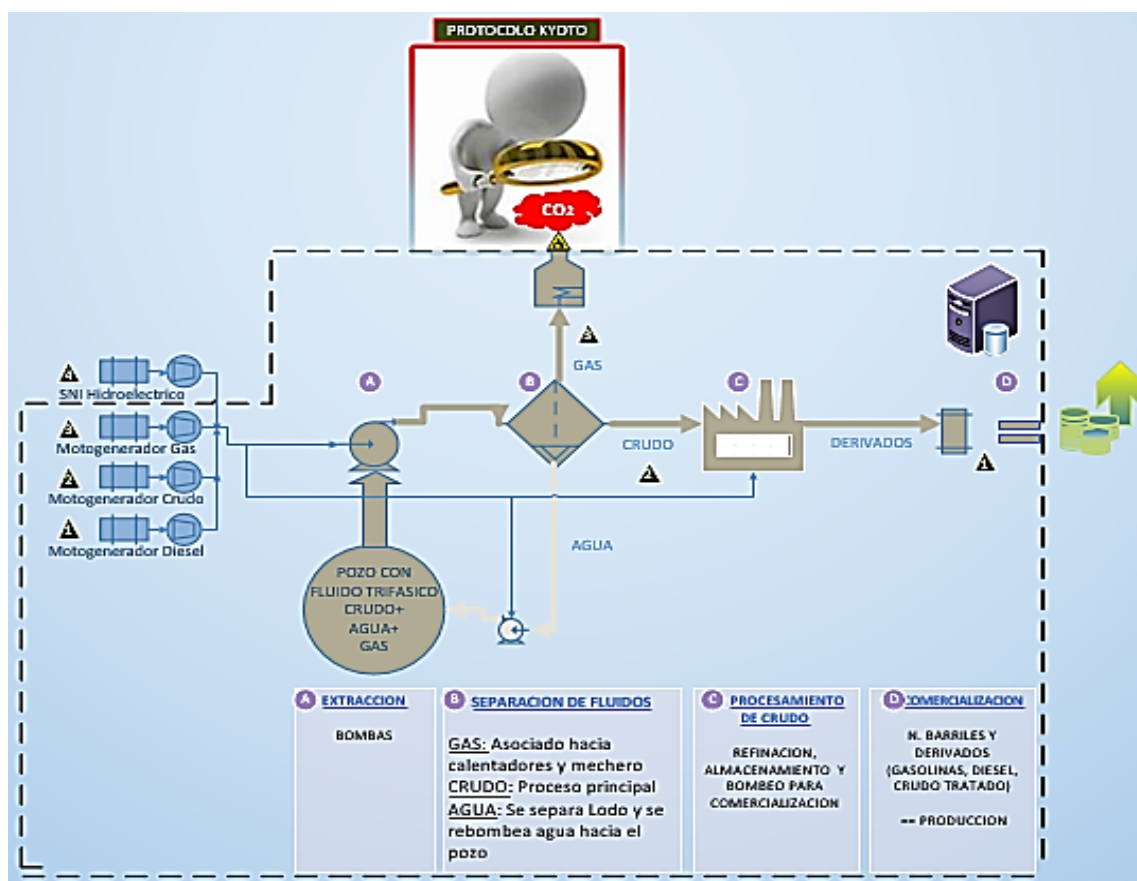
De acuerdo a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL): “Ecuador se considera un Estado parte desde 23 Febrero de 1993” (CEPAL-ONU, 2020) en ejecución de las políticas de Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Con el propósito de: “lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático” (CEPAL-ONU, 2020). Esto permite que Ecuador pueda recibir financiamiento de los países desarrollados, a fin de reducir las emisiones contaminantes.

Considerando que la actividad principal de la industria petrolera es la producción de crudo, a través de la extracción del mismo desde los pozos, para su posterior tratamiento y transporte. Siendo necesario suministrar energía eléctrica a los componentes electromecánicos para ejecutar las actividades, tales como: bombas, motores y calentadores. En este proceso el

gas no utilizado, es quemado. Si en su lugar se puede utilizar dicho gas para generar electricidad, entonces se obtiene un doble beneficio: Disminución de contaminantes e incremento de eficiencia eléctrica por la reutilización de dicho gas. El vínculo entre el tratado internacional de Kyoto y la industria Hidrocarburífera, es representado en la Figura 3

**Figura 3**

*Diagrama Bloques producción y relación con protocolo de Kyoto*



*Nota.* El protocolo de Kyoto con vigencia hasta 2020 es sustituido por el acuerdo de Paris, conservando el objetivo en reducción de emisiones de gas contaminantes al ambiente y un incremento máximo de 2°C en el clima mundial.

En un trabajo de investigación previo, se diseñó un contenedor móvil para transportar el gas asociado entre dos estaciones (Tipantaxi, 2016).

El presente trabajo, tiene como finalidad determinar el mejor esquema de distribución de gas entre locaciones, recuperando el gas antes de que sea quemado en los mecheros de las estaciones y en su lugar entregarlo en las plantas adecuadas para un uso más eficiente, maximizando el aprovechamiento del gas y minimizando el número de los contenedores móviles para dicho propósito.

### **Hipótesis**

El diseño de una red de distribución de contenedores móviles permitirá reutilizar y distribuir adecuadamente el gas excedente en la industria Hidrocarburífera del Distrito Amazónico.

A través de este planteamiento se obtiene un proceso más eficiente y adicionalmente se reduce el impacto ambiental. Se identifica para el gasoducto virtual, las siguientes variables:

Variable Independiente:

**Red de Distribución**

Variable Dependiente:

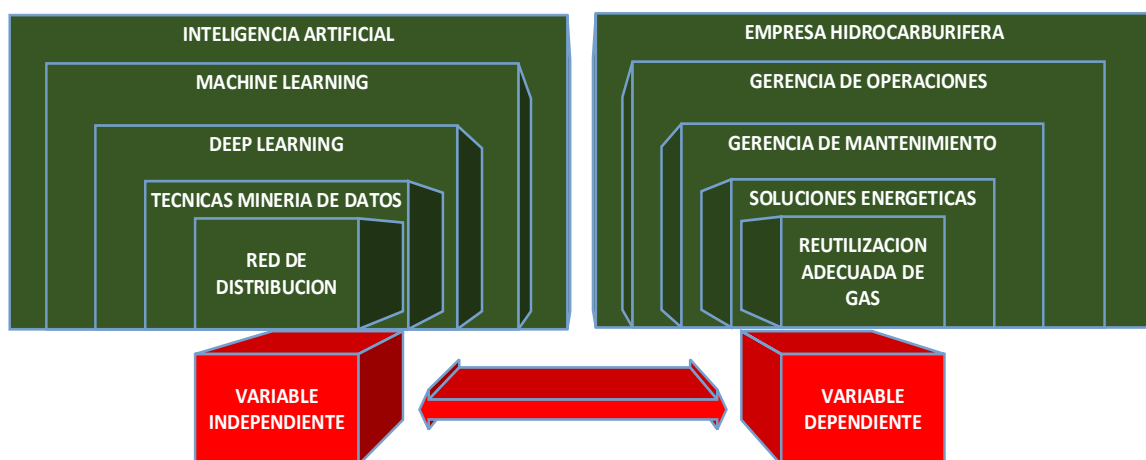
**Reutilizar y distribuir adecuadamente gas excedente en la industria Hidrocarburífera**

## Categorización de las Variables

Una vez realizada la identificación de las variables, a partir de la hipótesis, se plantea la categorización de las variables, como se puede apreciar en la Figura 4

**Figura 4**

*Categorización de Variables*



*Nota.* En el capítulo 2.2 Marco Teórico se detalla la relación de las variables.

## Metodologías de Investigación

Existen múltiples metodologías, que facilitan resolver los problemas de investigación. Acorde al plan de estudio en minería de datos, se tomaron como referencia: KDD, SEMMA, CRISPDM. las cuales se mencionan brevemente a continuación

En primer lugar, KDD [Knowledge Discovery in Data Bases] descubrir conocimiento en bases de datos, se define como: “la extracción no trivial de información implícita, desconocida, y potencialmente útil de los datos. El proceso de KDD consiste en usar métodos de minería de datos (algoritmos) para extraer (identificar) lo que se considera como conocimiento de acuerdo con la especificación de ciertos parámetros usando una



base de datos junto con preprocesamientos y pos-procesamientos” (Giraldo & Vargas, 2017, p. 2)

De manera Similar, SEMMA se define como: “el proceso de selección, exploración y modelado de grandes volúmenes de datos para descubrir patrones de negocio desconocidos” [4]. El nombre de esta terminología es el acrónimo correspondiente a las cinco fases básicas del proceso: Sample (Muestreo), Explore (Exploración), Modify (Modificación), Model (Modelado), Assess (Valoración)” (Moine, Ana, & Gordillo, 2011, p. 3)

Finalmente, CRISPDM [ Cross Industry Estándar Process for Data Mining] “es un estándar empleado a nivel mundial tanto en la industria como en la academia para proyectos de minería de datos. Consta de 6 fases: Comprensión del Negocio, Comprensión de datos, Preparación de datos, Modelado, Evaluación del modelo, e Implementación del Modelo” (Javier, 2020, p. 7)

La base más afín para la metodología Adhoc, se detallará en el Capítulo 3. Siendo necesario en esta fase, continuar con la especificación de los objetivos del problema.

## **Objetivos**

Una vez descrito el problema y la hipótesis a continuación, se plantean los objetivos de la investigación

### ***Objetivo General***

Diseñar una red de distribución de contenedores móviles, mediante el análisis de datos de los componentes del Gasoducto Virtual, para reutilizar y distribuir adecuadamente el gas excedente en la industria Hidrocarburífera.

**Objetivos Específicos**

**OE1** Identificar la problemática actual respecto al uso de los recursos en la industria Hidrocarburífera, mediante el uso de técnicas de observación del sistema tanto documental como en sitio y reuniones con especialistas involucrados en el área, para aclarar los factores críticos del caso de estudio.

**OE2.** Conocer las causas y efectos de la quema de gas, mediante una revisión preliminar de literatura (RPL) para determinar el estado del arte, a fin de encontrar como es abordada esta problemática a nivel mundial.

**OE3.** Desarrollar un modelo analítico de redes de distribución, aplicando metodologías de machine learning, para obtener un uso eficiente de los recursos hidrocarburíferos.

**OE4:** Evaluar que el modelo implementado mediante el uso de técnicas de inteligencia de negocios, permita disminuir el impacto ambiental por el aprovechamiento de gas y su consecuente ahorro.

**Preguntas de Investigación**

**RQ1(OE1):** Cuál es el problema actual dentro de la industria Hidrocarburífera respecto al uso de sus recursos?

**RQ2(OE1):** Existen políticas en designación de recursos para contribuir en resolver la problemática?

**RQ3(OE2):** Cuáles son las técnicas de tratamiento actual que se da a nivel mundial para el uso del gas asociado en las industrias a fin de reducir los gases de efecto invernadero?

**RQ4(OE2):** Qué problemas se relacionan a la reutilización de gas asociado y su distribución?

**RQ5(OE3):** Cuáles son los parámetros técnicos de inclusión del gas que permitan considerarlo adecuado para su captación y uso en generación eléctrica?

**RQ6(OE3):** Cuáles son las metodologías más aplicadas en el desarrollo de modelos de redes de distribución, a fin de asegurar el despacho continuo de productos?

**RQ7(OE4):** Cómo medir y verificar un uso eficiente del modelo analítico empleado en la red de distribución?

**RQ8(OE4):** Cómo se puede cuantificar los incrementos de generación eléctrica y el beneficio ambiental del proyecto por recuperación de gas?

## Estado del Arte y Marco Teórico

En el presente capítulo se procedió con el Análisis del Estado del Arte, y el Marco Teórico, para ampliar la visión del problema. Como indica Sampieri: “La revisión de la literatura debe iniciarse desde el comienzo del estudio porque el conocimiento que nos brinda es útil para plantear el problema de investigación y posteriormente nos sirve para refinarlo y contextualizarlo” (Hernandez Sampieri, Fernandez, & Baptista, 2014).

### Estado del Arte

Se realizó el análisis del estado del arte, tomando como referencia la metodología Systematic Mapping Study(SMS) de Bárbara Kitchenman (Kitchenham, 2004), para responder a las preguntas de investigación planteadas en el literal 1.8:

### *Criterios de Inclusión y Exclusión*

“Los criterios de inclusión y exclusión (CIE) se definen para ubicar estudios primarios que respondan a las características deseadas para la revisión” (Fonseca, 2018, pág. 13) , a continuación, los criterios que aplican a la problemática:

**Criterios de Inclusión.** Para el caso de estudio, los 7 criterios de inclusión fueron:

- a) Estudios que aborden el tratamiento que se da a nivel mundial para uso adecuado de gas asociado en la industria y estaciones petroleras.
- b) Estudios que muestren los efectos de la quema de gas combustible en la industria y plantas Hidrocarburífera.
- c) Artículos que aclaren los parámetros de usabilidad de un gas asociado, para generación eléctrica.
- d) Estudios que consideren la implementación de facilidades para captación en los mecheros y recepción en las PGE.

- e) Estudios que indiquen los problemas de las metodologías más aplicadas en el desarrollo de modelos de redes de distribución para asegurar un despacho continuo de productos.
- f) Estudios relacionados al despacho de redes de un gasoducto.
- g) Estudios que permitan conocer como cuantificar apropiadamente los beneficios ambiental y económico por monetización del gas asociado

**Criterios de Exclusión.** Para el caso de estudio, los 6 criterios de exclusión fueron:

- a) Estudios que no aborden el tratamiento al gas asociado en la industria o estaciones petroleras.
- b) Estudios que no describan los efectos de la quema de gas combustible en la industria o plantas hidrocarbúferas.
- c) Estudios que no describan las variables críticas para el tratamiento de recuperación de gas.
- d) Artículos que no aclaren los parámetros de usabilidad de un gas asociado, para generación eléctrica.
- e) Estudios que no consideren la implementación de facilidades para captación en los mecheros y recepción en las PGE.
- f) Estudios que solo describan cualitativamente en lugar de cuantificar apropiadamente los beneficios ambiental y económico por monetización del gas asociado.

### ***Estructura del Grupo de Control***

Se realiza una búsqueda inicial para determinar los artículos que cumplan con los criterios de inclusión y exclusión descritos en el literal anterior. Con estos artículos se procede a analizar el título de los estudios, introducción, conclusiones y palabras clave. Los estudios candidatos obtenidos se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1**

#### *Grupo de Control*

<b>GRUPO DE CONTROL</b>	<b>TITULO</b>	<b>PALABRAS CLAVE</b>
<b>EC1</b>	Aplicación de ArcGIS Modelo de Gasoducto Digital y GIS en Tubería de Crudo y Gas.	Oleoducto y gasoducto digital; Modelo de datos de canalización de ArcGIS; Motor ArcGIS; ArcObjects; WebGIS; ArcGIS Server Cogeneración.
<b>EC2</b>	Estudio de viabilidad de la cogeneración para una central eléctrica de gas.	Análisis coste-beneficio; gas turbinas; reciclaje de calor; evaluación de la vida restante.
<b>EC3</b>	La Estimación de los Indicadores Técnicos y Financieros de Explotación de Plantas Combinadas de Calor y Energía con Carga Variable.	Eficiencia técnica y económica CHP; modelo fenomenológico; factor de utilización de combustible; arancel; valor añadido; parte del costo del combustible.
<b>EC4</b>	Reducción del efecto invernadero y recuperación de energía de los vertederos: un estudio de caso.	Efecto invernadero; gas de vertedero; Mecanismo de Desarrollo Limpio; Gases de invernadero.
<b>EC5</b>	Modelado y simulación de la central eléctrica de gas de Bazyan.	modelo de turbina de gas; excitante; estabilizador del sistema de energía; estabilidad del sistema de energía; planta de energía de gas.

### ***Construcción de la Cadena de Búsqueda***

En base a las palabras claves, se realiza una agrupación dentro de diferentes contextos con la finalidad de obtener la cadena de búsqueda, el resultado de este proceso se muestra en la Tabla 2

Tabla 2

*Agrupación por contexto de las variables*

CONTEXTO	PALABRA CLAVE	EC1	EC2	EC3	EC4	EC5	NUMERO DE REPETICIONES
<b>MODELO</b>	Modelo fenomenológico			X			1
<b>SOFTWARE</b>	Arcgis	X					1
<b>FUEL</b>	Gas de vertedero				X		1
<b>PGE</b>	Modelo de turbina de gas		X			X	2
<b>PGE</b>	Planta de energía de gas					X	1
<b>PGE</b>	Estabilidad del sistema de energía					X	1
<b>PGE</b>	Sistema de energía integrado					X	1
<b>PGE</b>	Cogeneración		X				1
<b>GASODUCTO</b>	Oleoducto y gasoducto digital	X					1
<b>GASODUCTO</b>	Eficiencia técnica y económica			X			1
<b>GASODUCTO</b>	Análisis coste-beneficio		X				1
<b>GASODUCTO</b>	Parte del costo del combustible			X			1
<b>GASODUCTO</b>	Valor agregado			X			1
<b>AMBIENTAL</b>	Invernadero				X		1
<b>AMBIENTAL</b>	Reciclaje de evaluación de vida restante		X				1
<b>AMBIENTAL</b>	Mecanismo de Desarrollo Limpio				X		1

El resultado obtenido es bastante homogéneo por lo que se realiza la búsqueda con la siguiente cadena:

```
((("Phenomenological model") AND(Arcgis)AND("landfill gas")AND(("gas turbine model")OR("gas power plant")OR("gas power plant")OR(power system stability)OR(integrated energy system)OR(cogeneration)))AND((Digital oil and gas pipeline)OR(technical and economic efficiency CHP)OR(Cost benefit analysis)OR(share of fuel cost)OR(added value))AND((Greenhouse)OR(recycling remaining life assesment)OR(Clean development Mechanism)))
```

Se realizan varias iteraciones hasta reducir el número de resultados, como se puede visualizar en la Tabla 3

Tabla 3

*Iteraciones de la cadena de búsqueda*

CADENAS DE PRUEBA	RESULTADO
((“Gas de Vertedero”) OR (“Modelo de Turbina a Gas” OR “Planta de Energía a Gas” OR “Planta de Energía a Gas” OR “Estabilidad del Sistema de Energía ”OR “Sistema de Energía Integrado” OR “Cogeneración”)AND(“Oleoducto y Gasoducto Digital” OR “Eficiencia Técnica y Económica CHP” OR “Análisis de Costo Beneficio” OR “Proporción de Costo Combustible” OR “Valor Agregado”) OR (“Invernadero” OR “Evaluación de vida restante para reciclaje” OR “Mecanismo de Desarrollo Limpio”))	5092
((“Modelo fenomenológico” OR “Arcgis”)AND(“Gas de Vertedero”)AND(“Modelo de Turbina a Gas” OR “Planta de Energía a Gas” OR “Planta de Energía a Gas” OR “Estabilidad del Sistema de Energía” OR “Sistema de Energía Integrado”OR“Cogeneracion”)AND(“Oleoducto y Gasoducto Digital” OR “Eficiencia Técnica y Económica CHP” OR “Análisis de Costo Beneficio” OR “Proporción de Costo Combustible” OR “Valor Agregado”)OR(“Invernadero” OR “Evaluación de vida restante para reciclaje” OR “Mecanismo de Desarrollo Limpio”))	3097
((“Modelo fenomenológico” OR “Arcgis”) OR (“Gas de Vertedero”)AND(“Modelo de Turbina a Gas” OR “Planta de Energía a Gas” AND “Estabilidad del Sistema de Energía ” OR “Sistema de Energía Integrado” OR “Cogeneración”) AND (“Oleoducto y Gasoducto Digital” AND “Eficiencia Técnica y Económica CHP” AND “Análisis de Costo Beneficio” AND “Proporción de Costo Combustible” AND “Valor Agregado”)AND(“Invernadero” AND “Evaluación de vida restante para reciclaje” AND “Mecanismo de Desarrollo Limpio”))	1154
((“Modelo fenomenológico” OR “Arcgis”) OR (“Gas de Vertedero”)OR(“Modelo de Turbina a Gas” OR “Planta de Energía a Gas” AND “Estabilidad del Sistema de Energía ” OR “Sistema de Energía Integrado” OR “Cogeneración”) AND (“Oleoducto y Gasoducto Digital” AND “Eficiencia Técnica y Económica CHP” AND “Análisis de Costo Beneficio” AND “Proporción de Costo Combustible” AND “Valor Agregado”) AND(“Invernadero” AND “Evaluación de vida restante para reciclaje” AND “Mecanismo de Desarrollo Limpio”))	92

### ***Selección de Estudios***

Se realiza la selección de estudios, considerando la relación con las preguntas de investigación, dando como resultado los estudios que se muestran en la Tabla 4:



Tabla 4

*Estudios Seleccionados*

RQ	TITULO	PALABRAS CLAVE
RQ1	El impacto de una planta combinada de calor y energía que utiliza gases normalmente quemados en una planta petroquímica	Reducción Global de la llamas (Flares) de gas
RQ2	Co-evolución de tecnologías y políticas Estudio de antecedentes de proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) para la Prevención del Cambio Climático	Politica; Kyoto
RQ3	Reducción del efecto invernadero y recuperación de energía de los vertederos: un Caso de Estudio	Efecto invernadero; gas de vertedero; Mecanismo de Desarrollo Limpio; Gases de invernadero
RQ4	Aplicación de ArcGIS Pipeline Data Model y GIS en Oleoducto y Gasoducto Digital	Oleoducto y gasoducto digital; Modelo de datos de canalización de ArcGIS; Motor ArcGIS; ArcObjects; WebGIS; ArcGIS Server
RQ5	Estudio de viabilidad de la cogeneración para una central eléctrica de gas	cogeneración; análisis de costes y beneficios, turbinas de gas; reciclaje de calor; evaluación de la vida restante
RQ6	Operación óptima coordinada de redes de distribución de electricidad y gas natural con instalaciones de energía a gas	sistema de energía integrado; redes de distribución de electricidad y gas natural; horario coordinado óptimo; tecnología power-to-gas; alojamiento de REG.
RQ7	Proyecto de reducción de emisiones de CO2 y recuperación de energía del proyecto de cogeneración de paja	Gases de invernadero; Residuos de biomasa, Mecanismo de desarrollo limpio; Tecnologías de bioenergía; Cambio climático global
RQ8	La Estimación de los Indicadores Técnicos y Financieros de Explotación de Plantas Combinadas de Calor y Energía con Carga Variable	Eficiencia técnica y económica CHP; modelo fenomenológico; factor de utilización de combustible; arancel; valor añadido; parte del costo del combustible

***Análisis de los Resultados y Características del Estado del Arte***

Tomando en cuenta las preguntas de investigación planteadas en el Literal 1.8 y la revisión de Literatura con los artículos citados en el Literal previo 2.1.4. Se realiza el siguiente resumen de características del estado del arte. Teniendo en cuenta para cada artículo: una Síntesis, que contribuya en responder a la pregunta de investigación; y consecutivamente el Análisis respectivo, que sustente el conocimiento obtenido, a partir del estado del arte.

**El impacto de una planta combinada de calor y energía que utiliza gases normalmente quemados en una planta petroquímica (Boljevic, Barry, & Loughane, 2015).** En síntesis, con la lectura de Boljevic respecto al uso de los recursos en la industria Hidrocarburífera, se pudieron identificar tres problemas: altos costos de generación eléctrica, la dependencia energética de fuentes externas, gran cantidad de emisión de gases nocivos al ambiente. Luego de que se dejara de quemar los gases y en su lugar se transformaran en energía eléctrica, se consiguió mitigar los problemas: reduciendo costos de energía eléctrica, incrementando la autonomía de la planta ante fallos eléctricos externos, y reduciendo las emisiones nocivas al ambiente. Respectivamente.

En el Análisis de Boljevic, se identificaron los tres problemas dentro de la industria:

a) El Primero, altos costos para la generación de energía eléctrica, según Boljevic:

*“Traditionally, one of the problems for gas turbines was the high cost of fuel. At the refinery, the CHP plant is novel in that the gas turbine was designed to operate on refinery fuel gas which had previously been flared off” (Boljevic, Barry, & Loughane, 2015, p. 5)*

[Tradicionalmente, uno de los problemas para las turbinas de gas era el alto costo del combustible. En la refinería, la planta de CHP es novedosa porque la turbina de gas fue diseñada para operar con gas combustible de la refinería que antes era quemado]

b) El Segundo problema, la dependencia energética al sistema eléctrico nacional,

*“With the production of 27,5 million barrels of oil per annum the refinery is heavily reliant on the continuity and integrity of its energy supply. Power supply problems, such as occurred on November 2001 when a local 110kv power transmission line short circuited, would cause the refinery to shut down. While currently unable to supply the full refinery load, the CHP plant nevertheless lessens the effect of external power outage” (Boljevic, Barry, & Loughane, 2015, p. 5)*

[Con la producción de 27,5 millones de barriles de petróleo por año, la refinería depende en gran medida de la continuidad e integridad de su suministro de energía. Los problemas de suministro de energía, como los que ocurrieron en noviembre de 2001 cuando una línea de transmisión de energía local de 110kv se cortocircuitó, provocarían el cierre de la refinería. Si bien actualmente no puede suministrar la carga completa de la refinería, la planta de CHP sin embargo disminuyó el efecto de la interrupción del suministro externo].

c) El Tercer problema, la cantidad de emisión de gases nocivos al ambiente. Según Boljevic: *“The plant daily emission is in range of 124 tons/day consisting mostly of carbon oxide (COx) and nitrogen oxide (NOx).”* (Boljevic, Barry, & Loughane, 2015, p. 4) [La emisión diaria de la planta está en el rango de 124 toneladas / día que consiste principalmente en óxido de carbono (COx) y óxido de nitrógeno (NOx).]

Esta problemática no representa un problema nuevo, ni aplica solamente a la industria hidrocarburífera, también es evidenciada de forma significativa en las pequeñas y medianas industrias. Tal como lo muestra un trabajo relacionado en el hotel Rochestown, por parte de Boljevic: *“An average emission from fossil fuel generating plant is estimated to be 183 g of carbon per kWh produced, including an allowance for transmission losses. Generating 899,992 kWh of electricity would produce 164.6985 tC”* (Boljevic & Noel, 2007) [Se estima que una emisión promedio de una planta generadora de combustibles fósiles es de 183 g de carbono por kWh producido, incluida una asignación por pérdidas de transmisión. Generar 899.992 kWh de electricidad produciría 164.6985 tC]

**Estudio de la evolución conjunta de la tecnología y las políticas sobre los antecedentes de los proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para la prevención del cambio climático (Takada, 2018).** En síntesis, como indica Minori, a partir de la preocupación por el calentamiento global debido a las emisiones de GEI, se generó una conciencia ambiental del problema entre los países, la cual permitió a través de los acuerdos en Marruecos, protocolo de Kyoto y múltiples convenciones anuales de las Naciones Unidas. Entender y acordar una política de desarrollo tecnológico sostenible con el medio ambiente, con compromisos sociales y políticas claras de beneficio común. Implementando el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM/MDL).

A continuación, el análisis del artículo de Minori: Con la finalidad de denotar la relación política, social, tecnológica y económica, Minori hace referencia a la Hipótesis original de M. Porter: *“Appropriately planned environmental regulations will stimulate technological innovation, leading to reductions in expenses and improvements in quality. As a result, domestic businesses may attain a superior competitive position in the international marketplace and industrial productivity may improve as well”* (Porter & Linde, 1995)

[Las regulaciones ambientales adecuadamente planificadas estimulan la innovación tecnológica, lo que lleva a reducciones en gastos y mejoras en calidad. Como resultado, las empresas nacionales pueden lograr una competencia de posicionamiento superior en el mercado internacional e industrial y la productividad también puede mejorar]

La Figura 5 muestra la estrecha relación entre el desarrollo tecnológico y el desarrollo de la política internacional

**Figura 5**

*Coevolución entre Política y Avance Tecnológico*



*Nota.* Tomado de Co-Evolution of Technology and Policies Study of Precedents of Clean Development Mechanism (DCM) Projects for the prevention of Climate Change (Takada, 2018, p. 5)

Entonces las Naciones Unidas para frenar el cambio climático, desde 2001 a partir de los acuerdos de Marruecos bajo el protocolo de Kyoto, establecen un Mecanismo de Desarrollo Limpio CDM<sup>1</sup>. Tal como indica Minori:

*“The Clean Development Mechanism (CDM) allows emission-reduction (or emission removal) projects in developing countries to earn certified emission reduction (CER) credits, each equivalent to one tonne of CO<sub>2</sub>. These CERs can be traded and sold, and used by industrialized countries to meet a part of their emission reduction targets under the Kyoto Protocol” (UNFCCC, 2020)*

[El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) permite que los proyectos de reducción de emisiones (o eliminación de emisiones) en los países en desarrollo obtengan créditos certificados de reducción de emisiones (CER), cada uno equivalente a una tonelada de CO<sub>2</sub>. Estos CER pueden comercializarse y venderse, y ser utilizados por países industrializados para cumplir con una parte de sus objetivos de reducción de emisiones bajo el Protocolo de Kyoto.]

**Reducción del efecto invernadero y recuperación de energía del vertedero: Caso de Estudio (Wei-hua, 2008).** En síntesis, referente a las técnicas que se da a nivel mundial para la implementación del CDM usando gas asociado para reducción de emisiones, cabe destacar el enlace compartido por Wei-Hua (<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved.html>), donde un repositorio validado por el organismo de las Naciones Unidas, consolida todas las metodologías disponibles de una manera clara: los esquemas, requerimientos, parámetros de interés, y beneficios a conseguir.

Para el caso particular de Wei-Hua la metodología seguida fue la ACM001, resumió la transformación del uso del gas de los rellenos en generación eléctrica, la cual abastecía energéticamente a la comunidad en lugar de contaminar el medio ambiente.

A continuación, se presenta el Análisis del artículo de YANG Wei-hua: La metodología seguida de CDM para este proyecto, se puede ver en el diagrama de bloques de la Figura 6

### Figura 6

#### Diagrama de bloques Generación eléctrica a Gas Relleno Sanitario

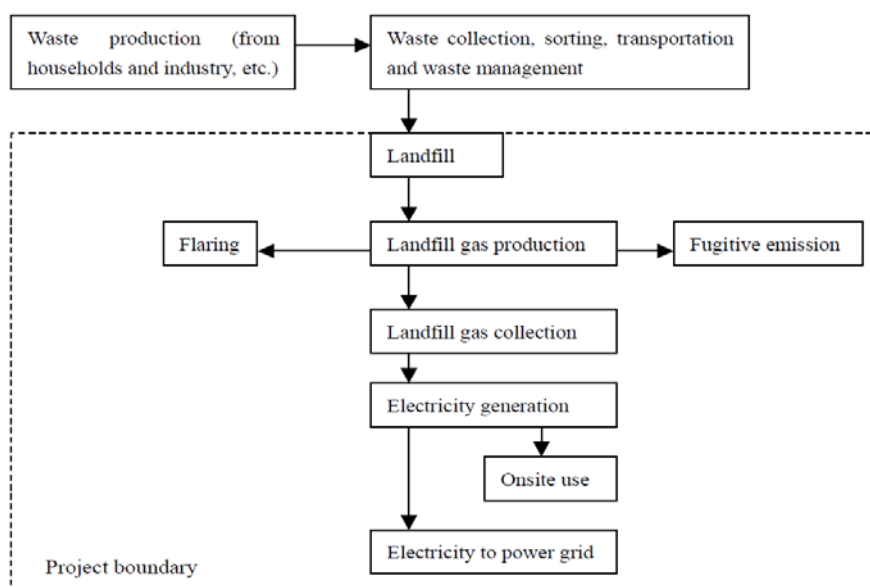


Figure. I. Flow Chart of Project Boundary

*Nota.* Tomado de (Wei-hua, Greenhouse effect reduction and energy recovery, 2008, p. 2)

Bajo este esquema, Wei-Hua indica que: *“by combustion and flaring combined will reduce emissions of about 3.998 million tons of CO2 over the next 21-year lifetime, and at the same time, 653GWh electricity will be produced.”* (Wei-hua, Greenhouse effect reduction and energy recovery, 2008, p. 1).

[por combustión y quema combinada reducirá las emisiones de alrededor de 3.998 millones de toneladas de CO2e durante los próximos 21 años de vida útil y, al mismo tiempo, se generarán 653 GWh de electricidad]

**Aplicación de Modelamiento de Datos para Tubería en ArcGIS y Digitalización de Tuberías para Crudo y Gas en GIS (Zhenpei, Ping, MingWu, & Weiqiang, 2015).** En síntesis, en la revisión de literatura de Zhenpei. Luego de la captación del gas, se identificó que el problema de su redistribución tenía era mantener el equilibrio entre la seguridad y la operación óptima. Porque ante una posible variable de las condiciones de proceso como: volumen o calidad de gas, estado de las conexiones, o demanda de los consumidores. La complejidad de administrar el sistema podría incrementarse en sobremanera. Siendo necesario una toma de decisiones en el menor tiempo posible a fin de disminuir pérdidas. Dicho problema fue abordado por los autores mediante la implementación de: sistema de adquisición de datos, la modelación de la red de distribución de gas y una posterior interfaz gráfica con GIS

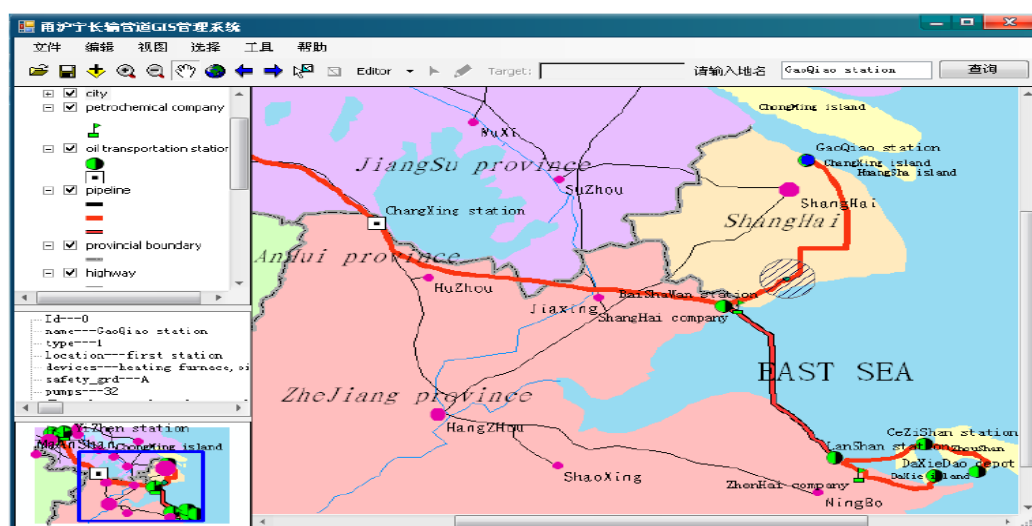
A continuación, el Análisis detallado del artículo. Ante condiciones variables de: volumen o calidad de las fuentes de suministro, estado de tuberías de interconexión, o demanda de los consumidores. Un modelo digital de la red como el planteado en el presente artículo, se convierte en una herramienta poderosa para el soporte a la toma de decisión, según Zhenpei el Digital Pipeline Model desarrollado es: *“A highly efficient data acquiring, storing and processing platform, and a digital management and decision-making system for pipeline survey and design, construction and operation management according to the concept of Digital Earth”* (Zhenpei,

Ping, MingWu, & Weiqiang, 2015, pág. 1) [Una plataforma de adquisición, almacenamiento y procesamiento de datos altamente eficiente, y un sistema digital de gestión y toma de decisiones para el levantamiento de tuberías y diseño, construcción y gestión de operaciones de acuerdo con el concepto de Digital Earth]

Una fase posterior a la implementación del modelo desarrollado implementa una interfaz como se puede apreciar en la Figura 7

**Figura 7**

*Interface de modulo GIS*



*Nota.* Tomado de Application of ArcGIS Pipeline Data Model and GIS in Digital Oil and Gas Pipeline (Zhenpei, Ping, MingWu, & Weiqiang, 2015, pág. 6)

**Estudio de viabilidad de cogeneración para una planta de energía de gas (Taheri & Taheri, 2017).** En síntesis, acorde al estudio de Taheri, resulta adecuado: Analizar la demanda eléctrica con los datos de operación de la generación actual (por ejemplo, horas de funcionamiento, estados ON/OFF de las unidades, potencia promedio despachada ello permitirá estimar la cantidad de gas requerido). Adicionalmente conocer las especificaciones técnicas de las unidades de generación (haciendo énfasis en presión y temperatura de ingreso a la unidad ya



que los gases son susceptibles a estos parámetros). Y Finalmente, realizar análisis cromatográficos del gas utilizado (haciendo énfasis en contenido de Metano, Dióxido de Carbono, Óxidos Nitrosos, Poder calórico resultante en base a los cuales puede estimarse una calidad adecuada del gas).

A continuación, se presenta el Análisis del artículo:

a) Primero, Analizar la demanda eléctrica a cubrir con el suministro de gas. Taheri indica que se debe considerar: *“Gas turbine operation data such as base and peak load, total hours of yearly power generation, the operating hours, and the quantity and quality of maintenance and overhaul cycles.”* (Taheri & Taheri, 2017) [Datos de operación de la turbina de gas, tales como carga base y pico, horas totales de generación de energía anual, horas de operación, y la cantidad y calidad de los ciclos de mantenimiento y revisión.]

b) Segundo, conocer las especificaciones técnicas de las unidades de generación. En el artículo se indica un ejemplo de las mismas como en la Figura 8

### Figura 8

*Ejemplo Extracto de Especificaciones Técnicas Turbina a Gas*

Fuel	Natural gas
Output power at the generator terminals	79 MW
Generator terminals thermal efficiency	29.2%
Ambient air pressure	1.013 mbar
Ambient temperature	15° C
Input air pressure drop	5 mbar
Output air pressure drop	5 mbar

Fuente: (Taheri & Taheri, 2017, p. 2)

c) Tercero, conocer y confirmar la calidad del combustible a utilizar, mediante análisis

*“Chemical analysis to study different elements in the exhaust gas. Physical properties such as pressure, temperature, and mass are also needed for calculating the specific heat, dew point, and potential heat extraction”* (Taheri & Taheri, 2017) [El análisis químico para estudiar

diferentes elementos en los gases de escape. Las propiedades físicas como la presión, la temperatura y la masa también son necesarias para calcular el calor específico, el punto de rocío y la extracción poder calórico]. La Figura 9 indica un ejemplo de análisis mediante cromatografía

### Figura 9

#### *Ejemplo Cromatografía Básica para Análisis de Combustibles*

Temperature	423.6 (°C)
O <sub>2</sub>	133 (%)
CO <sub>2</sub>	1.7 (%)
CO	3 (ppm)
NO	18.1 (ppm)
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	0 (ppm)
SO <sub>2</sub>	0 (ppm)
H <sub>2</sub>	1 (ppm)
NO <sub>x</sub>	135 (ppm)
NO <sub>2</sub>	7.7 (ppm)

*Nota.* Tomado de Feasibility Study of Cogeneration (Taheri & Taheri, 2017, p. 3)

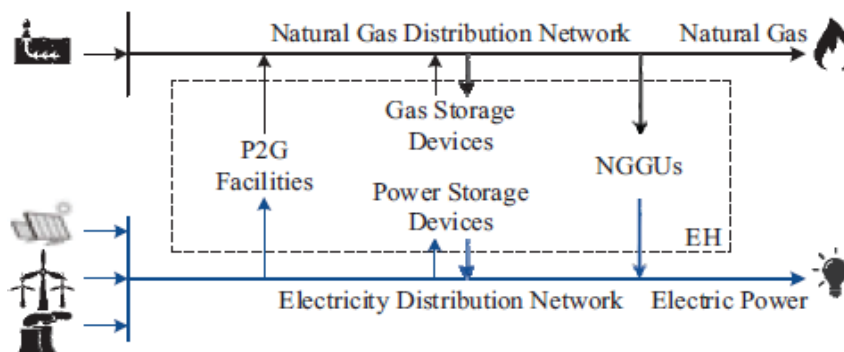
#### **Optimal Coordinated Operation of Electricity and Natural Gas Distribution Network**

**(Xue, et al., 2018).** En síntesis, en la revisión de la metodología utilizada por Xue-You, se verifico que el problema de redes de distribución es abordado como un problema de Optimización, con un modelamiento matemático caracterizado por: i) Determinar función objetivo, ii) identificar las Restricciones operativas, iii) Expresar i y ii como un sistema de Inecuaciones, y finalmente iv) Resolver dichas Inecuaciones. La resolución puede ser a través de software comercial como en el caso de Xue que utilizo AMPL/IPOPT. Posterior al modelo los autores plantean un caso de estudio en una red representada mediante grafos, para el análisis de red correspondiente. Presentando los resultados de las diferentes fuentes de energía en gráficos de tipo barra de fácil interpretación.

Para mayor detalle de lo indicado, el respectivo análisis con el esquema energético simplificado de esta red, el cual se puede ver en la Figura 10

Figura 10

Topología de Red de distribución de Gas y Electricidad



Nota. Tomado de Optimal Coordinated Operation of Electricity and Natural gas distribution Networks with power to gas facilities (Xue, et al., 2018, p. 1)

Durante el desarrollo del modelo de optimización, el estudio plantea la siguiente metodología: i) Función Objetivo, ii) Restricciones Operativas con todas las consideraciones (Eléctricas, Gas, y Conversores Energéticos). Con la formulación matemática de i) y ii) se llega a iii) Sistema de Inecuaciones. Luego de que el sistema se encuentra formulado (en este caso 27 Inecuaciones), se procede con iv) Resolver las inecuaciones, pudiendo realizar esto con un software comercial, en el caso del estudio actual es AMPL/IPOPT. Tal como indica Xue:

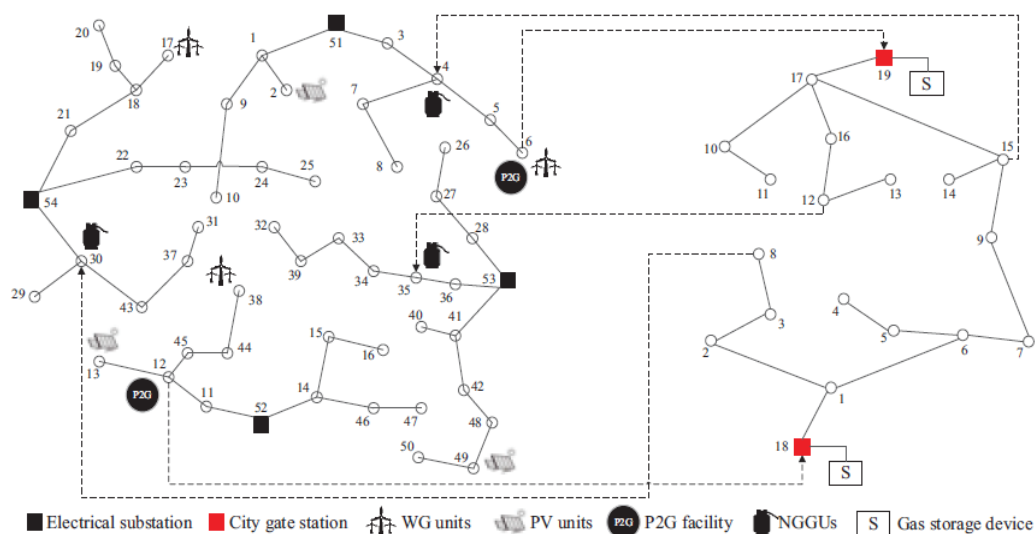
*“In summary, the optimal coordinated schedule model of a smart distribution network with P2G facilities proposed is formulated as (1)-(27), which is a large-scale nonlinear programming (NLP). Therefore, the commercial AMPL/IPOPT solver is employed to solve the developed model by using primal-dual interior point algorithm”* (Xue, et al., 2018)

[En resumen, el modelo óptimo de programación coordinada de una red de distribución inteligente con instalaciones P2G propuestas se formula como (1) - (27), que es una programación no lineal (PNL) a gran escala. Por lo tanto, el solucionador comercial AMPL / IPOPT se emplea para resolver el modelo desarrollado mediante el uso de un algoritmo de punto interior primario-dual]

Posteriormente a la obtención del modelo, se plantea un caso de estudio con un ejemplo de red de distribución, en el cual se representan los componentes de la red mediante grafos, tal como se puede ver en el Anexo 2.1.6.6 o la Figura 11:

**Figura 11**

*Red de Distribución Integrada de Energía con 54 líneas eléctricas y 19 de Gas*



Integrated energy system with a modified 54-bus electricity distribution network and a 19-bus natural gas distribution network

*Nota.* Tomado de Optimal Coordinated Operation of Electricity and Natural gas distribution Networks with power to gas facilities : (Xue, et al., 2018, p. 3)

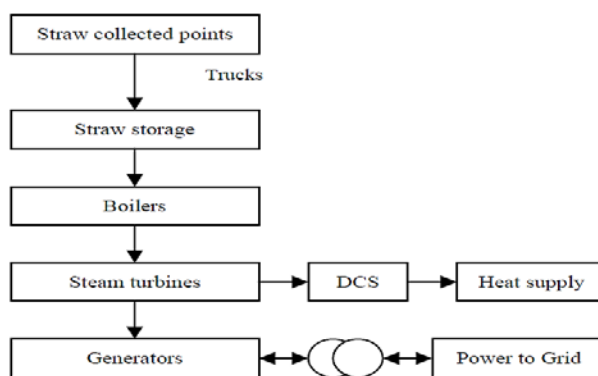
**Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y recuperación de energía del proyecto de cogeneración de paja. (Wei-hua, Sheng-nan, Tao, & Kan-hong, 2009).** En síntesis, en base a la metodología CDM ACM006 de las Naciones Unidas. El artículo de Wei-Hua, para reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> por cogeneración usando la paja de cosecha, muestra un cálculo de reducción de emisiones al ambiente, el valor de energía obtenida y la cantidad de biomasa no desperdiciada al ambiente. Las estimaciones de estos indicadores resultan muy útiles al momento de mostrar la eficiencia de dicha implementación.

Para mayor detalle de lo expuesto, a continuación, el respectivo análisis:

En lugar de quemar combustibles fósiles se realiza la quema de paja residual de las cosechas, se contribuye al doble beneficio de los proyectos CDM: desplazar consumo de combustibles fósiles, y reducir la emanación de gases de efecto invernadero. El esquema general ACM006 se puede ver en Anexo 2 Metodología ACM006 (UNITED NATIONS, 2019, pág. 146). Para el caso particular, el esquema simplificado de Wei-hua se puede ver en la Figura 12

**Figura 12**

*Esquema general del proyecto de combustión paja biomasa*



*Nota.* Tomado de CO2 emission reduction and energy recovery from straw cogeneration Project (Wei-hua, Sheng-nan, Tao, & Kan-hong, 2009, pág. 1)

Para mostrar la eficiencia del proyecto, siguiendo la metodología ACM006, Wei-Hua realiza el cálculo durante un año de reducción de emisiones como se muestra en la Figura 13

**Figura 13**

*Ejemplo de Cálculo Reducción de Emisiones ER, según ACM006*

$$ER_y = ER_{\text{heat}, y} + ER_{\text{electricity}, y} + BE_{\text{biomass}, y} - PE_y - L_y$$

*Nota.* Tomado de CO2 emission reduction and energy recovery from straw cogeneration Project (Wei-hua, Sheng-nan, Tao, & Kan-hong, 2009, pág. 2)

Los resultados de interés proveniente de estos cálculos se pueden ver en la Figura 14

**Figura 14***Reducción de Emisiones de CO2 pertenecientes al proyecto*

TABLE II. CO<sub>2</sub> EMISSION REDUCTION DUE TO THE PROJECT

	Power supply (MWh)	Heat supply (GJ)	CO <sub>2</sub> emission reduction due to displacement of electricity (tons)	CO <sub>2</sub> emission reduction due to displacement of heat (tons)	Total CO <sub>2</sub> emission reduction (tons)
2009-2015	887,040	6,356,000	871,516	601,277	1,472,793
2016-2022	887,040	6,356,000	871,516	601,277	1,472,793
2023-2029	887,040	6,356,000	871,516	601,277	1,472,793
Total					4,418,379

*Nota.* Tomado de CO<sub>2</sub> emission reduction and energy recovery from straw cogeneration Project (Wei-hua, Sheng-nan, Tao, & Kan-hong, 2009, p. 3)

Los indicadores útiles de eficiencia del proyecto fueron: el cálculo de reducción de emisiones, el valor de energía obtenida, y la cantidad de Biomasa que ya no se desperdicia al ambiente. Acorde a la normativa de CDM aplicable al proyecto, para este caso la ACM006

**La Estimación de los Indicadores Técnicos y Financieros de Explotación de Plantas Combinadas de Calor y Energía con Carga Variable (Vladimir, Vitaly, Vladimir, & Elena, 2017).**

En síntesis, en el artículo Vladimir planteo un modelo compuesto por diferentes fuentes de generación de Electricidad y Calor, para suministrar energía a una carga de consumidores variables. El autor, indica que las diferentes metodologías se resumen en la determinación de los valores específicos de consumo de combustible por unidad de energía producida. De esta manera la metodología planteada por Vladimir indica: i) Guardar y procesar información que caracterice los indicadores técnicos y económicos de la operación, ii) Usar Factores de conversión en unidades del sistema internacional, iii) Determinación de potencias generadas y de consumo propio de auxiliares de la unidad de generación, iv) Determinar los parámetros en función de la variable independiente, v) Determinar la función de aproximación FUF, vi)

Determinar cantidad de combustible primario consumido, vii) Determinar los índices de costo de la Fuente de energía, viii) Determinar el Valor agregado

Para mayor detalle de lo expuesto, a continuación, el análisis del artículo:

Debido a la variabilidad tanto de los combustibles, así como de la carga, entre más de 20 métodos aplicables a determinar la eficiencia de las plantas de generación, los autores muestran que: *“More extensive use has the balance method (physical method) and the exergy method. These methods are finally to reduced of the determine the specific fuel consumption values per unit of energy produced”* (Vladimir, Vitaly, Vladimir, & Elena, 2017, p. 1) [El uso más extenso tiene el método de equilibrio (método físico) y el método de exergía. Estos métodos finalmente se reducen a la determinación de los valores específicos de consumo de combustible por unidad de energía producida]. A continuación, se realizará una síntesis de las variables y conceptos, así como la metodología indicada en el artículo por Vladimir, ver Tabla 5

**Tabla 5**

*Ejemplo de Designación de Variables del Modelo*

DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN DE VARIABLES
<b>Variable Independiente</b>	Potencia Térmica de la Fuente
<b>Variable Dependiente 1</b>	Energía Obtenida Electricidad y Calor
<b>Variable Dependiente 2</b>	Consumo propio de Auxiliares en función de la energía de salida(Realimentación)
<b>Valor Agregado</b>	Beneficio económico que permite cubrir los costos del proceso, mediante la transformación del combustible primario en electricidad y calor, para su comercialización.

*Nota.* Tomado de The Estimation of the Technical and Financial Indicators of Exploitation Combined Heat and Power Plants with Variable Load (Vladimir, Vitaly, Vladimir, & Elena, 2017, pág. 2)

A partir de estos conceptos se indican en el transcurso de su metodología diferentes indicadores técnicos y económicos, los cuales se consolidan en la Tabla 6

Tabla 6

*Ejemplo de Indicadores y metodología considerados en plantas de generación*

ÍTEM	ACTIVIDAD	INDICADOR	SIGNIFICADO
1	Guardar y procesar información que caracterice los indicadores técnicos y económicos de la operación	Pe.n	Potencia Eléctrica Nominal
		Pq.n	Potencia Térmica Nominal
		Ee.p.	Energía Eléctrica producida en intervalo de tiempo
		Ee.l.	Energía Eléctrica despachada en barras
		Eq.l.	Energía térmica despachada desde los colectores
		t	Intervalo de medición durante acumulación de la Energía
2	Usar Factores de conversión en unidades del sistema internacional	n	Rendimiento general de cada fuente
		Vrep	Cantidad de combustible consumido por la fuente durante la generación de energía
		1 MWh=1.163 Gcal; 1 t.c.e.=7 Gcal=8.141 MWh; 1m3 natural gases (NG)=8050 kcal 1Gcal=124.2 m3 NG 1MWh=106.8 m3 NG	Presentación de índices que caracterizan la producción de energía y el consumo de combustible en la misma unidad de medida. Transformando medidas derivadas al sistema internacional SI
		Pq.p.=Eq.l./t	Potencia Térmica efectiva
		Pe.p.=Ee.p./t	Potencia Eléctrica Efectiva
3	Determinación de potencias generadas y de consumo propio de auxiliares de la unidad de generación	Pe.cp.=(Ee.p.-Ee.l.)/t	Energía eléctrica de consumo propio (Auxiliares)
		Pq.cp.=(Eq.p.-Eq.l.)/t.	Energía térmica para consumo propio (Auxiliares)
		Pe.p.=f(Pq.p.)	Potencia Eléctrica Efectiva, en función de potencia térmica efectiva
		Pe.cp.=f(Pq.p.)	Potencia Eléctrica de consumo propio, en función de la potencia térmica efectiva
4	Determinar los parámetros en función de la variable independiente		
5	Determinar la función de aproximación FUF	FUF=f(Pq.p.+Pe.p.)	Determinar la función de aproximación de Factor de Uso de Combustible en función del poder calórico requerido por la fuente



ÍTEM	ACTIVIDAD	INDICADOR	SIGNIFICADO
6	Determinar cantidad de combustible primario consumido	$VREP=f(Pq.p.)$ $EREP=(Eq.p.+Ee.p.)/FUF$ $EREP=f(Pq.p.)$	Combustible necesario por la fuente para generar la potencia Energía de combustible primario De ser necesario convertir a las unidades del paso 2
7	Determinar los índices de costo de la Fuente de energía	$Ceg$ $Cvg$ $Tee$ $Tet$ $Ceg = Ee.l * Tee + Eq.l * Tet$ $Cng = Vng * Tng$	Costo de la energía despachada Costo grueso de combustible para producir la energía Tarifa de despacho para energía eléctrica Tarifa de despacho para energía térmica Costo grueso de la energía despachada Costo combustible consumido por auxiliares, producto volumen de gas por la tarifa de gas utilizado
8	Determinar el Valor agregado	$Va=Ceg - Cng$	Valor agregado correspondiente a la diferencia entre el costo grueso de la energía despachada menos Costos operativos y energía importada.

*Nota:* Tomado de The Estimation of the Technical and Financial Indicators of Exploitation Combined Heat and Power Plants with Variable Load (Vladimir, Vitaly, Vladimir, & Elena, 2017)

Teniendo en cuenta lo indicado por Vladimir, resultaría muy útil un modelo con indicadores técnicos que faciliten la contabilización de la cantidad de CO2 que se deja de emanar al ambiente, la potencia eléctrica obtenida a partir de la cantidad de gas y la eficiencia de las unidades de generación. Luego de las relaciones técnicas de transformación de la energía, se puede aplicar el concepto de valor agregado para la comercialización de esa energía a los consumidores, teniendo un beneficio económico que permita cubrir los costos de producción.

## **Marco Teórico**

En base a la Categorización de Variables del Literal 1.6 y el Estado del Arte descrito en el literal 2.1. A continuación, se describe desde lo general hacia lo específico, cada una de las categorías de: Variable Independiente, Variable Dependiente consideradas en la investigación.

### ***Variable Independiente***

El desarrollo de un modelo analítico del gasoducto virtual, ha relacionado datos técnicos propios del negocio, como: distancias, capacidades, propiedades del gas entre otros; pero los factores aleatorios como: el clima, o el estado de las carreteras; podrían resultar extremadamente complejos de predecir o relacionar. Como una alternativa de mitigación, el modelo ha considerado la determinación de estaciones suplentes ante contingencias.

Debido a la complejidad de analizar una gran cantidad de datos con los aspectos mencionados y encontrar la información útil que permita conocer una Red de Distribución apropiada, se ha enmarcado dentro de la Inteligencia Artificial a la variable independiente.

A continuación, la descripción categórica de la Variable Independiente:

**Inteligencia Artificial.** “Las aplicaciones tecnológicas y la implementación de técnicas de inteligencia artificial conforman la nueva generación de herramientas de tecnologías de información y comunicación que aplican las organizaciones. Estas están destinadas a ayudar a tomar decisiones en escenarios donde la cantidad de información complica el análisis desarrollado por los expertos. El análisis del comportamiento de los consumidores es un problema fundamental para la formulación de estrategias de marketing, ventas, atención al cliente, fidelización, segmentación, cross-selling, optimización de la cadena de suministro” (Escobar, Alcivar, & Puris, 2016)

**Machine Learning.** “Machine learning es un método de análisis de datos que automatiza la construcción de modelos analíticos. Esta técnica está incluida dentro de la rama

de inteligencia artificial y se sustenta en la idea de que el sistema puede aprender a identificar patrones partiendo exclusivamente de los datos aportados. Para su uso, es necesario seleccionar previamente la información que se utilizara para entrenar el modelo y posteriormente llevar a cabo el proceso de entrenamiento” (Cebollada, y otros, 2018)

**Deep Learning.** “El aprendizaje profundo, también conocido como redes neuronales profundas, es un aspecto de la inteligencia artificial (AI) que se ocupa de emular el enfoque de aprendizaje que los seres humanos utilizan para obtener ciertos tipos de conocimiento. En su forma más simple, el aprendizaje profundo puede considerarse como una forma de automatizar el análisis predictivo” (Margaret R. , 2017)

**Técnicas de Minería de Datos.** “Las técnicas de minería de datos persiguen el descubrimiento automático del conocimiento, contenido en la información almacenada de modo ordenado en grandes bases de datos”

“La localización de los datos relevantes y la identificación de patrones interesantes pueden convertirse en tareas abrumadoras. Una de las herramientas más modernas de los equipos de Investigación operativa (IO) que aborda este problema es una técnica denominada extracción de datos. Los métodos para aplicarla tratan de descubrir patrones interesantes dentro de las grandes fuentes de información que puedan conducir a una toma de decisiones útiles” (Hillier & Liberman, 2015)

“Hay cuatro tipos de tareas que normalmente se involucran en la minería de datos:

- Clasificación: la tarea de generalizar una estructura familiar para utilizarla en los nuevos datos.
- Agrupamiento: la tarea de encontrar grupos y estructuras en los datos que son de alguna manera u otra lo mismo, sin necesidad de utilizar las estructuras observadas en los datos.
- Aprendizaje de reglas de asociación: busca relaciones entre las variables.

- Regresión: su objetivo es encontrar una función que modele los datos con el menor error” (Gutierrez & Molina, 2016, pág. 40)

“Todas estas técnicas se aplican mediante algoritmos probados e implementados en soluciones de minería de datos, algunos de estos algoritmos son:

- **El algoritmo *K-means*:** se basa en el análisis de grupos. Trata de dividir los datos recogidos en bloques *-clústers-*separados y agrupados por características comunes.
- **Algoritmo *Classification and Regressive Tree (CART)*:** al igual que los análisis de árboles de decisión, organiza los datos según opciones que compiten, como si una persona sobrevive a un terremoto. Al contrario de los algoritmos de árboles de decisión, que sólo pueden clasificar una salida o una salida numérica basada en regresión, el algoritmo CART puede usar las dos para predecir la probabilidad de un evento ” (Gutierrez & Molina, 2016, pág. 45)

El Capítulo 4.5 Selección y configuración del modelo detalla la opción de algoritmo escogida, una vez preparados los datos

**Red de Distribución (Variable Independiente).** Los modelos son una representación simbólica de una realidad, a través de los mismos se puede analizar y proyectar el comportamiento del entorno. Generalmente se utilizan para entender y resolver un problema el cual puede estar en áreas tan diversas como: producción, distribución, entre otros. Para ello es esencial contar con la información útil, la cual puede ser extraída de grandes cantidades de datos con las técnicas de minería de datos.

“Muchas situaciones de investigación de operaciones pueden modelarse y resolverse como redes (nodos conectados por ramas); a continuación, tenemos algunos ejemplos de aplicación:

1. Minimizar el costo de construcción
2. Determinación de la ruta más corta
3. Determinación de la capacidad máxima
4. Determinación del cronograma de construcción.
5. Flujo de costo mínimo” (Taha, 2017, pág. 209)

A continuación, las características relevantes de los modelos de red:

- “Una red se compone de un conjunto de **nodos** unidos por **arcos** (o **ramas**).
- Asociado con cada red hay un **flujo**
- El flujo máximo en una red puede ser finito o infinito, según la capacidad de sus arcos.

Una **ruta** es un conjunto de arcos que unen dos nodos distintos, y que pasan a través de otros nodos en la red.” (Taha, 2017, pág. 210)

### **Variable Dependiente**

Teniendo en cuenta la industria donde tendrá impacto la investigación y desarrollara del proyecto, y basado en la LOTAIP<sup>5</sup>, se continua con la descripción de categorías relacionadas a la Variable Dependiente: Reutilización adecuada de Gas.

**Empresa Hidrocarburífera.** Una empresa hidrocarburifera tiene como misión: “Desarrollar actividades estratégicas de exploración y explotación de hidrocarburos, de manera eficiente, sustentable y segura, con responsabilidad social y ambiental, con el aporte del mejor talento humano para contribuir al desarrollo energético del Ecuador” (Petroamazonas EP, 2014)

**Gerencia de Operaciones.** Es el área de la empresa encargada de “Procurar el cumplimiento de objetivos de producción, sostenibilidad y manejo de reservas en los campos activos de PETROAMAZONAS EP, con altos estándares de calidad y tecnología, velando por cumplimiento de normas legales, de seguridad, ambientales, y responsabilidad social en las operaciones” (Petroamazonas E.P., 2017, pág. 14)

**Gerencia de Mantenimiento.** Tiene como Misión “Ejecutar las tareas de gestión del sistema eléctrico petrolero y el mantenimiento integral de los activos con calidad y en forma oportuna a fin de alcanzar una disponibilidad acorde a las necesidades operativas de la empresa garantizando en todo momento la seguridad del personal, cuidado del medio ambiente y optimización en el uso de recursos” (Petroamazonas E.P., 2017, pág. 19)

**Soluciones Energéticas.** Bajo la directriz de Mantenimiento, es el área encargada de gestionar:

“· Plan Energético, y Matriz Energética del Sector Petrolero.

---

<sup>5</sup> LOTAIP: La Ley Orgánica de Transparencia y Acceso a la Información Pública (LOTAIP) plantea la participación ciudadana y el derecho de acceso a la información relacionada con asuntos públicos, para ejercer un efectivo control y exigir la rendición de cuentas a las instituciones gubernamentales o aquellas que perciben recursos estatales (Petroamazonas E.P., 2017)

- Indicadores de eficiencia energética y Balance de Energía.
- Informe de ejecución del Sistema de Gestión Energética.
- Reporte de Operación de Planta de Generación, Energía, Potencia, Consumo de combustibles y sus proyecciones.
- Diseño y gestión de ingeniería de proyectos de Soluciones Energéticas.
- Reporte de Precomisionamiento., y Reporte de Dossier de Comisionamiento.
- Reporte de Ejecución de Comisionamiento.” (Petroamazonas E.P., 2017, pág. 20)

Cuando es posible reutilizar el insumo de gas, con estos factores de gestión, se obtiene el máximo aprovechamiento de Optimización de Generación Eléctrica y Eficiencia Energética.

**Reutilización adecuada de Gas.** Para Soluciones Energéticas, la reutilización del gas asociado de petróleo consiste en captar el gas combustible no utilizado durante el proceso de extracción de crudo antes de que sea quemado, y constituye una de las técnicas de reducción de emisiones y monetización del gas. Optimizando el gas, tal como se publica en el seminario de Gas Global Flare Reduction, como parte de los requerimientos de Mecanismo de desarrollo Limpio (MDL): “Doble Objetivo: reducción de GEI & contribución al desarrollo sostenible” (THE WORLD BANK, 2007)

## Marco Conceptual

A continuación, se describen algunos conceptos que permitieron complementar las bases teóricas del presente estudio.

**Investigación Operativa (IO).** “Las primeras actividades formales de investigación de operaciones (IO) se iniciaron en Inglaterra durante la Segunda Guerra Mundial, cuando un equipo de científicos empezó a tomar decisiones con respecto a la mejor utilización del material bélico. Al término de la guerra, las ideas formuladas en operaciones militares se adaptaron para mejorar la eficiencia y productividad en el sector civil.” (Taha, 2017, pág. 1)

“en la medida que aumentan la complejidad y la especialización, es más difícil asignar los recursos disponibles a las diferentes actividades de la manera más eficaz para la organización como un todo. Este tipo de problemas y la necesidad de encontrar la mejor forma de resolverlos crearon el ambiente propicio para el surgimiento de la investigación de operaciones (IO)” (Hillier & Liberman, 2015, pág. 1)

Es importante tener en cuenta los factores que permitieron el desarrollo de la disciplina de IO:

El Primero “Muchas de las herramientas características de la IO, como programación lineal, programación dinámica, teoría de colas y teoría de inventarios habían sido desarrolladas.

Y Segundo, “el desarrollo de la computadora electrónica digital, con su capacidad para hacer cálculos aritméticos, miles o tal vez millones de veces más rápido que los seres humanos.” (Hillier & Liberman, 2015, pág. 2)

**Programación Matemática.** También llamada Optimización Matemática, se define como: “Categoría general de modelado matemático y técnicas de solución utilizadas para



asignar recursos mientras optimiza una meta medible.” (Render, Stair, & Hanna, 2016, pág. 286).

“Desarrollar una solución, probarla y analizar los resultados son pasos importantes en el enfoque del análisis cuantitativo. Como usaremos modelos matemáticos, estos pasos requieren cálculos matemáticos. Por fortuna, se cuenta con la computadora para facilitar estos pasos.” (Render, Stair, & Hanna, 2016, pág. 9)

**Programación Lineal.** La Programación lineal es una: “Técnica matemática utilizada para ayudar al gerente a decidir cómo hacer más efectivo el uso de los recursos de una organización” (Render, Stair, & Hanna, 2016, pág. 286)

“En el mundo de la ciencia de la administración, *programar* se refiere a modelar y resolver matemáticamente un problema. Desde luego, la programación por computadora ha jugado un rol importante en el avance y uso de la PL. Los problemas reales de la PL son demasiado engorrosos para resolverlos a mano o con una calculadora. Resultando valioso el aporte de un software para simplificar la obtención de la solución de un problema de PL” (Render, Stair, & Hanna, 2016, pág. 250)

“Todos los modelos de IO, incluido el de Programación Lineal, constan de tres componentes:

1. Las **variables** de decisión que pretendemos determinar.
2. El **objetivo** (la meta) que necesitamos optimizar (maximizar o minimizar).
3. Las **restricciones** que la solución debe satisfacer.” (Taha, 2017, pág. 14)

**Modelos de Programación Lineal.** Entre los modelos de programación lineal que podrían ser aplicados a la resolución del problema se consideraron: Transporte y Asignación

como complemento al modelo analítico. A continuación, se citan las características principales de cada uno de ellos, según Render:

“El **problema de transporte** maneja la distribución de bienes desde varios puntos de oferta (*orígenes* o **fuentes**) hasta varios puntos de demanda (**destinos**). En general, se tiene la capacidad (oferta) de bienes en cada fuente, un requerimiento (demanda) de bienes en cada destino, y el costo de envío por unidad de cada fuente a cada destino(...) El objetivo de este problema es programar los envíos de manera que se minimice el costo total de transporte. Algunas veces, también se incluyen los costos de producción.”  
(Render, Stair, & Hanna, 2016, pág. 342)

“El problema de asignación se refiere a la clase de problemas de programación lineal que implica determinar la asignación más eficiente de individuos a proyectos (...). El objetivo es casi siempre minimizar el costo total o el tiempo total para realizar las tareas. Una característica importante de los problemas de asignación es que tan solo un trabajo o empleado se asigna a una máquina o un proyecto” (Render, Stair, & Hanna, 2016, pág. 344)

**Naciones Unidas.** Es una organización de carácter internacional, conformada en 1945 como consecuencia de la segunda guerra mundial, actualmente constituida por 193 estados, “las Naciones Unidas pueden tomar medidas sobre los problemas que enfrenta la humanidad en el siglo 21, como la paz y la seguridad, el cambio climático, el desarrollo sostenible, los derechos humanos, el desarme, el terrorismo, las emergencias humanitarias y de salud, la igualdad de género, la gobernanza, la producción de alimentos y mucho más.” (Naciones Unidas, 2020, pág. 1)

“Los países han acordado que el desarrollo sostenible, que fomenta la prosperidad y las oportunidades económicas, un mayor bienestar social y la protección del medio ambiente, es el mejor camino a seguir para mejorar la vida de la población”. (Naciones Unidas, 2020, pág. 2)

**Convención Marco sobre Cambio Climático.** Como producto de la convención de las naciones unidas, Grabert indica que: “La comunidad internacional logró un éxito rotundo con el nuevo acuerdo universal sobre cambio climático adoptado en la COP21 en París en diciembre de 2015. El Acuerdo de París es un catalizador de políticas y acciones para el desarrollo bajo en carbono, el financiamiento climático, la transferencia de tecnología, el desarrollo de capacidades y los enfoques orientados al mercado. Las normas internacionalmente reconocidas para cuantificar las reducciones de emisiones son clave para la integridad ambiental” (UNITED NATIONS, 2019, pág. 3)

**Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).** La normativa que se destaca desde su origen en el protocolo de Kyoto y ratificada durante el acuerdo de Paris en 2015, es el Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL, “El MDL ha desempeñado un papel fundamental en la promoción de la acción climática sobre el terreno en más de cien países en desarrollo y sigue siendo uno de los mecanismos de mercado internacional más exitosos. Del Acuerdo de París queda claro que el

MDL continuará siendo una herramienta importante para enfrentar el desafío del cambio climático” (UNITED NATIONS, 2019, pág. 3)

**Metodologías MDL.** “La integridad ambiental es crucial para el Mecanismo de Desarrollo Limpio, o MDL, y las metodologías forman la base de la integridad. estas ayudan a establecer la línea base de emisiones de un proyecto, o las emisiones anticipadas si el proyecto no avanza. También ayudan a monitorear, cuantificar y estimar con precisión las emisiones una vez que el proyecto está construido”.

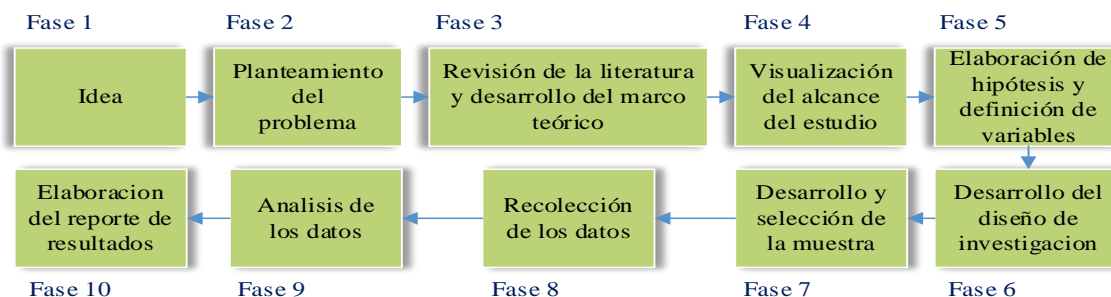
Se pueden encontrar las metodologías MDL en la dirección compartida por Wie-Hua (<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved.html>), consolidadas también en el Folleto **CDM Methodology Booklet** November 2019. Tal como indica Grabert: “Esto tiene un gran potencial para mejorar los medios de vida de las personas, reducir la pobreza, promover una mejor salud, beneficiar directamente a las mujeres y los niños y mejorar la distribución regional de proyectos, lo cual es un deseo clave de las Partes en el Protocolo de Kyoto, y la Junta Ejecutiva del MDL” (UNITED NATIONS, 2019, pág. 3)

## Metodología de Investigación AdHoc

El presente trabajo de investigación siguió un enfoque cuantitativo, a partir del proceso indicado por Sampieri de la Figura 15, y se definió la metodología Ad-hoc, de la Figura 16:

**Figura 15**

*Enfoque de Proceso Cuantitativo*



Tomado de Metodología de la Investigación (Hernandez Sampieri, Fernandez, & Baptista, 2014, p. 5)

**Figura 16**

*Diagrama de bloques Metodología de Investigación General del proyecto*



A continuación, se realiza la descripción de fases de la Metodología definida:

### **Fase 1 Estado Actual**

En la Fase inicial se realizaron entrevistas con el personal de experiencia en el área, para entender el contexto del problema, y sus necesidades. Permitiendo entender de primera mano que se trataba de un fenómeno necesario de atención.

Para el caso presente de esta metodología de investigación, se ha identificado en el Capítulo 1 (El Problema de investigación), que existe una subutilización de recurso natural Gas combustible y complejidad para su aprovechamiento de una manera más óptima.

### **Fase 2 Viabilidad**

En el capítulo 2 (Análisis del Estado del Arte), mediante una Revisión Preliminar de Literatura, se logró un entendimiento más global de dicho problema, conociendo la importancia y el manejo que a nivel mundial se da a la problemática. Entonces, para el caso del presente estudio existen lineamientos internacionales apalancados en una metodología de Mecanismo de desarrollo Limpio (MDL), a su vez desde el lado de tecnologías de la Información e Investigación Operativa, se pudo identificar como un problema de Optimización en el cual se requiere actuar sobre la Red de Distribución y mejorar un problema operativo para redistribuir el gas.

A continuación, una premisa para abordar el problema en base al estudio del arte, como preámbulo a la construcción del modelo

### ***Expectativa***

Para el presente caso de estudio, en la red de distribución del gasoducto virtual, por parte del cliente se espera:

- E1. Conocer las rutas para un despacho continuo de gas, entre las estaciones con gas excedente hacia las estaciones con déficit de gas.
- E2. Saber la secuencia adecuada de las rutas mencionadas, a fin de minimizar distancias de desplazamiento.
- E3. Determinar el número óptimo de los contenedores móviles, necesarios para cubrir la demanda de gas combustible a recuperar.

### ***Consideraciones***

Se ha considerado preliminarmente que, para la generación del modelo, se tomen en cuenta algunos factores como:

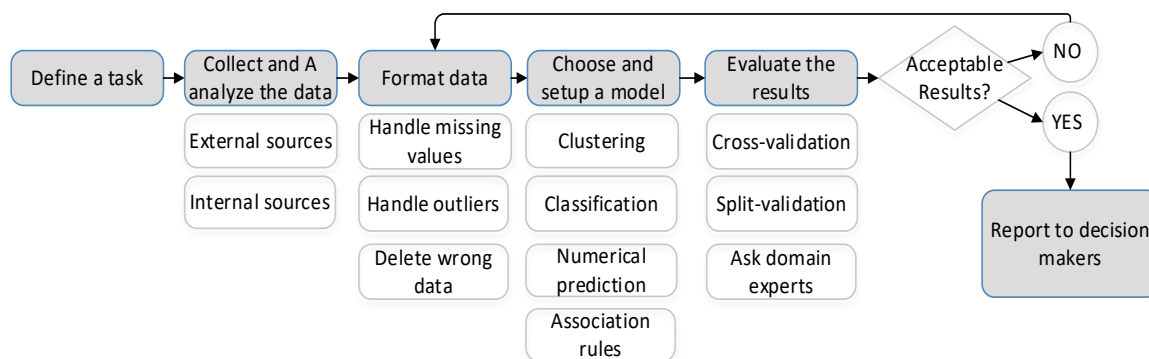
- F1. Localización de las estaciones con gas excedente
- F2. Localización de estaciones consumidoras
- F3. Tiempos de Captación, viaje y descarga
- F4. Características de calidad del gas producido y el necesario para captar

### Fase 3 Construcción

En la Fase de construcción se tomaron las guías mencionadas en Dittert (Dittert, Harting, Reichstein, & Bayer, 2018), basado en un marco de procesos de la metodología CRISP-DM como indica la Figura 17.

**Figura 17**

*Marco de procesos para empresas basado en las fases de CRISP-DM*



Nota Para el presente estudio por temas de optimización de los tiempos y tareas se va a invertir el orden de las fases entre Format data y Choose an setup model. Tomado de (Dittert, Harting, Reichstein, & Bayer, 2018, p. 174)

Con esta guía y en base al análisis de la Fase 2 Viabilidad, durante el desarrollo se realizan reuniones con los especialistas de áreas de la organización como: Departamento de Ingeniería, Tecnologías de la Información (TI) y Sistemas de información Geográfica (SIG), para:

#### ***Definición de la Tarea***

Se partió del entendimiento del negocio, combinado con las necesidades de la organización para enlazarlas a la minería de datos. Todo dentro del marco del objetivo general del presente estudio: “Diseñar la Red de Distribución de contenedores móviles, mediante el análisis de datos de los componentes del Gasoducto Virtual, para reutilizar y distribuir adecuadamente el gas excedente en la industria Hidrocarburífera”. Dicho de otra forma, se buscó el máximo aprovechamiento de gas, con un número óptimo de contenedores móviles.



### ***Recolección y Análisis de Datos de entrada,***

“El análisis cuantitativo es el enfoque científico de la toma de decisiones administrativa. Este enfoque comienza con datos, los datos se manipulan o se procesan para convertirlos en información para quienes toman decisiones. El proceso y manipulación de los datos convertidos en información significativa son la esencia del análisis cuantitativo” (Render, Stair, & Hanna, 2016, pág. 2)

Entonces, para entender los datos se verificaron las fuentes y su calidad, el tipo de datos y los parámetros o atributos que contenían. En caso de existir valores atípicos la acción fue identificar, interpretar y tratarlos.

### ***Formato de los Datos***

En este punto se verifico los tipos de datos en cuanto a formatos y atributos de cada entidad, proporcionados por la organización, pudiendo ejecutar transformación o limpieza sobre los valores faltantes, o datos erróneos.

### ***Selección y Configuración del Modelo***

Las técnicas de Minería de datos empleadas lograron un adecuado tratamiento de los datos y generación de la información. Inicialmente se consideraron discernir entre: clasificación, clusterización, predicción numérica y Reglas de asociación.

Adicionalmente por la naturaleza del problema a resolver, mediante la Programación Lineal, se seleccionó el método más apropiado para encontrar la solución óptima de la Red de Distribución. Considerando inicialmente: ruta más corta, flujo máximo, costo mínimo, transporte, entre otros. Teniendo en cuenta lo indicado por Taha: “Un estudio de IO no debe iniciar con el prejuicio de utilizar una herramienta matemática específica antes de que se justifique su uso” (Taha, 2017, pág. 9)

### ***Análisis Técnico de Resultados***

Se verificó de manera iterativa, mediante la variación de los parámetros de entrada, que el modelo respondía a dichas variaciones. Pudiendo establecer durante la construcción un cambio del modelo inicial, hasta obtener una flota con el número óptimo de vehículos que permitiera satisfacer la demanda de gas continua de las PGE con déficit de gas.

Una vez que el modelo entregó resultados aceptables para satisfacer la demanda, se consolidó la información obtenida en cada fase, de una manera útil para preparar el reporte a los tomadores de decisión.

### **Fase 4 Validación**

Mediante el reporte a los tomadores de decisión, se verificó conjuntamente que los resultados obtenidos del modelo fueron consecuentes con las expectativas de la empresa. Esto a fin de apalancar la decisión de ejecutar el proyecto de contenedores móviles, para cumplir los objetivos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

Para ello la propuesta a ejecutar fue la siguiente:

- i) Colectar los datos generados con el modelo,
- ii) Interpretar, Sintetizar y documentar los datos obtenidos,
- iii) Preparar los datos para entrevista con Coordinadores y Jefaturas,
- iv) Realizar entrevista de validación de la solución implementada

Finalmente, se realizó una síntesis del presente capítulo, presentando una homologación con las fases de las Metodologías de Investigación y Desarrollo. Para ello, se ha partido del esquema de proceso Cuantitativo de Sampieri y la variante de la metodología Crisp-DM. Ambas se relacionaron con las fases de la metodología propia, descrita al inicio del capítulo. Tal como se puede visualizar en la Tabla 7

**Tabla 7**

*Homologación entre Metodologías de Investigación y Desarrollo*

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN PROCESO CUANTITATIVO		METODOLOGÍA DESARROLLO DEL MODELO BASADA EN CRISP-DM		METODOLOGÍA AD-HOC	
N	NOMBRE DE LA FASE	N	NOMBRE DE LA FASE	N	NOMBRE DE FASE
1	Idea	1	Definir la Tarea	1	Estado Actual
2	Planteamiento del problema	1	Definir la Tarea	1	Estado Actual
3	Revisión de Literatura y Desarrollo Marco Teórico	1	Definir la Tarea	2	Viabilidad
4	Visualización del alcance del estudio	1	Definir la Tarea	2	Viabilidad
5	Elaboración de hipótesis y definición de variables	1	Definir la Tarea	2	Viabilidad
6	Desarrollo del diseño de investigación	1	Definir la Tarea	3	Construcción
7	Definición y Selección de la Muestra	2	Recolección y Análisis de los Datos	3	Construcción
8	Recolección de los datos	2	Recolección y Análisis de los Datos	3	Construcción
9	Análisis de los datos	3	Formatear los Datos	3	Construcción
10	Análisis de los datos	4	Selección y configuración del Modelo	3	Construcción
11	Análisis de los datos	5	Análisis Técnico de los Resultados	3	Construcción
12	Elaboración del reporte de resultados	6	Reporte a los tomadores de Decisión	4	Validación

*Nota.* La Tabla muestra la relación entre las fases de las metodologías: Esquema de proceso Cuantitativo y CRISP-DM; para formar la metodología AdHoc propuesta.

## Desarrollo del Modelo

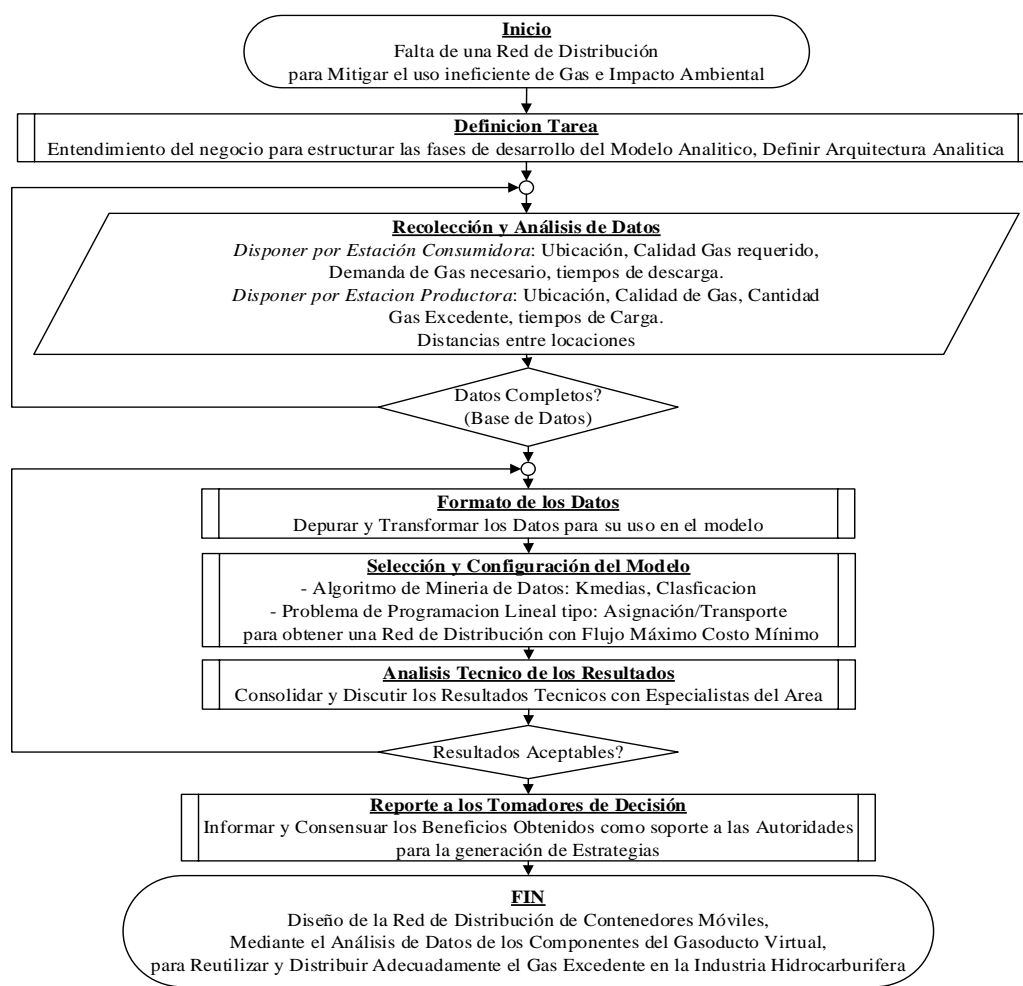
El presente capítulo muestra el diseño de una red de distribución de contenedores móviles, mediante el análisis de datos de los componentes del gasoducto virtual, para reutilizar y distribuir Adecuadamente el Gas Excedente en la Industria Hidrocarburífera. Basado en un marco de procesos de la metodología CRISP-DM. A continuación, el detalle de cada etapa:

### Definición de la Tarea

La tarea ha sido estructurada como se puede visualizar en la Figura 18

**Figura 18**

*Etapas para desarrollo del Modelo Analítico*



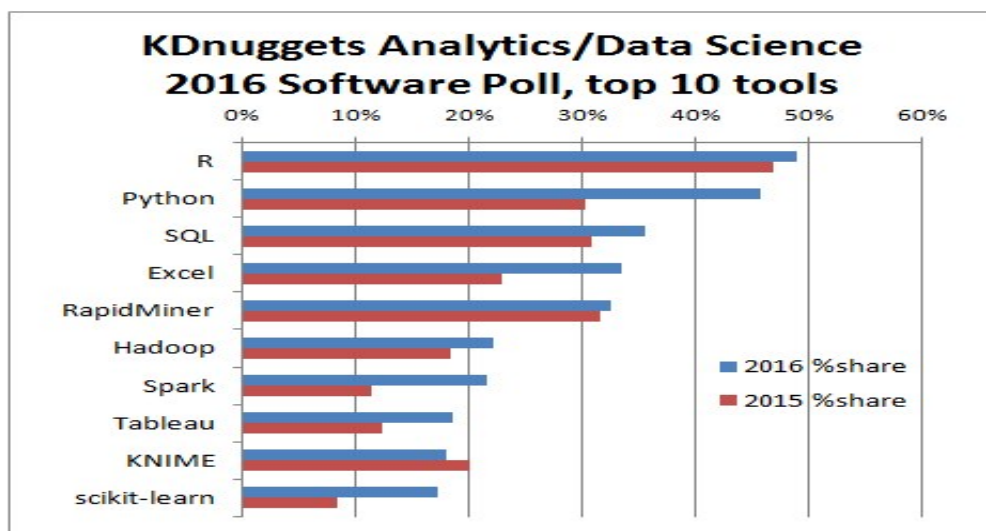
*Nota.* El Modelo Analítico permite encontrar una red de distribución. Basado en CRISPDM

### Arquitectura analítica para solucionar el problema

Se consultaron las herramientas de Machine Learning más utilizadas, con la finalidad de seleccionar la herramienta de desarrollo del modelo que resultara más apropiada. Ver Figura 19

**Figura 19**

*Encuesta KDnuggets uso de herramientas de Machine Learning*



*Nota.* R y Python representan el uso más frecuente. Tomado de (Piatetsky, 2016)

Considerando las características indicadas por los Autores: “Mientras el lenguaje R dispone de un enfoque matemático, Python es un lenguaje de alto nivel multipropósito, cuya principal ventaja es la facilidad en la legibilidad del código” (UNIR, 2020).

“R es excelente para el trabajo exploratorio y útil para casi cualquier tipo de análisis de datos debido a la gran cantidad de paquetes fácilmente utilizables” (Theuwissen, 2015)

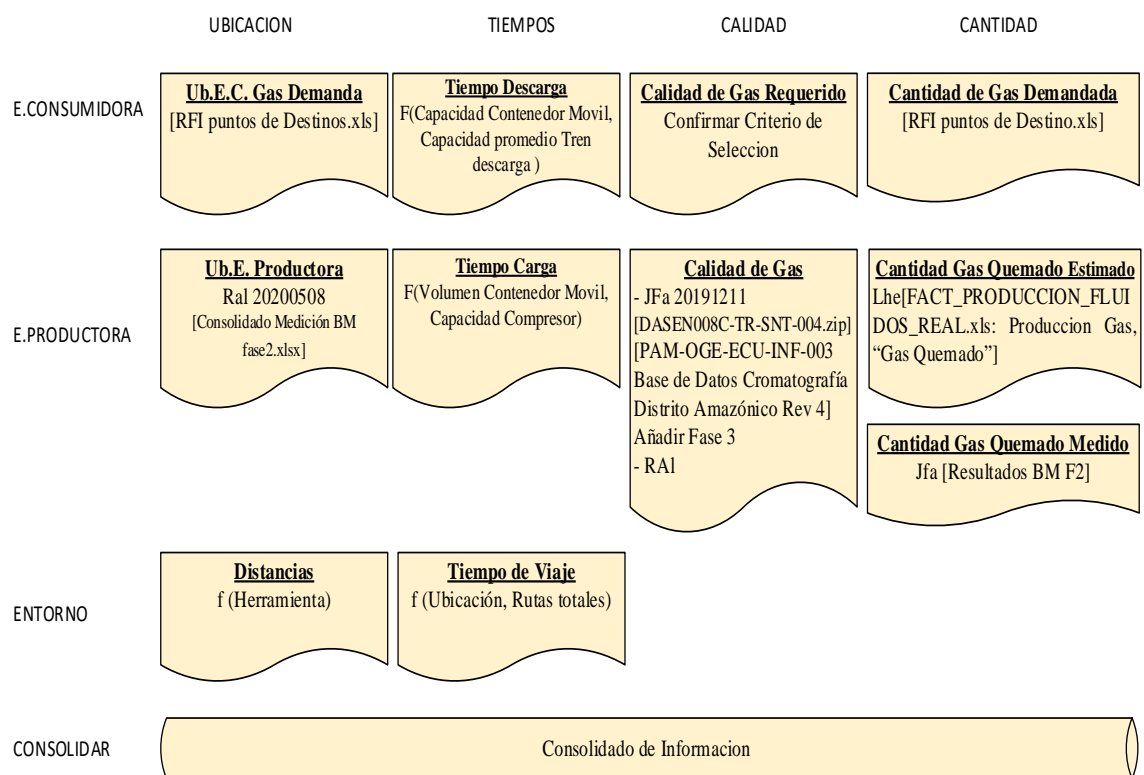
Por los requerimientos del problema, tanto para el análisis exploratorio como el modelado matemático, se optó por usar la herramienta de Machine Learning, el lenguaje R.

## Recolección y Análisis de Datos

Para estructurar la recolección de los datos, se planteó una agrupación de los mismos en función de las variables de interés. Tal como se puede visualizar en la Figura 20

**Figura 20**

*Tablero de control de las Fuentes de datos*



Se inició con una descripción de las variables asociadas a: Estación Productora, Estación Consumidora, y Entorno respectivamente. Relacionándola con sus correspondientes atributos de: Ubicación, tiempos, calidad y cantidad. Para estructurar la base de Datos, y el análisis descriptivo de los mismos.

### **Diccionario de Datos**

A continuación, la descripción de los datos agrupados por categorías, significado, unidades utilizadas, y sus atributos.

### Estación Consumidora (E.Co)<sup>6</sup>.

Se refiere a las estaciones con déficit de gas y posibilidad de incrementar su eficiencia, mediante el suministro de los contenedores móviles. Es decir, las estaciones de destino o demanda. Se usaron las siglas E.Co para referirse a esta categoría. Y la unidad de demanda de gas requerida, con la que se trabajó, fue unidades de Millones de pies cúbicos estándar (MMSCF)

**Ubicación (E.Co).** En el extracto del documento RFI de ingeniería, se indicaron 5 estaciones con sus respectivas demandas, como se puede apreciar en la Figura 21.

**Figura 21**

*Extracto RFI Estaciones Consumidoras*

4 Descripción del requerimiento:						
Favor confirmar las siguientes capacidades en las estaciones de entrega de gas:						
1. Complejo Industrial Shushufindi:			3. Secoya:			
Capacidad instalada: 25 millones de pies cúbicos por día			Capacidad instalada: 3 millones de pies cúbicos por día			
Capacidad utilizada: 14 millones de pies cúbicos por día			Capacidad utilizada: 1 millón de pies cúbicos por día			
Capacidad disponible: 11 millones de pies cúbicos por día			Capacidad disponible: 2 millones de pies cúbicos por día			
2. Limoncocha:						
Capacidad instalada: 7 millones de pies cúbicos por día						
Capacidad utilizada: 3 millones de pies cúbicos por día						
Capacidad disponible: 4 millones de pies cúbicos por día						

12 Detalle de la respuesta al requerimiento -						
1. Se confirma lo indicado en el ítem 1 CIS						
2. A continuación se indica para las centrales de Generación						
Locación	Potencia Nominal	Potencia Efectiva	Potencia a Gas efectivo	Potencia de gas promedio actual	Rendimiento actual MSCFDP/MW	Capacidad de Gas disponible (MM SCFD)
CPF	15.717	12.6	12.6	4.833	310.08	2.4
Limoncocha	10.5	8.4	8.4	3.542	380.02	1.8
Secoya	17.97	14.4	13.51	2.52	368.39	4.0
ZPF	9.6	7.7	6.1	1.20	866.74	4.3

*Nota* Tomado de DASEN008C-SNT-SEN-10-RFI-002-0 Ingeniería Conceptual Segunda Etapa Recuperación de Gas Asociado "Monetizing Stranded Associated Gas (MSAG)" (OGE&EE, 2015)

**Tiempos de Descarga (E.Co).** El tiempo requerido por el contenedor móvil para entregar el volumen de gas transportado en la estación consumidora, a través de los trenes de

<sup>6</sup> E.Co: Acrónimo usado en este estudio para hacer referencia a las Estaciones Consumidoras

descarga. Desde la máxima presión de transporte(2500psig) hasta el mínimo permitido(100psig). Es decir, el tiempo de vaciado del gas en la estación destino. Una vez dimensionado, la capacidad del compresor, el contenedor móvil (Autotanque), y los trenes de descarga. Ingeniería, indicó un tiempo promedio de descarga de 4,78 horas como se muestra en la Figura 22

**Figura 22**

*Extracto de Tiempo promedio de Descarga del Contenedor*

Volumen del autotanque	420 MSCF
<b>Descarga del tanquero</b>	
Capacidad de descarga 1	1580 MSCFD
Capacidad de descarga 2	3170 MSCFD
tiempo de descarga 1	3,18 horas
tiempo de descarga 2	6,38 horas
<b>tiempo promedio</b>	<b>4,78 horas</b>

*Nota.* Obtenido mediante consulta al equipo de ingeniería de Procesos (OGE&EE, 2020)

**Calidad Requerida (E.Co).** Basado en la ingeniera DAG008A, el criterio de aceptación de calidad del gas útil, que sugería un Poder Calórico inferior “LHV<sup>7</sup> entre 900BTU/ft<sup>3</sup> a 1200Btu/ft<sup>3</sup>” (OGE&EE, 2015)<sup>8</sup>

Se confirma con el equipo de ingeniería, el criterio de aceptación del gas en función del poder calórico útil para el gasoducto virtual, en “**LHV mayor a 900BTU/ft<sup>3</sup>**” (OGE&EE, 2020).

<sup>7</sup> LHV: [Low Heating Value] acrónimo de Poder Calórico Inferior. “El poder calorífico es expresado (medido) ya sea en Unidad Térmica Inglesa ("BTU" por "British Thermal Units") o Mega Joule (MJ). Si 900 BTU/ft<sup>3</sup> de un combustible en estado gaseoso ocupa una caja de un pie cúbico, entonces la caja contendría 900 BTU's de energía (un columen de un metro cúbico tendrá 26.9 Mega Joules de energía, o 26.9 MJ/m<sup>3</sup>)” (General Electric, 2017, pág. 5)

<sup>8</sup> OGE&EE: Optimización de Generación Eléctrica y Eficiencia Energética



**Tabla 8**

*Criterio de Aceptación en Calidad del Gas para el Gasoducto Virtual*

PODER CALÓRICO	LHV<900	LHV>900
TIPO DE CONSUMIDORES	NINGUNO	REFINACIÓN + PGE
ACEPTABILIDAD COMBUSTIBLE	NO	SI

Nota Confirmado con el equipo de Ingeniería, mediante consulta, basada en proyecto DAG008A

**Cantidad de Gas Demandada (E.Co).** La demanda de gas por estación consumidora es la misma indicada en la Figura 20

Cabe notar que en la ingeniería que se está desarrollando para cubrir esta demanda, determino captar el gas necesario desde estaciones productoras, con un Flujo mínimo superior a 200 MSCFD. De esta manera, el proceso de captación de gas combustible resultaba eficiente.

Ver Tabla 9

**Tabla 9**

*Criterio de Captación de Gas para el Gasoducto Virtual para cubrir la demanda*

FLUJO MÍNIMO A CAPTAR EN EPR	Fmin<0,2MMSCFD	Fmin>0,2MMSCFD
TIPO DE CONSUMIDORES	NINGUNO	REFINACIÓN + PGE
CAPTACIÓN EFICIENTE Y RENTABLE	NO	SI

Nota. Confirmado con el equipo de Ingeniería, mediante consulta, basada en proyecto DAG008A

### Estaciones Productoras E.Pr<sup>9</sup>

Hace referencia a las estaciones que cuentan con un excedente de gas el cual está siendo quemado, por lo que resultan candidatas para captar dicho gas, mediante los contenedores móviles. Es decir, las estaciones de origen u oferta.

Previo a las mediciones de gas en sitio, se partió desde las estaciones con flares disponibles en el listado Flares B56-JSa\_UB44E.xls. Se indica el formato inicial en la Figura 23

**Figura 23**

*Extracto de listado de estaciones productoras*

OGE OPTIMIZACIÓN • GENERACIÓN • ELÉCTRICA												PETROAMAZONAS EP		Departamento:	SOLUCIONES
														Locación:	BL-15
														Revisión:	0
														Página:	2 DE 5
BLOQUE	CODIGO FACILIDAD DE SUPERFICIE	FACILIDAD DE SUPERFICIE	POZO	CANTIDAD GAS (MMCFD)	FACILIDAD PARA MEDICIÓN GAS	DIÁMETRO TOMA GAS	DESCRIPCIÓN DE ACCESO LÍNEA DE GAS	CATEGORÍA	COORD ENADA N	COORD ENADA E	COORD ENADA Z	FOTO_G RAFÍA	COMENTARIO S		
58	CYP	Cuyabeno	Cuyabeno B Cuyabeno C Cuyabeno E Cuyabeno F Cuyabeno G Cuyabeno H Cuyabeno I	2,19	SI	1	ACCESO LIBRE	Gas de Alta	2509,8	357736,8	244	VER PAG 5	Se tiene el dato del coriolis pero no es real, el equipo no esta afinado para este proceso El dato es la sumatoria potencial de pozos		

Nota Obtenido previo al relevamiento en campo generado por Ingeniería: (OGE&EE, 2020, pág. 2)

**Ubicación (E.Pr).** Para la ubicación de los flare dentro de las estaciones productoras, se encontraron múltiples fuentes, las mismas fueron revisadas para posteriormente tratar los datos.

En referencia a las estaciones consideradas inicialmente 170 flares candidatos. Con ayuda del Banco Mundial, se midieron aproximadamente 90 de estos Flares hasta la Fase2 de medición actual, y alrededor de 50 Flares adicionales en la Fase3 posteriores

<sup>9</sup> **E.Pr:** Acrónimo usado en este estudio para hacer referencia a las Estaciones Productoras

**Tiempos de Carga (E.Pr).** El tiempo de carga indica la duración del contenedor móvil (también llamado autotanque) para abastecerse del gas, desde una presión residual(100psig) hasta la máxima presión admisible(2500psig), usando su propio compresor dentro de la estación productora. Es decir, el tiempo de llenado en la estación de origen.

Entonces, con el dimensionamiento de capacidad del compresor y del contenedor, la ingeniería indicó un tiempo de carga aproximado de 21,85 horas, ver Figura 24:

**Figura 24**

*Extracto de Tiempo de Carga del Contenedor*

Volumen del autotanque	420 MSCF
<b>Carga de tanqueros</b>	
<b>Carga del tanquero con volumen estándar asumido Ben</b>	
Capacidad del compresor	461,3 MSCFD
tiempo de llenado	21,85 horas

*Nota.* Obtenido previo al relevamiento en campo generado por Ingeniería: (OGE&EE, 2020, pág. 1)

**Calidad (E.Pr).** Los análisis de las muestras de gas permitieron obtener una idea precisa de la calidad del gas en cada estación, con los resultados presentados en las cromatografías. Inicialmente se contó con cerca de 80 muestras Fase1 y Fase2, y se durante el proyecto se fueron completando las muestras de Fase 3, con el apoyo del Laboratorio. El formato del resultado es el indicado en la Figura 25.

Figura 25

Muestra de cromatografías.pdf

SAMPLE FROM		PARAHUACU FLARE 3 LINE 2	
PRESSURE (psi)		50	
TEMPERATURE ( °F )		110	
DATE		15-10-19	
PRODUCER SAND:		TI+TS	
PARAMETER		FRACTION (% molar)	
NITROGEN		3.89	
METHANE		32.60	
CARBON DIOXIDE		4.97	
ETHANE		17.33	
WATER		1.39	
PROPANE		21.83	
i-BUTANE		2.87	
n-BUTANE		9.13	
i-PENTANE		2.54	
n-PENTANE+		2.34	
n-HEXANE +		1.06	
n-HEPTANE+		0.06	

GAS PROPERTIES @ 14.7 psig & 60° F		
Gross	1,851.3	BTU / ft <sup>3</sup>
Net	1,697.3	BTU / ft <sup>3</sup>
Molecular	35.3	lb/lb-mol
Compresib	0.9862	
Density	0.0944	lb / ft <sup>3</sup>
S.G.	1.2363	
Density	1.5131	Kg / m <sup>3</sup>
GAS PROPERTIES @ 50 psig & 110 °F		
Compresib	0.9510	
Density	0.3929	lb / ft <sup>3</sup>
S.G.	1.2821	
Density	6.2998	Kg / m <sup>3</sup>

Nota. Tomado de resultados de cromatografía en laboratorio: (OGE&EE, 2020)

**Cantidad de Gas Disponible (E.Pr).** Representa el volumen de gas actualmente quemado en los Flare/Mecheros de las estaciones. Se diferenciaron dos fuentes, a) cantidad Estimada previo a la medición, b) Cantidad Medida con Banco Mundial.

a) **Cantidad Estimada (E.Pr)**

Las cantidades indicadas en este archivo Excel corresponden a un consolidado de la información que reportan los supervisores desde cada planta de generación en el Sistema TOW. El valor relevante en este archivo en la pestaña PRODUCCIÓN GAS, es el indicado en la columna Gas Quemado. Aunque corresponde a estimaciones entregadas por el responsable de cada locación, cabe notar que el archivo cuenta con una cantidad 135849 Datos de diferentes estaciones, con granularidad espacial por estación, granularidad temporal mensual, Los cuales podrían considerarse referenciales. Ver Figura 26

Figura 26

Extracto de FACT\_PRODUCION\_FLUIDOS\_REAL

	FECHA	CAMPO	PRODUCIDO	COMBUSTIBLE	ENTREGADO_PI	QUEMADO	COD_CAMPO	COD_FAC_SUP	AÑO	MES
135839	30/09/2019	TUNTIK	0	0	0	0 TNT	TNTA		2019	9
135840	30/09/2019	VHR	1260,87	0	0	1260,87 VHR	VHP		2019	9
135841	30/09/2019	VINITA	20,6	0	0	20,6 VNT	VNP		2019	9
135842	30/09/2019	YANAHURCO	36,165	0	0	36,165 YNH	YNHA		2019	9
135843	30/09/2019	YANAQUINCHA ESTE	257,565	161,508	0	96,057 CYNQ	CYNQ		2019	9
135844	30/09/2019	YANAQUINCHA NORTE	7,412	4,648	0	2,764 CYNQ	CYNQ		2019	9
135845	30/09/2019	YANAQUINCHA OESTE	142,679	89,469	0	53,21 CYNQ	CYNQ		2019	9
135846	30/09/2019	YANAQUINCHA SUR				CYNQ	CYNQ		2019	9
135847	30/09/2019	YUCA	420,18	0	0	420,18 YCA	YCP		2019	9
135848	30/09/2019	YULEBRA	1253,3	0	0	1253,3 YLB	YLB		2019	9
135849	30/09/2019	YURALPA	157,87	0	0	157,87 YRL	YPF		2019	9

Fuente: (OGE&amp;EE, 2020)

#### b) Cantidad Medida (E.Pr)

Con las mediciones del Banco Mundial se están obteniendo los flujos y las cantidades de gas real en los flares de las estaciones. Se emplearon las unidades en Millones de pies cúbicos por día MMSCFD y MMSCF para expresar dichas cantidades. Cabe destacar que la medición se realiza en los flare de las estaciones, al encontrarse en el punto final del proceso aumenta la fiabilidad de la medición.

**Entorno (E.Co & E.Pr).** Para realizar el análisis de red de distribución, se realizó el relevamiento con GPS y se registraron las coordenadas, luego se contrastaron con el Sistema de Información Geográfica disponible en la organización. Garantizando así, certeza de la ubicación de las estaciones productoras(EPr) y consumidoras(Eco), de esta forma se pudo realizar análisis sobre la red, obteniendo las distancias y tiempos acertados en las rutas óptimas.

### ***Consolidado de las Fuentes de Datos para Uso en el Modelamiento***

Con la tarea definida, y la descripción de los datos provenientes de múltiples fuentes, se vio la necesidad de generar una estructura adecuada para la manipulación correcta de los datos, como indica Dittert: “A menudo no se tiene bases de datos bien organizadas o incluso almacenes de datos. Esto hace que sea necesario configurar una base de datos para cada tarea de minería de datos” (Dittert, Harting, Reichstein, & Bayer, 2018, pág. 175).

Se construyó la Base de Datos (B.D<sup>10</sup>), ejecutando las siguientes actividades:

- ✓ Exploración de atributos de los datos de entrada
- ✓ Establecer punto de partida
- ✓ Validación de la Nomenclatura
- ✓ Integración de datos de Calidad
- ✓ Integración de datos de Cantidad
- ✓ Validación de Coordenadas
- ✓ Discriminación de Estaciones Consumidoras y Productoras (Eco&EPr)
- ✓ Integrar de Tiempo viaje.

El Anexo 4.2.2 Muestra la descripción detallada de cómo se llevó a cabo la preparación de los datos. Mientras que en la Figura 26, se encuentra el modelo de relación de los Datos.

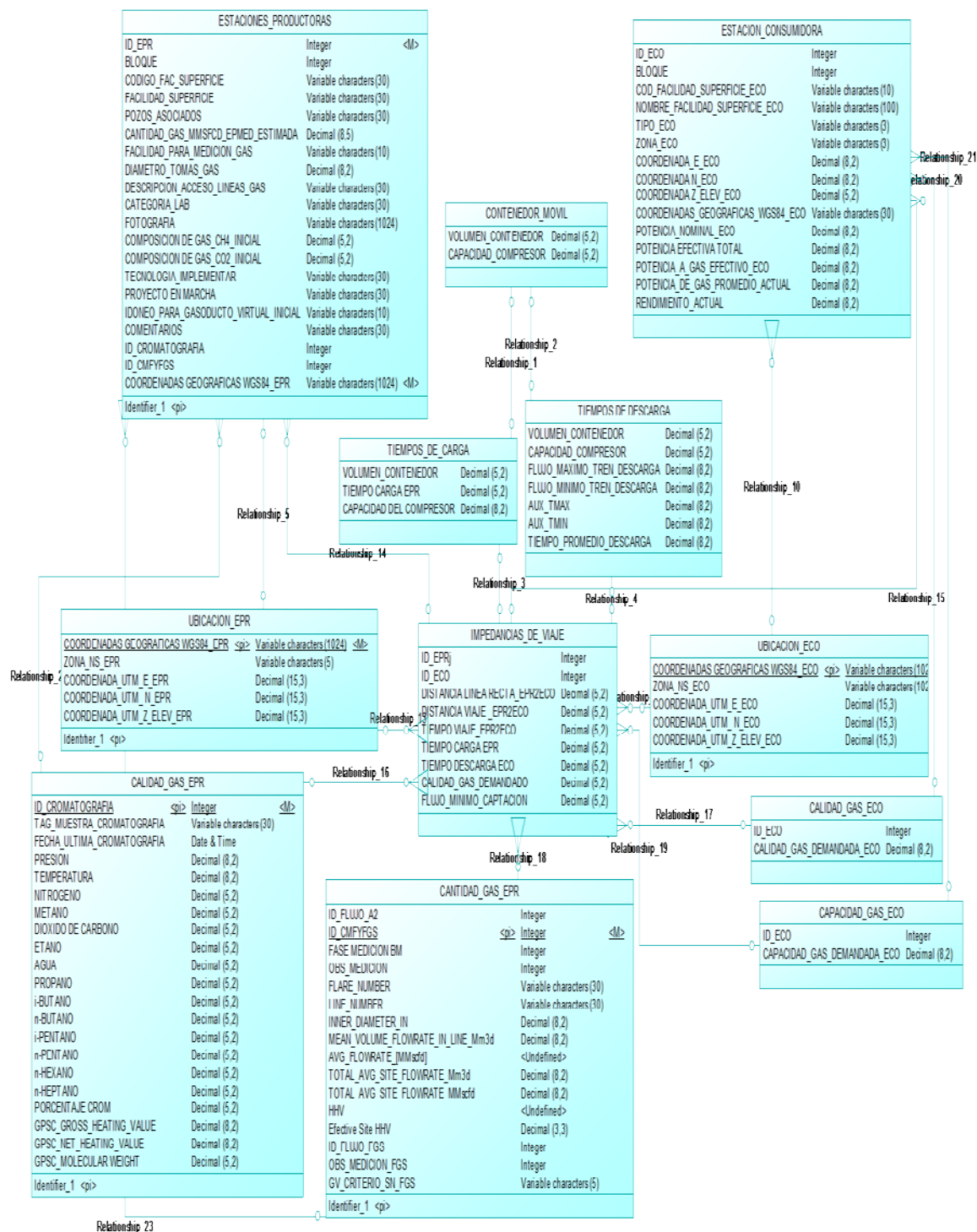
El archivo Excel Obtenido: Flares\_DB\_LMo20200822.xls, con el cual se continuo el desarrollo del modelo analítico.

---

<sup>10</sup> B.D: Acrónimo de Base de Datos, definida como una serie de datos organizados y relacionados entre sí, los cuales son recolectados y explotados por los sistemas de información de una empresa en particular (Garcia, 2016)

Figura 27

Modelo Relacional



Nota. Se muestra la relación entre las entidades y atributos de la Base de Datos.

### **Análisis Exploratorio de los Datos**









Se visualizaron los datos, mediante estadística descriptiva. Tal como menciona Dittert:

“Los datos recopilados se pueden analizar primero comprobando si hay registros poco realistas y luego visualizándolos, por ejemplo, mediante diagramas de dispersión” (Dittert, Harting, Reichstein, & Bayer, 2018, pág. 175)

En el Anexo 4.2.3 se ubicó el Resumen Estadístico obtenido. Mientras que en las Figuras 27 y 28, se muestra un extracto obtenido de Flares (EPr) y plantas(ECO) respectivamente

**Figura 28**

*Extracto del Resumen Estadístico Estaciones Consumidoras E.Co*

No	Variable	Stats / Values	Freqs (% of Valid)	Graph	Valid	Missing
1	ID_ECO [numeric]	Mean (sd) : 3 (1.6) min < med < max: 1 < 3 < 5 IQR (CV) : 2 (0.5)	1: 1 ( 20.0%) 2: 1 ( 20.0%) 3: 1 ( 20.0%) 4: 1 ( 20.0%) 5: 1 ( 20.0%)		5 (100%)	0 (0%)
2	BLOQUE [numeric]	Mean (sd) : 32.4 (22.5) min < med < max: 15 < 18 < 57 IQR (CV) : 42 (0.7)	15: 2 ( 40.0%) 18: 1 ( 20.0%) 57: 2 ( 40.0%)		5 (100%)	0 (0%)
3	COD FAC SUPERFICIE [character]	1. INDA-001 2. LMNA-001 3. PLAA 4. SCY-001 5. SHS-CIS	1 ( 20.0%) 1 ( 20.0%) 1 ( 20.0%) 1 ( 20.0%) 1 ( 20.0%)		5 (100%)	0 (0%)
4	NOMBRE FACILIDAD_SUPERFICIE [character]	1. COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSH 2. CPF B15 - INDILLANA 3. LIMONCOCHA 4. SECOYA 5. ZPF	1 ( 20.0%) 1 ( 20.0%) 1 ( 20.0%) 1 ( 20.0%) 1 ( 20.0%)		5 (100%)	0 (0%)
5	TIPO [character]	1. PGE 2. REF	4 ( 80.0%) 1 ( 20.0%)		5 (100%)	0 (0%)
6	CAPACIDAD_GAS DEMANDADA (MMsfcd) [numeric]	Mean (sd) : 4.7 (3.7) min < med < max: 1.8 < 4 < 11 IQR (CV) : 1.9 (0.8)	1.80: 1 ( 20.0%) 2.40: 1 ( 20.0%) 4.00: 1 ( 20.0%) 4.30: 1 ( 20.0%) 11.00: 1 ( 20.0%)		5 (100%)	0 (0%)
7	ZONA [character]	1. 18N 2. 18S	1 ( 20.0%) 4 ( 80.0%)		5 (100%)	0 (0%)
8	COORDENADA E [numeric]	Mean (sd) : 310331.3 (17123.1) min < med < max: 280352.9 < 315699.3 < 323177 IQR (CV) : 4706.3 (0.1)	280352.90: 1 ( 20.0%) 313860.40: 1 ( 20.0%) 315699.30: 1 ( 20.0%) 318566.70: 1 ( 20.0%) 323177.00: 1 ( 20.0%)		5 (100%)	0 (0%)

*Nota.* Obtenido mediante (RSTUDIO, 2020)



Figura 29

Extracto del Resumen Estadístico Estaciones Consumidoras E.Pr

### Data Frame Summary

df\_flares

Dimensions: 122 x 75

Duplicates: 0

No	Variable	Stats / Values	Freqs (% of Valid)	Graph	Valid	Missing
1	ID_EPR [numeric]	Mean (sd) : 60.6 (35.6) min < med < max: 0 < 60.5 < 122 IQR (CV) : 60.5 (0.6)	122 distinct values		122 (100%)	0 (0%)
2	BLOQUE [numeric]	Mean (sd) : 55.5 (13.4) min < med < max: 7 < 60 < 61 IQR (CV) : 4 (0.2)	7: 6 ( 4.9%) 18: 4 ( 3.3%) 56: 9 ( 7.4%) 57: 16 ( 13.1%) 58: 7 ( 5.7%) 59: 2 ( 1.6%) 60: 36 ( 29.5%) 61: 42 ( 34.4%)		122 (100%)	0 (0%)
3	CODIGO FACILIDAD SUPERFICIE [character]	1. SCH 2. ACSA-001 3. SCHAF-380 4. ACP 5. ACS 6. CLB-001 7. CNOA 8. CYB 9. FRN-001 10. GNTA-001 [ 72 others ]	6 ( 4.9%) 3 ( 2.5%) 3 ( 2.5%) 2 ( 1.6%) 2 ( 1.6%) 2 ( 1.6%) 2 ( 1.6%) 2 ( 1.6%) 2 ( 1.6%) 2 ( 1.6%) 96 ( 78.7%)		122 (100%)	0 (0%)
73	DLR EC5 Palo Azul, Central de Procesos Palo Azul [numeric]	Mean (sd) : 45.9 (25.6) min < med < max: 0 < 40.2 < 120.4 IQR (CV) : 34.8 (0.6)	80 distinct values		122 (100%)	0 (0%)
74	Distancia de Viaje a EC5 [numeric]	Mean (sd) : 81.7 (47.4) min < med < max: 0 < 78.6 < 233.2 IQR (CV) : 57.3 (0.6)	79 distinct values		122 (100%)	0 (0%)
75	Tiempo de Viaje a EC5 [POSIXct, POSIXt]	min : 1899-12-31 med : 1899-12-31 03:14:00 max : 1899-12-31 07:58:00 range : 7H 58M 0S	70 distinct values		122 (100%)	0 (0%)

Generated by [summarytools](#) 0.9.6 (R version 4.0.2)

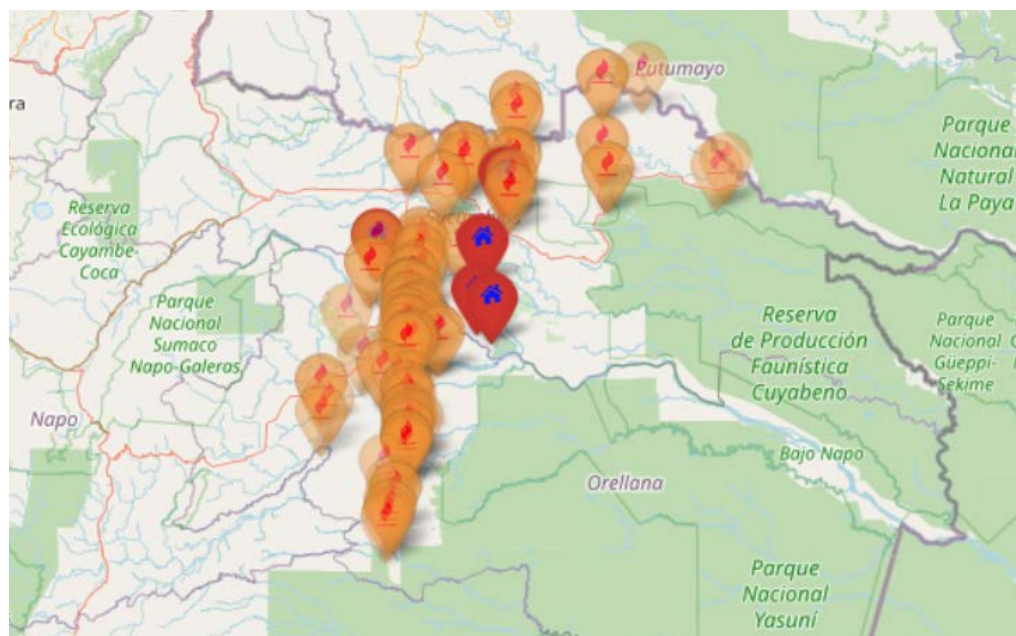
2020-07-29

Nota. Obtenido mediante (RSTUDIO, 2020)

Adicionalmente se realizó la ubicación gráfica de las coordenadas ubicándose todas las estaciones dentro del área de interés, el resultado obtenido se puede ver en la Figura 30

**Figura 30**

*Visualización de Coordenadas EPR y ECO Inicial*



*Nota.* Obtenido mediante (RSTUDIO, 2020)

En síntesis, luego de revisar cada uno de los atributos, se observó que los valores tabulados se encontraban dentro de parámetros reales, y no existieron valores atípicos. Por tanto, se considera que la base de datos tiene calidad válida para el desarrollo del modelo.

## Formato de los Datos

En la configuración del Modelo Analítico fueron requeridas etapas preliminares de extracción y transformación de la data, para adaptar la base de datos al modelo, sin perder consistencia de información. Desde los literales 4.3.3.1 hasta el 4.3.3.5 se detallan dichas etapas

### *Extracción o Selección de las Variables de interés EPr*

Se seleccionaron las variables a utilizar de las estaciones productoras (flares) para el modelo, y por facilidad se modificaron los nombres. La Figura 31 muestra el código empleado

**Figura 31**

### *Código de Selección de Variables en EPr*

```

19 # DEFINICION DEL DIRECTORIO DE TRABAJO
20 path <- "E:/MGBI/TESIS/4_CONSTRUCCION/43_DESARROLLO MODELO/"
21
22 # LECTURA DE LA BASE DE DATOS (HOJA DE ESTACIONES PRODUCTORAS)-----
23 df_flares <- read_excel(paste0(path, "FLARES_DB_LMO20200822.xlsx"), sheet="I ESTACIONES PRODUCTORAS")
24 glimpse(df_flares)
25
26 # Anexo 4.2.3: VISUALIZACION DE LOS DATOS ESTADISTICA DESCRIPTIVA DATA_FRAME_ESTACIONES_PRODUCTORAS = DF_FLARES
27 # view(dfSummary(df_flares), file="E:/MGBI/TESIS/4_CONSTRUCCION/43_DESARROLLO MODELO/ResumenEstadistico.html")
28
29 # SE ESCOGEN LAS VARIABLES A USAR
30 df_flares <- df_flares %>% dplyr::select('CODIGO FACILIDAD SUPERFICIE', 'LAT_EPR', 'LON_EPR',
31   'LHV\r\n(BTU/ft3)', 'Avg. Flowrate\r\n[MMscfd]',
32   'Dsitancia Linea Recta EC1 (km)', '\r\nCentral de Procesos Shushufindi', 'Distancia de Viaje a EC1',
33   'DLR EC2, \r\nCentral de Procesos Indillana', 'Distancia de Viaje a EC2', 'Tiempo de Viaje a EC2',
34   'DLR EC3, \r\nCentral de Procesos Limoncocha', 'Distancia de Viaje a EC3', 'Tiempo de Viaje a EC3',
35   'DLR EC4 Secoya, Central de Procesos Secoya', 'Distancia de Viaje a EC4', 'Tiempo de Viaje a EC4',
36   'DLR EC5 Palo Azul, Central de Procesos Palo Azul', 'Distancia de Viaje a EC5', 'Tiempo de Viaje
37   dplyr::mutate(ID=paste0("FLARE", sprintf("%04.0f", dplyr::row_number())) %>%
38   dplyr::select(ID, everything())
39
40 # SE MODIFICAN LOS NOMBRES
41 colnames(df_flares) <- c("ID", "CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE",
42   "LATITUD", "LONGITUD",
43   "LHV", "AVG_FLOWRATE",
44   "DLR_Shushufindi", "DREAL_Shushufindi", "TVIAJE_Shushufindi",
45   "DLR_Indillana", "DREAL_Indillana", "TVIAJE_Indillana",
46   "DLR_Limoncocha", "DREAL_Limoncocha", "TVIAJE_Limoncocha",
47   "DLR_Secoya", "DREAL_Secoya", "TVIAJE_Secoya",
48   "DLR_PaloAzul", "DREAL_PaloAzul", "TVIAJE_PaloAzul")
49 glimpse(df_flares)

```

### *Transformación de Unidades en Estaciones Productoras*

Al observar las variables se vio la necesidad de transformar las unidades de tiempo de viaje a horas, cambiando el formato date a decimal, para su uso en el modelo. Ver Figura 32 y 33

## Figura 32

### Código Transformación de unidades E.Pr

```

51 # TRANSFORMACION DE TIEMPOS DE VIAJE, EPR2ECO(Flares-Plantas), EN HORAS (DATE -> HORAS): -----
52 df_flares <- df_flares %>%
53   dplyr::mutate(TVIAJE_Shushufindi = hour(TVIAJE_Shushufindi) + minute(TVIAJE_Shushufindi)/60,
54               TVIAJE_Indillana = hour(TVIAJE_Indillana) + minute(TVIAJE_Indillana)/60,
55               TVIAJE_Limoncocha = hour(TVIAJE_Limoncocha) + minute(TVIAJE_Limoncocha)/60,
56               TVIAJE_Secoya = hour(TVIAJE_Secoya) + minute(TVIAJE_Secoya)/60,
57               TVIAJE_PaloAzul = hour(TVIAJE_PaloAzul) + minute(TVIAJE_PaloAzul)/60)

```

## Figura 33

### Resultado de transformar tiempos de viaje y uso de Coordenadas Geográficas

```

Rows: 122
Columns: 21
$ ID <chr> "FLARE0001", "FLARE0002", "FLARE0003", "FLARE0004", "FLARE0005", "FLARE0006", "FLARE000...
$ CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE <chr> "ACSA-020", "ACSD-026", "ACAC-027", "ACSD-028", "ACAE-035", "ACAG-051", "ACAQ-064", "AC...
$ LATITUD <dbl> -0.72638, -0.66337, -0.73500, -0.72521, -0.70469, -0.60774, -0.74737, -0.66174, -0.7294...
$ LONGITUD <dbl> -76.87325, -76.87624, -76.88033, -76.87979, -76.87868, -76.87699, -76.88659, -76.88422,...
$ LHV <dbl> 1580.2, 1558.4, 1284.0, 1252.9, 1059.2, 1440.9, 1150.2, 1098.9, 1562.5, 1378.9, 1299.3,...
$ AVG_FLOWRATE <dbl> 0.10032005, 0.08083156, 0.82836334, 0.09070677, 0.05975738, 0.16825013, 0.25699956, 0.2...
$ DLR_Shushufindi <dbl> 64.00, 56.38, 64.93, 64.45, 62.02, 52.37, 66.23, 57.94, 49.34, 52.31, 67.17, 56.61, 56...
$ DREAL_Shushufindi <dbl> 123.44, 113.47, 124.33, 122.72, 121.47, 107.61, 124.52, 112.87, 101.76, 102.01, 127.69,...
$ TVIAJE_Shushufindi <dbl> 6.3166667, 6.0000000, 6.3500000, 6.3000000, 6.2666667, 5.8000000, 6.3666667, 5.9666667,...
$ DLR_Indillana <dbl> 47.38, 41.96, 47.98, 47.14, 44.91, 37.60, 49.18, 42.19, 36.86, 39.19, 50.38, 41.14, 41...
$ DREAL_Indillana <dbl> 102.29, 92.32, 103.18, 101.57, 100.33, 84.86, 103.38, 91.72, 80.61, 80.86, 106.54, 88.6...
$ TVIAJE_Indillana <dbl> 4.6500000, 4.2666667, 4.6166667, 4.5666667, 4.5333333, 4.0666667, 4.6333333, 4.2333333, 3.86666...
$ DLR_Limoncocha <dbl> 47.54, 41.30, 48.99, 48.30, 45.80, 36.96, 50.50, 42.40, 35.91, 38.32, 51.08, 40.25, 40...
$ DREAL_Limoncocha <dbl> 107.48, 97.51, 108.37, 106.76, 105.51, 91.65, 108.56, 96.91, 85.80, 86.05, 111.73, 93.7...
$ TVIAJE_Limoncocha <dbl> 4.7333333, 4.4166667, 4.7833333, 4.7333333, 4.6833333, 4.2166667, 4.7833333, 4.4000000, 4.01666...
$ DLR_Secoya <dbl> 88.15, 82.00, 89.25, 88.70, 86.59, 75.78, 90.84, 81.92, 73.15, 76.61, 92.12, 79.76, 79...
$ DREAL_Secoya <dbl> 172.98, 163.00, 173.87, 172.26, 171.01, 157.14, 174.06, 162.41, 151.30, 151.54, 177.22,...
$ TVIAJE_Secoya <dbl> 7.616667, 7.283333, 7.650000, 7.600000, 7.550000, 7.100000, 7.650000, 7.266667, 6.88333...
$ DLR_PaloAzul <dbl> 61.42, 54.58, 62.22, 60.98, 59.47, 48.28, 63.73, 53.92, 44.21, 45.62, 65.17, 52.58, 52...
$ DREAL_PaloAzul <dbl> 100.19, 90.21, 101.07, 99.46, 98.22, 84.35, 101.27, 89.61, 78.50, 78.75, 104.43, 86.49,...
$ TVIAJE_PaloAzul <dbl> 5.716667, 5.383333, 5.750000, 5.700000, 5.650000, 5.200000, 5.766667, 5.366667, 5.00000...

```

### Extracción de Variables de interés en ECO

Se seleccionaron las variables a utilizar de las estaciones consumidoras (plantas) para el modelo, y se modificaron los nombres. La Figura 34 muestra el código usado, y la Figura 35 un extracto del resultado

**Figura 34**

#### Código de Extracción de Variables ECO

```
60- # LECTURA DE LA BASE DE DATOS (HOJA DE ESTACIONES CONSUMIDORAS)-----
61 df_plantas <- read_excel(paste0(path, "FLARES_DB_LM020200822.xlsx"), sheet="ESTACIONES CONSUMIDORAS", range = "A1:S6")
62
63 # Anexo 4.2.3 : VISUALIZACION DE LOS DATOS ESTADISTICA DESCRIPTIVA DATA_FRAME_ESTACIONES_CONSUMIDORAS = DF_PLANTAS
64 #view(dfSummary(df_plantas), file="E:/MGBI/TESIS/4_CONSTRUCCION/43_DESARROLLO MODELO/ResumenEstadistico-Plantas.html")
65
66 # SE ESCOGEN LAS VARIABLES A USAR
67 df_plantas <- df_plantas %>% dplyr::select(`COD FAC SUPERFICIE`, `NOMBRE FACILIDAD_SUPERFICIE`,
68                                           `LAT_ECO`, `LON_ECO`,
69                                           `CAPACIDAD_GAS DEMANDADA (Mmsfcd)`, `CAPACIDAD_GAS NOMINAL (Mmsfcd)`) %>%
70   dplyr::mutate(ID=paste0("PLANTA", sprintf("%03.0f", dplyr::row_number())) %>%
71               dplyr::select(ID, everything())) %>%
72   names(df_plantas)
73
74 # SE MODIFICAN LOS NOMBRES
75 colnames(df_plantas) <- c("ID", "CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE", "NOMBRE_FACILIDAD_SUPERFICIE", "LATITUD", "LONGITUD",
76                           "CAPACIDAD_GAS_DEMANDA", "CAPACIDAD_GAS_NOMINAL")
77 glimpse(df_plantas)
```

**Figura 35**

#### Resultado de Extracción de Variables ECO

```
Rows: 5
Columns: 7
$ ID <chr> "PLANTA001", "PLANTA002", "PLANTA003", "PLANTA004", "PLANTA005"
$ CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE <chr> "SHS-CIS", "INDA-001", "LMNA-001", "SCY-001", "PLAA"
$ NOMBRE_FACILIDAD_SUPERFICIE <chr> "COMPLEJO INDUSTRIAL SHUSHUFINDI", "CPF B15 - INDILLANA", "LIMONCOCHA", "SECOYA", "ZPF"
$ LATITUD <dbl> -0.19909, -0.37429, -0.34572, 0.00706, -0.18284
$ LONGITUD <dbl> -76.65604, -76.63031, -76.67258, -76.58886, -76.97354
$ CAPACIDAD_GAS_DEMANDA <dbl> 11.0, 2.4, 0.0, 4.0, 4.3
$ CAPACIDAD_GAS_NOMINAL <dbl> 11.0, 2.4, 1.8, 4.0, 4.3
```

### Visualización de las Estaciones EPr y ECo Candidatas

Una vez realizada la extracción de los datos relevantes tanto de las estaciones productoras (flares), como las consumidoras (plantas). Se realiza un despliegue visual, verificando la consistencia de los datos. Ver Figura 36 y Figura 37 con el resultado esperado

**Figura 36**

#### Código de Visualización de Estaciones EPr y ECo

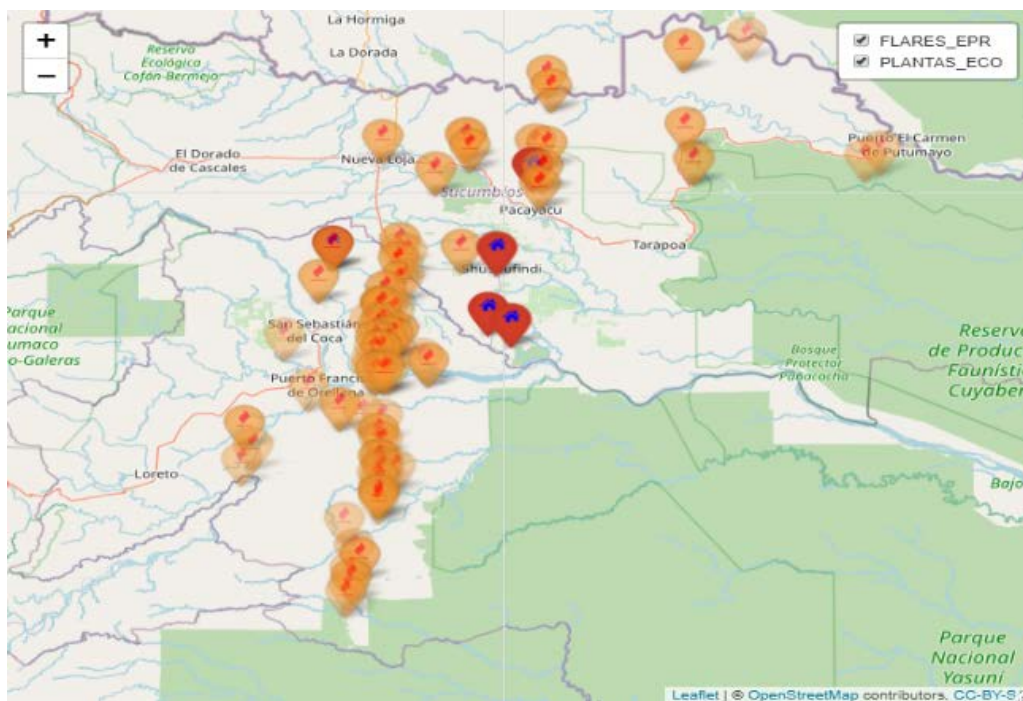
```

79- # REPRESENTACION DE LAS ESTACIONES PRODUCTORAS Y CONSUMIDORAS EN EL MAPA-----
80 leaflet() %>%
81   addTiles() %>%
82   addAwesomeMarkers(data=df_flares, lng = ~LONGITUD, lat = ~LATITUD, label = ~CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE,
83     icon = awesomeIcons(icon = 'fire', iconColor = 'red', markerColor = "orange", library = 'fa'),
84     options = markerOptions(opacity = 0.4), group = "FLARES_EPR") %>%
85   addAwesomeMarkers(data=df_plantas, lng = ~LONGITUD, lat = ~LATITUD, label = ~CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE,
86     icon = awesomeIcons(icon = 'home', iconColor = 'blue', markerColor = "red", iconRotate = -10, library = 'fa'),
87     options = markerOptions(opacity = 1), group = "PLANTAS_ECO") %>%
88   addLayersControl(
89     overlayGroups = c("FLARES_EPR", "PLANTAS_ECO"),
90     options = layersControlOptions(collapsed = FALSE)
91   )
92 # FIN Grafica EPR y ECo

```

**Figura 37**

#### Ubicación de Estaciones Productoras y Consumidoras con Flares Candidatos



### **Depuración de Flares y plantas (EPr y ECo)**

En esta etapa se tomaron en cuenta los requerimientos técnicos, ya mencionados en los literales 4.2.1.3 Calidad Requerida por las ECo y 4.2.1.4 Cantidad Representativa desde las EPr, para obtener una captación del gas de manera eficiente. Esto sirvió para depurar y encontrar los flares idóneos para la captación del gas. La Figura 38 muestra el código empleado

**Figura 38**

*Código de Depuración de Flares E.Pr*

```
> dim(df_flares)
[1] 122 21
> # APLICACION DEL FILTRO DE CALIDAD DEL GAS
> df_flares <- df_flares %>% dplyr::filter(LHV >= 900.00)
> dim(df_flares)
[1] 108 21
> # APLICACION DEL FILTRO DE CANTIDAD MINIMA REPRESENTATIVA
> df_flares <- df_flares %>% dplyr::filter(AVG_FLOWRATE >= 0.20)
> dim(df_flares)
[1] 45 21
```

Adicionalmente, se aclaró que la estación consumidora Limoncocha contaba con gasoducto físico, por medio del cual se abastecía de gas desde la estación CPF y Shushufindi. Descartando esta estación del listado de demandas. Mediante el código de la Figura 39 se visualizó la distribución de las EPr y ECo ya depuradas, en la Figura 40

**Figura 39**

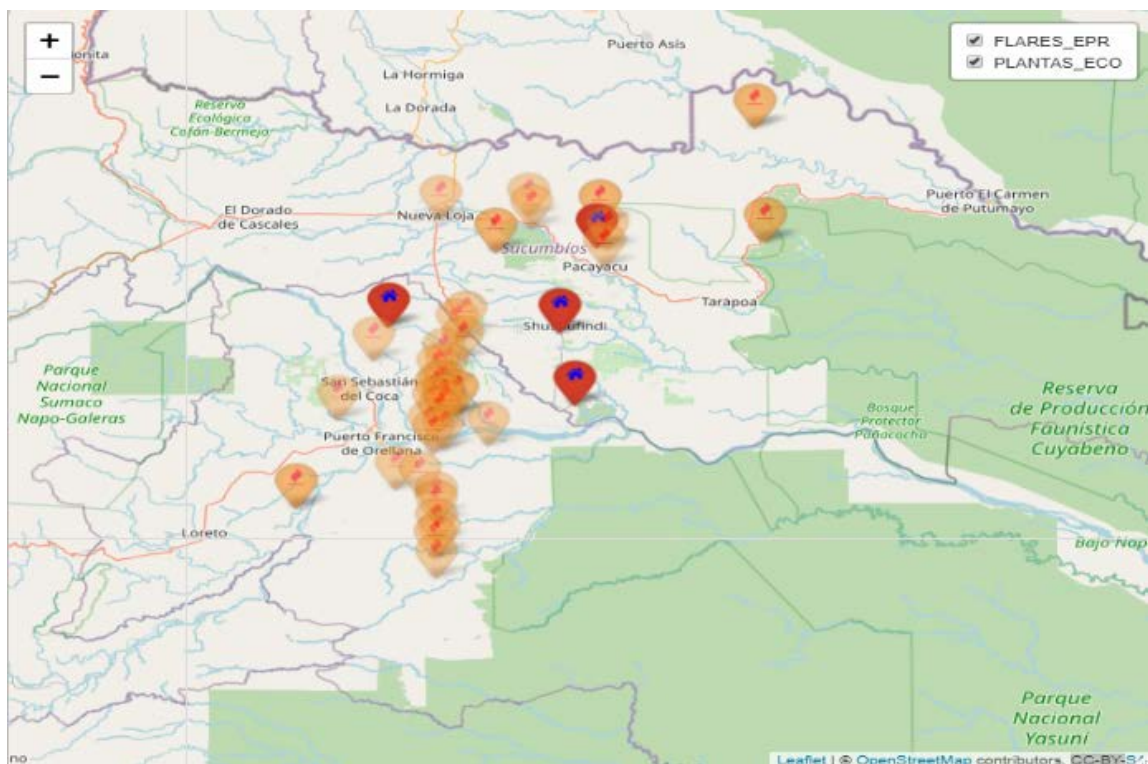
*Código para representación gráfica de EPR y ECo Depuradas*

```
118 # 202-215 REPRESENTACION GRAFICA DE EPR y ECO DEPURADAS EN EL MAPA---
119 leaflet() %>%
120   addTiles() %>%
121   addAwesomeMarkers(data=df_flares, lng = ~LONGITUD, lat = ~LATITUD, label = ~CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE,
122     icon = awesomeIcons(icon = 'fire', iconColor = 'red', markerColor = "orange", library = 'fa'),
123     options = markerOptions(opacity = 0.4), group = "FLARES_EPR") %>%
124   addAwesomeMarkers(data=df_plantas_operativas, lng = ~LONGITUD, lat = ~LATITUD, label = ~CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE,
125     icon = awesomeIcons(icon = 'home', iconColor = 'blue', markerColor = "red", iconRotate = -10, library = 'fa'),
126     options = markerOptions(opacity = 1), group = "PLANTAS_ECO") %>%
127   addLayersControl(|
128     overlayGroups = c("FLARES_EPR", "PLANTAS_ECO"),
129     options = layersControlOptions(collapsed = FALSE)
130   )
131 # 202-215 FIN de Grafica de EPR Y ECO Depuradas--- --- --- --- ---
```



**Figura 40**

*Ubicación de Estaciones Productoras y Consumidoras Depuradas*



De esta manera, el número de flares se redujo de 122 candidatos a 45, con características de calidad y cantidad requerida para la captación de gas. Se notó una reducción significativa de los aportes; entonces, fue necesario revisar si de manera general la demanda de gas en las ECO podría ser cubierta por la oferta de las EPR. La Tabla 10, y la Figura 41 resumen los resultados obtenidos.



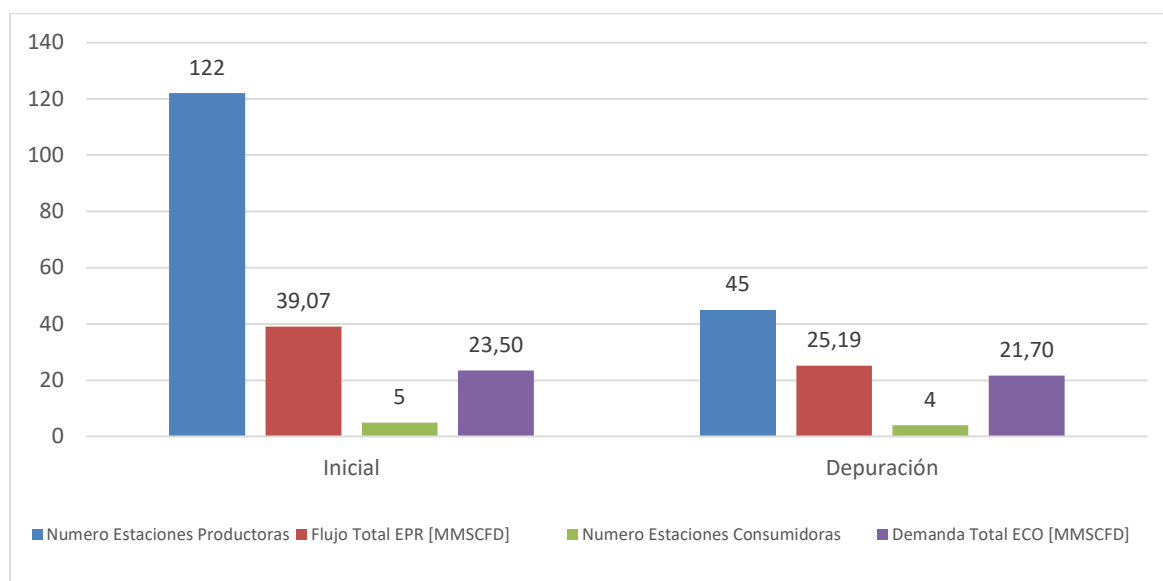
**Tabla 10**

*Análisis de Oferta y Demanda de gas en estaciones (EPR y ECO)*

Parámetros	Inicial	Depuración
Numero Estaciones Productoras	122	45
Flujo Total EPR [MMSCFD]	39,07	25,19
Numero Estaciones Consumidoras	5	4
Demanda Total ECO [MMSCFD]	23,50	21,70

**Figura 41**

*Resumen de Oferta y Demanda de Gas en Estaciones (EPR y ECO)*



En este punto se pudo considerar una data limpia y consistente para el análisis con los algoritmos previamente seleccionados. De tal forma que se trabaje con las estaciones efectivas, para la captación y consumo del gas.

### **Selección y Configuración del Modelo**

En el desarrollo del Modelo Analítico, para definir el número óptimo de contenedores móviles en el gasoducto virtual del distrito amazónico, se identificaron dos técnicas claves:

Primera, Clusters o agrupamiento. Cuyo objetivo fue determinar las estaciones productoras Titulares y Suplentes. Titulares son las estaciones donde continuamente es captado el gas con los contenedores. Y suplentes son la que sustituirán la cantidad de gas, ante algún fallo en las estaciones Titulares. Garantizando de esta manera que la demanda de gas en las estaciones Consumidoras se mantenga ininterrumpida.

Segunda, los Modelos de Programación lineal. Cuyo objetivo fue optimizar la red de distribución, encontrando la mejor forma de distribuir el gas desde las estaciones productoras hacia las consumidoras, con el mejor aprovechamiento de gas y la menor distancia a recorrer para su entrega.

A continuación, el detalle de cada técnica seleccionada y su configuración

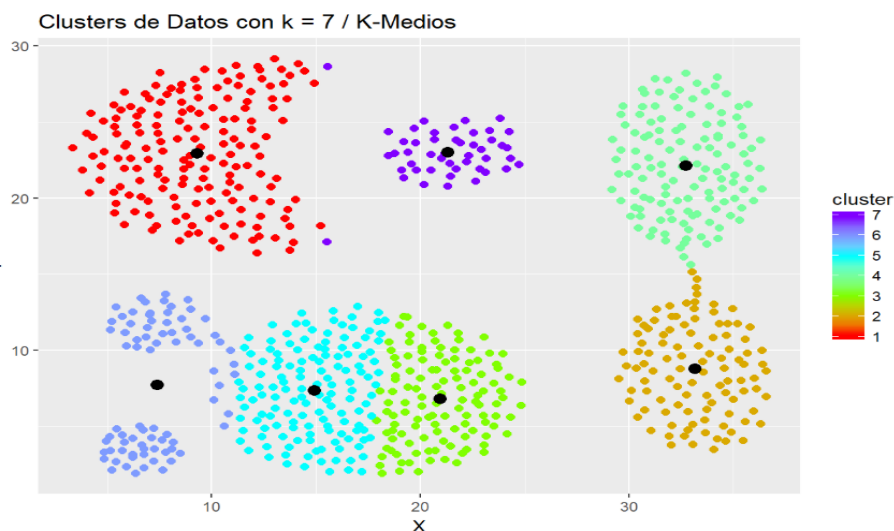
#### ***Selección de la Técnica de Minería de Datos para el Modelo***

Con el propósito de redistribuir gas, desde las estaciones productoras hacia las consumidoras, se consideraron dos aspectos: Primero, ubicaciones cercanas. Segundo, que las características del gas sean homogéneas. Para que, ante posibles fallas eventuales de la estación o del contenedor móvil asociado, se pueda seguir cumpliendo con la demanda requerida.

Para cumplir con esta finalidad, La técnica de Clustering o Agrupamiento con el algoritmo K-Medias. Como indica Delgado: “El método de K-Medias basa su funcionamiento en agrupar los datos de entrada en un total de k conjuntos definidos por un centroide, cuya distancia con los puntos que pertenecen a cada uno de los datos es la menor posible” (RStudio, 2018). Ver Figura 42

**Figura 42**

*Ejemplo de Segmentación con Algoritmo K-Medias*



Nota los colores diferencian los grupos. Tomada de [www.Rpubs.com](http://www.Rpubs.com) (RStudio, 2018)

**Configuración del Modelo: Algoritmo K-Medias.** Se encontraron las estaciones productoras Titulares y Suplentes, asegurando que ante un posible fallo en el suministro o en el transporte, se mantuviera el abastecimiento de gas con una calidad homogénea. Entonces, mediante el algoritmo K-Medias, los atributos relevantes en el modelo fueron: Latitud, Longitud, e indicador de calidad del gas. Ver Figura 43 y 44

**Figura 43**

*Código de Selección de Variables para K Medias*

```
df_kmedias <- df_flares %>% dplyr::select(LATITUD, LONGITUD, LHV ) %>% as.data.frame()
```

**Figura 44***Extracto de df\_kmedia*

	LATITUD	LONGITUD	LHV
003	-0.73500	-76.88033	1284.0
007	-0.74737	-76.88659	1150.2
008	-0.66174	-76.88422	1098.9
010	-0.59247	-76.91422	1378.9
012	-0.64370	-76.88540	1130.3

Teniendo en cuenta que el algoritmo trabaja con variables estandarizadas, se ejecutó el escalamiento de variables con el código de la Figura 45, puede visualizarse en la Figura 46

**Figura 45***Código de Escalamiento de las variables*

```
141 df_kmedias_scale <- scale(df_kmedias)
```

**Figura 46***Extracto de df\_kmedias\_scale*

	LATITUD	LONGITUD	LHV
003	-1.47678624	-0.38111396	0.14683195
007	-1.51986686	-0.41208614	-0.54814107
008	-1.22164593	-0.40036025	-0.81459933
010	-0.98040146	-0.54878924	0.63975377
012	-1.15881858	-0.40619846	-0.65150402

Posteriormente se halló el número de clústeres apropiados. Para ello se hizo uso de la técnica de grafico de codo, el cual de una manera gráfica indica rápidamente el valor posible del número de clústeres o agrupamientos idóneo. Ver código utilizado en R en la Figura 47

**Figura 47**

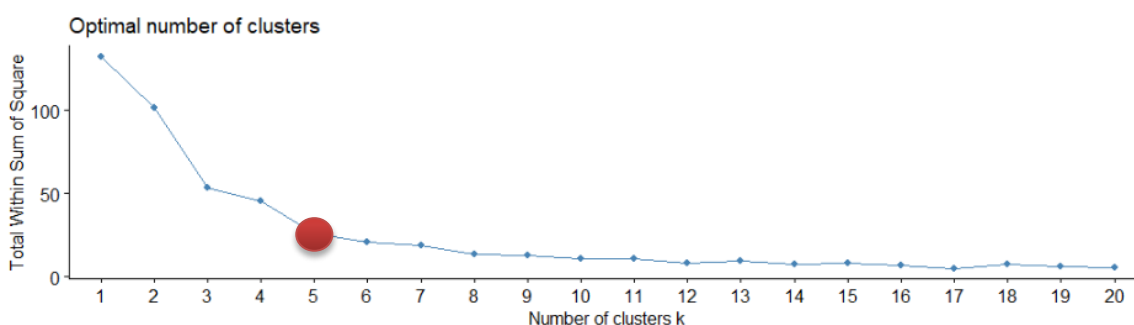
Código para determinación del número apropiado de Clusters

```
144 set.seed(12345)      # VALOR SEMILLA
145 fviz_nbclust(df_kmedias_scale, kmeans, method = "wss", k.max = 20)
```

La grafica obtenida en la Figura 48, muestra las variaciones intragrupos en función del número de Clusteres

**Figura 48**

Gráfico de Codo



*Nota.* El punto de Inflexión de la gráfica corresponde a K=5 Segmentos

Se observó un cambio de comportamiento en el valor la suma de cuadrados de las distancias intracluster, el cual desaceleraba su decrecimiento para un valor de cluster k=5.

El grafico, permitió interpretar que para un numero óptimo de clusteres igual o mayor a 5, las estaciones pertenecientes a un mismo grupo contaban con características homogéneas; ya que la inercia intragrupos (Total Within) dejaba de variar significativamente. Lo cual sugiere un numero óptimo de segmentos de 5.

Adicionalmente, se realizaron algunas iteraciones en esta parte del modelo, las cuales se resumieron en la Tabla 11

**Tabla 11***Propiedades de los Clusters en la Data de entrada*

Numero de Clusters	Distribución [Cluster]=frec	Between	TotalWithin
k=2	[1;2]=13;32	59,58123	72,41877
k=3	[1;2;3]=13;7;25	79,62418	52,37582
k=4	[1;2;3;4]=9;25;4;7	98,80119	33,19881
<b>k=5</b>	[1;2;3;4;5]=19;4;7;9;6	105,7386	26,26143
k=6	[1;2;3;4;5;6]= 4;4;19;6;5;7	111,1751	20,82491
k=7	[1;2;3;4;5;6;7]=6;5;6;2;4;4;18	116,106	15,89343
k=8	[1;2;3;4;5;6;7;8]=5;6;2;1;4;17;6;4	118,4581	13,54185

Analizando los diferentes números de Clúster, y sus propiedades. Se confirmó, k=5 como la mejor opción. Técnicamente las inercias entre diferentes grupos (Between) dejaban de crecer, brindando heterogeneidad entre grupos. Al mismo tiempo que la suma de inercias Intragrupos (Total.Within) dejaba de decrecer, mostrando homogeneidad al interior de los grupos formados.

Dicho de otra forma, para las estaciones productoras actuales, bajo los atributos de entrada considerados, de ubicación y poder calórico. Las diferencias para un numero de segmentos (clústeres) mayores o iguales a 5, dejaban de ser significativas. Determinando entonces que el número óptimo de segmentos para este caso era 5

La Figura 49 y 50 muestran el código y la visualización respectiva agrupación

Figura 49

Código de visualización de Clusters generados por el algoritmo k-medias

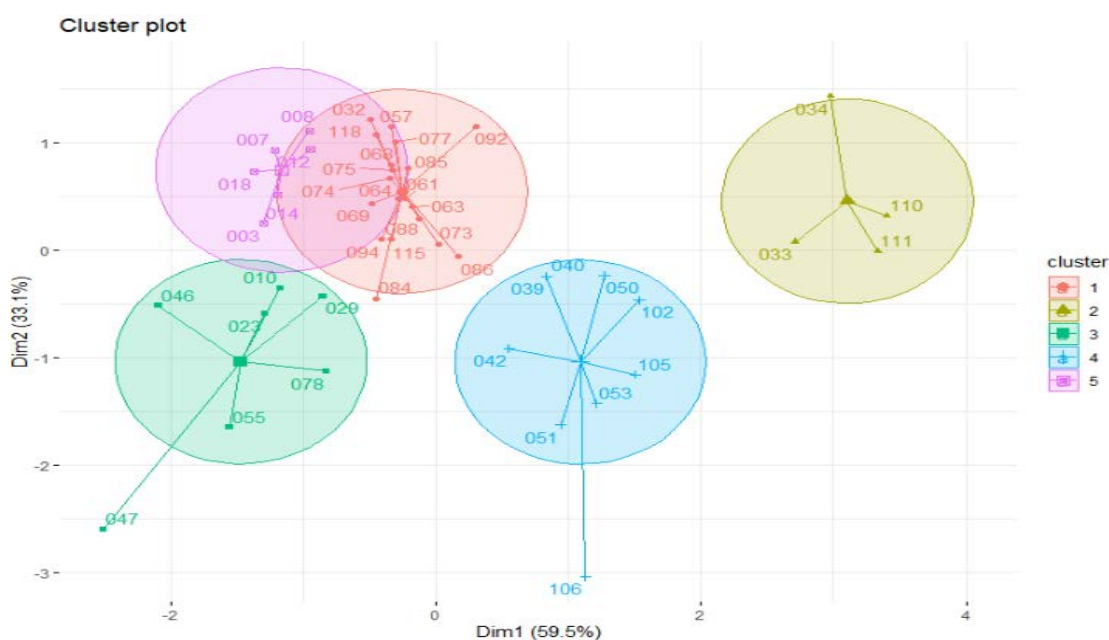
```

156 # APLICACION DE K MEDIAS CON k-CLUSTERS-----
157 set.seed(12345) # VALOR SEMILLA
158 k_medias <- kmeans(df_kmedias_scale, 5, nstart = 25)
159 # FRECUENCIA DE LOS CLUSTES GENERADOS Y Datos de soporte al Numero de Cluster escogido
164 #-----
165 # VISUALIZACION DE LOS CLUSTES GENERADOS POR EL ALGORITMO ANTERIOR
166 fviz_cluster(k_medias, data = df_kmedias,
167             # palette = c("#2E9FDF", "#00AFBB", "#E7B800", "#FC4E07", "#09d102"),
168             ellipse.type = "euclid",
169             star.plot = TRUE,
170             repel = TRUE,
171             ggtheme = theme_minimal()
172 )

```

Figura 50

Visualización de los clúster y elementos



*Nota.* El grafico muestra una segmentación clara de las estaciones, para los atributos definidos de ubicación y calidad, con los 5 segmentos determinados.

Posteriormente a la obtención de clusters se asociaron los mismos sobre el archivo original de la base flares. Y se calcularon las distancias hacia los centroides en cada cluster. El código y un extracto del resultado de esta implementación se puede ver en la Figura 51 y 52

Figura 51

Código para Agregar el Identificador de cada Cluster a la Base de Flares(EPR)

```

261 # DATA.FRAME DE LOS CENTROS DE CADA CLUSTER
262 df_centros <- data.frame(CLUSTER=seq_len(nrow(k_medias$centers)), k_medias$centers)
263 df_kmean <- as.data.frame(df_kmedias_scale)
264 df_kmean$CLUSTER <- k_medias$cluster
265 df_kmean$ID_FLARE <- df_flares$ID
266
267 # ADICION DE LOS CLUSTERS Y CALCULO DE LA DISTANCIA ENTRE ELLOS
268 df_flares$CLUSTER <- k_medias$cluster
269 df_DISTANCIA <- df_kmean %>% group_by(CLUSTER) %>% group_split() %>%
270 ~ purrr::map(function(df){
271   id_cluster <- unique(df$CLUSTER)
272   y <- as.numeric(df_centros[df_centros$CLUSTER==id_cluster, c("LATITUD", "LONGITUD", "LHV")])
273   distancia <- list()
274   for(it in seq_len(NROW(df))){
275     x <- as.numeric(df[it, c("LATITUD", "LONGITUD", "LHV")])
276     distancia[[it]] <- data.frame(ID=df[["ID_FLARE"]][it], DISTANCIA=sqrt(sum((x-y)^2)))
277   }
278   return(do.call(rbind, distancia))
279 } %>% do.call(rbind,.))
280
281 df_flares <- dplyr::left_join(df_flares, df_DISTANCIA, by=c("ID"))

```

Figura 52

Extracto de Resultado por Agregación del identificador de clúster en Flares

```

Rows: 45
Columns: 23
$ ID <chr> "FLARE0003", "FLARE0007", "FLARE0008", "FLARE0010", "FLARE0012", "FLARE00...
$ CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE <chr> "ACAC-027", "ACAQ-064", "ACAJ-089", "ACAL-137", "ACP", "ACS", "ACSA-001",...
$ LATITUD <dbl> -0.73500, -0.74737, -0.66174, -0.59247, -0.64370, -0.70721, -0.79359, -0.0...
$ LONGITUD <dbl> -76.88033, -76.88659, -76.88422, -76.91422, -76.88540, -76.88596, -76.885...
$ LHV <dbl> 1284.0, 1150.2, 1098.9, 1378.9, 1130.3, 1226.5, 1198.4, 1394.5, 1375.3, 1...
$ AVG_FLOWRATE <dbl> 0.8283633, 0.2569996, 0.2115488, 0.2342264, 0.3700156, 0.2519219, 0.49303...
$ DLR_Shushufindi <dbl> 64.93, 66.23, 57.94, 52.31, 56.61, 62.08, 71.52, 52.43, 42.30, 42.84, 47...
$ DREAL_Shushufindi <dbl> 124.33, 124.52, 112.87, 102.01, 109.75, 119.85, 131.73, 78.49, 89.34, 88...
$ TVIAJE_Shushufindi <dbl> 6.350000, 6.366667, 5.966667, 5.633333, 5.866667, 6.200000, 6.600000, 2.2...
$ DLR_Indillana <dbl> 47.98, 49.18, 42.19, 39.19, 41.14, 45.91, 55.02, 48.68, 31.46, 31.85, 59...
$ DREAL_Indillana <dbl> 103.18, 103.38, 91.72, 80.86, 88.60, 98.70, 110.59, 68.20, 68.19, 67.84, ...
$ TVIAJE_Indillana <dbl> 4.6166667, 4.6333333, 4.2333333, 3.9000000, 4.1333333, 4.4666667, 4.86666...
$ DLR_Limoncocha <dbl> 48.99, 50.50, 42.40, 38.32, 40.25, 46.20, 55.89, 45.20, 29.30, 29.75, 60...
$ DREAL_Limoncocha <dbl> 108.37, 108.56, 96.91, 86.05, 93.79, 103.89, 115.77, 73.39, 73.38, 73.02,...
$ TVIAJE_Limoncocha <dbl> 4.783333, 4.783333, 4.400000, 4.050000, 4.300000, 4.633333, 5.033333, 2.1...
$ DLR_Secoya <dbl> 89.25, 90.84, 81.92, 76.61, 79.76, 46.53, 94.73, 71.63, 65.18, 65.25, 34...
$ DREAL_Secoya <dbl> 173.87, 174.06, 162.41, 151.54, 159.29, 103.89, 181.27, 128.03, 138.87, 1...
$ TVIAJE_Secoya <dbl> 7.6500000, 7.6500000, 7.2666667, 6.9166667, 7.1666667, 4.6333333, 7.90000...
$ DLR_PaloAzul <dbl> 62.22, 63.73, 53.92, 45.62, 52.58, 59.89, 68.68, 27.68, 35.62, 35.30, 80...
$ DREAL_PaloAzul <dbl> 101.07, 101.27, 89.61, 78.75, 86.49, 96.59, 108.48, 55.23, 66.08, 65.73, ...
$ TVIAJE_PaloAzul <dbl> 5.7500000, 5.7666667, 5.3666667, 5.0333333, 5.2666667, 5.6000000, 6.00000...
$ CLUSTER <int> 5, 5, 5, 3, 5, 5, 5, 3, 3, 1, 2, 2, 4, 4, 4, 4, 3, 3, 4, 4, 4, 3, 1, 1, 1, 1...
$ DISTANCIA <dbl> 0.53807905, 0.19801823, 0.46654434, 0.80938531, 0.36286739, 0.23589466, 0...

```

Nota. El identificador de clúster queda agregado a la base de flares, asociando cada registro original con el número de grupo al que pertenece luego de la segmentación.



Finalmente, con los clústeres encontrados, se determinaron las estaciones productoras Titulares y Suplentes en la base de flares. La Figura 53, muestra el código utilizado para la separación de los Estaciones Productoras Titulares, Productoras Suplentes, y Consumidoras. Mediante las Tablas 12 , Tabla 13 y Tabla 14 se presentan los resultados asociados a cada grupo de estaciones

**Figura 53**

*Código para determinación y separación de los Flares(EPR)*

```

287 # DETERMINACION DE LAS ESTACIONES TITULARES Y SUPLENTES(MAS CERCANAS)
288 df_flares <- df_flares %>% dplyr::group_by(CLUSTER) %>%
289   dplyr::mutate(TIPO = if_else(DISTANCIA==min(DISTANCIA), "SUPLENTE", "TITULAR")) %>% dplyr::ungroup()
290
291 # ESTACIONES TITULARES
292 df_flares_titular <- df_flares %>% dplyr::filter(TIPO=="TITULAR")
293 # ESTACIONES SUPLENTES
294 df_flares_suplente <- df_flares %>% dplyr::filter(TIPO=="SUPLENTE")

```

**Tabla 12**

*Estaciones Productoras Titulares*

ID	CÓDIGO FACILIDAD SUPERFICIE	LHV	AVG FLOW RATE	CLÚSTER	DISTANCIA	TIPO
FLARE0003	ACAC-027	1284	0,828	5	0,538	TITULAR
FLARE0008	ACAJ-089	1099	0,212	5	0,467	TITULAR
FLARE0010	ACAL-137	1379	0,234	3	0,809	TITULAR
FLARE0012	ACP	1130	0,370	5	0,363	TITULAR
FLARE0014	ACS	1227	0,252	5	0,236	TITULAR
FLARE0018	ACSA-001	1198	0,493	5	0,288	TITULAR
FLARE0023	COCA	1395	0,290	3	0,805	TITULAR
FLARE0029	CLB-001	1375	0,823	3	0,883	TITULAR
FLARE0032	CLBB-021	1044	0,238	1	0,710	TITULAR
FLARE0033	CYB	1172	0,476	2	0,710	TITULAR
FLARE0034	CYB	903	2,967	2	1,007	TITULAR
FLARE0039	GNTA-001	1248	0,569	4	0,914	TITULAR
FLARE0040	GNTA-001	1248	0,443	4	0,914	TITULAR
FLARE0042	LGA-04	1370	0,201	4	0,979	TITULAR
FLARE0046	OSOB	1420	0,298	3	0,893	TITULAR
FLARE0047	OSOB	1835	0,276	3	1,876	TITULAR
FLARE0050	PRH-012	1231	0,279	4	0,902	TITULAR
FLARE0051	PRHA-020	1513	0,259	4	0,607	TITULAR
FLARE0053	PCH-001	1488	0,634	4	0,752	TITULAR

ID	CÓDIGO FACILIDAD SUPERFICIE	LHV	AVG FLOW RATE	CLÚSTER	DISTANCIA	TIPO
FLARE0055	PTLA-001	1635	0,209	3	0,715	TITULAR
FLARE0057	PCN-001	1023	1,094	1	1,009	TITULAR
FLARE0061	SCH-001P	1166	0,368	1	0,126	TITULAR
FLARE0063	SCH-099	1179	0,307	1	0,166	TITULAR
FLARE0068	SCHP-153	1114	0,475	1	0,258	TITULAR
FLARE0069	SCHW-198	1189	0,736	1	0,265	TITULAR
FLARE0073	SCHG-275	1238	0,379	1	0,565	TITULAR
FLARE0074	SCHAB-310	1141	1,023	1	0,171	TITULAR
FLARE0075	SCHAB-310	1126	0,371	1	0,219	TITULAR
FLARE0077	SCHAE-370	1076	0,345	1	0,467	TITULAR
FLARE0084	SCHAJ-420	1361	0,227	1	1,070	TITULAR
FLARE0085	SCHAJ-420	1119	0,522	1	0,253	TITULAR
FLARE0086	SCHAL-440	1249	0,718	1	0,759	TITULAR
FLARE0088	SCHAN-460	1196	0,549	1	0,314	TITULAR
FLARE0092	SCHAN-2	1011	0,837	1	0,910	TITULAR
FLARE0094	SCH	1248	2,027	1	0,476	TITULAR
FLARE0102	SHA-001	1289	0,351	4	0,819	TITULAR
FLARE0106	SHH	1790	0,222	4	2,096	TITULAR
FLARE0111	VHR-001	1141	0,512	2	0,601	TITULAR
FLARE0115	YCAA-001	1265	0,625	1	0,788	TITULAR
FLARE0118	YLBD-003	1074	0,417	1	0,593	TITULAR

Finalmente, en base a los clústeres obtenidos, se visualizaron las ubicaciones de las Estaciones Productoras, Titulares y Suplentes. Así como las estaciones Consumidoras, usando el código de la Figura 54 y su visualización en la Figura 55.

#### Figura 54

*Código empleado para visualizar EPr Titulares, EPr Suplentes, ECo*

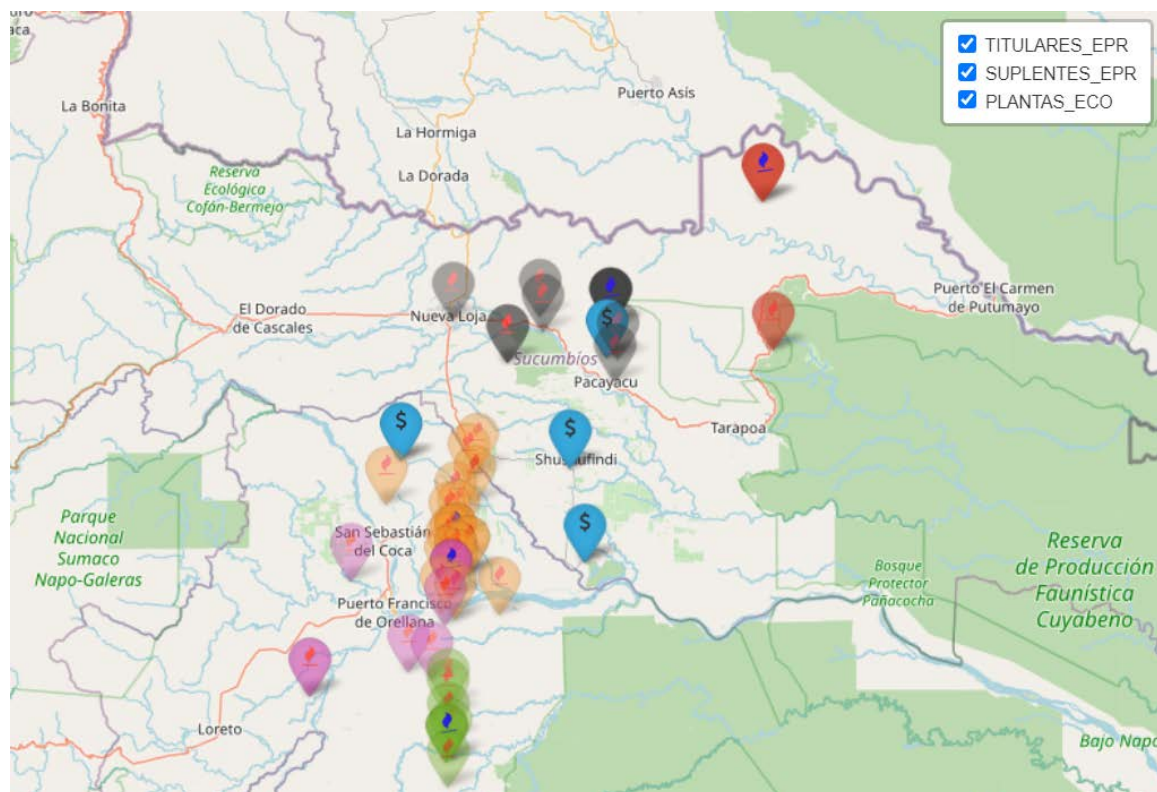
```

230 leaflet() %>%
231   addTiles() %>%
232   addAwesomeMarkers(data=df_flares_titular, lng = ~LONGITUD, lat = ~LATITUD, label = ~CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE,
233     icon = awesomeIcons(icon = 'fire', iconColor = 'red', markerColor = ~COLOR, library = 'fa'),
234     options = markerOptions(opacity = 0.4), group = "TITULARES_EPR") %>%
235   addAwesomeMarkers(data=df_flares_suplente, lng = ~LONGITUD, lat = ~LATITUD, label = ~CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE,
236     icon = awesomeIcons(icon = 'fire', iconColor = 'blue', markerColor = ~COLOR, iconRotate = -10, library = 'fa'),
237     options = markerOptions(opacity = 0.8), group = "SUPLENTE_EPR") %>%
238   addAwesomeMarkers(data=df_plantas_operativas, lng = ~LONGITUD, lat = ~LATITUD, label = ~CODIGO_FACILIDAD_SUPERFICIE,
239     icon = awesomeIcons(icon = 'dollar', iconColor = 'white', markerColor = "blue", iconRotate = 0, library = 'fa'),
240     options=markerOptions(opacity = 1), group = "PLANTAS_ECO") %>%
241   addLayersControl(
242     overlayGroups = c("TITULARES_EPR", "SUPLENTE_EPR", "PLANTAS_ECO"),
243     options = layersControlOptions(collapsed = FALSE)
244 )

```

Figura 55

Ubicación EPR Suplentes-Titulares y Consumidoras



Nota: En la gráfica las Estaciones Productoras (EPr) están discriminadas por el Icono de Fuego y un color que le asocia a cada cluster. Las Estaciones Productoras Titulares son transparentes, y las Estaciones Productoras Suplentes más Opacas. Por otro lado, las Plantas Consumidoras (Eco) Tienen el Icono de Dinero (\$) con fondo celeste

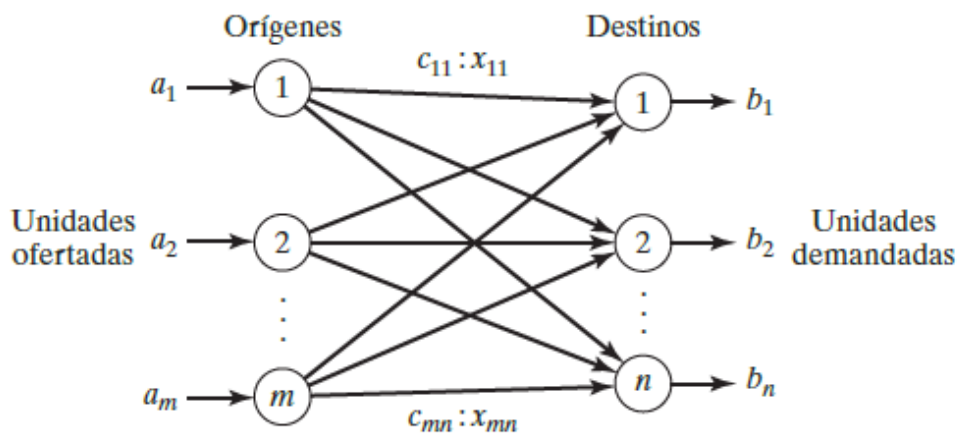
### Selección del Algoritmo de Programación Lineal para el Modelo

Para diseñar la red de distribución y encontrar el número óptimo de contenedores móviles, se seleccionó un modelo de optimización. Tal como se observó dentro del estado del arte, este tipo de problemas podían ser abordados mediante la programación lineal.

Entre las opciones de: flujo máximo, distancia más corta, transporte y asignación. La opción seleccionada fue Transporte, puesto que fue la más semejante al problema que se pretendía resolver. Su esquema, representado por Nodos y Arcos es el de la Figura 56

**Figura 56**

*Esquema de Modelo de Transporte*



*Nota.* Tomada de Investigación de Operaciones (Taha, 2017, pág. 176)

“El **problema de transporte** maneja la distribución de bienes desde varios puntos de oferta (*orígenes* o **fuentes**) hasta varios puntos de demanda (**destinos**). En general, se tiene la capacidad (oferta) de bienes en cada fuente, un requerimiento (demanda) de bienes en cada destino, y el costo de envío por unidad de cada fuente a cada destino(...) El objetivo de este problema es programar los envíos de manera que se minimice el costo total de transporte. Algunas veces, también se incluyen los costos de producción.” (Render, Stair, & Hanna, 2016, pág. 342)

La descripción del modelo a partir de esta fase, contemplo para cada iteración, el planteamiento de la red de distribución con la identificación de: Oferta, Demanda, Impedancias y capacidades en los arcos.

La Oferta, con las cantidades que se podrían captar gas en cada estación productora. La Demanda, con la cantidad requerida de gas en cada estación consumidora. Las impedancias dadas por las distancias de desplazamiento entre las estaciones de captación, restringida con las capacidades de los contenedores móviles

Posteriormente el problema de optimización, tipo transporte, orientó la asignación de: La función objetivo, las restricciones y plasmar el problema matemáticamente. Finalmente, con los resultados obtenidos con ayuda de la herramienta R, se analizó si la solución resultaba satisfactoria para cada problema planteado. Caso contrario se planteó un nuevo modelo, hasta llegar a un modelo de gasoducto virtual que cumpliera con las condiciones de la red de distribución de gas.

A continuación, los literales 4.5.2.1 al 4.5.2.3, muestran las iteraciones más relevantes con las que se llegó al Modelo Optimo.

**Configuración del Modelo 1 PL : Problema de Transporte con Flujos.** *En esta primera iteración, el planteamiento se basó en trabajar directamente con la distribución de gas desde las estaciones productoras a las consumidoras en 1 día. Para ello, se consideró la configuración de sus variables con los datos disponibles de la siguiente manera*

- ⇒ Oferta: Flares de las Estaciones Productoras Titulares (EPR)
- ⇒ Demanda: Plantas Consumidoras (ECO)
- ⇒ Impedancias: Tiempo/Distancia entre estaciones (Matriz)
- ⇒ Capacidad del Tanquero Móvil: 0,42 MMSCFD
- ⇒ Tiempos de viaje por Arco: Carga, viaje ida, descarga, y viaje retorno. Ver Tabla 13

**Tabla 13**

*Tiempo de Viaje Ida-Vuelta del contenedor Móvil*

DESCRIPCIÓN	VALOR [Horas]
Tiempo de Carga	22
Tiempo de Viaje (Máximo)	9
Tiempo de Descarga	5
Tiempo de Regreso(Máximo)	9
<b>Total</b>	<b>45</b>

Nota: De manera conservadora, se considera la peor condición de máxima distancia en viaje

Con estos tiempos considerables de captación, viaje y descarga. se determinó la capacidad de flujo máximo por cada arco en una semana como se muestra a continuación

$$\text{Cap. Max. Semanal por Arco} = \frac{\text{Capacidad Contenedor} * \frac{\text{horas}}{\text{Día}} * \frac{\text{Días}}{\text{Semana}}}{\text{Tiempo Total Viaje}} = \frac{0,42 * 24 * 7}{45} = 1,568 \text{ MMSCFD}$$

Entonces, el modelo de transporte, tomo la configuración de variables, con los datos de la siguiente manera:

- ⇒ Función Objetivo: Minimizar los tiempos/distancias de recorrido
- ⇒ Restricciones: Capacidad de oferta de gas desde los flares (F\_EPR)  
 Demanda de Gas en las plantas consumidoras (F\_ECO)  
 Capacidad de flujo máximo del tanquero semanal por cada arco
- ⇒ Modelo Matemático: En base a las consideraciones previas, el sistema pudo expresarse de forma matemática como se indica en la Figura 57

**Figura 57**

*Modelo Matemático para Problema Transporte I*

$X_{ij}$  : Cantidad de Flujo desde el Flare  $i$  a la Estacion Consumidora  $j$  en un dia

$$\text{Programacion Lineal} \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_j \cdot x_{ij} \quad ; \text{Minimizar Distancias/Tiempos} \\
 \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq Q_i, \forall i \quad ; \text{Satisfacer las ofertas maximas sobre cada flare} \\
 \sum_{j=1}^m x_{ij} = D_j, \forall j ; \text{Satisfacer las demandas de cada Estacion cosumidora} \\
 x_{ij} \geq 0, \forall_{ij} \quad ; \text{Restricciones de no negatividad}
 \end{array} \right.$$

El conjunto de expresiones matemáticas es resuelto, mediante el código en la herramienta R, poblando la matriz de variables de decisión y solucionando el sistema de ecuaciones

Figura 58

## Código Programación Lineal Modelo I Variables de Decisión

```

269 # MODELO DE OPTIMIZACION (PROBLEMA DE TRANSPORTE) V1 #####
270 k_origenes <- nrow(df_flares_titular) # NUMERO DE FLARES TITULARES A CONSIDERAR
271 k_destinos <- nrow(df_plantas) # NUMERO DE ESTACIONES CONSUMIDORAS A CONSIDERAR
272
273 # INICIALIZACION DE LA MATRIZ DE VARIABLES DE DECISION
274 Matriz_VarDec <- matrix(rep(0, ((k_origenes*k_destinos)*(k_origenes+k_destinos))), ncol = k_origenes*k_destinos)
275 dim(Matriz_VarDec)
276
277 # POBLADO DE LA MATRIZ DE VARIABLES DE DECISION (0,1)
278 id_aux <- 1
279 for(row in seq_len(nrow(Matriz_VarDec))){
280   if(row <= k_origenes){
281     # print(c(row,id_aux, (row*k_destinos)))
282     Matriz_VarDec[row,(id_aux:(row*k_destinos))] <- 1
283     id_aux <- id_aux+k_destinos
284   }
285   else{
286     Matriz_VarDec[row, seq(row-k_origenes, k_origenes+k_destinos, by=k_destinos)] <- 1
287   }
288 }

```

Primero, se inicializó la matriz de variables. Posteriormente, se plantearon las restricciones como se puede ver en la Figura 59 y los resultados hacia archivos de Excel Tabla 14

Figura 59

## Código Programación Lineal Modelo I Condiciones

```

291 # matriz_DLR   matriz_DREAL   matriz_TVIAJE
292 F.Objetivo <- matriz_DREAL %>% t %>% as.vector() # FUNCION OBJETIVO
293 restic.dir <- c(rep("<="), k_origenes), rep("=", k_destinos)) # DESIGUALDADES DE LAS RESTRICCIONES
294 # COEFICIENTES DE LAS RESTRICCIONES
295 restic.LD <- c(as.numeric(df_flares_titular$AVG_FLOWRATE), as.numeric(df_plantas$CAPACIDAD_GAS_DEMANDA))
296
297 # RESOLUCION DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACION (MINIMIZACION)
298 Sol.Optima <- lp(direction="min", F.Objetivo, Matriz_VarDec, restic.dir, restic.LD)
299
300 # SOLUCION DEL PROBLEMA (VECTOR DE RESULTADOS)
301 Sol.Optima$solution
302
303 # FUNCION OBJETIVO OPTIMIZADO
304 Sol.Optima$objval
305
306 # EXPORTACION DE LOS RESULTADOS DEL MODELO DE OPTIMIZACION
307 Tabla_Resultado <- as.data.frame(matrix(Sol.Optima$solution, ncol = k_destinos, byrow = TRUE))
308 c(sum(Tabla_Resultado$V1),sum(Tabla_Resultado$V2),sum(Tabla_Resultado$V3),sum(Tabla_Resultado$V4),
309   sum(Tabla_Resultado$V5))#demanda por estacion
310 sum(Tabla_Resultado)#demanda total
311 max(Tabla_Resultado) # Maximo Flujo por arco por dia 0,42 (tcarga=22horas)
312 Tabla_Resultado <- cbind(df_flares_titular, Tabla_Resultado)
313 export(Tabla_Resultado, paste0(path, "Sol_Optima_v1_LMo.xlsx"))

```

Para visualizar los resultados se muestra un extracto del archivo, el cual se encuentra en la Tabla 14



Tabla 14

Extracto de Resultados obtenidos en Solución Óptima Modelo I

ID	CÓDIGO FACILIDAD	CLUS TER	TIPO	COLOR	SHS-CIS	INDA-001	SCY-001	PLAA
FLARE0003	ACAC-027	5	TITULAR	green	0	0	0	0,828363
FLARE0008	ACAJ-089	5	TITULAR	green	0	0	0	0,211549
FLARE0010	ACAL-137	3	TITULAR	purple	0	0,234226	0	0
FLARE0012	ACP	5	TITULAR	green	0	0	0	0,370016
FLARE0014	ACS	5	TITULAR	green	0	0,251922	0	0
FLARE0018	ACSA-001	5	TITULAR	green	0	0	0	0,493038
FLARE0023	COCA	3	TITULAR	purple	0	0	0	0,289959
FLARE0029	CLB-001	3	TITULAR	purple	0	0,823107	0	0
FLARE0032	CLBB-021	1	TITULAR	orange	0	0,238375	0	0
FLARE0033	CYB	2	TITULAR	brown	0,185328	0	0,290264	0
FLARE0034	CYB	2	TITULAR	brown	0	0	2,724503	0
FLARE0039	GNTA-001	4	TITULAR	black	0,568684	0	0	0
FLARE0040	GNTA-001	4	TITULAR	black	0,443457	0	0	0
FLARE0042	LGA-04	4	TITULAR	black	0,201058	0	0	0
FLARE0046	OSOB	3	TITULAR	purple	0	0	0	0,297541
FLARE0047	OSOB	3	TITULAR	purple	0	0	0	0,276361
FLARE0050	PRH-012	4	TITULAR	black	0,27933	0	0	0
FLARE0051	PRHA-020	4	TITULAR	black	0,259063	0	0	0
FLARE0053	PCH-001	4	TITULAR	black	0	0	0,634204	0
FLARE0055	PTLA-001	3	TITULAR	purple	0	0,2086	0	0
FLARE0057	PCN-001	1	TITULAR	orange	0	0	0	1,093865
FLARE0061	SCH-001P	1	TITULAR	orange	0,368051	0	0	0
FLARE0063	SCH-099	1	TITULAR	orange	0,306581	0	0	0
FLARE0068	SCHP-153	1	TITULAR	orange	0,475394	0	0	0
FLARE0069	SCHW-198	1	TITULAR	orange	0,735536	0	0	0
FLARE0073	SCHG-275	1	TITULAR	orange	0,378504	0	0	0
FLARE0074	SCHAB-310	1	TITULAR	orange	1,023411	0	0	0
FLARE0075	SCHAB-310	1	TITULAR	orange	0,370887	0	0	0
FLARE0077	SCHAE-370	1	TITULAR	orange	0,345115	0	0	0
FLARE0084	SCHAJ-420	1	TITULAR	orange	0,226744	0	0	0
FLARE0085	SCHAJ-420	1	TITULAR	orange	0,480157	0,04164	0	0
FLARE0086	SCHAL-440	1	TITULAR	orange	0,717825	0	0	0
FLARE0088	SCHAN-460	1	TITULAR	orange	0,548654	0	0	0
FLARE0092	SCHAN-2	1	TITULAR	orange	0,83705	0	0	0
FLARE0094	SCH	1	TITULAR	orange	2,027217	0	0	0
FLARE0102	SHA-001	4	TITULAR	black	0	0	0,351029	0
FLARE0106	SHH	4	TITULAR	black	0,221955	0	0	0
FLARE0111	VHR-001	2	TITULAR	brown	0	0	0	0
FLARE0115	YCAA-001	1	TITULAR	orange	0	0,185318	0	0,439308
FLARE0118	YLBD-003	1	TITULAR	orange	0	0,416812	0	0
<b>OFERTA CANTIDAD DE GAS DIARIA MODELO PL1</b>					<b>11</b>	<b>2,4</b>	<b>4</b>	<b>4,3</b>
<b>DEMANDA DE GAS DIARIA ESPERADA</b>					<b>11</b>	<b>2,4</b>	<b>4</b>	<b>4,3</b>
<b>NUMERO DE CONTENEDORES</b>					<b>21</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>9</b>

A partir de los datos de la solución óptima I, para los flujos desde las Estaciones productoras hacia las Estaciones consumidoras, se pudo analizar que:

- ✓ Para cada estación consumidora, la Demanda fue satisfecha desde las EPR
- ✓ La función Objetivo dio un resultado de 1279.67km, de origen a destino, en un día.
- ☒ Existieron casos donde se excedía la capacidad de carga de un contenedor móvil
- ☒ Existieron casos donde se subutilizaba la capacidad de carga de un contenedor móvil
- ☒ Los flujos obtenidos no eran múltiplos de la capacidad del tanquero (0,42MMSCFD)
- ☒ La planificación fue para un solo día, considerable en función de los tiempos de viaje
- ☒ Algunas EPR no aportaban con gas hacia ninguna ECO

En síntesis, esta primera solución no resulto aceptable, porque a pesar de cubrir la demanda en las ECO con 42 contenedores, las cantidades transportadas no eran acordes a la capacidad de cada contenedor móvil. A partir de los problemas encontrados, se planteó su mejora, en una siguiente iteración del modelo.

**Configuración del Modelo 2 PL Entera: Problema de Transporte con Capacidades.** En esta segunda iteración del modelo, se trabajó con un valor entero, correspondiente a el número de viajes, acorde con la capacidad del contenedor móvil (0,42MMSCF). De tal manera, cada ruta implicaba un solo contenedor. Estableciendo una planificación semanal (Lunes a Domingo) con viajes completos, desde las estaciones productoras hacia las de consumo

Adicionalmente, se contempló que los tanqueros podrían partir desde una EPR con posibilidad de abastecer a diferentes ECO, captando el gas en forma paralela de los contenedores desde una misma estación.

Se consideró la configuración de sus variables con los datos disponibles de la siguiente manera

⇒ Oferta: Numero de viajes posibles que salen desde el Flare (EPR\_Titulares)

$$\text{Max. Viajes por flare Semanal} = \text{Redondeo de} \left( \frac{\text{Oferta Dia} * \left( \frac{\text{Dias}}{\text{Semana}} \right)}{\text{Capacidad Contenedor por viaje}} \right)$$

$$\text{Max. Viajes por flare Semanal} = \text{Redondeo de} \left( \frac{\text{Oferta Dia} * (7)}{0,42} \right)$$

⇒ Demanda: Plantas Consumidoras (ECO)

*Max. Viajes Consumidora Semana*

$$= \text{Entero Superior de} \left( \frac{\text{Demanda} * \left( \frac{\text{Dias}}{\text{Semana}} \right)}{\text{Capacidad Contenedor por viaje}} \right)$$

$$\text{Max. Viajes Consumidora Semana} = \text{Entero Superior de} \left( \frac{\text{Demanda} * 7}{0,42} \right)$$

⇒ Impedancias: Distancia entre estaciones (Matriz)

⇒ Capacidad del Tanquero Móvil: 0,42 MMSCFD

⇒ Tiempo ida y Retorno 1 Contenedor: 45 Horas (En referencia a Tabla 13)

⇒ Número máximo de viajes que puede realizar en una semana un contenedor móvil

$$\text{Max. Número de Viajes por Semana} = \frac{\frac{\text{horas}}{\text{Dia}} * \frac{\text{Dias}}{\text{Semana}}}{\text{Tiempo Total Viaje}}$$

$$\text{Max. Número de Viajes por Semana por contenedor} = \frac{24 * 7}{45} = 3,73 \text{ Viajes} \approx 4 \text{ Viajes}$$

Consecuentemente a este modelo de transporte con PL entera, se asociaron sus variables con los datos de la siguiente manera:

⇒ Función Objetivo: Minimizar los tiempos de recorrido

⇒ Restricciones: Numero de viajes que salen de cada Flare

Número de viajes que llegan a cada planta Consumidora

⇒ Modelo Matemático: En base a las consideraciones previas, el sistema se expresó matemáticamente como en la Figura 60

**Figura 60****Modelo Matemático para Problema Transporte II**

$X_{ij}$  Numero de viajes del Contenedor en la ruta del Flare  $i$  a la Estacion Consumidora  $j$  en 7 dias

$$\text{PL:} \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_j \cdot x_{ij} \quad ; \text{Minimizar Distancias} \\
 \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq Q_i, \quad \forall_i \quad ; \text{Restringir el numero de viajes maximos que pueden salir desde un flare} \\
 \sum_{j=1}^m x_{ij} = D_j, \quad \forall_i \quad ; \text{Satisfacer el numero de viajes que deben llegar hasta las Estaciones cosumidoras} \\
 X_{ij} \in \text{Enteros}, \quad \forall_{ij} \quad ; \text{Restricciones de valores Enteros}
 \end{array} \right.$$

El conjunto de expresiones matemáticas fue resuelto, empleando el código en la herramienta R, como se puede ver en la Figura 61

**Figura 61****Código Programación Lineal Modelo PL 2**

```

492 # MODELO DE OPTIMIZACIOn (PROBLEMA DE TRANSPORTE) 6 ----- PL2
493 k_origenes <- nrow(df_flares_titular) # NUMERO DE FLARES TITULARES A CONSIDERAR
494 k_destinos <- nrow(df_plantas) # NUMERO DE ESTACIONES CONSUMIDORAS A CONSIDERAR
495 max(matriz_TVIAJE)
496 # INICIALIZACION DE LA MATRIZ DE VARIABLES DE DECISION
497 Matriz_VarDec <- matrix(rep(0, ((k_origenes*k_destinos)*(k_origenes+k_destinos))), ncol = k_origenes*k_destinos)
498 dim(Matriz_VarDec)
499 # POBLADO DE LA MATRIZ DE VARIABLES DE DECISION (0,1)
500 id_aux <- 1
501 for(row in seq_len(nrow(Matriz_VarDec))){
502   if(row <= k_origenes){
503     # print(c(row,id_aux, (row*k_destinos)))
504     Matriz_VarDec[row,(id_aux:(row*k_destinos))] <- 1
505     id_aux <- id_aux+k_destinos
506   }
507   else{
508     Matriz_VarDec[row, seq(row-k_origenes, k_origenes+k_destinos, by=k_destinos)] <- 1
509   }
510 }
511 # View(Matriz_VarDec)
512 F.Objetivo <- matriz_DREAL %>% t %>% as.vector() # FUNCION OBJETIVO
513 restic.dir <- c(rep("<=" , k_origenes), rep("=", k_destinos)) # DESIGUALDADES DE LAS RESTRICCIONES
514 # COEFICIENTES DE LAS RESTRICCIONES
515 varia_oferta <- df_flares_titular$AVG_FLOWRATE*7/0.42
516 varia_oferta_final <- if_else((ceiling(varia_oferta)-varia_oferta)<=0.5, ceiling(varia_oferta), floor(varia_oferta))
517 restic.LD <- c(varia_oferta_final, ceiling(df_plantas$CAPACIDAD_GAS_DEMANDA*7/0.42))
518 # RESOLUCION DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACION (MINIMIZACION)
519 Sol.Optima_6 <- lp(direction="min", F.Objetivo, Matriz_VarDec, restic.dir, restic.LD, all.int=T)
520 # SOLUCION DEL PROBLEMA (VECTOR DE RESULTADOS)
521 Sol.Optima_6$solution
522 # FUNCION OBJETIVO OPTIMIZADO
523 Sol.Optima_6$objval
524 # EXPORTACION DE LOS RESULTADOS DEL MODELO DE OPTIMIZACION
525 Tabla_Resultado_v6 <- as.data.frame(matrix(Sol.Optima_6$solution, ncol = k_destinos, byrow = TRUE))
526 Tabla_Resultado_v6 <- cbind(df_flares_titular, Tabla_Resultado_v6)
527 export(Tabla_Resultado_v6, paste0(path, "Sol_Optima_v6_LMo.xlsx"))

```

Tabla 15

Extracto de Resultados Obtenidos en Solución Óptima 2

ID	CÓDIGO	CLÚS	TIPO	COLOR	SHS	INDA	SCY-	PLAA
FLARE0003	ACAC-027	5	TITULAR	green	4	4	0	6
FLARE0008	ACAJ-089	5	TITULAR	green	0	0	0	4
FLARE0010	ACAL-137	3	TITULAR	purple	0	0	0	4
FLARE0012	ACP	5	TITULAR	green	6	0	0	0
FLARE0014	ACS	5	TITULAR	green	0	1	0	3
FLARE0018	ACSA-001	5	TITULAR	green	8	0	0	0
FLARE0023	COCA	3	TITULAR	purple	0	0	0	5
FLARE0029	CLB-001	3	TITULAR	purple	6	2	0	6
FLARE0032	CLBB-021	1	TITULAR	orange	4	0	0	0
FLARE0033	CYB	2	TITULAR	brown	0	0	8	0
FLARE0034	CYB	2	TITULAR	brown	16	0	33	0
FLARE0039	GNTA-001	4	TITULAR	black	9	0	0	0
FLARE0040	GNTA-001	4	TITULAR	black	4	0	0	3
FLARE0042	LGA-04	4	TITULAR	black	3	0	0	0
FLARE0046	OSOB	3	TITULAR	purple	5	0	0	0
FLARE0047	OSOB	3	TITULAR	purple	5	0	0	0
FLARE0050	PRH-012	4	TITULAR	black	5	0	0	0
FLARE0051	PRHA-020	4	TITULAR	black	4	0	0	0
FLARE0053	PCH-001	4	TITULAR	black	2	0	9	0
FLARE0055	PTLA-001	3	TITULAR	purple	3	0	0	0
FLARE0057	PCN-001	1	TITULAR	orange	4	7	0	7
FLARE0061	SCH-001P	1	TITULAR	orange	6	0	0	0
FLARE0063	SCH-099	1	TITULAR	orange	5	0	0	0
FLARE0068	SCHP-153	1	TITULAR	orange	4	4	0	0
FLARE0069	SCHW-198	1	TITULAR	orange	4	8	0	0
FLARE0073	SCHG-275	1	TITULAR	orange	6	0	0	0
FLARE0074	SCHAB-310	1	TITULAR	orange	5	4	5	3
FLARE0075	SCHAB-310	1	TITULAR	orange	6	0	0	0
FLARE0077	SCHAE-370	1	TITULAR	orange	6	0	0	0
FLARE0084	SCHAJ-420	1	TITULAR	orange	4	0	0	0
FLARE0085	SCHAJ-420	1	TITULAR	orange	9	0	0	0
FLARE0086	SCHAL-440	1	TITULAR	orange	4	1	0	7
FLARE0088	SCHAN-460	1	TITULAR	orange	9	0	0	0
FLARE0092	SCHAN-2	1	TITULAR	orange	14	0	0	0
FLARE0094	SCH	1	TITULAR	orange	4	8	5	14
FLARE0102	SHA-001	4	TITULAR	black	0	0	6	0
FLARE0106	SHH	4	TITULAR	black	4	0	0	0
FLARE0111	VHR-001	2	TITULAR	brown	0	0	1	0
FLARE0115	YCAA-001	1	TITULAR	orange	6	0	0	4
FLARE0118	YLBD-003	1	TITULAR	orange	0	1	0	6
<b>OFERTA EN NUMERO TOTAL DE VIAJES SEMANAL</b>					<b>184</b>	<b>40</b>	<b>67</b>	<b>72</b>
<b>OFERTA EN CANTIDAD DE GAS SEMANAL</b>					<b>77,28</b>	<b>16,8</b>	<b>28,14</b>	<b>30,24</b>
<b>OFERTA EN CANTIDAD DE GAS DIARIA</b>					<b>11,04</b>	<b>2,40</b>	<b>4,02</b>	<b>4,32</b>
<b>DEMANDA EN CANTIDAD DE GAS INICIAL DIARIA</b>					<b>11</b>	<b>2,4</b>	<b>4</b>	<b>4,3</b>
<b>NUMERO DE CONTENEDORES</b>					<b>58</b>	<b>13</b>	<b>21</b>	<b>24</b>

*Nota.* La Oferta obtenida en capacidades con el número de viajes, fue convertida a cantidad de gas, teniendo en cuenta los 0,42 Millones de pies cúbicos de Gas por cada viaje. Posteriormente se reflejó a oferta de cantidad de gas diaria, teniendo en cuenta los 7 días de la semana. Y Finalmente, se comparó con la Demanda de gas por estación consumidora

Se filtraron los datos de interés en la solución Óptima #2, para los flujos desde las EPR hacia las ECO, y se pudo analizar que:

- ✓ Para cada estación consumidora, la Demanda fue satisfecha desde las EPR
- ✓ La función objetivo dio un resultado de 21603.54km en una semana
- ✓ Se contabilizo un numero de 116 contenedores para satisfacer la necesidad
- ☒ El número de viajes máximos posibles desde cada estación en algunos casos fue mucho mayor que el aportado por otras estaciones productoras, se debería restringir el número máximo de contenedores en una ruta, para que sea confiable el modelo

En síntesis, esta primera solución no resulto aceptable, porque el número de viajes en una ruta superaba el valor de capacidad máximo de viajes semanal, por lo que se tomaron las desventajas para plantear un siguiente modelo mejorado

**Configuración del Modelo 3 PL Entera: Problema de Transporte con Capacidades y restricción de número de viajes por arco.** En esta tercera iteración del modelo, se trabajó con el número de viajes enteros correspondiente al número de viajes y acordes a la capacidad de los contenedores móviles (0,42 MMSCF). A diferencia del modelo anterior donde solo se consideraba un contenedor por ruta, en el presente modelo se consideran dos contenedores por ruta, con la finalidad de obtener mayor captación del gas. Estableciendo una planificación semanal (Lunes a Domingo) con viajes completos, desde las estaciones productoras hacia las de consumo.

Adicionalmente, se contempló que los tanqueros podrían partir desde una EPR con posibilidad de abastecer a diferentes ECO, captando el gas en forma paralela de los contenedores desde una misma estación. Y se restringió el número de viajes máximos de los contenedores por arco.

**Se consideró la configuración de sus variables con los datos disponibles de la siguiente manera**

⇒ Oferta: Numero de viajes posibles que salen desde el Flare (EPR\_Titulares)

$$\text{Max. Viajes por flare} = \text{Redondear} \left( \frac{\text{Oferta Dia} * \left( \frac{\text{Dias}}{\text{Semana}} \right)}{\text{Capacidad Contenedor por viaje}} \right)$$

$$\text{Max. Viajes por flare} = \text{Redondear} \left( \frac{\text{Oferta Dia} * (7)}{0,42} \right)$$

⇒ Demanda: Plantas Consumidoras (ECO)

$$\text{Max. Viajes Planta Consumidora} = \text{Entero Superior de} \left( \frac{\text{Demanda} * \left( \frac{\text{Dias}}{\text{Semana}} \right)}{\text{Capacidad Contenedor por viaje}} \right)$$

$$\text{Max. Viajes por Planta Consumidora} = \text{Entero Superior de} \left( \frac{\text{Demanda} * 7}{0,42} \right)$$

- ⇒ Impedancias: Distancia entre estaciones (Matriz)
- ⇒ Capacidad del Tanquero Móvil: 0,42 MMSCFD
- ⇒ Tiempo ida y Retorno 1 Contenedor: 45 Horas (Ver Tabla 13)
- ⇒ Número máximo de viajes que puede realizar en una semana un contenedor móvil

$$\text{Max. Número de Viajes por Semana} = \frac{\frac{\text{horas} \cdot \text{Dias}}{\text{Dia} \cdot \text{Semana}}}{\text{Tiempo Total Viaje}}$$

$$\text{Max. Número de Viajes por Semana por contenedor} = \frac{24 \cdot 7}{45} = 3,73 \text{ Viajes} \approx 4 \text{ Viajes}$$

En base a la Tabla 13, el Tiempo de carga  $\approx$  Tiempo de viaje + Tiempo de descarga + Tiempo de Regreso. Entonces, se estableció que el Máximo Número de Viajes por semana desde una estación Origen a una Destino sería **7 Viajes**, siempre y cuando cada ruta con más de 4 viajes semanales, cuente con 2 Contenedores a su disposición. De esta manera, se contribuyó a que no exista Standby de los contenedores, haciendo más eficiente la captación.

Consecuentemente a este modelo de transporte con PL entera y restricción en las capacidades, se asociaron sus variables con los datos disponibles de la siguiente manera:

- ⇒ Función Objetivo: Minimizar los Tiempos/Distancias de recorrido
- ⇒ Restricciones:
  - Número de viajes máximos que pueden salir de cada Flare
  - Número de viajes que deben llegar hasta cada planta Consumidora
  - Número máximo de viajes posibles del tanquero en una semana por cada ruta, desde la estación i a la planta j
  - Los números de viajes deben ser enteros
- ⇒ Modelo Matemático: En base a las consideraciones previas, se expresa en la Figura 62



Figura 62

## Modelo Matemático para Problema Transporte III

$X_{ij}$  Numero de viajes del Contenedor sobre la ruta del Flare  $i$  a la Estacion Consumidora  $j$  en 7 dias

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 \text{PL:} \\
 \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq Q_i^*, \forall i \\
 \sum_{j=1}^m x_{ij} = D_j^*, \forall i \\
 x_{ij} \leq 7 \forall ij \\
 x_{ij} \in \text{Enteros}, \forall ij
 \end{array} \right\} \begin{array}{l}
 \text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_j \cdot x_{ij} \\
 \text{; Minimizar Distancias} \\
 \text{; Restringir el numero de viajes maximos que pueden salir desde un flare} \\
 \text{; Satisfacer el numero de viajes que deben llegar hasta las Estaciones cosumidoras} \\
 \text{; Maximo de viajes por cada ruta del flare } i \text{ a la estacion consumidora } j \\
 \text{; Restricciones de valores Enteros}
 \end{array}
 \end{array}$$

NOTA(\*): Todos son valores enteros redondeados de acuerdo a los calculos antes establecidos

El conjunto de expresiones matemáticas es resuelto, empleando el código en R, como se puede ver en la Figura 63

Figura 63

## Código Programación Lineal Modelo PL 3

```

867 #-----MODELO DE OPTIMIZACION 12----- PLE 3-----
868 k_origenes <- nrow(df_flares_titular) # NUMERO DE FLARES TITULARES A CONSIDERAR
869 k_destinos <- nrow(df_plantas) # NUMERO DE ESTACIONES CONSUMIDORAS A CONSIDERAR
870 # INICIALIZACION DE LA MATRIZ DE VARIABLES DE DECISION
871 Matriz_VarDec <- matrix(rep(0, ((k_origenes*k_destinos)*(k_origenes+k_destinos))), ncol = k_origenes+k_destinos)
872 # POBLADO DE LA MATRIZ DE VARIABLES DE DECISION (0,1)
873 id_aux <- 1
874 for(row in seq_len(nrow(Matriz_VarDec))){
875   if(row <= k_origenes){
876     # print(c(row,id_aux, (row*k_destinos)))
877     Matriz_VarDec[row, (id_aux:(row*k_destinos))] <- 1
878     id_aux <- id_aux+k_destinos
879   }
880   else{
881     Matriz_VarDec[row, seq(row-k_origenes, k_origenes+k_destinos, by=k_destinos)] <- 1
882   }
883 }
884 Matriz_VarDec_min <- matrix(rep(0, (k_origenes*k_destinos)^2), ncol = k_origenes+k_destinos) #Restriccion Adicional 1 Nviajes
885 diag(Matriz_VarDec_min) <- 1 #Restriccion Adicional 1 Nviajes
886 Matriz_VarDec <- rbind(Matriz_VarDec, Matriz_VarDec_min)
887 F.Objetivo <- matriz_DREAL %>% t %>% as.vector() # FUNCION OBJETIVO
888 restic.dir <- c(rep("<=", k_origenes), rep("=", k_destinos), rep("<=", k_origenes+k_destinos))# DESIGUALDADES RESTRICCIONES
889 # COEFICIENTES DE LAS RESTRICCIONES
890 varia_oferta <- (df_flares_titular$AVG_FLOWRATE*7/0.42)
891 varia_oferta_final <- if_else((ceiling(varia_oferta)-varia_oferta)<=0.5,ceiling(varia_oferta),floor(varia_oferta))
892 varia_demanda <- (df_plantas$CAPACIDAD_GAS_DEMANDA*7/0.42)
893 EFD=0.95 # EFICIENCIA EN DEMANDA
894 varia_demanda_final <- ceiling(varia_demanda*EFD)
895 restic.LD <- c(varia_oferta_final, varia_demanda_final, rep(7, k_origenes+k_destinos))
896 # RESOLUCION DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACION (MINIMIZACION)
897 Sol.Optima_12 <- lp(direction="min", F.Objetivo, Matriz_VarDec, restic.dir, restic.LD, all.int=T)
898 # SOLUCION DEL PROBLEMA (VECTOR DE RESULTADOS)
899 Sol.Optima_12$solution
900 # FUNCION OBJETIVO OPTIMIZADO
901 Sol.Optima_12$objval

```

Tabla 16

Resultados obtenidos en Solución Óptima Modelo III

ID	CÓDIGO	CLÚSTER	TIPO	COLOR	SHS	INDA	SCY	PLAA
FLARE0003	ACAC-027	5	TITULAR	green	7	0	0	7
FLARE0008	ACAJ-089	5	TITULAR	green	0	0	0	4
FLARE0010	ACAL-137	3	TITULAR	purple	0	0	0	4
FLARE0012	ACP	5	TITULAR	green	6	0	0	0
FLARE0014	ACS	5	TITULAR	green	0	0	4	0
FLARE0018	ACSA-001	5	TITULAR	green	7	0	0	1
FLARE0023	COCA	3	TITULAR	purple	4	0	0	1
FLARE0029	CLB-001	3	TITULAR	purple	7	6	0	1
FLARE0032	CLBB-021	1	TITULAR	orange	4	0	0	0
FLARE0033	CYB	2	TITULAR	brown	1	0	7	0
FLARE0034	CYB	2	TITULAR	brown	7	6	7	7
FLARE0039	GNTA-001	4	TITULAR	black	6	0	3	0
FLARE0040	GNTA-001	4	TITULAR	black	7	0	0	0
FLARE0042	LGA-04	4	TITULAR	black	0	0	3	0
FLARE0046	OSOB	3	TITULAR	purple	0	0	0	5
FLARE0047	OSOB	3	TITULAR	purple	0	0	0	5
FLARE0050	PRH-012	4	TITULAR	black	0	0	5	0
FLARE0051	PRHA-020	4	TITULAR	black	0	0	4	0
FLARE0053	PCH-001	4	TITULAR	black	4	0	7	0
FLARE0055	PTLA-001	3	TITULAR	purple	3	0	0	0
FLARE0057	PCN-001	1	TITULAR	orange	7	4	0	7
FLARE0061	SCH-001P	1	TITULAR	orange	6	0	0	0
FLARE0063	SCH-099	1	TITULAR	orange	5	0	0	0
FLARE0068	SCHP-153	1	TITULAR	orange	7	1	0	0
FLARE0069	SCHW-198	1	TITULAR	orange	7	5	0	0
FLARE0073	SCHG-275	1	TITULAR	orange	6	0	0	0
FLARE0074	SCHAB-310	1	TITULAR	orange	7	7	0	3
FLARE0075	SCHAB-310	1	TITULAR	orange	6	0	0	0
FLARE0077	SCHAE-370	1	TITULAR	orange	6	0	0	0
FLARE0084	SCHAJ-420	1	TITULAR	orange	4	0	0	0
FLARE0085	SCHAJ-420	1	TITULAR	orange	7	2	0	0
FLARE0086	SCHAL-440	1	TITULAR	orange	7	0	0	5
FLARE0088	SCHAN-460	1	TITULAR	orange	7	0	0	2
FLARE0092	SCHAN-2	1	TITULAR	orange	7	0	0	7
FLARE0094	SCH	1	TITULAR	orange	7	7	7	7
FLARE0102	SHA-001	4	TITULAR	black	0	0	6	0
FLARE0106	SHH	4	TITULAR	black	0	0	4	0
FLARE0111	VHR-001	2	TITULAR	brown	2	0	7	0
FLARE0115	YCAA-001	1	TITULAR	orange	7	0	0	3
FLARE0118	YLBD-003	1	TITULAR	orange	7	0	0	0
<b>OFERTA EN NUMERO TOTAL DE VIAJES SEMANAL</b>					<b>175</b>	<b>38</b>	<b>64</b>	<b>69</b>
<b>OFERTA EN CANTIDAD DE GAS SEMANAL</b>					73,5	16,0	26,9	29,0
<b>OFERTA EN CANTIDAD DE GAS DIARIA OBTENIDA</b>					10,5	2,3	3,8	4,1
<b>DEMANDA EN CANTIDAD DE GAS DIARIA INICIAL</b>					11,0	2,4	4,0	4,3
<b>NUMERO DE CONTENEDORES</b>					50	12	20	20

Con los datos de interés de la solución Óptima, para los flujos desde las EPR hacia las ECO, se pudo analizar que:

- ✓ La Demanda fue satisfecha desde las EPR Titulares con una eficiencia mayor a 95% bajo un escenario conservador en tiempos y capacidades
- ✓ La solución encontrada con el modelo cumplió los requerimientos planteados para la red de distribución
- ✓ El número de contenedores óptimos con la solución óptima encontrada fue de 102.  
Considerando que cada estación consumidora pueda hacer rotación con los vehículos asociados a sus rutas de abastecimiento

Acorde a las premisas del modelo, el número máximo de viajes por semana fue de 7, con 2 contenedores móviles por cada ruta. Con 22 horas en los tiempos de carga en las estaciones productoras EPR, y 23 horas en los tiempos de ida y vuelta de los contenedores hacia las estaciones consumidoras. Y 23674 km de recorrido total semanalmente. El resumen de frecuencias por ruta puede verse en la Tabla 17

**Tabla 17**

*Frecuencia de Rutas en función del número de viajes*

Número de Viajes por ruta	ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5
7	16	2	0	5	5
6	6	2	0	1	0
5	1	1	0	1	3
4	4	1	0	3	2
3	1	0	0	2	2
2	1	1	0	0	1
1	1	1	0	0	3
0	10	32	40	28	24
<b>TOTAL</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>40</b>

Inicialmente con cada par de contenedores asignados a una sola ruta sin rotación, se obtuvo el número de contenedores Máximo. Posteriormente, para la determinación de los contenedores óptimos se consideró que los contenedores asociados a una misma estación consumidora pudieran rotar entre las diferentes rutas. Consiguiendo una reducción del 27%, entonces el número óptimo obtenido fue **102 Contenedores Móviles** garantizando un abastecimiento continuo de 21MMscfd (Millones de pies cúbicos estándar). Ver Tabla 18

**Tabla 18**

*Número de contenedores por Estación Consumidora*

<b>NÚMERO DE CONTENEDORES</b>	<b>ECO1</b>	<b>ECO2</b>	<b>ECO3</b>	<b>ECO4</b>	<b>ECO5</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Número Máximo</b>	60	18	0	28	34	<b>140</b>
<b>Numero Optimo</b>	50	12	0	20	20	<b>102</b>

## Análisis Técnico de Resultados

A continuación, se resume la información obtenida en cada fase del modelo:

Depuración, Agrupamiento, y Optimización.

Se consideraron los Datos Iniciales indicados en la Tabla 19

**Tabla 19**

*Sumario 0 de Datos Técnicos del Modelo*

DESCRIPCIÓN	VALOR
Numero Estaciones Productoras	122
Numero Estaciones Consumidoras	5
Flujo Total EPR [MMSCFD]	39,07
Demanda Total ECO [MMSCFD]	23,5

Primero, la fase de depuración de estaciones permitió seleccionar las estaciones efectivas para el gasoducto virtual. Se puede visualizar la cantidad inicial y final, así como los criterios de selección utilizados, ver Tabla 20

**Tabla 20**

*Sumario 1 de Datos Técnicos del Modelo*

DESCRIPCIÓN	VALOR
<b><u>1. DEPURACIÓN</u></b>	
Numero Estaciones Productoras	45
Numero Estaciones Consumidoras	4
Flujo Total EPR [MMSCFD]	25,19
Demanda Total ECO [MMSCFD]	21,7
Criterio Poder Calórico Mínimo [BTU/ft <sup>3</sup> ]	900
Criterio Flujo mínimo para captación [MSCFD]	200
Criterio Exclusión ECO con gasoducto físico [s/n]	SI

*Nota.* Los MMSCFD representan Millones de Pies Cúbicos por día.

Cabe destacar que la etapa de depuración redujo considerablemente el número de estaciones productoras en 63% y el aporte en MMSCFD en un 35%. Con lo cual, la oferta decreció drásticamente. Sin embargo, se mantuvo por encima de la demanda.

Segundo, la fase de agrupamiento mediante el algoritmo de K Medias, permitió encontrar las estaciones Titulares y Suplentes de cada grupo, para cubrir una posible contingencia en la distribución del gasoducto virtual, tal como se puede ver en la Tabla 21

**Tabla 21**

*Sumario 2 de Datos Técnicos del Modelo*

DESCRIPCIÓN	VALOR
<b>2. AGRUPAMIENTO: K-Medias</b>	
Número de Clústeres	5
Oferta Titulares [MMSCFD]	22,45
Oferta Suplentes [MMSCFD]	2,74
Demanda ECO [MMSCFD]	21,7
Número de EPR Titulares	40
Numero de EPR Suplentes	5
Numero de ECO	4

En la etapa de agrupamiento se consiguió un total de 40 estaciones productoras, y una reserva mediante las 5 estaciones suplentes con capacidad total de 2,74MMSCFD disponibles para cubrir cualquier imprevisto en el suministro

Finalmente, la fase de Optimización permitió encontrar la manera más eficiente de distribuir el gas, bajo las consideraciones de modelo planteadas. Para los 3 Modelos de transporte más representativos (PL1, PL2, PL3). La Tabla 22 consolida dicha información

Tabla 22

## Sumario 3 de Datos Técnicos del Modelo

DESCRIPCIÓN	PL1	PL2	PL3
<b>3. OPTIMIZACIÓN : Problema de Transporte</b>			
Periodo de Planificación	Diaria	Semanal	Semanal
Criterio de Distribución por Ruta (Arco)	Flujo	Numero Viajes	Numero Viajes
Programación Lineal asociada	PL	PL Entera	PL Entera
Número Máximo de Viajes por ruta semanales	-	-	7
Número de Contenedores por Ruta (arco)	1	1	2
Oferta : Estaciones Productoras Titulares [MMSCFD]	22,45	22,45	22,45
Demanda : Estaciones Consumidoras [MMSCFD]	21,7	21,7	21,7
Capacidad Contenedor Móvil [MMSCF]	0,42	0,42	0,42
Tiempos Carga [Horas]	22	22	22
Tiempo Máximo: Viaje, Descarga y Retorno [Horas]	23	23	23
Eficiencia en Satisfacción de Demanda [%]	100	100	95
Cumple Capacidad de Contenedor acorde al Diseño	<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>
Cumple Número de viajes semanales del Contenedor?	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b>
Distancia Recorrida por Flota en Semana[1000xKm]	1,28	21,603	23,6
<b>Número de Contenedores óptimos</b>	<b>42</b>	<b>116</b>	<b>102</b>

La optimización permitió encontrar el número óptimo de contenedores, teniendo en cuenta la capacidad de diseño del contenedor y el número máximo de viajes semanales.

Determinando las rutas desde las 40 estaciones titulares hacia las 4 estaciones consumidoras efectivas.

Entre las opciones desarrolladas, el modelo 3 de programación lineal entera (PL3), hacia el mejor uso de los contenedores conservando los criterios del negocio, con una distancia mínima a recorrer de 23,6 km semanales de desplazamiento para un total de 102 contenedores móviles a fin de satisfacer la demanda de 21MMSCF.

Para visualizar la red de distribución con las rutas asociadas, a la solución recomendada (PL3) de la Tabla 22. Se empleó el código que se muestra a continuación en la Figura 64

Figura 64

## Código de Representación de la Red de Distribución

```

1018 # MAPA FINAL DE LA DISTRIBUCION OPTIMA -----
1019 df_plantas$NOMBRE <- c("SHUSHUFINDI", "INDILLANA", "LIMONCOCHA", "SECOYA", "PALO AZUL")
1020
1021 mapa <- leaflet() %>%
1022   addTiles() %>%
1023   addPopups(data=df_plantas, lng = ~LONGITUD, lat = ~LATITUD, popup = ~NOMBRE) %>%
1024   addAwesomeMarkers(data=df_plantas, lng = ~LONGITUD, lat = ~LATITUD, label = ~paste0(ID, " : ", NOMBRE),
1025     icon = awesomeIcons(icon = 'home', iconColor = 'white', markerColor = 'red', library = 'fa'), group = "CONSUMIDORAS")
1026
1027 planta <- c("SHUSHUFINDI", "INDILLANA", "LIMONCOCHA", "SECOYA", "PALO AZUL")
1028 DReal <- c("DREAL_Shushufindi", "DREAL_Indillana", "DREAL_Limoncocha", "DREAL_Secoya", "DREAL_PaloAzul")
1029 TViaje <- c("TVIAJE_Shushufindi", "TVIAJE_Indillana", "TVIAJE_Limoncocha", "TVIAJE_Secoya", "TVIAJE_PaloAzul")
1030 color <- c("blue", "red", "green", "black", "orange")
1031
1032 for(p1 in seq_len(length(planta))){
1033   df_flares_aux <- Tabla_Resultado_v12[Tabla_Resultado_v12[[26+p1-1]]!=0, c(1,2,3, 4, 8+3*p1-3, 9+3*p1-3, 22, 26+p1-1)]
1034   df_planta_aux <- df_plantas[p1, c("ID", "LATITUD", "LONGITUD")]
1035
1036   for(f1 in seq_len(NROW(df_flares_aux))){
1037     df_aux <- data.frame(LATITUD = c(df_flares_aux[["LATITUD"]][f1], df_planta_aux[["LATITUD"]][1]),
1038       LONGITUD = c(df_flares_aux[["LONGITUD"]][f1], df_planta_aux[["LONGITUD"]][1]),
1039       FLARE = df_flares_aux[[1]][f1],
1040       COD_FAC_SUP = df_flares_aux[[2]][f1],
1041       DISTANCIA = df_flares_aux[[5]][f1],
1042       ANCHO = df_flares_aux[[8]][f1])
1043
1044     mapa <- mapa %>%
1045       addPolyLines(data = df_aux, lng = ~LONGITUD, lat = ~LATITUD, weight = ~ANCHO,
1046         label = ~paste0(FLARE, " - ", DISTANCIA, " km"), group = planta[[p1]], color=color[[p1]])#USAR CODIGO FAC_SUP
1047   }
1048 }
1049
1050 mapa <- mapa %>% addLayersControl(
1051   overlayGroups = planta,
1052   options = layersControlOptions(collapsed = FALSE)
1053 )
1054
1055 mapa

```

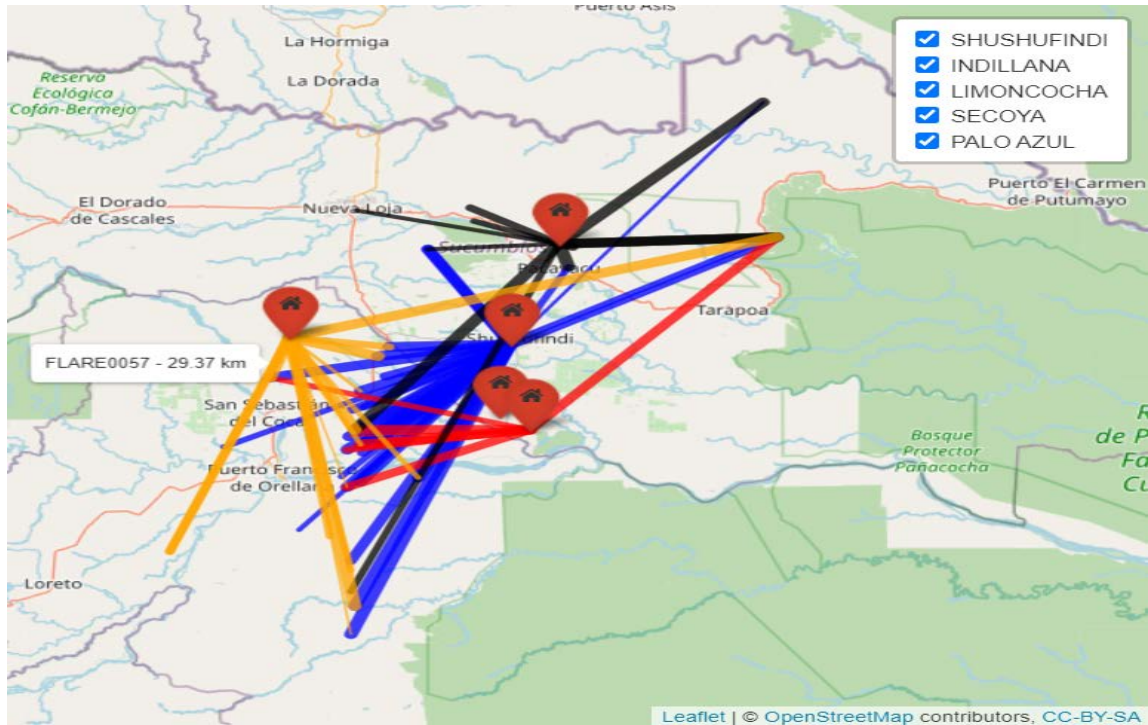
En el código se consideraron los colores en los arcos sobre la red de distribución para asociar las estaciones productoras y consumidoras. En cada arco el grosor representando el número de viajes, y al navegar por encima del arco se desplegó la estación productora identificada por el número de flare y la distancia hasta la estación consumidora de destino.

Activando las casillas asociadas a cada estación consumidora, fue posible navegar en el gráfico, para visualizar las rutas de cada estación consumidora.

El resultado descrito del código se puede visualizar en la Figura 65



Figura 65

*Red de Distribución del Gasoducto Virtual*

*Nota.* El grafico muestra iterativamente la red de distribución del Gasoducto Virtual obtenida, considerando para cada arco: las estaciones Productoras, estaciones consumidoras, distancia recorrida, frecuencias de las rutas. El empleo de este esquema permitirá redistribuir el gas de manera eficiente, teniendo en cuenta: La menor distancia recorrida por los contenedores móviles, una captación continua del flujo de gas desde las estaciones productoras, y garantía del abastecimiento por medio de las estaciones suplentes. Obtenido mediante (RSTUDIO, 2020)

## Reporte a los Tomadores de Decisión

Existen numerosos detalles a ser tomados en cuenta al momento de traducir los beneficios: Técnicos, Económicos, y Ambientales; generados por la recuperación de gas mediante el proyecto. En consenso con los tomadores de decisión de la empresa Petroamazonas, se pudo validar la estimación referencial, tomando como referencia la reutilización de toda la cantidad de 21,7MMscfd de gas combustible para un desplazamiento de Diésel en las PGE. Tal como se puede ver en la Tabla 23

**Tabla 23**

*Estimación Referencial de Beneficios y Costos con la Solución Óptima III*

DESCRIPCIÓN		CANTIDAD
<b>BENEFICIOS</b>		
Consumo Combustible gas para cubrir demanda	[MMSCFD]	21,70
Potencial de recuperación de Energía Eléctrica Anual	[MWH-A]	500.000,00
Consumo Combustible Diésel Anual	[GAL_A]	37.185.000,00
Ahorro por Desplazamiento de Diésel	[\$ USD_A]	<b>\$122.710.500,00</b>
Reducción de Toneladas de CO2 Anual	[TCO2]	300.000,00
Equivalente en retiro de movilizar Autos	[N_Vehiculos]	49.286
<b>COSTOS</b>		
Número de Contenedores		102,00
Inversión Total en Contenedores	[\$ USD]	\$40.800.000,00
Mantenimiento Anual contenedores	[\$ USD_A]	\$61.200,00
Repuestos	[\$ USD_A]	\$1.795.200,00
Nómina de personal Anual	[\$ USD_A]	\$2.203.200,00
Costo Consumo de combustible	[\$ USD_A]	\$40129,44
Total de Costos Fijos Anuales	[\$ USD_A]	\$4.099.729,44
Costo Total de Inversión	[\$ USD_A]	\$44.899.729,44

*Nota.* Los resultados mostraron la factibilidad de generar 56,6 Megavatios de capacidad por hora, en total 500 mil megavatios anuales. Desplazando 37 Millones de galones de Diésel, y permitiendo un ahorro de \$ 122 Millones de Dólares anuales.

El beneficio social obtenido, con los 102 contenedores, permitiría generar más de 300 plazas locales de trabajo. Generando acogida en el personal del área de influencia

Mientras que el beneficio ambiental obtenido, reduciría 300 mil Toneladas de CO<sub>2</sub> anualmente, equivalentes a retirar aproximadamente 49 mil vehículos de circulación. La síntesis de estos beneficios, se puede visualizar en la Figura 66

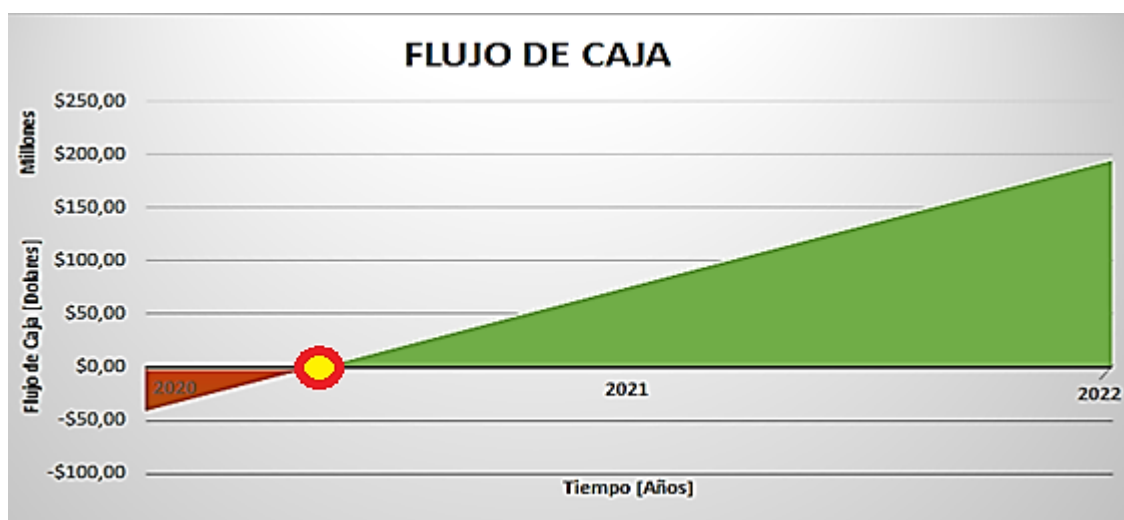
Para los 102 contenedores móviles la inversión estimada resulto aproximadamente en \$44,9 Millones, con costos anuales de \$4,1 Millones en mantenimiento, combustible y nómina; Sin considerar los trenes de descarga actualmente en diseño. Permitiendo estimar un indicador de Retorno de Inversión (ROI) de 173,3%

$$\text{Retorno de Inversión (R.O.I.)} = \frac{\text{Beneficio Obtenido} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} = \frac{122,7 - 44,9}{44,9} * 100\% = 173,3\%$$

La visualización de este beneficio económico, se facilita mediante la Figura 66

**Figura 66**

*Estimación del Flujo Económico Anual*



*Nota.* En la Figura, se destaca una inversión inicial de \$44,9 Millones, la generación de \$122 Millones de ingresos anuales, y un consecuente retorno de la inversión en un tiempo menor a un año, en el cual el flujo de caja se convierte en positivo generando rentabilidad

El resumen de los beneficios obtenidos, desde los aspectos: Económicos, Técnicos, y Ambientales conseguidos con la Red de distribución, se pueden visualizar mediante la Figura 67

**Figura 67**

*Resumen de Beneficios obtenidos con el Gasoducto Virtual*



Nota. Los beneficios obtenidos muestran un desarrollo sustentable con el ambiente, mediante la implementación del gasoducto virtual con un número óptimo de 102 contenedores móviles, en la red de distribución obtenida.

## Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

- ✓ En esta tesis se ha diseñado una red de distribución con 102 contenedores móviles, que permitió reutilizar y distribuir adecuadamente el gas excedente en la industria hidrocarburifera del distrito amazónico, para encontrar una solución al uso ineficiente del gas y el alto impacto ambiental.
- ✓ Se ha verificado el impacto de los problemas relacionados al uso de recursos dentro de la industria hidrocarburifera. Destacando una gran cantidad de emisión de gases nocivos al ambiente, particularmente cerca de 390 mil toneladas de CO<sub>2</sub> anuales, que podrían ser mitigadas con la implementación practica del Gasoducto Virtual.
- ✓ Se ha verificado la existencia de políticas internacionales y nacionales, revisadas anualmente por entes como las Naciones Unidas y el Banco Mundial, tales como: Acuerdo de Paris, Decreto Ejecutivo 135 ecuatoriano, propósito de reducción a cero emisiones en el año 2030, Protocolo de Kyoto, entre otros. Todos convergen en la generación de incentivos para la inversión para la producción de bienes y servicios, socialmente deseables y ambientalmente aceptables. Evidenciando así, la voluntad política para apalancar la ejecución del proyecto de Gasoducto Virtual.
- ✓ Durante las entrevistas con el personal técnico especializado, se han determinado los criterios técnicos apropiados para la selectividad del gas, enfatizando el poder calórico y la cantidad de gas mínimo para que fuera eficiente el proceso desde la captación. Estos han sido utilizados por la ingeniería y apropiados para el presente estudio, como se ha detallado en el desarrollo del modelo.

- ✓ El desarrollo del modelo analítico, ha permitido encontrar 40 estaciones productoras titulares y 5 estaciones suplentes, para garantizar continuidad en el suministro del gasoducto virtual ante posibles interrupciones en la distribución por factores aleatorios, mediante el algoritmo de K-Medias. Reservando así, 2,74 MMscfd de gas para dichas contingencias.
- ✓ Durante la entrevista con los tomadores de decisión ha sido expuesto y consensado que para los datos de entrada y el desarrollo del modelo analítico, la determinación de los 102 contenedores móviles, para lograr la reutilización de 21MMscfd de gas combustible que antes eran quemados en los Flares representa una solución viable.
- ✓ En esta tesis se han estimado los beneficios anuales de la red de distribución del gasoducto virtual con un potencial de: \$122 Millones de dólares en ahorro, 500 mil Megavatios de energía eléctrica, ampliación de 300 plazas de trabajo, y la reducción de 390 mil toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas al ambiente

### **Recomendaciones**

- Basado en la urgencia internacional ratificada por las Naciones Unidas para mitigar el cambio climático, los compromisos políticos de Ecuador en lograr dicho propósito, y el modelo analítico desarrollado. Se recomienda a los tomadores de decisión, hacer uso conveniente del presente estudio para continuar la gestión ante las autoridades y ejecutar el proyecto del Gasoducto Virtual de manera inmediata, mediante los mecanismos de financiamiento internacional (MDL) destinados para tal fin.
- Se recomienda actualizar periódicamente los datos de entrada concernientes a las mediciones de gas, para que el modelo analítico desarrollado facilite la toma de decisiones sobre la generación de nuevas rutas.

➤ Se recomienda confirmar y mantener el formato estándar con el que se ha trabajado, para que las respuestas del modelo sean rápidas y consistentes, ya que las diversas fuentes de datos implican un incremento de tiempo considerable para la preparación, cuando podría ser mejor aprovechado para el análisis o mejoras al modelo.

➤ Se recomienda en una siguiente fase de evolución del presente proyecto, la inclusión de nuevas restricciones, facilitando una mejora continua sobre el modelo y consecuentemente sobre el uso de los recursos existentes.

➤ Posterior a la implementación, se recomienda ir ajustando los parámetros de la red para dar mejor respuesta a los cambios en las variables del gas; puesto que se utilizaron tiempos de viaje conservadores, para satisfacer la demanda estaría satisfecha con suficiente holgura.

➤ La estimación económica realizada es referencial y permitió visualizar los beneficios del proyecto. Sin embargo, se recomienda evaluar detalladamente los aspectos económicos, cuando se finalice la fase de ingeniería del proyecto. Considerando otros factores de costo-beneficio como: renta o compra de contenedores móviles, posiciones de trabajo para conducción, sistemas de monitoreo en ruta.

## Bibliografía

- Ballou, R. (2004). *Logística Administracion de la Cadena de Suministro*. Mexico: Pearson.
- Boljevic, S., & Noel, B. (2007). *Impact of Combined Heat and Power Plant on Thermal and Electrical Energy Supply for Small and Medium Size Enterprises*. Cork, Ireland: Electrical Engineering Department, Cork Institute of Technology.
- Boljevic, S., Barry, N., & Loughane, J. (2015). The Impact Of A Combined Heat & Power Plant Using Normally Flared -Off Gases In A Petrochemical Plant. IRELAND: IEEE.
- Cebollada, S., Roman, V., Paya, L., Flores, M., Jimenez, L., & Reinoso, O. (2018). Uso de Tecnicas de Machine Learning para Realizar Mapping en Robotica Movil. *Universidad Miguel Hernandez, Jornadas de Automatica*.
- CELEC. (01 de Septiembre de 2017). *Hito Histórico: Por Primera Vez El Sistema Petrolero Ecuatoriano Usa Energía Eléctrica De Sistema Nacional Interconectado*. Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/78-quienes-somos/405-hito-historico-por-primera-vez-el-sistema-petrolero-ecuatoriano-usa-energia-electrica-de-sistema-nacional-interconectado-sni.html>
- CEPAL-ONU. (20 de Agosto de 2020). *Observatorio del Principio 10*. Obtenido de <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/acuerdo-paris-la-convencion-marco-cambio-climatico>
- Chapman, P., Clinton, J., Kerber, R., Thomas, K., Reinartz, T., Shearer, C., & Rudiger, W. (15 de 12 de 2016). *ftp.software.ibm.com*. Obtenido de <ftp://ftp.software.ibm.com/software/analytics/spss/support/Modeler/Documentation/14/UserManual/CRISP-DM.pdf>
- Cursosgis. (01 de 12 de 2019). *cursosgis.com*. Obtenido de <https://www.cursosgis.com/que-lenguaje-elegir-para-trabajar-en-tu-proyecto-de-data-science-r-o-python/>
- Danielle LevacEmail author, H. C. (2010). *Scoping studies: advancing the methodology*.



- Dittert, M., Harting, R., Reichstein, C., & Bayer, C. (2018). *A Data Analytics Framework for Business in Small and Medium-Sized Organizations*. Germany: Springer.
- Escobar, H., Alcivar, M., & Puris, A. (2016). Aplicaciones de Minería de Datos en Marketing. *REVISTA PUBLICANDO*, 3(8), 10.
- Fonseca, E. (2018). *Systematic Mapping Study (SMS)*. ESPE-EPN, QUITO.
- García, E. (2016). *Sistemas de información y bases de datos en consumo UF1755*. Madrid: Paraninfo.
- General Electric. (2017). *Capacitación Especializada en Motogeneradores Wauskesha GET-05*. Quito: Arcolands.
- Giraldo, J., & Vargas, F. (2017). Aplicación de la técnica regresión logística de la minería de datos en el proceso de descubrimiento de conocimiento (KDD) en bases de datos operativas o transaccionales. *PERSPECTIV@S. Revista de Tecnología e Información*(13), 5.  
Recuperado el Agosto de 2020, de  
<http://revistas.uigv.edu.pe/index.php/perspectiva/article/view/568/493>
- Gomila, J. (03 de Marzo de 2020). *frogames*. Obtenido de <https://frogames.es/r-vs-python-cuales-mejor/>
- Gutierrez, J., & Molina, B. (Mayo de 2016). Identificación de técnicas de minería de datos para apoyar a la toma de decisiones en solución de problemas empresariales. (U. CES, Ed.) *ONTARE. Revista de Investigación de la Facultad de Ingeniería*, 33-52.  
doi:10.21158/23823399.v3.n2.2015.1440
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGrawHill.
- Hillier, F., & Liberman, G. (2015). *Introducción a la Investigación de Operaciones*. Mexico: Mc Graw Hill.

- Hsuan, H., & Napoles, G. (2014). Issues Affecting the Clean Development Mechanism CDM\_ A Review. Taiwan.
- INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (18 de 05 de 2018). *GOB.MX*.  
Obtenido de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/mecanismo-de-desarrollo-limpio-mdl>
- Javier, E. (1 de Enero de 2020). Aplicación de metodología CRISP-DM para segmentación geográfica de una base de datos pública. (Unam, Ed.) *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 17. Obtenido de <https://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/2020/v21n1-08.pdf>
- Kameran Kamal Al-Dalwi, A. M. (2017). Modeling and Simulation of Bazyan Gas Power Plant. Turkia: Giazapnet University.
- Kaur, E. R., Kaur, E. R., & Aggarwal, D. H. (2012). Big Data Analytics Framework to Identify Crop. Patiala: Punjabi University.
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for Performing Systematic Reviews*. Australia: Keele University.
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Review in software Engineering. *Durham*, 2.3, 65.
- Margaret, B. (2016). *Inteligencia Artificial*. Madrid: Turner.
- Margaret, R. (01 de Abril de 2017). *SearchDataCenter*. Obtenido de Techtarget: <https://searchdatacenter.techtarget.com/es/definicion/Aprendizaje-profundo-deep-learning>
- Martinez, R. (2014). *Metodologías Basadas en Minería de Datos para el diseño y optimización de técnicas de clasificación automática*. España: Universidad MURCIA.

MasterGis. (01 de Enero de 2020). *Curso de Analisis de Redes*. Obtenido de

<https://www.mastergis.com/product/analisis-de-redes-network-analyst/>

MINISTERIO DE HIDROCARBUROS DEL ECUADOR. (01 de 07 de 2018).

*historico.secretariahidrocarburos.gob.ec*. Recuperado el 22 de 05 de 2019, de

[http://www.historico.secretariahidrocarburos.gob.ec/wp-](http://www.historico.secretariahidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/2018/08/1.Mapa-Bloques_Actualizado-Julio2018.jpg)

[content/uploads/2018/08/1.Mapa-Bloques\\_Actualizado-Julio2018.jpg](http://www.historico.secretariahidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/2018/08/1.Mapa-Bloques_Actualizado-Julio2018.jpg)

Mohammad, J. T. (2017). Feasibility Study of Cogeneration for A Gas Power Plant. Iran: IEEE.

Moine, J., Ana, H., & Gordillo, S. (01 de Enero de 2011). *Universidad Nacional de la Plata*.

Recuperado el Agosto de 2020, de

[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/20034/Documento\\_completo.pdf%3](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/20034/Documento_completo.pdf%3Fsequence%3D1)

[Fsequence%3D1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/20034/Documento_completo.pdf%3Fsequence%3D1)

Moreno, L. (11 de Septiembre de 2017). *Normas de Optimizacion y Austeridad del Gasto Publico*.

Obtenido de Decreto Ejecutivo 135: [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)

Naciones Unidas. (15 de 06 de 2020). *United Nations*. Obtenido de

<https://www.un.org/es/sections/about-un/overview/index.html>

Navarro, J. (27 de 06 de 2008). *Resumen del Protocolo de Kyoto*. Obtenido de

[cambioclimatico.org: http://www.cambioclimatico.org/content/resumen-del-protocolo-](http://www.cambioclimatico.org/content/resumen-del-protocolo-de-kyoto)

[de-kyoto; https://youtu.be/ly-LN6Neumw](http://www.cambioclimatico.org/content/resumen-del-protocolo-de-kyoto)

Odetayo, B. (2016). Integrated planning of Natural Gas and electricity distribution networks with

the presence of distributed natural gas fired generators. Calgary: IEEE.

OGE&EE. (2015). *Ingenieria Conceptual Segunda Etapa Recuperacion de Gas Asociado*

*"Monetizing Stranded Associated Gas (MSAG)". Bases y Criterio de Diseño,*

Petroamazonas, Optimizacion de Generacion Electrica y Eficiencia Energetica OGE&EE,

Quito.

OGE&EE. (18 de 05 de 2020). Flares B56. (J. Villacis, Ed., & J. Salazar, Recopilador) Quito.

OGE&EE. (18 de 05 de 2020). Re: TESIS LMo Gasoducto Virtual. Quito, Ecuador. Obtenido de

[https://pamwebmail.petroamazonas.ec/owa/?ae=Item&a=Open&t=IPM.Note&id=RgAAAa4f%2bbROIAQoqFJxQjLvCBwDuDDpmf%2f7PRpa1bUXlu13XALrxY5bPAABNLWyunuEHT4tAZ5dmB8HyAABx5BfMAAAJ&pspid=\\_1592372432627\\_709753535](https://pamwebmail.petroamazonas.ec/owa/?ae=Item&a=Open&t=IPM.Note&id=RgAAAa4f%2bbROIAQoqFJxQjLvCBwDuDDpmf%2f7PRpa1bUXlu13XALrxY5bPAABNLWyunuEHT4tAZ5dmB8HyAABx5BfMAAAJ&pspid=_1592372432627_709753535)

OILPRICE. (21 de abril de 2015). *Gas Flaring Could End By 2030*. Obtenido de

<http://oilprice.com/Latest-Energy-News/World-News/Gas-Flaring-Could-End-By-2030.html>

Petroamazonas E.P. (25 de Julio de 2017). *Estuato Organico de Gestion Organizacional por*

*Procesos*. Obtenido de [https://www.petroamazonas.gob.ec/wp-](https://www.petroamazonas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/12/25072017-Estatuto-Aprobado2.pdf)

[content/uploads/downloads/2017/12/25072017-Estatuto-Aprobado2.pdf](https://www.petroamazonas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/12/25072017-Estatuto-Aprobado2.pdf)

Petroamazonas E.P. (6 de Diciembre de 2017). *Transparencia*. Obtenido de

[https://www.petroamazonas.gob.ec/?page\\_id=80](https://www.petroamazonas.gob.ec/?page_id=80)

Petroamazonas EP. (01 de Enero de 2014). *Plan estrategico - Petroamazonas EP*. Obtenido de

<https://www.petroamazonas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/01/6-K-1-PLAN-ESTRATEGICO-2014-2017-DIC-2013-.pdf>

PETROAMAZONAS\_EP. (2015). *Petroamazonas EP Es Parte de la Iniciativa Mundial para Eliminar*

*la Quema Regular de Gas*. Obtenido de <https://www.petroamazonas.gob.ec/?p=4174>

Piatetsky, G. (Junio de 2016). *kdnuggets*. Obtenido de [https://www.kdnuggets.com/2016/06/r-](https://www.kdnuggets.com/2016/06/r-python-top-analytics-data-mining-data-science-software.html)

[python-top-analytics-data-mining-data-science-software.html](https://www.kdnuggets.com/2016/06/r-python-top-analytics-data-mining-data-science-software.html)

Porter, & Linde. (1995). *Toward a New Conception of the Enviroment-Competitvness*

*Relationship*. New York: Journal of Economic Perspectives.

Render, B., Stair, R., & Hanna, M. (2012). *Metodos Cuantitativos para los Negocios*. Mexico:

Pearson.

Render, B., Stair, R., & Hanna, M. (2016). *Metodos Cuantitativos para los Negocios*. Mexico: Pearson.

RStudio. (23 de Junio de 2018). *RPubs*. (D. Ronald, Editor) Recuperado el 13 de Julio de 2020, de <https://rpubs.com/rdelgado/399475>

RSTUDIO. (13 de 07 de 2020). Generated by summarytools 0.9.6 (R version 4.0.2).

Sanchez, S., & Vasquez, J. (15 de 05 de 2012). *Universidad Autonoma de Mexico*. Recuperado el 15 de 05 de 2020, de <https://youtu.be/qreMtP32CHU>

Taha, H. (2017). *Investigacion de Operaciones*. Mexico: PEARSON.

Taheri, M., & Taheri, P. (2017). Feasibility Study of Cogeneration. Iran: IEEE.

Takada, M. (2018). Co-Evolution of Technology and Policies Study of Precedents of Clean Development Mechanism (DCM) Projects for the prevention of Climate Change. Japan: IEEE.

THE WORLD BANK. (2007). *Proyectos MDL y Aprovechamiento de Gas Asociado*. Quito: WORLD BANK. Obtenido de [http://siteresources.worldbank.org/EXTGGFR/Resources/578068-1170260830334/petroecuador\\_md1.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTGGFR/Resources/578068-1170260830334/petroecuador_md1.pdf)

Theuwissen, M. (Mayo de 2015). *KDnuggets News*. Obtenido de <https://www.kdnuggets.com/2015/05/r-vs-python-data-science.html>

Tipantaxi, D. (2016). *Diseño de Contenedores Móviles para Transporte De Gas Asociado en Condición de Fluido Multifásico a Alta Presión del Campo Pucuna*. Quito: Universidad Central.

UNFCCC. (20 de 03 de 2020). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Obtenido de <https://cdm.unfccc.int/faq/index.html>

UNIR. (26 de Marzo de 2020). *UNIRrevista*. Obtenido de Universidad Internacional de la Rioja: <https://www.unir.net/ingenieria/revista/noticias/r-vs-python/549204934214/>

- UNITED NATIONS. (2019). *CDM METHODOLOGY BOOKLET Framework Convention on Climate Change*. Germany: Phoenix Designs A/S.
- Vladimir, B., Vitaly, P., Vladimir, B., & Elena, B. (2017). The Estimation of the Technical and Financial Indicators of Exploitation Combined Heat and Power Plants with Variable Load. Moldova: IEEE.
- Wei-hua, Y. (2008). *Greenhouse effect reduction and energy recovery*. Beijing: China University.
- Wei-hua, Y., Sheng-nan, Z., Tao, X., & Kan-hong, W. (2009). CO2 emission reduction and energy recovery from. Handan, China: Hebei, Univerity.
- Xue, Y., Gao, Y., Wen, F., Wang, K., Huang, Y., & Xue, Y. (2018). Optimal Coordinated Operation of Electricity and Natural gas distribution Networks with power to gas facilities. china: IEEE.
- Zhenpei, L., Ping, L., MingWu, & Weiqiang, W. (2015). Application of ArcGIS Pipeline Data Model and GIS in Digital Oil and Gas Pipeline. Fushun: Northwest Polytechnical University.