MECANISMOS PARA MAXIMIZAR EL VALOR EN PROYECTOS DE LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS DE INGENIERÍA

PRESENTA

ING. LUIS EDUARDO CHAVARRÍA MEZA
ASESOR: M. en C. MANUEL FLORES CAMACHO

QUERÉTARO, QUERÉTARO, NOVIEMBRE, 2019.

AGRADECIMIENTOS

Gracias Dios *por permitirme llegar a este momento y por dotarme con las habilidades y el carácter necesario para afrontar los retos y oportunidades que se presentan en mi vida.*

- ***A mi amada esposa*** *por ser el motor que me impulsa a continuar desarrollándome profesional y personalmente, apoyando mis decisiones y fortaleciendo mis proyectos.*

- ***A mis hijos Leo y Ricky*** *por ser el combustible que me alimenta, porque al contemplar sus sonrisas y su crecimiento me motivan cada día a ser mejor persona.*

- ***A mi preciada madre*** *por estar siempre a mi lado apoyando mis locuras, preocupándose por mi salud y resolviendo mis problemas.*

- ***A mi padre*** *por estar al pendiente de mis acciones y por darme esos consejos que me detienen en el camino, no para atrasar mis proyectos, sino para tomar las mejores decisiones.*

- ***A mis maestros*** *por transferir el conocimiento que a lo largo de sus vidas han obtenido.*

- ***A mi asesor*** *por orientarme y guiarme en este proyecto.*

- ***A Petróleos Mexicanos la mejor empresa de México*** *por haberme apoyado en mi desarrollo profesional.*

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR

26 de enero de 2018

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno de Maestría Luis Eduardo Chavarría Meza, una vez revisada la Tesis o tesina titulada: "Mecanismos para maximizar el valor en proyectos de la industria del petróleo ", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión del mismo con el fin de alcanzar el grado de Maestro en Dirección y Gestión de Proyectos de Ingeniería durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 26 días del mes de enero del año 2018.

M.C. Manuel Flores Camacho
Asesor

CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR

Villahermosa, Tab. a 22 de octubre del 2019.

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora de Posgrado
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del (la) alumno (a) **LUIS EDUARDO CHAVARRÍA MEZA**, cuyo título es:

"MECANISMOS PARA MAXIMIZAR EL VALOR EN PROYECTOS DE LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO"

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con el (la) alumno(a), y realizado los cambios que le fueron sugeridos, puede ser autorizada su impresión, a fin de que se inicien los trámites correspondientes para su defensa.

Sin otro particular por el momento, y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta en beneficio del estudiante y la Institución, agradezco la atención prestada.

Atentamente,

Firma

M.I. Luis Arturo Portals Martínez

RESUMEN

Este trabajo de tesis tiene el objetivo de generar una herramienta para las organizaciones asociadas a la industria del petróleo, a efectos de mejorar el proceso de la toma de decisiones en proyectos de desarrollo de infraestructura de almacenamiento y distribución de petrolíferos, y de esta forma maximizar su valor.

El procedimiento de este trabajo de investigación está enfocado en la **localización óptima y al dimensionamiento** de un proyecto de desarrollo de infraestructura logística de petrolíferos, por lo que está limitado únicamente al desarrollo de Terminales de Almacenamiento y Distribución (TAD). Dentro de las fases que componen el desarrollo de un proyecto la localización y el dimensionamiento son las actividades más importantes en la creación de valor, ya que ahí es donde se concibe y fundamenta un proyecto. El mecanismo para la **identificación óptima** se basa en el análisis geoestadístico, que considera múltiples variables que impactan en el desarrollo de un determinado proyecto. Dichas variables estarán determinadas conforme a la revisión de diferentes posturas teóricas que analizan los diferentes factores de localización en diferentes contextos histórico. Bajo esta premisa las condiciones del mercado juegan un papel fundamental dentro del proceso de investigación por lo que fortalecen la adecuada toma de decisiones. El mecanismo para el **dimensionamiento** de la infraestructura como elemento complementario de esta investigación se basa en un análisis cruzado del entorno regulatorio y las condiciones del mercado.

El alcance del análisis se acota al territorio nacional y se basa en el contexto económico, social y territorial que presentó el país al cierre del año 2018.

Palabras clave: Ingeniería y tecnología, Tecnología del carbón y del petróleo, Almacenamiento (petróleo y gas), Localización óptima, Análisis geoestadístico, dimensionamiento.

ABSTRACT

This thesis work aims to generate a tool for organizations associated with the oil industry, in order to improve the process of decision making in projects of development of storage infrastructure and distribution of Oil, and thus maximize its value.

The procedure of this research work is focused on the optimal location and the sizing of an oil logistics infrastructure development project, so it is limited only to the development of terminals of Storage and distribution (TAD). Within the phases that compose the development of a project the localization and the dimensioning are the most important activities in the creation of value, because that is where a project is conceived and founded. The mechanism for optimal identification is based on geo-statistical analysis, which considers multiple variables that impact on the development of a particular project. These variables will be determined according to the revision of different theoretical postures that analyze the different factors of localization in different historical contexts. Under this premise the market conditions play a fundamental role in the research process so they strengthen the appropriate decision-making. The mechanism for sizing the infrastructure as a complementary element of this research is based on a cross-examination of the regulatory environment and market conditions.

The scope of the analysis is limited to the national territory and is based on the economic, social and territorial context that the country presented at the end of the year 2018.

Key words: Engineering and technology, Coal and petroleum technology, Storage (oil and gas) Optimal localization, Geo-statistical analysis, dimensioning.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN iv
ABSTRACT v
ÍNDICE DE CONTENIDO vi
ÍNDICE DE FIGURAS viii
ÍNDICE DE TABLAS ix
ÍNDICE DE GRÁFICAS x
GLOSARIO xi
ABREVIATURAS xiv
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. ANTECEDENTES 1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 2
1.3. JUSTIFICACIÓN 3
1.2. OBJETIVO GENERAL 4
1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS: 4
1.4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN 5
2. MARCO TEÓRICO 7
2.1. TEORÍA DE LA LOCALIZACIÓN: VON THÜNEN 7
2.2. TEORIA DE LA LOCALIZACIÓN INDUSTRIAL: ALFRED WEBER 10
2.3. TEORÍA DE LAS ÁREAS DE MERCADO: AUGUST LÖSH 12
2.4. TEÓRIA DEL LUGAR CENTRAL Y LA LOCALIZACIÓN DE LOS SERVICIOS: WALTER CHRISTALLER 13
2.5. LOS MODELOS DE LOCALIZACION-ASIGNACIÓN 16
2.5.1. Modelos para infraestructura o equipamientos deseables 21
2.5.2. Modelo de cobertura máxima 22
2.5.3. Modelo de cobertura máxima con restricción de alejamiento 23
2.6. SIG EN LA LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES 23
2.6.1. CADENA DE SUMINISTRO DE LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y GAS 29
2.7. INFRAESTRUCTURA LOGÍSTICA DE PETROLÍFEROS 31
2.8. INFRAESTRUCTURA DE PEMEX LOGÍSTICA 36
2.8.1. Sistema de infraestructura nacional de almacenamiento 37
2.8.2. Terminales de almacenamiento y distribución (TAD) 37
2.8.3. Terminales de almacenamiento distribución que importan vía terrestre 41

2.8.4. Terminales marítimas (TM) PEMEX 42
2.8.5. Instalaciones portuarias PEMEX 45
2.8.6. Nuevos proyectos de almacenamiento 46
2.8.7. Ductos PEMEX 49
2.8.8. Vías férreas y vialidades 51
3. PROCEDIMIENTO 53
3.1. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN 55
3.2. CONFORMACIÓN DE BASE DE DATOS 55
3.3. ELABORAR PROCESO DE PONDERACIÓN MEDIANTE SAATY 56
3.4. NORMALIZAR DATOS 57
3.5. ÍNDICE DE LOCALIZACIÓN OPTIMA POR SUMATORIO LINEAL PONDERADA .. 58
3.6. EXPRESAR ÍNDICE DE MANERA ESPACIAL 58
3.7. PROCESO DE LOCALIZACIÓN Y ASIGNACIÓN 59
3.8. DIMENSIONAMIENTO 60
4. ANÁLISIS CONTEXTUAL 60
4.1. DEMANDA DE PETROLÍFEROS NACIONAL 60
4.2. OFERTA DE PETROLÍFEROS NACIONAL 65
4.2.1. IMPORTACIÓN DE PETROLÍFEROS 66
4.2.2. PUNTOS DE IMPORTACIÓN E INTERNACIÓN 68
4.3. PERFIL ECONÓMICO 70
4.4. PERFIL SOCIAL 72
5. RESULTADOS 79
5.1. ANÁLISIS DE DIMENSIONAMIENTO 84
5.2. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE LOCALIZACIÓN Y ASIGNACIÓN 90
5.2.1. Maximizar la asistencia 90
5.2.2. Maximizar la cuota de mercado 91
5.2.3. Maximización de cobertura 92
CONCLUSIONES 95
APORTACIÓN DE LA TESIS 97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de uso del suelo agrícola de Von Thünen 9
Figura 2. Modelo de localización industrial de Alfred Weber 12
Figura 3. Modelo de área de mercado 13
Figura 4. Modelo teoría de los lugares centrales..... 15
Figura 5. Cadena de suministro de la industria del petróleo y gas..... 30
Figura 6. Cadena de suministro de Petrolíferos 30
Figura 7. Desglose de un tanque de almacenamiento..... 36
Figura 8. Distribución de terminales de almacenamiento y distribución PEMEX 41
Figura 9. Distribución de nuevos proyectos de almacenamiento publicados, 2018 49
Figura 10. Distribución territorial de, ductos a nivel nacional 50
Figura 11. Distribución de vías férreas a nivel nacional 52
Figura 12. Diagrama descriptivo metodológico..... 53
Figura 13. Distribución de punto de importación e internación. 69
Figura 14. Distribución territorial de la densidad de población por municipio 76
Figura 15. Interpolación mediante Kriging de la densidad de población por municipio..... 78
Figura 16. Distribución espacial de la demanda de petrolíferos ponderada 81
Figura 17. Red vial a nivel nacional 82
Figura 18. Localización de puntos de demanda de petrolíferos a nivel nacional.. 83
Figura 19. Localización óptima de TAD mediante la maximización de cobertura/minimizar instalaciones..... 91
Figura 20. Localización óptima de TAD mediante la maximización del mercado . 92
Figura 21. Localización óptima de TAD mediante la maximización de cobertura . 93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de mecanismos revisados..... 28
Tabla 2. Días de inventarios que se establecen en la Política Pública de Almacenamiento Mínimo de Petrolíferos (Días de ventas promedio) 35
Tabla 3. Infraestructura de Pemex Logística 37
Tabla 4. Terminales de almacenamiento y distribución PEMEX 38
Tabla 5. Principales características de las TAD de Pemex Logística..... 42
Tabla 6. Terminales Marítimas PEMEX..... 44
Tabla 7. Instalaciones portuarias PEMEX..... 45
Tabla 8. Listado de nuevos proyectos de almacenamiento de petrolíferos publicados 46
Tabla 9. Variables determinantes para la localización optima de una terminal de almacenamiento 54
Tabla 10. Demanda de petrolíferos por sector y combustible 2010-2016 (miles de barriles diarios) 61
Tabla 11. Demanda interna de Gasolina automotriz por estado, 2010-2016 (miles de barriles diarios) 62
Tabla 12. Demanda interna de diésel por estado, 2006-2016 (miles de barriles diarios) 63
Tabla 13. Demanda interna de turbosina por estado, 2006-2016 (miles de barriles diarios) 64
Tabla 14. Oferta petrolíferos 2006-2016 (miles de barriles diarios)..... 65
Tabla 15. Puntos de importación y puntos de internación..... 66
Tabla 16. Comportamiento de la distribución de la población por entidad federativa 73
Tabla 17. Proceso de ponderación (etapa 1) 79
Tabla 18. Proceso de ponderación (etapa 2) 80
Tabla 19. Proceso de ponderación (etapa 3) 80
Tabla 20. Prospectiva de saturación para almacenamiento de petrolíferos por TAD PEMEX (mbd) 84
Tabla 21. Prospectiva de requerimiento para el almacenamiento de petrolíferos por TAD PEMEX (mbd) 87
Tabla 22. Dimensionamiento de instalación por zona de localización óptima de las nuevas terminales, 2018-2030..... 94

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Demanda de petrolíferos (miles de barriles diarios) 65
Gráfica 2. Importaciones históricas de petrolíferos a nivel nacional 68
Gráfica 3. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, 2016 70
Gráfica 4. Unidades económicas por entidad federativa 71
Gráfica 5. Consumo de combustible de unidades económicas por entidad federativa 72
Gráfica 6. Densidad de población por entidad federativa 75

GLOSARIO

Alcance Físico del Mercado: Es la distancia más grande que el agente consumidor está dispuesto a viajar para comprar una mercancía o servicio, a un determinado precio de mercado.

Autotanque: Vehículo cisterna que transporta o distribuye hidrocarburos o petrolíferos.

Barril de petróleo: Unidad de volumen basada en la medida del barril utilizado en la industria del petróleo. Equivale a 158.9873 litros (42 galones de Estados Unidos de América).

Buquetanque: Nombre generalizado para designar embarcaciones que transportan petróleo o sus derivados, aunque en la actualidad también se designa como buquetanque al que transporta líquidos a granel. En cuanto a su plural, la Real Academia Española de la Lengua recomienda que cuando la palabra se escriba separada se pluralice como buques tanque, y cuando se escriba junta se pluralice buquetanques.

Capacidad nominal: Capacidad de diseño de un tanque de almacenamiento.

Capacidad operativa: Es la capacidad de un tanque de almacenamiento desde el fondo hasta el nivel del vertedero superior del tanque.

Capacidad útil: Es la capacidad de un tanque de almacenamiento en la que se puede manejar petrolíferos continuamente, en otras palabras, es la diferencia entre la capacidad operativa y el fondaje del tanque.

Carrotanque: Recipiente diseñado para trabajar a presión o en condiciones atmosféricas, montado sobre una plataforma o directamente sobre ruedas para transportarlo sobre rieles (Su plural es similar al de buquetanque).

Combustible: Material que, al combinarse con el oxígeno, se inflama con desprendimiento del calor.

Ducto: Tuberías destinadas para transportar aceites, gas, gasolinas y otros productos petrolíferos a las terminales de almacenamiento, embarque y distribución, o bien de una planta o refinería a otra. Su espesor varía entre 2 y 48 pulgadas, según los usos, las condiciones geográficas y el clima del lugar. Existen diferentes tipos de ductos, según el producto que transporta: gasoducto,

gasolinoducto, oleoducto, poliducto, turbosinoducto.

Factibilidad: se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas.

Fondaje: Es la capacidad volumétrica del tanque determinada entre el fondo del tanque y el nivel de succión de tuberías (para el caso de tanques sin membrana interna flotante), o entre el fondo del tanque y el nivel de la membrana interna flotante con las patas soporte en modo de operación.

Gas Natural: Mezcla de hidrocarburos parafínicos ligeros, con metano como su principal constituyente. Usualmente contiene etano, propano y otros hidrocarburos parafínicos más pesados, en proporciones decrecientes, así como proporciones variables de nitrógeno, dióxido de carbono, ácido sulfhídrico y vapor de agua. El gas natural puede encontrarse asociado con el petróleo crudo o en forma independiente en pozos de gas no asociado.

Hidrocarburos: Familia de compuestos químicos formada, principalmente, por carbono e hidrógeno. Pueden contener otros elementos en menor proporción, como son oxígeno, nitrógeno, azufre, halógenos (cloro, bromo, iodo y flúor), fósforo, entre otros. Su estado físico, en condiciones ambientales, puede ser en forma de gas, líquido o sólido, de acuerdo con el número de átomos de carbono y otros elementos que posean.

Petróleo crudo: Excluye la producción de condensados y la de líquidos del gas natural obtenidos en plantas de extracción de licuables. En México se preparan tres variedades de petróleo crudo para el mercado de exportación, con las siguientes calidades típicas: MAYA. Petróleo crudo pesado con densidad de 22°API y un máximo de 3.3% de azufre en peso. ISTMO. Petróleo crudo ligero con densidad 33.6°API y un máximo de 1.3% de azufre en peso. OLMECA. Petróleo crudo muy ligero con densidad de 39.3°API y un máximo de 0.8% de azufre en peso.

Petrolíferos: Productos que se obtienen mediante la refinación del petróleo. Pueden ser productos terminados (gasolina, diésel, gas licuado, etc.), semiterminados o subproductos (naftas).

Plano Isotrópico: La superficie terrestre es completamente plana y homogénea.

Posfordismo: Sistema de producción en el cual los trabajadores se encontraban en una estructura de producción en línea, y realizaban tareas repetitivas especializadas, se caracteriza por los siguientes atributos:

- Nuevas tecnologías de información.
- Énfasis en los tipos de consumidor, en contraste con el previo énfasis en las clases sociales.
- Surgimiento de los servicios y trabajadores de "cuello blanco".

Refinería: Instalación industrial en la que se lleva a cabo la refinación del petróleo crudo mediante diferentes procesos.

Viabilidad: que tiene probabilidades de llevarse a cabo o de concretarse gracias a sus circunstancias o características.

Terminal de Almacenamiento y Distribución: Instalación terrestre de almacenamiento y distribución que forma parte de la cadena de suministro entre los centros productores, puntos de importación y los canales de comercialización de productos petrolíferos.

Terminal Marítima: *I*nstalación o conjunto de instalaciones portuarias que constituyen la interfaz entre el modo de transporte marítimo y los demás modos de transporte.

Umbral de la Demanda: Es el monto de ventas mínimas que le permiten a la empresa permanecer dentro del negocio.

Fricción espacial: Es la resistencia que se presenta en el territorio el cual está en función de los costes de los desplazamientos.

ABREVIATURAS

ASEA: Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente

AT: Autotanque

BT: Buquetanque

CRE: Comisión Reguladora de Energía

CT: Carrotanque

DOF: Diario Oficial de la Federación

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

mb: Miles de barriles

mbd: miles de barriles diarios

PEMEX: Petróleos Mexicanos

SENER: Secretaría de Energía

SIG: Sistemas de Información Geográfica

TAD: Terminal de Almacenamiento y Distribución

TM: Terminal Marítima

1. INTRODUCCIÓN

Encontrar proyectos viables y factibles es un deseo común en las organizaciones y no se hace la excepción en las empresas de la industria del petróleo y gas. En ocasiones la vida de las empresas puede verse comprometida cuando los errores, descuidos o sobreentendidos terminan convirtiéndose en riesgos que impactan negativamente en el resultado de los proyectos, destruyendo valor en los mismos. Esta destrucción de valor en los proyectos es resultado de la ausencia de conocimiento de las empresas en la identificación de las condiciones contextuales que permiten localizar la mejor ubicación de proyectos y el dimensionamiento adecuado de la infraestructura. La localización y el dimensionamiento son algunos de los criterios de mayor importancia para incrementar el valor en los proyectos, sin embargo, la impericia y nulidad de este factor afecta de manera importante las condiciones al evaluar un proyecto y tomar decisiones.

En este trabajo se proponen mecanismos de análisis compuestos por múltiples elementos estadísticos que permiten obtener información determinante para la **localización óptima** y el **dimensionamiento** adecuado de un proyecto de desarrollo de Terminales de Almacenamiento y Distribución (TAD) de petrolíferos, los cuales permitirán en consecuencia favorecer la toma decisiones, y así adaptar las condiciones del proyecto al contexto inmediato.

1.1. ANTECEDENTES

Este tema investigación surge a razón de las múltiples problemáticas que se han presentado a nivel nacional a partir de la entrada en vigor la reforma energética, ya que una vez que se abrió la actividad de los petrolíferos para el sector privado, las posibilidades de inversión se ampliaron en gran medida. Sin embargo, el nivel de especialización con el que cuenta la iniciativa privada para desarrollar proyectos de inversión de tal magnitud es reducida. Por lo que resulta necesario ahondar más en los temas para desarrollar estrategias que favorezcan la creación de proyectos de inversión.

El interés en esta problemática surge a raíz de la experiencia adquirida en las diferentes áreas del sector de hidrocarburos, donde una de las actividades desarrolladas es necesariamente precisar las viabilidad y factibilidad de un proyecto de inversión que implicaba alta complejidad por la cantidad de variables involucradas.

Muchos de los especialistas que se han dedicado a elaborar proyecto de inversión aún se topan con el problema en la toma de decisiones, en cuestión de determinar una adecuada localización o buscando justificar la razón por la que se ha tomado la decisión de localizar determinado proyecto sin poder brindar una explicación metodológica consistente.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La infraestructura logística de petrolíferos en cuanto a Terminales de Almacenamiento y Distribución (TAD) en México está saturada, y la capacidad de dichas terminales al cierre del año 2018 cuentan con espacio para promediar 3 días de inventario de autonomía respecto a la demanda, que en caso de contingencia es insuficiente. Quien dicta los requerimientos de volúmenes mínimos en las TADE es la Política Pública de Almacenamiento Mínimo de Petrolíferos, la cual permite que México cuente con reservas estratégicas de gasolina, diésel y turbosina, para reforzar el suministro de combustibles a la población en situaciones de emergencia, así como la construcción de infraestructura de almacenamiento de petrolíferos, reforzando la seguridad energética nacional.

En 2020, los volúmenes mínimos de inventarios serán equivalentes a 5 días de ventas; en 2022 serán de 8 a 9 días de ventas, y de 9 a 10 días como promedio trimestral. En 2025, el inventario mínimo será de 10 a 13 días de ventas y de 12 a 15 días como promedio trimestral. La obligación de mantener inventarios mínimos será aplicable a los comercializadores y distribuidores que vendan a gasolineras o usuarios finales.

Los días de inventario de autonomía en México en comparación con países como Estados Unidos y países europeos que tienen entre 15 y 50 días de autonomía, no

nos permiten responder ante situaciones de contingencias. Además, cabe mencionar que en diciembre del año 2017 la Secretaria de Energía (SENER) público en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la llamada "Política Pública de Almacenamiento de Petrolíferos", la cual instruye que un cierto volumen de petrolíferos sea almacenado como inventario mínimo en TAD, esto a razón de cada unidad de volumen por comercializar. Lo anterior hace necesario el desarrollo de nuevas TAD.

En México, ante las nuevas condiciones de mercado y de alta competitividad, la logística juega un papel muy importante para las empresas públicas y privadas, ya sea para aquellas que producen, importan o exportan, sin importar si son pequeñas o grandes.

Debido a los cambios constantes en los procesos económicos del país, las transformaciones contextuales del territorio se han presentado cada vez más frecuentemente, así como cambios sociales y hasta ambientales. Es por estos fenómenos que muchas de las estrategias que se llevan a cabo para desarrollar proyectos en ámbitos especializados como puede ser el sector de hidrocarburos, se han vuelto obsoletos, provocando que muchos de los proyectos que se realizan han ocasionado desviaciones económicas en la ejecución de los proyectos. Adicionalmente existen condiciones internas que causan errores desde la identificación y dimensionamiento de un proyecto.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Es por la creciente demanda de combustible, así como para evitar la especulación del insumo y en consecuencia el incremento del precio se ha publicado la Política Publica de Almacenamiento Mínimo de Petrolíferos, en la cual se establecen lineamientos que van a regular las condiciones de almacenamiento que se deberá cumplir por región en el país. Sin embargo, para que se logre cubrir la demanda de combustible ya existente más lo que demande la política mencionada es importante destacar que la infraestructura existente de almacenamiento ya es insuficiente en algunas zonas del país.

Es por lo anterior que los proyectos de infraestructura de almacenamiento se están convirtiendo en una prioridad para evitar desabasto de combustible, así como especulación e incremento del precio del mismo. Debido a la importancia de dichos proyectos, la alta cantidad de inversión que requieren y las condiciones tan particulares que demanda la infraestructura resulta de suma importancia desarrollar nuevos mecanismos de análisis que faciliten la toma de decisiones disminuyan costos y maximicen el valor del proyecto.

Este trabajo de investigación servirá tanto al sector público y privado, favoreciendo el desarrollo de instituciones de importancia como PEMEX y CFE entre otras, así como al sector privado que tienen la importante tarea de dotar de infraestructura de almacenamiento y distribución de petrolíferos. Por consecuencia de lo anterior este trabajo beneficiara a la sociedad al verse dotada de infraestructura donde sea requerida. Es decir, la utilidad de esta tesis es significativa para el país y las empresas, ya que con las nuevas regulaciones en el corto plazo la infraestructura logística de petrolíferos se verá rebasada en su capacidad por lo que será necesario desarrollar nueva infraestructura oportuna y eficaz. Adicionalmente que las regiones o localidades donde se desarrolle la nueva infraestructura generarán crecimiento económico y empleo.

1.2. OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un mecanismo metodológico que permita identificar la localización optima de un proyecto de infraestructura de almacenamiento y distribución de petrolíferos para maximizar su valor.

1.3. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Es necesario para poder alcanzar lo planteado en el objetivo general llevar a cabo los siguientes objetivos específicos:

- Identificar y describir los principales fundamentos teóricos de localización
- Precisar las variables e indicadores que impactan en la localización e implementación de un proyecto de almacenamiento y distribución
- Proyectar indicadores de crecimiento

- Ponderar variables de acuerdo con su importancia de localización
- Calcular y estandarizar indicadores
- Calcular índice de localización óptima

1.4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Analizando el entorno inmediato y considerando sus múltiples variantes del contexto de mercado de petrolíferos, social económico y territorial resulta elocuente preguntarse ¿cuál es la localización óptima para implantar una terminal de almacenamiento y distribución de petrolíferos y con qué dimensionamiento que permita maximizar el valor del proyecto?.

Las actuales tecnologías digitales y, particularmente, la asociación entre los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha generado importantes posibilidades para el tratamiento de la información espacial. Este trabajo aborda los adelantos que se producen en el campo de la Geografía de los servicios en relación con el uso de modelos de localización-asignación. Por lo tanto, se presentan aspectos teóricos del problema analizado; cuestiones metodológicas estandarizadas para su resolución mediante el uso de herramientas desarrolladas por la geoestadística la econometría espacial en los SIG; de manera particular.

La localización en el territorio de las instalaciones de los distintos tipos de servicios y equipamientos sociales es un problema de gran importancia práctica y de fuerte contenido geográfico.

Lo anterior se refiere en concreto a la cuestión de dónde situar la infraestructura logística de petrolíferos para ofertar los servicios de almacenamiento a los comercializadores, y estos a su vez a los expendedores al público.

En cualquier caso, podemos esquematizar, desde un punto de vista espacial, el problema de la siguiente manera (1):

a) Las instalaciones donde se ofertan los servicios constituyen hechos de tamaño puntual (en términos relativos) a los cuales se debe otorgar una localización concreta en un espacio bidimensional.
b) La población reside concentrada en muchos puntos de esa superficie espacial. Existe por ello una distribución espacial irregular de la demanda del servicio en cuestión.
c) Los movimientos entre demanda y oferta se pueden producir de maneras diversas sobre el espacio, aunque lo más general es que se encaucen por la red de comunicaciones (vialidades vehiculares, ferroviarias, marítimas y transporte por ducto).

En este contexto el problema geográfico se resume en contestar a la siguiente pregunta: ¿En qué punto o puntos se deben colocar las instalaciones para que atiendan de modo adecuado a la población demandante? Para ello es preciso considerar, junto a otros elementos que después mencionaremos, el tipo de efecto (externalidad espacial) que cada instalación produce en su entorno inmediato. Realmente un centro de servicios de almacenamiento produce siempre dos efectos, uno positivo: resulta más sencillo y barato usar ese servicio a los demandantes cercanos (externalidad espacial positiva); y otro negativo: aparición, por ejemplo, de aglomeración de comercializadores o de congestión del tráfico rodado (externalidad espacial negativa). No obstante, podemos, sin demasiadas dificultades, clasificar las instalaciones de servicios en dos grandes tipos: a) las deseables, aquellas en que predominan las externalidades positivas: y b) las no deseables, en las que las externalidades negativas son predominantes.

En este trabajo de investigación analizaremos modelos matemáticos de localización-asignación que se han ido construyendo para tratar de buscar una posición "óptima" para este tipo de instalaciones.

Por otra parte, se ofrece un planteamiento metodológico concreto para el análisis de la cuestión usando los mencionados modelos de localización-asignación y técnicas de evaluación multicriterio.

2. MARCO TEÓRICO

Es importante destacar que existen diferentes posturas teóricas para la localización, asignación o jerarquización de proyectos que hacen referencia a actividades económicas muy específicas. Siendo la actividad industrial la que permitió la acumulación del capital que le dio a éste su enorme capacidad de expansión. Y fue también la industria la que logró la unificación de lo que se ha llamado "el mercado interior", autentico campo de actuación de los agentes económicos.

La diversidad de los factores que intervienen en la localización de una industria ha movido a buen número de economistas a construir teorías y modelos que intentan explicar la complejidad del mundo real, mediante necesarias simplificaciones del mismo, tomando unos factores como constantes y otros como variables.

Estas teorías tienden a ser deductivas en el método y deterministas en el procedimiento. Sus principios están relacionados con la Teoría Económica General y se apoyan en supuestos simplificadores abstraídos de situaciones reales.

Es por lo ya mencionado que a continuación se precisan las teorías con sus respectivos modelos investigados que brinda soporte al estudio:

- Teoría de la localización - Modelo de uso del suelo agrícola de Von Thünen
- Teoría de la localización industrial - Modelo de localización industrial de Alfred Weber
- Teoría de las áreas de mercado - Modelo de área de mercado de August Lösh
- Teoría del lugar central y la localización de los servicios - Modelo teoría de los lugares centrales de Walter Christaller

2.1. TEORÍA DE LA LOCALIZACIÓN: VON THÜNEN

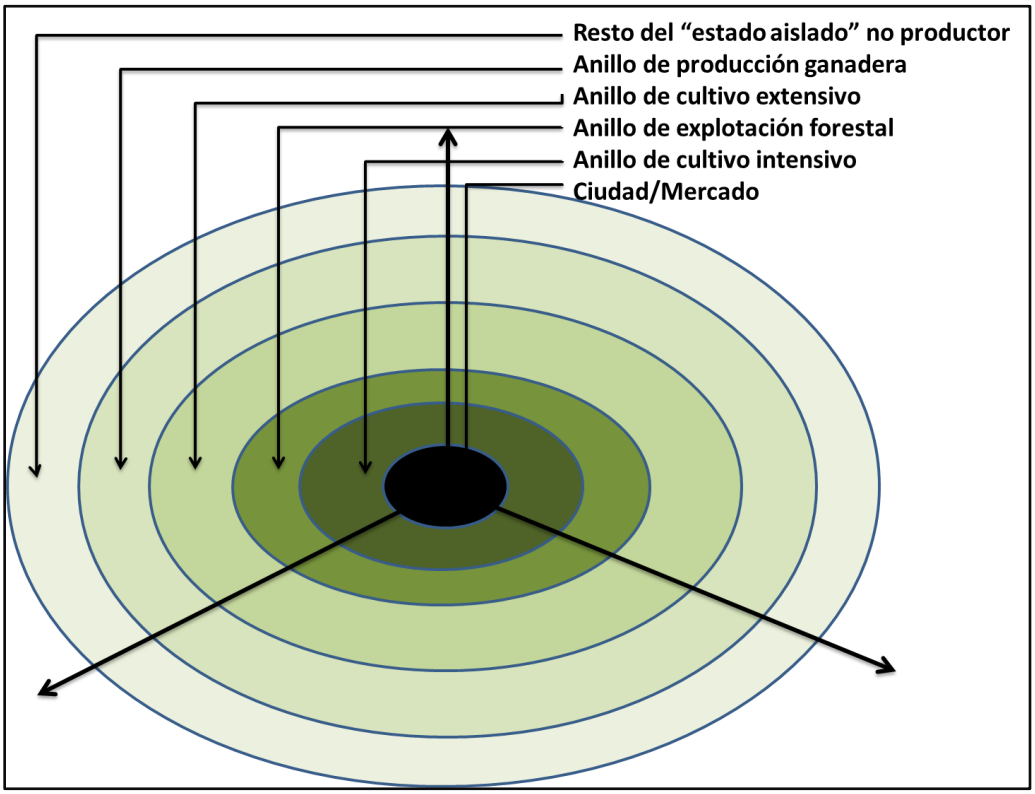
Von Thünen reconoció que el hombre trata de resolver sus necesidades económicas en el entorno inmediato, reduciendo sus desplazamientos al mínimo, ya que esto facilita las actividades y reduce costos de transporte. Esto le sirvió para

entender el por qué los predios, con las mismas características tenían diferentes usos. Concluyó que este comportamiento se explicaba por la distancia al mercado. Es decir que los terrenos que se encuentran cercanos al centro urbano donde se ubica el mercado tienen mayor valor debido al fácil acceso a servicios y oportunidad de desarrollo económico (2).

Intentó demostrar que los agricultores desarrollarían una agricultura menos intensiva cuanto más lejos del mercado urbano estuviesen, debido al aumento de los costos de transporte (para invertir más en transporte y obtener iguales rendimientos es obvio que hay que reducir la inversión en la explotación agraria) (3).

En este modelo, los cultivos tenderán a disponerse en zonas circulares concéntricas en torno a la ciudad. Von Thünen clasificó estas coronas concéntricas de la siguiente manera: 1) Cinturón de primicias y cordón lechero ("cultivo intensivo"); 2) producción de combustible (leña "explotación forestal"); 3) cultivo de cereales con rotación y sin barbecho ("cultivo extensivo"); 4) cultivo de cereales con barbecho, cultivo en tres hojas y 5) pastos para alimentar el ganado ("producción ganadera"). Como se puede ver, el factor distancia respecto al centro, hace variar la intensidad del cultivo en el espacio agrario que circunda la ciudad (ver Figura 1) (4).

Figura 1. Modelo de uso del suelo agrícola de Von Thünen



Fuente: Elaboración propia con base en Johan Heinrich Von Thünen obtenido del trabajo de J. Richard Peet "The Spatial Expansion of Commercial Agriculture in the Nineteenth Century: a Von Thunen Interpretation, Economic Geography" en 1969.

Es importante destacar que, en este modelo, Von Thünen identifica la variación en el precio y uso de suelo agrícola como indicador determinante en el impacto que ejerce la ciudad en su entorno, concebida ésta como centro de atracción comercial y servicios con respecto al resto del territorio; en este sentido, Von Thünen logra identificar la localización como un factor determinante en el comportamiento del precio del suelo y en el desenvolvimiento de las actividades económicas. (5) Es decir, el precio del suelo y la localización de las actividades económicas de una sociedad esta determinadas por la distancia del mercado, lo cual nos brinda como primer panorama para el sector de los hidrocarburos que, para poder identificar la localización de una actividad económicas importante deberá considerarse la distancia del mercado. Para este caso el centro de mercado se considerará en primera instancia la cercanía al centro urbano (6).

2.2. TEORIA DE LA LOCALIZACIÓN INDUSTRIAL: ALFRED WEBER

Con base en los supuestos de Von Thünen, Alfred Weber estudia los cambios en la distribución de actividades económicas en el proceso de urbanización y en particular las implicaciones que tiene esta localización en el desarrollo y localización de las actividades industriales. Bajo su perspectiva se pretende identificar los efectos que ocasiona el crecimiento y evolución de una ciudad, que funge como mercado, en la localización y desarrollo de la actividad industrial.

Al igual que Von Thünen, Weber ofrece una serie de consideraciones metodológicas en la construcción de su modelo de localización que le ayudan a precisar el comportamiento de este fenómeno:

- El espacio es teóricamente uniforme desde una perspectiva topográfica y climática;
- Las materias primas empleadas son, o bien esporádicas (localizadas en lugares fijos), o bien ubicuas (dispersas);
- Se considera fija la ubicación de los centros de consumo o mercado;
- La *necesidad de transporte* de materias primas o productos acabados se valora por *costes variables* en función de la distancia y del peso de la mercancía (6).

Para su modelo teórico, Weber supone un espacio isotrópico, pero con recursos localizados en un punto y con un mercado en otro punto, considerando que el punto de mercado concentra características particulares que favorecen la producción, como mano de obra calificada, economías de aglomeración, comercio y servicios. La ubicación de una planta industrial está relacionada con cuatro factores fundamentales: la distancia a los recursos naturales, distancia al mercado, los costes de mano de obra y las economías de aglomeración. Según este modelo, la consideración de todas estas variables llevaría a la óptima localización de las actividades industriales (5).

La distancia que se tiene respecto a los recursos naturales[1] y al mercado urbano es un factor importante, pues considera que los costes de producción son los mismos en todas partes. Con esta conjetura, lo ideal es que la planta fabril se ubique en el lugar donde se minimice la distancia de transporte, para que el suministro de materias primas y la distribución del producto en el mercado localizado en la ciudad sean óptimos. De esta forma se reducirán los costes de transporte, que para Weber el principal factor de localización (5).

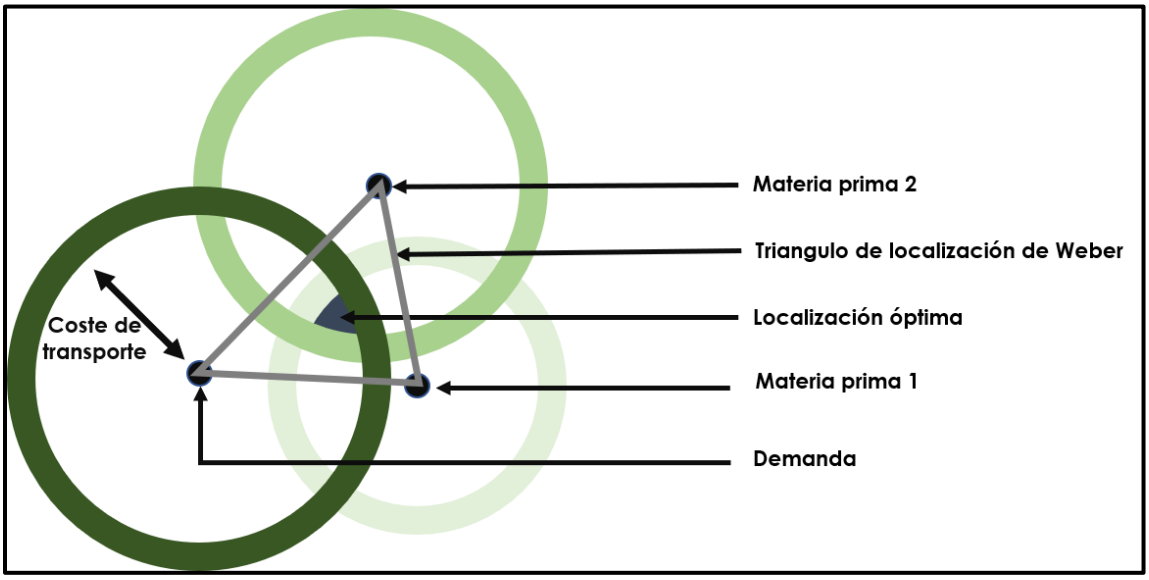
Los factores relacionados con la actividad industrial (acceso a los mercados, a la mano de obra calificada, servicios, vías de comunicación y proveedores) favorecen la ubicación de la industria cerca del mercado urbano, en la medida en que la ciudad actúa bajo los efectos de las economías de aglomeración, es decir como un espacio de concentración de una gran cantidad de actividades económicas en un espacio limitado para lo que habría que considerar que estos ahorros pueden desencadenar una competencia por la tierra e incrementar el precio del suelo anulando los posibles ahorros (7).

Desde este punto de vista, la ubicación de la industria en un punto de equilibrio con respecto a estos factores puede hacer que el costo de producción descienda y la planta productiva tienda a instalarse donde producir saliera más barato, siempre y cuando el ahorro en los costos de producción supere el aumento de los costes de transporte al mercado (7).

Este punto de equilibrio, que de hecho es resultado de los diversos factores que intervienen en la localización de una industria, es plasmado por Weber en el Triángulo Optimo de Localización con base en el cual trata de demostrar que las decisiones de localización industrial se darían en el punto del espacio que tuviera la más favorable combinación de Costes de Transporte con los tres factores básicos (materias primas, mano de obra y mercado) (Figura 2).

[1] Weber no contempla las fuentes de energía, pero éstas se pueden ubicar como parte de la materia prima, lo mismo que el agua, arena o cualquier otro recurso natural, que pueda encontrarse lejos de mercado urbano.

Figura 2. Modelo de localización industrial de Alfred Weber



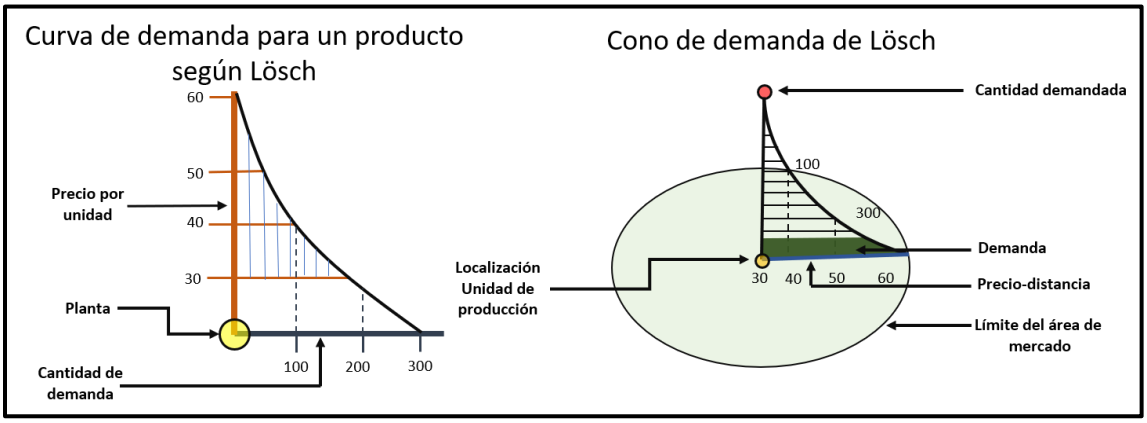
Fuente: Modelo de Alfred Weber obtenido del trabajo de Richardson "Economía Regional, Teoría de la Localización, Estructuras Urbanas y Crecimiento Regional (7) (7)

2.3. TEORÍA DE LAS ÁREAS DE MERCADO: AUGUST LÖSH

August Lösh hizo hincapié en que el principal factor que afecta a la localización industrial era el tamaño del área de mercado. Basándose en una situación ideal un plano isotrópico y asumió la estructura de precios propuesta por Palander, dado que el precio de venta, al incluir como variables los costes de transporte, aumentaba con la distancia (este incremento de coste recae sobre el comprador), dibujando una curva de demanda sobre un eje de coordenadas donde la abscisa representaba la distancia al punto de producción y la ordenada el precio.

Al trasladar esta curva al territorio se obtendría un área de mercado de forma circular dibujándose un "cono de demanda" que representaba el número total de compradores incluidos dentro del área de mercado delimitada (Figura 3).

Figura 3. Modelo de área de mercado



Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de" Economía Regional, Teoría de la Localización, Estructuras Urbanas y Crecimiento Regional (7).

2.4. TEÓRIA DEL LUGAR CENTRAL Y LA LOCALIZACIÓN DE LOS SERVICIOS: WALTER CHRISTALLER

Christaller planteó que la distribución de las ciudades de manera ordenada se da a través de una jerarquía, que se expresa a través del tamaño de las funciones que las ciudades realizan. Dicha jerarquía se explica mediante la teoría del lugar central, que en esencia las principales funciones del centro urbano son las de proveer esencialmente de servicios a su área de influencia o región complementaria (Figura 4). Esto se debe a que los lugares centrales concentran y centralizan geográficamente la producción debido a que en ese lugar se minimiza las distancias y costos de transporte.

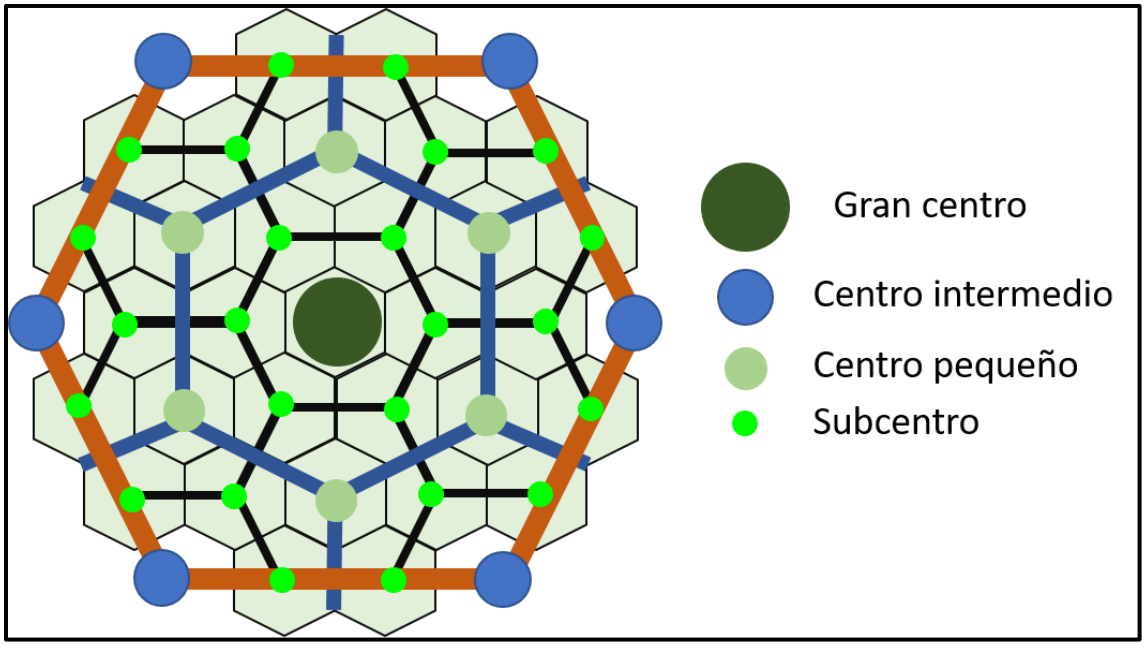
El principio fundamental de la explicación corresponde a la formación de lugares centrales, ya que en estas zonas se concentran y centralizan actividades económicas dirigidas a la población de alrededor. Debido a lo anterior, la tendencia de las empresas cuyas áreas de mercado son comparables, es reagruparse en un mismo lugar, provocando que los servicios tiendan a concentrarse y desaten costos llegado a generar economías de aglomeración o economías de escala.

La teoría de Christaller tiene un enfoque fundamentalmente económico y se dispone a predecir cómo, a través de la competencia por el espacio, surgirá un modelo óptimo de la solución. Como todo modelo, la teoría del lugar central representa una simplificación de la realidad y se basa en una serie de supuestos:

1. Hay una llanura uniforme sin límites en la que el transporte enfrenta las mismas condiciones de desplazamiento en todas las direcciones. Los costes de transporte son proporcionales a la distancia y sólo hay un tipo de transporte.
2. La población se distribuye uniformemente sobre el territorio.
3. Los lugares centrales se encuentran en el espacio para proporcionar a sus zonas de influencia los bienes, los servicios y las funciones administrativas.
4. Los consumidores buscan minimizar la distancia que se deba recorrer visitando el lugar más cercano central que proporciona la función que ellos demandan.
5. Los proveedores de estas funciones actúan como seres humanos racionales en términos económicos, es decir, tratan de maximizar sus ganancias mediante la localización en el espacio al obtener el mayor mercado posible. Ya que los consumidores asisten al centro más cercano, los proveedores se localizan, alejándose el uno del otro como sea posible para maximizar sus áreas de mercado.
6. Los desplazamientos entre los distintos centros y subcentros se realizarán sólo en la medida en que se esté dispuesto a viajar para obtener el servicio o el bien deseado.
7. Los lugares centrales que ofrecen muchas funciones se llaman centros de orden superior, mientras que otros ofrecen menos funciones presentadas son los centros inferiores. Los de orden superior suministran ciertas funciones que no son ofrecidos por los centros de menor orden además de todas las funciones que se proporcionan en los centros de menor orden.
8. Todos los consumidores tienen los mismos ingresos y la misma demanda de bienes y servicios (8).

Teniendo en cuenta esto, Christaller definió tres conceptos básicos, a partir de los cuales estableció el sistema de jerarquía de los lugares centrales. El primero de ellos es el de lugar central, el cual es un núcleo de concentración de población que ofrece bienes y servicios con un nivel de especialización a un área mayor de influencia que la ocupada físicamente por dicho núcleo; el segundo concepto es bien o servicio central, que consiste en los bienes y servicios con un nivel de especialización que son ofrecidos solamente en los lugares centrales; y finalmente, región complementaria también denominada área de influencia que es el área que abastece un lugar central de bienes y servicios centrales (9).

Figura 4. Modelo teoría de los lugares centrales



Fuente: Elaboración propia con base en información obtenida de "Economía Regional, Teoría de la Localización, Estructuras Urbanas y Crecimiento Regional (7) (7)

Una vez que se revisaron las múltiples teorías que abordan el tema de localización se retoman elementos importantes que se mencionan en cada postulado, y se da fundamento teórico al uso de la metodología. La selección de la metodología se da en función del nivel de cumplimiento que se tenga por cada mecanismo respecto a lo establecido por el conjunto de planteamientos teóricos. Bajo esta

premisa, es posible establecer que los postulados teóricos descritos anteriormente aportan soporte al uso de la metodología, sin embargo, la teoría de "Lugares Centrales", resalta dentro de su aportación debido considera los elementos contextuales necesarios para favorecer la selección de variables. Por lo que esta teoría explica el comportamiento espacial de las circunstancias del mercado.

2.5. LOS MODELOS DE LOCALIZACION-ASIGNACIÓN

La estandarización digital de procedimientos ha evolucionado a la par de los aspectos socioeconómicos tanto en el aumento de la diversificación de servicios básicos a la población como en la aparición de un modelo postfordista, en el cual tienen un papel importante las pequeñas y medianas empresas proveedoras de servicios a la industria y a otras empresas de mayor envergadura. Por lo tanto, la ubicación espacial de los servicios resulta ser de gran importancia en muchos aspectos y, particularmente, en el ámbito de los servicios públicos apunta a mejorar los niveles de equidad espacial para la población (10).

Diferentes estudios territoriales cuentan con una amplia tradición en la generación de teorías y modelos generales para el análisis de las actividades humanas. Particularmente, en cuanto a las actividades terciarias, es posible considerar como un primer referente la "teoría de los lugares centrales" propuesta por Walter Christaller en 1933; ésta funciona como un modelo de localización espacial óptima de núcleos urbanos a nivel regional. En su formulación se presentan los conceptos de "umbral" y "alcance" como base deductiva a partir de la cual pueden ser explicadas ciertas regularidades empíricas presentes en la sistematización realizada por Beavon (11). Desde un punto de vista modelístico, las localizaciones de los puntos de oferta y demanda potencial, de distancias ideales o reales, y de los costos de desplazamientos de fricción espacial, se presentan como los principales factores que producen diferentes configuraciones territoriales en el sistema. La línea de investigación asociada se enfoca en la actividad terciaria y, evolutivamente, avanza a un cambio de escala desde el análisis de los centros urbanos (regional) hacia los centros intraurbanos (local).

Esta perspectiva se cristaliza en la consideración de una "geografía del marketing", término presentado por Berry (12) y ampliamente analizado en sus capacidades actuales. De esta manera, la teoría de la localización comienza a contemplar problemáticas en las instalaciones de servicios y genera un doble objetivo en los estudios: por un lado, encontrar la localización óptima, y por otro, determinar la asignación de demanda a dichos centros.

A partir de esta doble necesidad de resolución se desarrollan los modelos de localización-asignación. En términos generales cabe indicar, de acuerdo con Ramírez y Bosque Sendra (13), que los modelos de localización-asignación responden a las siguientes características:

(a) son modelos matemáticos ya que se considera a este lenguaje como apto para captar la realidad.
(b) son modelos meso-espaciales porque los aspectos a resolver se encuentran claramente delimitados en un territorio.
(c) son modelos normativos porque se debe buscar la mejor solución a un determinado problema.

En síntesis, estos modelos intentan evaluar las localizaciones actuales de los centros de servicio con base en la distribución de la demanda y la generación de alternativas para lograr una distribución espacial más eficiente y/o equitativa. Además, buscan las ubicaciones óptimas de localización y determinan las mejores vinculaciones de la demanda, entendida en términos de asignación.

Estos modelos tienen como objetivo brindar el entorno de hardware y software necesario para facilitar al usuario la toma de decisiones sobre cuestiones espaciales. En este sentido debe facilitar la exploración del problema, la generación de variadas soluciones y la evaluación de las diferentes alternativas.

Desde un punto de vista general, la orientación brindada al modelo de localización-asignación está influenciada por la naturaleza del servicio. Si el servicio es privado, básicamente apuntará a mejorar su eficiencia espacial; en cambio, si

es público, intentará mejorar su equidad espacial. Ambos se refieren al mejoramiento de parámetros globales para el acceso al servicio, los cuales son la suma del total de desplazamientos, valores de accesibilidad o diferencias entre valores extremos. Por otra parte, se presenta una notoria diferencia si los equipamientos a instalar son deseables (beneficiosos) o no deseables (perjudiciales). Mientras que los primeros generan básicamente externalidades positivas y los segundos generan externalidades negativas (10).

Los Modelos de localización-asignación son un conjunto de procedimientos matemáticos que intentan buscar soluciones al problema de donde situar centros de servicios (en sentido amplio) de manera que se optimicen ciertos valores considerados importantes a la hora de que los usuarios utilicen dichos servicios (14). Esto implica, por lo tanto, definir primero las magnitudes que son relevantes para el empleo de las instalaciones por la población y después formular una expresión matemática de dichas magnitudes, de tal manera que el modelo obtenga un óptimo de su valor, mínimo o máximo, dependiendo del tipo de servicio a localizar.

La mayoría de los modelos han sido diseñados para determinar la localización óptima de una o varias instalaciones deseables (usualmente idénticas), de tal manera que se obtenga su mejor distribución espacial a partir de minimizar los costos o tiempos totales de transporte (14). Más recientemente se ha abierto una línea de investigación dedicada a determinar la óptima ubicación para aquellas instalaciones que, a pesar de su carácter imprescindible, son consideradas no deseables ya que, como hemos indicado, representan riesgos a la salud o, más en general, inciden en el deterioro de la calidad de vida de la población localizada en sus proximidades (15).

Lo anterior debido a la preocupación de la conservación del medio ambiente, por ello se han desarrollado una serie de algoritmos para la determinación de asentamientos óptimos, que, aunque en un sentido estricto son denominados indeseables ya sea por el deterioro ambiental o por parte de los pobladores del

territorio donde se ubicara no dejan de ser necesarios para el funcionamiento del entorno social donde se establecen.

En nuestro caso la instalación de una TAD puede considerarse como una instalación indispensable y necesaria para la comunidad, a pesar de su rechazo social, esto puede verse claramente en los recientes acontecimientos en donde el desabasto de combustible puede provocar serios problemas en la movilidad lo cual repercute directamente en los aspectos económicos de una sociedad.

Ante esta situación de falta de abastecimiento es inevitable e indispensable la existencia de este tipo de instalaciones por lo que es necesario el contar con herramientas o métodos que garanticen una localización optima y una justicia distributiva y espacial de este servicio, y en algunos otros sentidos como el social, económico y territorial; metodología que garantice dicha localización que afecte en lo menos posible, tanto el ambiente, como a la sociedad circundante.

La localización de instalaciones no deseables pero necesarias es una tarea compleja que implica tomar en consideración aspectos de muy diversa índole: el impacto real y percibido que dichas instalaciones ejercen sobre la población; la eficiencia espacial para garantizar los menores costos económicos, sociales y ambientales y la justicia espacial en su emplazamiento con respecto a la población afectada, así como a los sectores de la sociedad que demandan los servicios.

Los modelos de localización-asignación hasta ahora definidos consideran dos magnitudes: la eficiencia espacial de la localización de los centros de servicio y la justicia espacial de su distribución en el territorio (1).

La eficiencia espacial se refiere al volumen global de desplazamientos que el conjunto de la demanda debe efectuar para utilizar las instalaciones y trata de medir el coste, en tiempos de recorrido o distancias, que la población se verá obligada a recorrer para poder utilizar los servicios (1). Esta distancia evidentemente tiene un coste monetario, más o menos fácil de medir, y que se

busca reducir lo más posible. La eficiencia puede medirse también en función de los beneficios netos y, en términos de economías de escala, será mayor en la medida en que se logre el tamaño y emplazamiento que maximice el consumo del servicio (16).

La justicia espacial se refiere a la accesibilidad diferencial de un servicio a los distintos grupos de la población, es decir, al grado de igualdad en la distribución de los servicios que presta cada instalación entre la población. La justicia espacial depende en este caso de la mayor o menor facilidad de acceso y depende de la variabilidad de las distancias que separan a cada individuo de la instalación más próxima, del tamaño de la oferta existente en dicha instalación y de la disponibilidad temporal de los servicios (1). La justicia espacial tiene especial relevancia en el caso de servicios ofertados por la Administración Pública, es decir, que son financiados por toda la población que, por lo tanto, tiene iguales derechos a usarlos en las mismas condiciones de acceso.

En la literatura sobre estos temas es posible encontrar diversas formulaciones de procedimientos matemáticos para encontrar la localización óptima de instalaciones no deseables. La mayoría de los modelos, sin embargo, consideran exclusivamente la distancia entre centros poblados y sitios candidatos a recibir una instalación no deseable, y parten del supuesto de que "cuanto más lejos se localice una instalación con respecto a la población, mejor". Dichos modelos se caracterizan por utilizar únicamente una definición simplificada de eficiencia espacial que considera la maximización de la distancia a la población pero que omite el objetivo, en nuestro caso, de minimizar la distancia a los centros de almacenamiento de petrolíferos. Desde el punto de vista de maximizar la distancia a la población, existen dos variantes principales:

1) Modelos que establecen límites mínimos de distancia, denominados modelos anti-cobertura. Permiten definir la alternativa de localización que incluye, dentro de un radio prefijado alrededor de cada instalación no-deseable, a la menor población posible.

2) Modelos de maximización. Buscan maximizar las distancias, mínimas o promedio, entre la población y las instalaciones no-deseables. Los modelos de maximización pueden ser, a su vez, modelos maximin o anti-centro que buscan maximizar la distancia mínima entre población. Estos modelos parten de considerar la distancia entre la población y un conjunto de sitios candidatos para la localización de instalaciones, pero también pueden considerar la distancia entre instalaciones ya existentes y los sitios candidatos a recibir nuevos centros de tratamiento de residuos, con lo que pueden utilizarse como una medida, muy aproximada, de la justicia espacial.

Con el fin de evitar la necesidad de evaluar infinitas localizaciones, los modelos trabajan con las combinaciones de "p" centros en "n" puntos candidatos, siendo p<n, en donde p serán los mejores sitios obtenidos (17). Aunque se lleven a cabo las simplificaciones mencionadas, los cálculos deben ser muy grandes; por ello se buscan mecanismos heurísticos (procedimientos de prueba y error en una aproximación continua a la mejor solución) para la obtención de resultados (18)). Uno de estos mecanismos se presenta en este trabajo. La obtención de posibles soluciones con base en la aplicación de combinatorias brinda valores extremadamente elevados si se cambian los elementos que intervienen en el modelo.

Ante la abrumadora cantidad de cálculos, la estrategia heurística de aproximación a la mejor solución es teóricamente muy aceptable. Una propuesta apunta también a la consideración de un intercambio múltiple de dos o tres candidatos simultáneamente, sin embargo, para la sustancial mejora en los tiempos de cálculo sigue siendo fundamental el avance en las capacidades computacionales de hardware.

2.5.1. Modelos para infraestructura o equipamientos deseables

El modelo p-mediano es el inicial y más sencillo procedimiento modelístico de localización-asignación. Su objetivo es el de minimizar la suma de los productos de

los desplazamientos poblacionales de los puntos de demanda (centroides que agrupan la demanda dispersa) a los puntos de oferta. La función objetivo es:
Minimizar

$$\{F = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} a_i \, d_{ij} x_{ij}\}$$

Donde:
ai = es el peso asociado a cada punto de demanda,
dij = es la distancia entre el punto de demanda i y el punto de oferta potencial j,
xij = es el factor de asignación que vale 1 si el centro de oferta j es el más cercano al punto de demanda i y 0 en caso contrario
n = es la cantidad total de puntos de demanda y m los potenciales puntos de oferta (considerando las existentes)

El objetivo de este modelo es el de encontrar el valor mínimo de la función objetivo F, y con ello la mayor eficiencia espacial respecto del total de desplazamientos efectuados desde los centros de demanda hacia los p puntos de oferta. El modelo p-mediano puede ampliarse a partir de la incorporación de una restricción de distancia.

2.5.2. Modelo de cobertura máxima

El modelo de cobertura máxima tiene como objetivo maximizar los valores totales de la demanda dentro de un radio de cobertura (R) prefijado para los puntos de oferta. Dentro de estas superficies deberá quedar asignada la mayor cantidad de demanda.

Maximizar

$$\left\{F = \sum_{i \epsilon I} a_i \, x_i\right\}$$

Donde:
i = representa el conjunto de puntos de demanda (indexados por i),
a_i = la población en el nodo de demanda i, y xi vale 1 si el centro de demanda i se encuentra dentro del área de cobertura (xi ≤ R) y 0 en caso contrario.

2.5.3. Modelo de cobertura máxima con restricción de alejamiento

El modelo de cobertura máxima puede ampliarse a partir de la incorporación de una restricción de distancia, cuyo objetivo es el de maximizar los valores totales de la demanda dentro de un radio de cobertura prefijado para los puntos de oferta; lo anterior solo es posible si se considera que toda la demanda se encuentra dentro de un radio S, mayor que el alcance del bien o servicio.

Una vez revisados diferentes mecanismos propuestos para este tipo de análisis dentro de los cuales se integran factores económicos, sociales y territoriales que impactan en la identificación de la demanda, oferta, mercado, suministro e infraestructura de conectividad para la actividad de almacenamiento y distribución de petrolíferos, se presentan en la tabla 1 las ventajas y desventajas que presenta cada mecanismo en función de lo que aportaran al análisis de esta investigación.

2.6. SIG EN LA LOCALIZACIÓN DE INSTALACIONES

Los primeros estudios referentes a la localización de instalaciones fueron poco certeros y creíbles ya que contaban con datos escasos que eran primordiales para la obtención de buenos resultados, esto derivo en malas localizaciones carentes de una buena accesibilidad y cobertura por parte de los equipamientos instalados.

Como repuesta a los problemas antes mencionados surgieron los llamados SIG (Sistemas de Información Geográfica), cuyo uso se enfocó en organizar, gestionar, desplegar y analizar información espacial, en otras palabras, implican la integración de datos espaciales geo-referenciados para la solución de problemas territoriales.

De esta forma podemos decir a partir por lo expuesto por Bosque, que en cuestiones de localización los SIG son una herramienta potente que posee aplicaciones cuya especialización va dirigida al manejo, procesamiento y digitalización de datos geográficos georreferenciados en el territorio, y a partir de ello generar bases de datos de gran volumen y adecuadamente organizadas,

capaces de proveer datos y realizar los procedimientos de localización, es decir, en el ámbito de estudios de localización, los SIG son herramientas de carácter informático que disponen de los elementos necesarios para determinar y estimar distancias entre sitios puntuales de oferta y demanda, así como información sobre sus características en cuanto a la accesibilidad [14].

Una evolución de los SIG hacia un siguiente nivel son los denominados Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial, estos sistemas son más especializados en cuestiones de localización, en este caso mediante técnicas multicriterio encaminados a determinar la mejor localización de servicios colectivos, y son empleados para localizar actividades específicas e instalaciones de todo tipo ya sean deseables (equipamientos urbanos) o no deseables (rellenos sanitarios, gasolineras, gaseras, etc.), dependiendo esto de las variables que se utilicen para alimentar al sistema.

De esta forma, el uso de los SIG en estudios de localización constituye una herramienta esencial en la resolución de problemas orientados a la decisión espacial y localización de inmuebles, ya que al poder gestionar más eficiente una de base de datos los resultados serán más adecuados y acertados, generando instalaciones, de cualquier tipo, eficaces con una buena cobertura y accesibilidad que garantice a los usuarios un buen uso y por lo tanto con ello general bienestar social dentro del territorio donde se localice el inmueble.

En términos generales los SIG aplicados a estudios geográficos de localización, van encaminados a ser aplicaciones especializadas en este tema en particular, ya que se pueden incluir en investigaciones que tengan como propósito la búsqueda de sitios candidatos óptimos para localizar nuevas instalaciones. La participación primordial de los SIG en esta investigación será mediante la aplicación de un método de localización-asignación, el cual garantizará que exista una adecuada eficiencia de dicha localización en el territorio.

Dentro de los SIG especializados en la localización óptima de instalaciones o equipamientos se destacan aquellos que contemplan un módulo o herramienta de

localización-asignación o bien aquellos cuyo método de localización es el análisis multicriterio.

Algunos softwares destacados dentro de los modelos de localización-asignación se encuentran en primer lugar ArcMap® de ESRI y FLOWMAP™, los cual son softwares comerciales cuya licencia de uso tiene un costo muy elevado, sin embargo, a través de su módulo de localización-asignación ofrecen resultados óptimos para determinar localización de instalaciones ya sea para servicios colectivos públicos o privados o bien, como en nuestro caso de localización de una TAD.

Algunos de los SIG se han especializado en la localización de servicios colectivos o instalaciones tal es el caso del antes mencionado FLOWMAP™ el cual es un SIG cuyo principal uso es para la decisión espacial, por lo que estos SIG son más bien nombrados SADE (Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial) ya que su uso no tiene otra aplicación más que determinar sitios para la localización de instalaciones, y como su nombre lo dice ayudar a la decisión espacial, sin embargo su interface es rudimentaria y presenta algunos problemas al momento de ingresar los datos al programa por lo que no son muy confiables como algunos otros softwares más reconocidos por su eficacia.

Por otro lado, existe software de licencia libre desarrollado por algunas empresas bajo el concepto Open Source o de código abierto, los cuales mantienen una interacción directa con el exterior al permitir que los usuarios aporten códigos al mismo programa y viceversa, como ejemplos de estos programas podemos citar a gvSIG® y QGIS™, dos de los principales SIG Open Source en el mercado. Ambos poseen un módulo de localización asignación los cuales contemplan cada uno de los modelos que son usados por este método. La desventaja de este tipo de software radica principalmente en su programación ya que al ser de libre acceso su código fuente puede ser modificado y al momento de la obtención de resultados estos pueden variar ya que las operaciones matemáticas usadas por el programa pueden variar de las de los softwares comerciales.

Cabe mencionar que los modelos de localización-asignación se especializan o son usados para aquellos entornos denominados continuos, es decir aquellos entornos en donde no se presentan restricciones físicas importantes, a bien la escala de estudio es lo suficientemente grande para que dichas restricciones no sean consideradas como variables que afecten el resultado de la investigación el cual es nuestro caso.

En el caso de un entorno discreto, es decir aquel entorno que presenta limitaciones o restricciones físicas, o bien la escala de estudio es menor, el mejor método para determinar la localización óptima de cualquier tipo de instalación es el denominado multicriterio o multivariado, este método se caracteriza, como su nombre lo dice, por utilizar una cantidad más grande de variables que el método de localización-asignación, por lo que su uso es más complejo y se requiere la participación de más de un especialistas en el tema a investigar.

De acuerdo con Pietersen [27], el objetivo general de la evaluación multicriterio es auxiliar al decisor a escoger la mejor alternativa entre un rango de alternativas en un entorno de criterios en competencia y conflicto; y los objetivos pueden ser económicos, ambientales, sociales, institucionales, técnicos y estéticos cuando las decisiones implican alcanzar varios objetivos o criterios, ellas se denominan decisiones multiobjetivo o decisiones multicriterio.

Dentro de las técnicas o métodos de las técnicas de evaluación multicriterio se encuentran las siguientes:

- Ponderación lineal
- Utilidad Multiatributo
- Relaciones de superación
- El Proceso de Análisis Jerárquico

Para este caso los softwares más usados para determinar la localización óptima mediante análisis multicriterio se encuentran TerrSet™, este programa trabaja mediante el uso de archivos Ráster y el cual cuenta con un módulo de EMC

(Evaluación Multicriterio) y funciona mediante la ponderación de las variables usadas principalmente mediante el método Saaty de jerarquías analíticas y cuyo resultado puede llegar a nivel predio de localización.

Cabe destacar que en la presente investigación se usó software que utiliza métodos de localización-asignación debido a que, como ya se mencionó antes, nuestra escala de trabajo es muy grande por lo que se optó por el uso de este método.

Sin embargo, es claro que ninguna de estas técnicas ni herramientas desarrolladas en años recientes se ha utilizado para en el ramo de los hidrocarburos, existe poco o nulo conocimiento de la importancia que y utilidad que pueden tener metodologías bien estructuradas y fundamentadas para favorecer la toma de decisiones. En un proyecto de tal importancia es necesario prever cualquier tipo de circunstancia que pueda generar un cambio abrupto e innecesario por lo que se retoman estrategias utilizadas en países como Argentina donde se utilizan dichas tecnologías para la óptima localización de equipamiento de diferente tipo como educativo, de salud y recreativo.

En la tabla 1 se analizan aquellas propuestas de mecanismos abordados en el documento para poder enlistar ventajas y desventajas que podría presentar cada metodología para este proyecto de investigación.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de mecanismos revisados

Técnica	Método	Ventajas	Desventajas
Métodos de Localización asignación	**Maximizar la asistencia**	• Busca maximizar la accesibilidad espacial de la población. • Maximiza el potencial de los centros de servicio sobre el punto de demanda. • Maximiza la oportunidad de acceso. • Contempla no solo los costes fijos de las instalaciones, sino también los costes variables.	• Ausencia de referencia temporal. • Obliga al analista a establecer un periodo de tiempo apropiado para la cuantificación de costes variables. • Afecta los equilibrios territoriales.
	Maximizar la cuota de mercado	• Representan situaciones en las que dos o más entidades compiten para captar elementos distribuidos en el espacio. • Determina estrategias óptimas en la toma de decisiones sobre la localización, con el fin de maximizar sus beneficios, o bien maximizar la cuota de mercado. • Busca maximizar la diferencia entre su cuota de mercado y la de su competidor. • Asegura que su cuota de mercado no es inferior a la de su competidor.	• Los clientes eligen el establecimiento más cercano de cada una de las firmas que operan en el mercado. • La disposición del cliente a viajar una distancia larga para acudir a un establecimiento está condicionada por el carácter del bien demandado.
	Maximización de cobertura	• Maximiza los valores totales de la demanda dentro de un radio de cobertura prefijado para los puntos de oferta. Dentro de estas superficies deberá quedar asignada la mayor cantidad de demanda • Asigna la demanda al centro más próximo. • Maximiza la accesibilidad de los demandantes a los centros de oferta, garantizando un adecuado consumo del servicio.	• Existe un umbral de distancia máxima a partir del cual se degrada la prestación de servicio. • Existen restricciones presupuestarias que solo posibilitan el establecimiento de un cierto número de centros de servicios que no bastan para cubrir toda la demanda dentro de la distancia critica.
Métodos de evaluación multicriterio	**Ponderación lineal**	• Permite que un individuo pueda elegir entre un conjunto de alternativas disponibles de forma que maximice su satisfacción. • Permite abordar situaciones de incertidumbre o con escaso nivel de información. • Se construye una función de valor para cada una de las alternativas.	• Es completamente compensatorio, y puede resultar dependiente de la asignación de pesos a los factores o de la escala de medida de las evaluaciones. • Tiene dificultades operativas para seleccionar las acciones o alternativas a estudiar, para definir los criterios de comparación y elaborar las tablas de ponderación.
	Utilidad multiatributo	• Utiliza "escalas de intervalo", y acepta el principio de "preservación de orden". • Para cada atributo se determina la correspondiente función de utilidad (parcial), y luego se agregan en una función de utilidad multiatributo de forma aditiva o multiplicativa. • Al determinarse la utilidad de cada una de las alternativas se obtiene una ordenación completa del conjunto finito de alternativas.	• El rigor y rigidez de los supuestos teóricos de este método usualmente son controvertidos y difíciles de contrastar en la práctica, lo que obliga a relajarlos, aunque permiten abordar fluidamente cuestiones de incertidumbre y riesgo. • Se basa en procesos prolongados e interactivos, que pueden requerir un largo periodo de negociación.

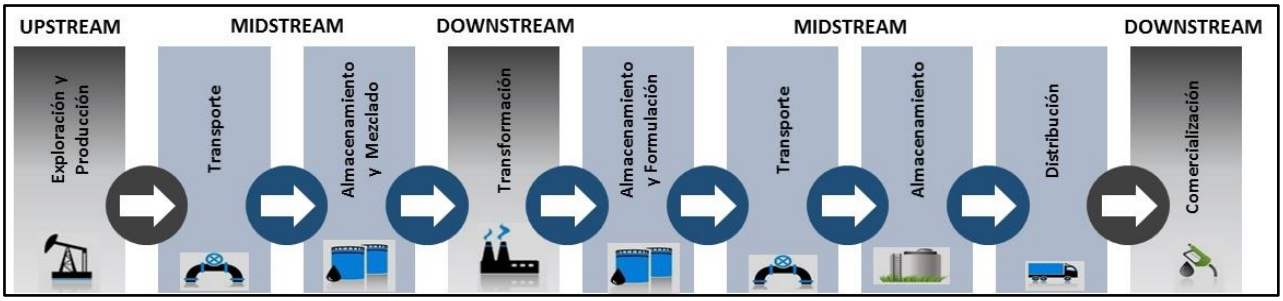
2.6.1. CADENA DE SUMINISTRO DE LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y GAS

Como elemento importante del proyecto de investigación resulta necesario el definir e identificar los preceptos que componen el sector de hidrocarburos, debido a que, el proyecto está enfocado para localizar una terminal de almacenamiento y distribución de petrolíferos en este apartado se describirán de manera particular, aquellas características o elementos que se involucren de manera directa con este proceso, así como con la instalación.

Antes de abordar la cadena de suministro de petróleo y gas, es necesario definir los productos que están asociados al petróleo y al gas. Los productos asociados al petróleo son los petrolíferos, que son productos resultados de la refinación del petróleo tales como la gasolina, el diésel, la turbosina y el combustóleo. Los productos asociados al gas son los petroquímicos básicos tales como etano, propano, butano y pentano, así como los petroquímicos secundarios tales como los polietilenos, aromáticos, fertilizantes y especialidades petroquímicas.

La industria del petróleo y gas se encuentra subdividida en 3 etapas dentro de la cadena de suministro: upstream, midstream y downstream [4]. El sector upstream es el que se focaliza a la exploración, desarrollo de infraestructura productiva y producción de petróleo crudo y gas. El sector midstream incluye el transporte por distintos medios, que incluyen ductos, buques, carrotanque y autotanque, así como el almacenamiento. El sector downstream incorpora las actividades de transformación y comercialización del petróleo, el gas y sus derivados. En la figura 5 se muestra la cadena de suministro de la industria del petróleo y gas:

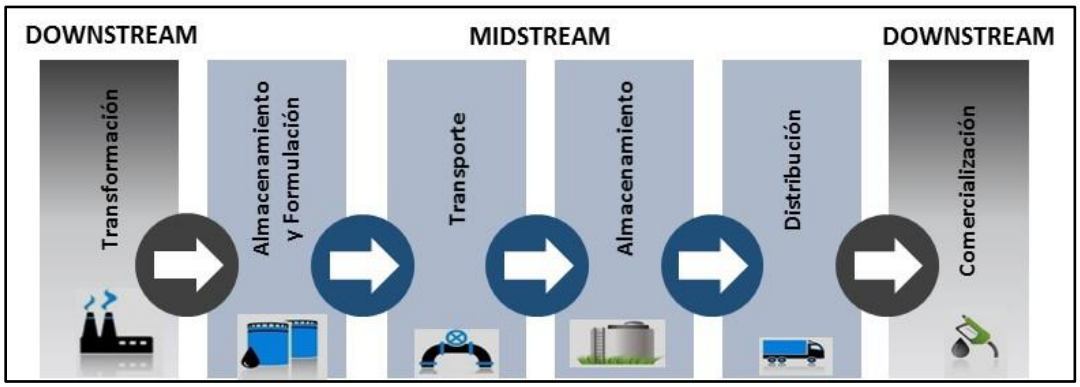
Figura 5. Cadena de suministro de la industria del petróleo y gas



Fuente: Elaboración propia con base en información de publicada por la SENER, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416899/Parte_1_vf.pdf

El enfoque del presente trabajo reside en la etapa de midstream de productos petrolíferos, que abarca desde las refinerías, hasta los puntos de distribución y comercialización, y en específico en la actividad de almacenamiento. El segmento de midstream se aprecia en la figura 6:

Figura 6. Cadena de suministro de Petrolíferos



Fuente: Elaboración propia con base en información de publicada por la SENER, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416899/Parte_1_vf.pdf

Los petrolíferos, como se mencionó anteriormente son productos derivados de la transformación del petróleo en las Refinerías, son líquidos, se almacenan en tanques en condiciones de presión atmosférica, se pueden transportar en ducto, buquetanque, carrotanque y autotanque, requieren de condiciones de seguridad peligrosos para su manejo como productos peligrosos e inflamables. Los usos de los petrolíferos dependen del tipo de producto, por ejemplo:

- La gasolina sirve como combustible para vehículos automotores.
- El diésel sirve como combustible de tractocamiones, camiones y barcos, también como energético en la industria eléctrica.
- La turbosina sirve como combustible en aeronaves.
- El combustóleo sirve como combustible de embarcaciones o como energético en la industria eléctrica.

Cabe mencionar que según el World Energy Council, en 2016 el petróleo y gas constituyeron la principal fuente de energía en el mundo [5]. De sus derivados se obtiene el combustible para el transporte y el gas natural se utiliza como el principal insumo en la generación eléctrica.

Considerando que la inversión representa el principal elemento de la estructura de costos en la industria del petróleo, uno de los aspectos centrales en la generación de valor consiste en capturar economías de escala que diluyan los costos unitarios. Esto es particularmente importante en el almacenamiento y el transporte, siendo que la infraestructura logística afecta de manera determinante la rentabilidad de las operaciones, tanto en producción, como en la comercialización.

2.7. INFRAESTRUCTURA LOGÍSTICA DE PETROLÍFEROS

Tomando en cuenta que la cadena de suministro de petrolíferos abarca almacenamiento, transporte y distribución, a continuación, se enuncia la infraestructura logística de petrolíferos asociada a cada eslabón de la cadena de suministro:

- **Almacenamiento:** terminales de almacenamiento y distribución, terminales de distribución, terminales marítimas, centrales de almacenamiento y bombeo.
- **Transporte:** Ductos, buquetanques, carrotanques y autotanques.
- **Distribución:** Autotanques (19)

La infraestructura asociada a **almacenamiento de petrolíferos** tiene la función operativa de recibir petrolíferos, almacenarlos, en algunos casos mezclarlos para

llegar a una calidad específica y enviarlos a otros destinos, ya sea por traspaso a otras terminales o distribución a clientes finales. Detallando cada tipo de instalación podemos enunciar que una Terminal de Almacenamiento y Distribución (TAD) es la instalación que tiene una capacidad de almacenamiento con objeto económico de renta de guarda y manejo, y está ubicada en el interior del país; una Terminal Marítima (TM) es la instalación que tiene una capacidad de almacenamiento con objeto económico de renta de muelle, guarda y manejo, y está ubicada en un puerto marítimo. Este trabajo de tesis se focalizará a este tipo de infraestructura en los análisis.

La infraestructura asociada a transporte tiene la función operativa de transportar petrolíferos entre terminales que están distantes entre sí. Detallando cada tipo de instalación podemos enunciar que un ducto es la tubería en la cual se bombea petrolíferos en grandes volúmenes entre Terminales; un buquetanque es el barco petrolero que transporta petrolíferos en grandes volúmenes entre Terminales Marítimas; un carrotanque es el tren que transporta petrolíferos en grandes volúmenes entre Terminales; un autotanque es el tracto camión que transporta petrolíferos en volúmenes pequeños pero que en flotilla suman grandes volúmenes (20).

La infraestructura asociada a distribución tiene la función operativa de distribuir petrolíferos desde terminales a estaciones de servicio de venta al público. El medio para distribuir los petrolíferos es el autotanque, el cual es el tracto camión que transporta petrolíferos en volúmenes pequeños (20).

Las Terminales de Almacenamiento y Distribución (TAD) representan los centros de trabajo que reciben y almacenan los productos terminados (refinados) para su despacho o reparto a estaciones de servicio, clientes industriales, gobierno, distribuidores, etc. Y conforman un punto esencial dentro de la cadena de valor de hidrocarburos al ser uno de los puntos de abastecimiento para las casi 12 mil estaciones de servicio en el país (21).

Dentro de las operaciones que son realizadas dentro de las TAD, se enlistan los servicios de: almacenamiento, guarda, manejo y entrega de petrolíferos, así como la reformulación, marcaje de productos terminados, el marcaje de gasolinas y diésel y en algunos casos la incorporación de Etanol al producto almacenado.

Las TAD de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-006-ASEA-2017 consisten en áreas de recepción, almacenamiento y distribución de productos petrolíferos (22).

La etapa correspondiente al movimiento de combustibles dentro y fuera de las TAD puede hacerse mediante poliductos (que a diferencia de oleoductos se transportan combustibles procesados en refinerías llamados petrolíferos), auto tanques, carro tanques o bien mediante buque tanques. Para dicha actividad PEMEX y empresas privadas cuenta con infraestructura que ha permitido satisfacer las necesidades. Sin embargo, PEMEX ya no es la única entidad que participa en este mercado, y por lo tanto existen nuevas TAD con entidades privadas, que fueron construidas desde la entrada en vigor de la reforma energética. PEMEX se transformó en empresa productiva del Estado, es decir: es propiedad exclusiva del Gobierno Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propio, con autonomía técnica, operativa y de gestión, y cuenta con un régimen especial en materia de empresas productivas subsidiarias y filiales; remuneraciones; adquisiciones, arrendamientos, servicios y obras; bienes; responsabilidades; dividendo estatal; y, presupuesto y deuda. A la par, esto significó un cambio de esquema en sus 4 organismos subsidiarios, en 2015 estos se transformaron en siete organismos subsidiarios (DOF, 2015) entre los cuales el sector dedicado a las TAD es el de PEMEX Logística la cual se encarga de prestar servicio de transporte y almacenamiento de hidrocarburos a PEMEX y terceros, a través de ductos y de medios marítimos y terrestres; así como la venta de capacidad para su gestión y manejo. Adicionalmente la reforma abrió las puertas a empresas privadas a incorporarse a la cadena de logística la cual se muestra con sus diferentes componentes y organismos responsables.

Dentro de la cadena de suministro donde entra como organismo de autoridad la Comisión Regulatoria de Energía (CRE) la cual está encargada de promover la competencia en las secciones de transporte (dentro y fuera de las refinerías), almacenamiento, distribución y comercialización; y de tareas tales como la regulación de precios y la elaboración de políticas que promuevan la eficiencia y la competitividad dentro del sector. Las responsabilidades CRE consisten en establecer los términos para la realización de temporadas abiertas y la implementación del boletín electrónico; establecer las modalidades de servicio, fijar las condiciones para el transporte o almacenamiento de petrolíferos propiedad del permisionario y usos propios, establecer y asegurar el cumplimiento de los principios tarifarios de medición y de calidad; asegurar que los lineamientos para la elaboración de los términos y condiciones de prestación del servicio se cumplan y responder a las disposiciones sobre el mercado secundario y la cesión de capacidad. Mientras la CRE regula las políticas de competencia la Agencia de Seguridad Energía y Ambiente (ASEA) regula los criterios de diseño, construcción, operación y cierre de las TAD terrestres tal como lo estipula la NOM-006-ASEA-2017. La COFECE se encarga de promover, proteger y garantizar la competencia y libre concurrencia; así como prevenir, investigar y combatir las prácticas monopólicas, las concentraciones ilícitas y demás restricciones al funcionamiento eficiente de los mercados. Además, puede ordenar medidas para eliminar barreras a la competencia y libre concurrencia, regular el acceso a insumos esenciales y ordenar la desincorporación de activos, derechos, partes sociales o acciones de los agentes económicos.

Uno de los roles más importantes de la CRE y que también se hace responsable la Secretaría de Energía (SENER) es el de fijar los criterios de almacenamiento ya que en 2017 entró en vigor la Política Pública de Almacenamiento Mínimo de Petrolíferos la cual le da a las TAD un rol nuevo funcionando como una vía para reforzar la seguridad energética nacional en caso de un desabasto de hidrocarburos, dicha política establece incentivos para el desarrollo de la infraestructura necesaria de almacenamiento de petrolíferos para el país. Esto derivará en la construcción de capacidad suficiente para atraer a nuevos jugadores a la primera condición de

garantía de suministro arriba expuesta. Dicha política establece los días de obligación de almacenamiento de inventarios mínimos que reflejan los tiempos de reabastecimiento de combustibles en cada región del país el cual se mide en días. Se tiene previsto que la política tendrá efecto a partir del mes de enero de 2020 en todas las regiones del país. A partir del mes de enero de los años 2022 y 2025 se espera un aumento en el inventario mínimo tal como se puede observar en la tabla 2.

Tabla 2. Días de inventarios que se establecen en la Política Pública de Almacenamiento Mínimo de Petrolíferos (Días de ventas promedio)

	2020	2022		2025	
Región	Inventario mínimo	Inventario mínimo	Promedio trimestral	Inventario mínimo	Promedio trimestral
Noreste	5	8	9	11	13
Norte	5	8	9	11	12
Noreste	5	8	9	10	12
Centro	5	8	9	10	12
Occidente	5	8	9	11	13
Sur	5	9	10	13	15
Golfo	5	8	9	10	12
Sureste	5	9	10	13	14

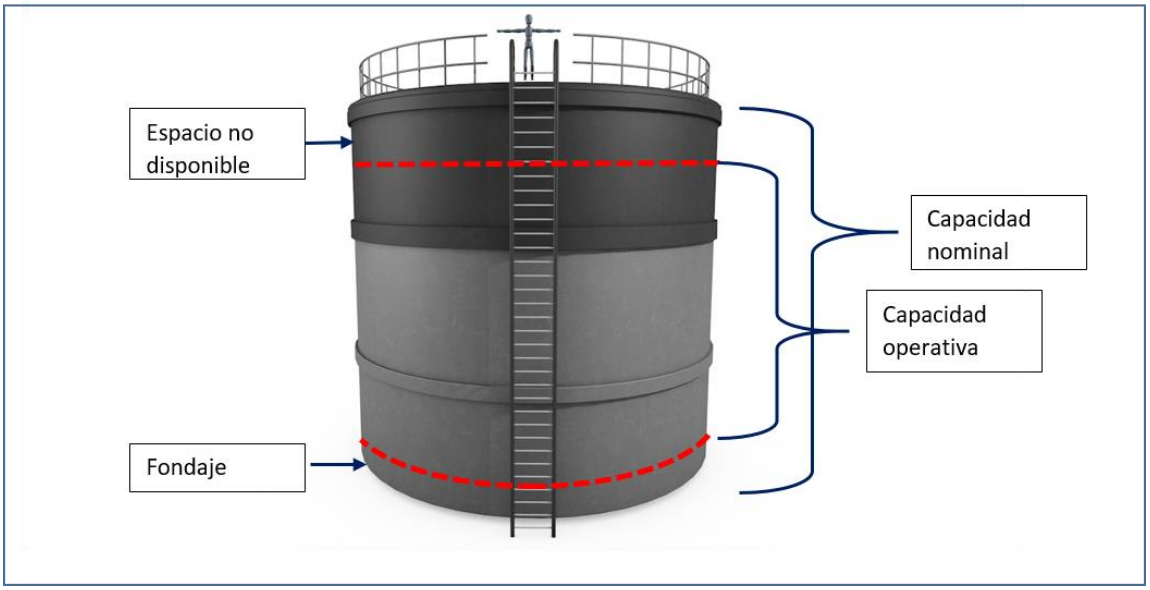
Fuente: https://www.gob.mx/sener/documentos/diagnostico-de-la-industria-de-petroliferos

Como lo es en la cadena de suministro también la CRE entra como regulador en especial en las operaciones de almacenamiento, comercialización, distribución y expendio al público estableciendo reportes semanales que informa sobre los inventarios y las importaciones y exportaciones de gasolina, Diesel, combustóleo, gas avión y turbosina por región y subproducto.

Es por estas políticas y marcos regulatorios qué resulta importante la presencia de las TAD dentro de la cadena de valor y de porque en 2017 de acuerdo con la Prospectiva de Petróleo crudo y Petrolíferos (19) se cuentan con 76 TAD en operación por parte de PEMEX y se proyecta que con inversión de la iniciativa privada se cubra al demanda que genere la entra de en vigor de la ya mencionada Política de Almacenamiento.

Para identificar este crecimiento de demanda resulta necesario conocer especificaciones como la capacidad de almacenamiento del Sistema Nacional de logística la que considera la capacidad nominal y la capacidad operativa de la infraestructura. La primera se refiere al volumen total del tanque mientras que la capacidad operativa se refiere al volumen máximo que puede manejarse de manera ininterrumpida excluyendo el fondaje y el espacio no disponible tal como se observa en la figura 7.

Figura 7. Desglose de un tanque de almacenamiento



2.8. INFRAESTRUCTURA DE PEMEX LOGÍSTICA

De acuerdo con la problemática analizada previamente se debe precisar que la gran parte de infraestructura que permite el suministro de combustible en el país pertenece a PEMEX, por lo que, si el fenómeno de desabasto se ha incrementado en algunas zonas del territorio nacional, es debido al desarrollo limitado de este tipo de instalaciones. En la tabla 3 se muestra la infraestructura disponible y operante con la que cuenta PEMEX para atender la necesidad de la población.

Tabla 3. Infraestructura de Pemex Logística

Terminales de Almacenamiento (TA)	74
Instalaciones Portuarias (IP)	10
Terminales Marítimas (TM)	5
Oleoductos	5 259 km
Poliductos	8 915 km

Nota: No incluye infraestructura de Gas LP

Fuente: Secretaría de Energía con la información de CRE y PEMEX.

2.8.1. Sistema de infraestructura nacional de almacenamiento

Hasta el año 2016, se tenía un registro de 74 terminales de almacenamiento de petrolíferos, las cuales reciben para su almacenamiento ya sea producción nacional o importación. De las terminales de almacenamiento existentes, tres localizan contiguas a las refinerías, 36 utilizan poliductos como único medio de suministro, 21 reciben producto únicamente por auto tanques, 11 exclusivamente por buque tanque y tres por carro tanque. En la tabla 3 se presenta el listado de terminales de almacenamiento, así como su capacidad, medio de suministro y la refinería que le suministra.

2.8.2. Terminales de almacenamiento y distribución (TAD)

La cadena de valor de petrolíferos en México comienza con las actividades que se llevan a cabo en el Sistema Nacional de Refinación SNR, y en la importación en los puntos de internación; continúa con la comercialización, la distribución y el expendio al público. Para ello es preciso llevar a cabo actividades intermedias de transporte y almacenamiento de petrolíferos, por lo que se resume un recuento de la infraestructura con que se cuenta para transportar, distribuir y almacenar.

Los petrolíferos a nivel nacional son distribuidos desde las diferentes TAD distribuidas a lo largo del territorio nacional hacia los puntos de expendio al público, este proceso es llevado a cabo mediante auto tanques propiedad de Pemex Logística y empresas privadas, de esta manera las más de 11 729 estaciones de servicio y

usuarios industriales existentes en todo el territorio nacional son abastecidos con los diferentes tipos de combustibles.

El territorio nacional cuenta con aproximadamente 5 259 km de oleoducto y 8 915 km de poliductos propiedad de Pemex Logística, lo cuales recorren las ocho regiones estadísticas del país, y presentan una concentración importante en las regiones: Centro, Occidente y Noreste.

Tabla 4. Terminales de almacenamiento y distribución PEMEX

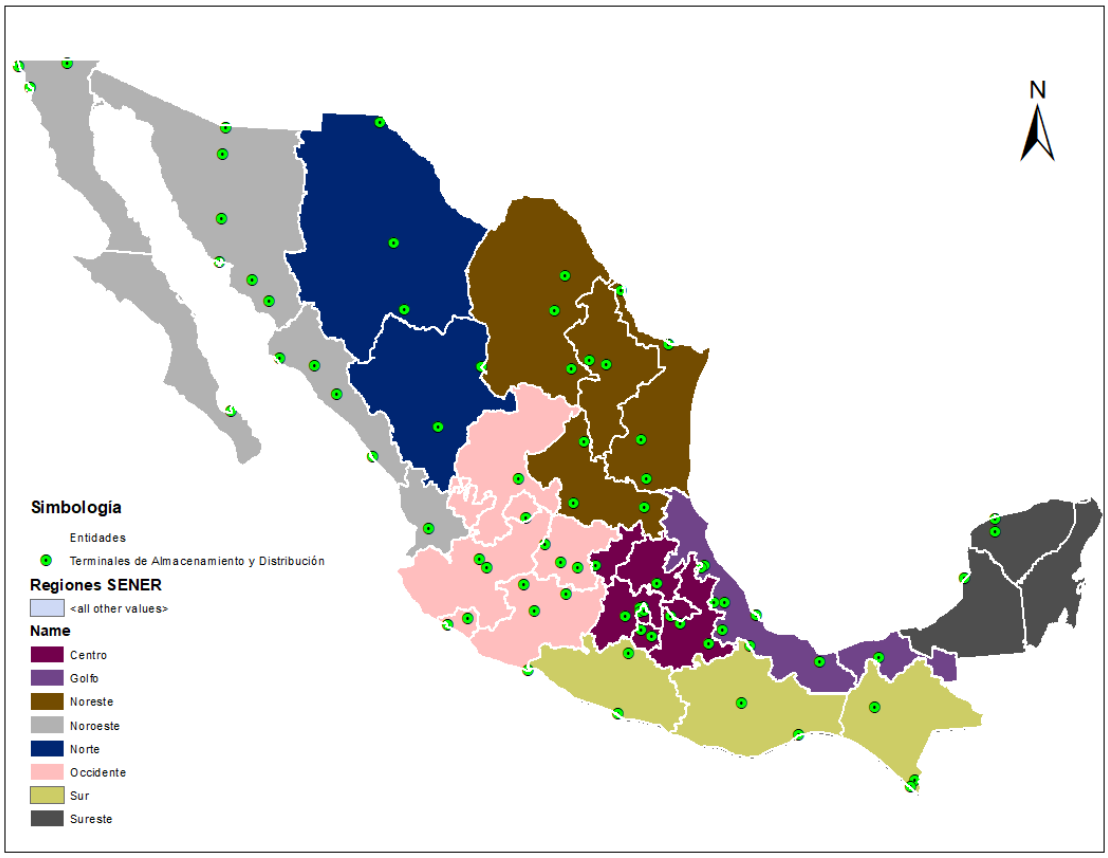
No.	Terminal de Almacenamiento	Región	Capacidad Nominal (barriles)	Capacidad Operativa (barriles)	Medio de suministro	Refinería que le suministra
1	Rosarito	Noroeste	1,393,000	1,020,286	Buquetanque	Salina Cruz
2	Ensenada	Noroeste	135,000	100,086	Ducto	Salina Cruz
3	Mexicali	Noroeste	155,000	118,085	Ducto	Salina Cruz
4	Nogales	Noroeste	45,000	34,666	Autotanque	Salina Cruz
5	Magdalena	Noroeste	40,000	26,754	Autotanque	Salina Cruz
6	Hermosillo	Noroeste	125,000	86,048	Ducto	Salina Cruz
7	Guaymas	Noroeste	750,000	534,163	Buquetanque	Salina Cruz
8	Ciudad Obregón	Noroeste	170,000	112,462	Ducto	Salina Cruz
9	Navojoa	Noroeste	35,000	25,040	Autotanque	Salina Cruz
10	La Paz	Noroeste	230,000	161,793	Buquetanque	Salina Cruz
11	Topolobampo	Noroeste	750,000	538,740	Buque tanque	Salina Cruz
12	Guamúchil	Noroeste	105,000	74,128	Ducto	Salina Cruz
13	Culiacán	Noroeste	115,000	85,203	Ducto	Salina Cruz
14	Mazatlán	Noroeste	620,000	467,568	Buquetanque	Salina Cruz
15	Tepic	Noroeste	130,000	66,232	Autotanque	Salina Cruz
16	Cd. Juárez	Norte	245,000	184,554	Ducto/Autotanque	Cadereyta
17	Chihuahua	Norte	420,000	336,157	Ducto	Cadereyta
18	Durango	Norte	75,000	51,728	Carrotanque	Cadereyta
19	Parral	Norte	55,000	40,330	Autotanque	Cadereyta
20	Gómez Palacio	Norte	475,000	339,661	Ducto	Cadereyta
21	Sabinas	Noreste	100,000	73,446	Ducto	Cadereyta
22	Monclova	Noreste	235,000	181,963	Ducto	Cadereyta
23	Nuevo Laredo	Noreste	75,000	58,829	Autotanque	Cadereyta
24	Reynosa	Noreste	23,500	14,629	Ducto/Autotanque	Cadereyta
25	Santa Catarina	Noreste	850,000	586,737	Ducto	Cadereyta
26	Saltillo	Noreste	150,000	117,601	Ducto	Cadereyta

No.	Terminal de Almacenamiento	Región	Capacidad Nominal (barriles)	Capacidad Operativa (barriles)	Medio de suministro	Refinería que le suministra
27	Cadereyta	Noreste	100,000	74,699	Refinería/Ducto	Cadereyta
28	Matehuala	Noreste	33,000	24,522	Autotanque	Cadereyta
29	Cd. Victoria	Noreste	195,000	146,652	Ducto	Madero/ Cadereyta
30	Cd. Mante	Noreste	42,000	14,907	Autotanque	Madero
31	Cd. Valles	Noreste	75,000	55,314	Carrotanque	Madero
32	San Luis Potosí	Noreste	100,000	68,984	Ducto	Salamanca/ Madero
33	Zacatecas	Occidente	85,000	58,057	Ducto	Salamanca
34	Aguascalientes	Occidente	105,000	68,241	Ducto	Salamanca
35	León	Occidente	110,000	80,433	Ducto	Salamanca
36	Zapopan	Occidente	390,000	281,225	Ducto	Salamanca
37	Zamora	Occidente	90,000	64,012	Ducto	Salamanca
38	Irapuato	Occidente	435,000	316,086	Ducto	Salamanca
39	Celaya	Occidente	180,000	130,230	Ducto	Salamanca
40	Uruapan	Occidente	130,000	102,280	Autotanque	Salamanca
41	Colima	Occidente	55,000	43,704	Autotanque	Salamanca
42	Iguala	Sur	60,000	41,867	Autotanque	Tula
43	Morelia	Occidente	135,000	98,110	Ducto	Salamanca
44	El Castillo	Occidente	345,000	220,593	Ducto	Salamanca
45	Lázaro Cárdenas	Occidente	860,000	609,032	Buquetanque	Salina Cruz
46	Manzanillo	Occidente	465,000	328,150	Buquetanque	Salina Cruz
47	Cuautla	Centro	60,000	44,742	Autotanque	Tula
48	Puebla	Centro	425,000	361,409	Ducto	Minatitlán
49	QueréTADo	Centro	230,000	166,427	Ducto	Salamanca
50	San Juan Ixhuatepec	Centro	225,000	138,729	Ducto	Tula
51	Cuernavaca	Centro	135,000	102,226	Ducto	Tula
52	Toluca	Centro	195,000	135,282	Ducto	Tula
53	Azcapotzalco	Centro	1,500,000	1,107,981	Ducto/Autotanque	Tula/Minatitlán
54	Pachuca	Centro	170,000	120,032	Ducto	Tula
55	Barranca del Muerto	Centro	125,000	91,526	Ducto	Tula
56	Añil	Centro	235,000	158,343	Ducto	Tula
57	Acapulco	Sur	235,000	145,262	Buquetanque	Salina Cruz
58	Oaxaca	Sur	110,000	84,018	Autotanque	Salina Cruz
59	Salina Cruz	Sur	205,000	154,025	Refinería	Salina Cruz
60	Tuxtla Gutiérrez	Sur	105,000	74,888	Autotanque	Salina Cruz

No.	Terminal de Almacenamiento	Región	Capacidad Nominal (barriles)	Capacidad Operativa (barriles)	Medio de suministro	Refinería que le suministra
61	Tapachula	Sur	24,500	15,244	Autotanque	Salina Cruz
62	Tapachula II	Sur	65,000	50,968	Autotanque	Salina Cruz
63	Poza Rica	Golfo	55,000	38,744	Ducto	Tula
64	Perote	Golfo	25,000	18,529	Autotanque	Minatitlán
65	Xalapa	Golfo	45,000	27,068	Autotanque	Minatitlán
66	Escamela	Golfo	98,000	70,265	Ducto	Minatitlán
67	Veracruz	Golfo	535,986	352,321	Ducto/Buquetanque	Minatitlán
68	Tierra Blanca	Golfo	81,000	49,212	Ducto	Minatitlán
69	Minatitlán	Golfo	10,000	5,926	Refinería	Minatitlán
70	Villahermosa	Golfo	328,500	236,610	Ducto/Autotanque	Minatitlán
71	Progreso	Sureste	280,500	198,336	Buquetanque	Minatitlán
72	Campeche	Sureste	265,000	208,410	Buquetanque	
73	Mérida	Sureste	145,000	114,630	Ducto	Minatitlán
74	Central de Almacenamiento y Bombeo Poza Rica	Golfo				
75	CPI Puebla	Centro				
76	Tehuacán	Centro	45,000	32,250	Autotanque	

Fuente: elaboración propia con base en información publicada por SENER (2017), disponible en; https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416899/Parte_1_vf.pdf

Figura 8. Distribución de terminales de almacenamiento y distribución PEMEX



Fuente: elaboración propia con base en información publicada por SENER (2017), disponible en; https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416899/Parte_1_vf.pdf

2.8.3. Terminales de almacenamiento distribución que importan vía terrestre

De acuerdo con datos de la CRE, al cierre del 2016, Pemex Logística otorgó 74 permisos de almacenamiento de petrolíferos para sus TAD, las cuales reciben petrolíferos para su almacenamiento desde distintos orígenes, ya sea producción nacional o importación.

De los permisos otorgados por Pemex Logística, algunos son encargados de recibir el producto importado de lugares externos al país, algunas de las TAD encargadas de la importación son:

- Terminal de Almacenamiento Cd. Juárez.
- Terminal de Almacenamiento Nuevo Laredo

- Terminal de Almacenamiento Reynosa

Algunas TAD son suministradas por más de un medio de transporte debido a las características de ubicación, la tabla 5 muestra las características específicas de cada terminal de almacenamiento utilizada como punto de importación.

Tabla 5. Principales características de las TAD de Pemex Logística

Terminal de Almacenamiento	Estado	Región	Capacidad Operativa (Barriles)	Tanques	Medio de Suministro	Refinería que le suministra
Ciudad Juárez	Chihuahua	Norte	184 554	8	Ducto-Autotanque	Cadereyta
Nuevo Laredo	Tamaulipas	Noreste	58 829	5	Autotanque	Cadereyta
Reynosa	Tamaulipas	Noreste	14 629	9	Ducto-Autotanque	Cadereyta

Nota: Se consideran capacidades y tanquería para almacenamiento de gasolinas, diésel, combustóleo, turbosina y producto contaminado, entre otros.

- La TA Ciudad Juárez es suministrada por ducto nacional, así como ducto y auto tanques de importación provenientes de Estados Unidos.

- La TA Nuevo Laredo se suministra por auto tanques de importación provenientes de Estados Unidos.

- La TA Nuevo Laredo se suministra por auto tanques de importación provenientes de Estados Unidos.

2.8.4. Terminales marítimas (TM) PEMEX

Dada la orografía del país el sistema portuario es uno de los elementos esenciales dentro de la infraestructura nacional para transportar poco más de un tercio de la carga total del país y de las exportaciones, entre ellos el petroleó, es por eso por lo que dadas las distancias entre los centros productores y los de consumo las TAD irrumpen dentro de la infraestructura marítima formando, conocidas también como Terminales Marítimas (TM), y forman parte de las cadenas de suministro portuarias.

Las Terminales Marítimas nacionales juegan un papel importante en el sistema logístico de México dadas las condiciones orográficas y de distancia entre los centros productores y principales centros de consumo. Las terminales marítimas

alimentan el sistema de distribución mediante importaciones y producto de cabotaje, el transporte de petrolíferos representa importantes ventajas en términos de competitividad por los grandes volúmenes transportados, ya que hay ciertos puntos dentro del territorio nacional que sería la única manera de transporte, como lo son las regiones Noroeste y Sureste, donde las condiciones de mercado no han hecho económicamente viable la construcción de ductos para el abastecimiento de algunos centros de consumo.

Dentro de la cadena de suministro de los petrolíferos, el traslado náutico en los litorales del Golfo y Pacífico mexicanos es una de las actividades de mayor importancia, la cual requiere servicios portuarios integrales, que contemplan actividades como: el transporte marítimo por buque tanque, operaciones de embarcaciones (atraque y desatraque, amarre y desamarre, conexión y desconexión, derecho de atraque y muellaje, etc.), así como el mantenimiento de los navíos.

A nivel nacional se cuenta con las siguientes Terminales Marítimas:

- Terminal de Operación Marítima y Portuaria Madero.
- Terminal de Operación Marítima y Portuaria Tuxpan.
- Terminal de Operación Marítima y Portuaria Pajaritos.
- Terminal de Operación Marítima u Portuaria Salina Cruz.
- Terminal de Operación Marítima y Portuaria Guaymas.

Cada TM cuenta con características específicas para el recibo de diferentes tipos de embarcaciones dedicadas al transporte de petrolíferos vía marítima como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Terminales Marítimas PEMEX

TM	Región	Estado	Posición de amarre	Calado pies	DWT' Miles
Guaymas	Noroeste	Sonora	3	30	60/60/40
Madero	Noreste	Tamaulipas	6	22/30/32	45
Pajaritos	Golfo	Veracruz	14	36/38/39	35/55/60/80
Salina Cruz	Sur	Oaxaca	5	33/41/41/46/46/72	30/60/60/60/60/295
Tuxpan	Golfo	Veracruz	3	150/60/60	150/60/60

Fuente: Secretaría de Energía con información de Pemex.

El transporte marítimo de petrolíferos representa un aumento en el volumen transportado y una de las vías de transporte esenciales para las regiones Noroeste y Sureste del país. Para reforzar la cadena de suministros en materia de almacenamiento PEMEX Logística cuenta con 5 terminales marítimas (2 en la costa del Pacífico y 3 en el Golfo de México). La actividad de estas terminales es la misma que la de las terrestres la cual es almacenar y distribuir los petrolíferos y en lo que respecta a las actividades de cabotaje (transporte de mercancías) la Ley de Navegación y Comercio Marítimo obliga que las embarcaciones y la tripulación sean mexicanas, aunque existe la posibilidad de exceptuar la regla y obtener permisos para buques extranjero por al menos 2 años siempre y cuando se cumplan los requisitos propuestos por la SCT.

En cuanto a las capacidades de almacenamiento de las terminales marítimas de manera nacional se estimaba que en 2016 se contaba con la capacidad para 8,055 mbd. Es importante mencionar que de las 5 terminales operadas por PEMEX Logística la terminal marítima de Guaymas no cuenta con capacidad de almacenamiento ya que es preferible almacenar el producto en la TAD Guaymas. Cerca del 81% de la capacidad de almacenamiento se centra en la región del golfo perteneciente a las terminales de Tuxpan, Pajaritos y Veracruz. Las capacidades por TM se muestran en la tabla 2:

México cuenta con una capacidad operativa de almacenamiento de petrolíferos en TM de 8 055 mb distribuida en Pajaritos, Tuxpan, Madero y Salina Cruz distribuidas como lo establece la tabla siguiente.

Debido a que la capacidad de los buquetanques oscila entre los 250 y 350 mil barriles, y dado que una TM es una instalación destinada principalmente a la importación de petrolíferos, su capacidad es destinada a la internación de productos petrolíferos y no al resguardo de los días mínimos de inventario. Por lo que no se contabilizará su capacidad para el inventario mínimo.

2.8.5. Instalaciones portuarias PEMEX

A diferencia de las Terminales Marítimas, las Instalaciones Portuarias carecen de almacenamiento y tiene como principal función la descarga de buque tanques para el transporte de productos hacia las TAD. Las instalaciones portuarias cuentan con ciertas características que se detallan mediante la tabla 7.

México cuenta con las siguientes instalaciones portuarias distribuidas a lo largo del territorio nacional:

Tabla 7. Instalaciones portuarias PEMEX

Puerto	Región	Estado	Posiciones de amarre	Calado pies	DWT Miles
La Paz	Noroeste	Baja California Sur	2	36/34	50/43
Mazatlán	Noroeste	Sinaloa	1	35	45
Rosarito	Noroeste	Baja California	3	60/34/30	60/45/30
Topolobampo	Noroeste	Sinaloa	2	36-11/38-10	43.7/43.7
Lázaro Cárdenas	Occidente	Michoacán	2	43/43	60/50
Manzanillo	Occidente	Colima	3	43/41/37	55/55/55
Acapulco	Sur	Guerrero	1	32	45
Veracruz	Golfo	Veracruz	2	30	40/40
Lerma	Sureste	Campeche	3	12	5.0
Progreso	Sureste	Yucatán	1	32	45

Fuente: Secretaría de Energía con información de Pemex.

2.8.6. Nuevos proyectos de almacenamiento

Dentro de las múltiples consideraciones que se deben tener acerca del problema de localización optima, es importante tener una prospectiva del comportamiento del mercado a corto y largo plazo. Para este caso el proyecto contemplará los proyectos de almacenamiento y distribución que están en construcción, que cuentan con el permiso o que están en proceso de obtenerlo, así como los proyectos que solo han sido anunciados como proyectos de construcción a nivel nacional. Esta información la da a conocer la CRE en su página de todos los proyectos de iniciativa privada que se están aprobando.

Tabla 8. Listado de nuevos proyectos de almacenamiento de petrolíferos publicados

Entidad	Municipio	Capacidad Nominal (mb)	Inversión (MDD)
Aguascalientes	Cosío	224	$45.00
Baja California	Mexicali	200	$27.89
Baja California	Ensenada	1,000	$139.47
Baja California	Rosarito	700	$97.63
Chiapas	Puerto Madero	25	$1.00
Chihuahua	Chihuahua	130	$13.00
Ciudad de México	Cuauhtémoc	3	$0.00
Ciudad de México		800	$60.00
Colima	Manzanillo	319	$19.34
Colima	Manzanillo	870	$52.75
Colima	Manzanillo	1,682	$101.98
Colima	Manzanillo	510	$30.92
Durango	Durango	960	$0.00
Estado de México	Jilotepec	2,200	$68.10
Estado de México	Acolman	865	$26.78
Estado de México	Jocotitlán	210	$6.50
Estado de México	Atlacomulco	95	$2.94
Estado de México	Axapusco	1,040	$32.19

Entidad	Municipio	Capacidad Nominal (mb)	Inversión (MDD)
Estado de México	Temascalapa	860	$26.62
Estado de México		900	$27.86
Guanajuato	San José Iturbide	675	$19.00
Hidalgo	Tula	720	$24.85
Hidalgo	Tula	700	$24.15
Jalisco	Lagos de Moreno	50	$40.00
Michoacán	Lázaro Cárdenas	N/D	$0.00
Michoacán	Lázaro Cárdenas	1,500	$0.00
Nuevo León	Juárez	25	$4.76
Nuevo León	Monterrey	325	$61.83
Nuevo León	General Escobedo	1,080	$205.47
Nuevo León	Nuevo León	690	$131.27
Nuevo León	Monterrey	650	$123.66
Puebla	Huejotzingo	860	$105.77
Puebla	Puebla	10	$1.23
Querétaro	Querétaro	450	$64.60
Querétaro	San Pedro Escobedo	156	$22.40
San Luis Potosí	Parque Logístico	300	$126.24
San Luis Potosí	San Luis Potosí	325	$136.76
Sinaloa	Topolobampo	1,000	$150.00
Sonora	Hermosillo	130	$12.00
Sonora	Santa Ana	31	$0.00
Sonora	San Miguel de Horcasitas	730	$0.00
Sonora	Guaymas	68	$0.00
Sonora	Hermosillo	600	$45.00
Tabasco	Paraíso/Dos Bocas	600	$46.00
Tamaulipas	Nuevo Laredo	100	$14.17
Tamaulipas	Nuevo Laredo	32	$4.53
Tamaulipas	Altamira	950	$134.61
Tamaulipas	Matamoros	6.2	$0.88
Tamaulipas	Altamira	1,265	$179.24
Tamaulipas	Reynosa	300	$42.51
Tamaulipas	Altamira	640	$90.68
Tamaulipas	Altamira	1,600	$226.71

Entidad	Municipio	Capacidad Nominal (mb)	Inversión (MDD)
Tamaulipas	Matamoros	270	$38.26
Tamaulipas	Tampico	10	$1.42
Veracruz	Puerto de Veracruz	316	$18.21
Veracruz	Veracruz	1,400	$155.00
Veracruz	San Juan de Ulúa	464	$26.74
Veracruz	Tuxpan	2,860	$164.81
Veracruz	Tuxpan	1,400	$80.68
Veracruz	Tuxpan	3,158	$181.98
Veracruz	Nuevo Puerto de Veracruz	1,902	$109.60
Veracruz	Coatzacoalcos	N/D	$0.00
Veracruz	Tuxpan	1,553	$89.49
Veracruz	Veracruz	1,310	$75.49
Yucatán	Puerto Progreso	460	$47.00

Fuente: Elaboración propia con base en información publicada por SENER

Figura 9. Distribución de nuevos proyectos de almacenamiento publicados, 2018

Fuente: Elaboración propia con base en publicaciones de la CRE, así como revista ENERGY 21, disponible en; https://datos.gob.mx/busca/organization/cre

2.8.7. Ductos PEMEX

La infraestructura de transporte por ductos (figura 10) de acceso abierto está conformada por 10 sistemas a lo largo del país, siendo éstos de dos tipos, el primero de ellos se refiere a los Petrolíferos cuyos sistemas de ductos están conformados por los siguientes:

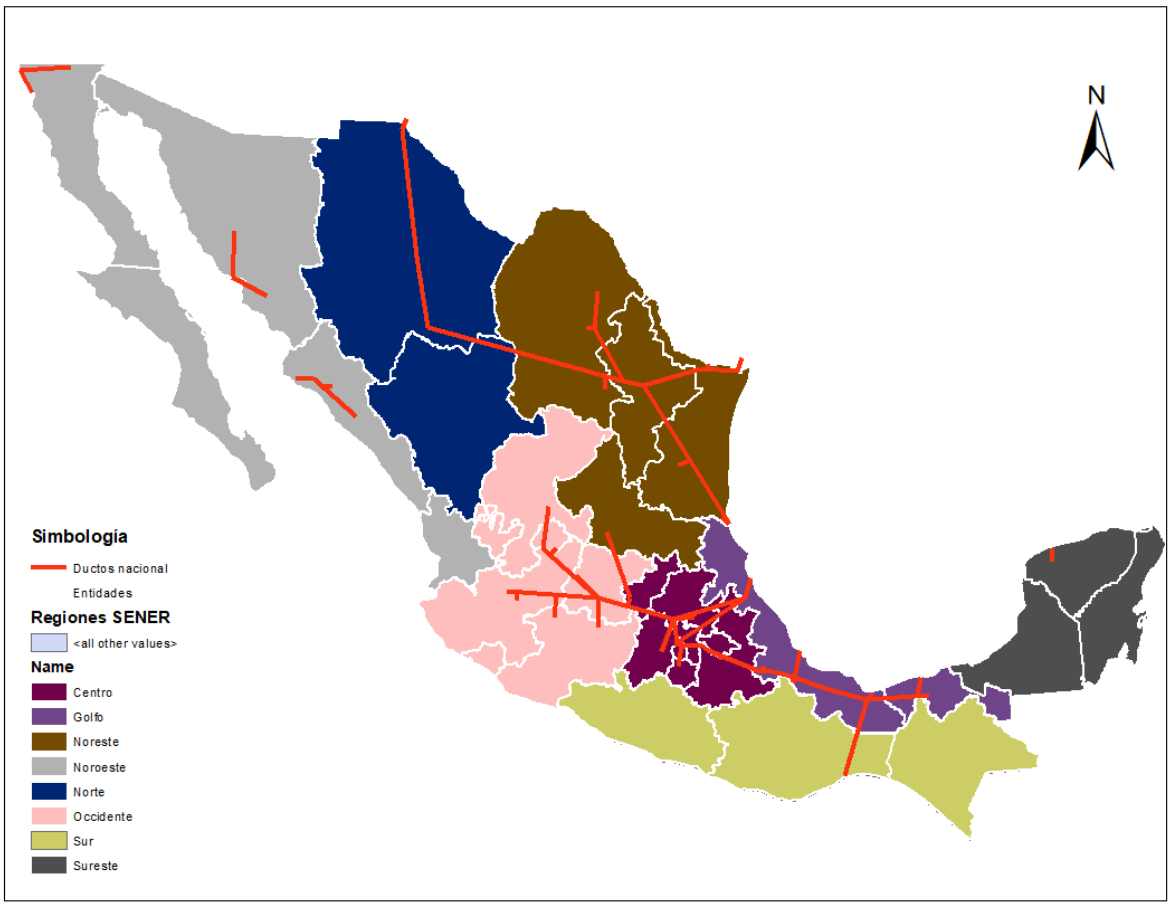
- Sistema Rosarito
- Sistema Guaymas
- Sistema Topolobampo
- Sistema Norte
- Sistema Sur-Golfo-Centro-Occidente
- Sistema Progreso

- Sistema de transporte de crudo Zona Sur-Golfo-Centro-Norte
- Sistema Nacional de Gas Licuado del Petróleo (SNGLP)
- Sistema Hobbs-Méndez

El segundo tipo de ductos son aquellos encargados de transportar los denominados Petroquímicos y lo conforman el sistema denominado Sistema de transporte de petroquímicos.

Estos dos tipos de ductos se encargan de transportar, a toda la república, productos tales como: Crudos, Gasolinas, Diésel, Gas Licuado de Petróleo y Petroquímicos.

Figura 10. Distribución territorial de, ductos a nivel nacional



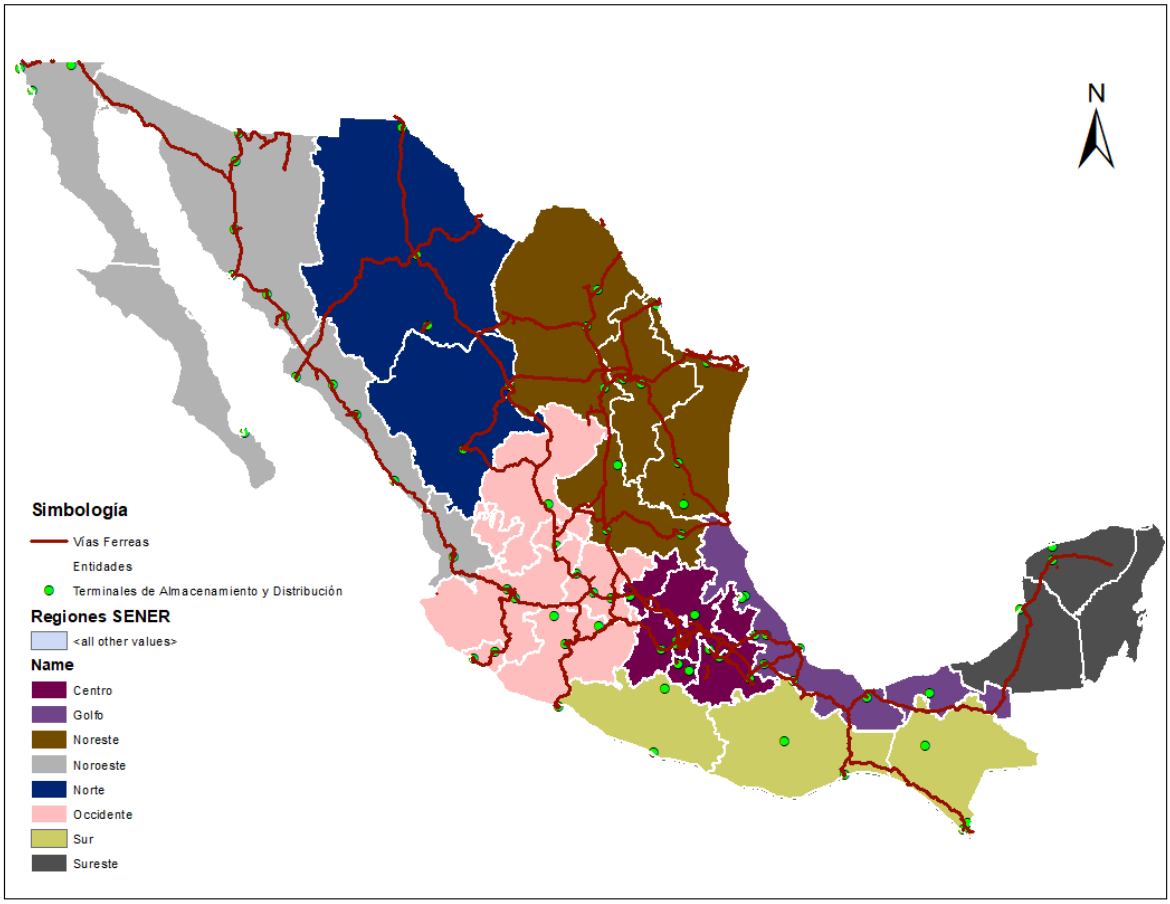
Fuente: Elaboración propia con base en información publicada por SENER

2.8.8. Vías férreas y vialidades

Dentro del proceso logístico de almacenamiento y distribución las vías del tren juegan un papel de gran importancia debido a que muchas de las terminales de almacenamiento e incluso algunas terminales marítimas, tienen diferentes formas de suministro de producto. Sin embargo, el traslado de producto mediante el Carro tanque (traslado por tren) resulta ser de menor costo en comparación con el costo de traslado por Autotanque (traslado por vialidades). El transporte de producto por Carrotanque (CT) resulta más barato que el Autotanque (AT) en cuestión logística, pero se encuentra limitado por la disponibilidad de las vías férreas que están distribuidas a nivel nacional ya que no están desarrolladas en función de la actividad de petrolíferos y solo se encuentran disponibles para algunas de terminales de almacenamiento.

A pesar de lo antes mencionado el contar con una red de vías férreas favorece el transporte de hidrocarburos por lo que es importante identificar la distribución de estas vías en las diferentes regiones. Principalmente de va a impactar en aquellas regiones que y ase ha mencionado en el apartado teórico, represente un mercado potencial, contando un alto nivel de densidad poblacional, concentre gran cantidad de actividades económicas, cuente un amplio parque vehicular y presente altos niveles de consumo de combustibles. En la tabla siguiente se puede observar la distribución de las vías férreas a nivel nacional mostrando al mismo tiempo los puntos de localización de las terminales de almacenamiento de PEMEX evidenciando aquellas que se ven favorecidas con esta infraestructura.

Figura 11. Distribución de vías férreas a nivel nacional



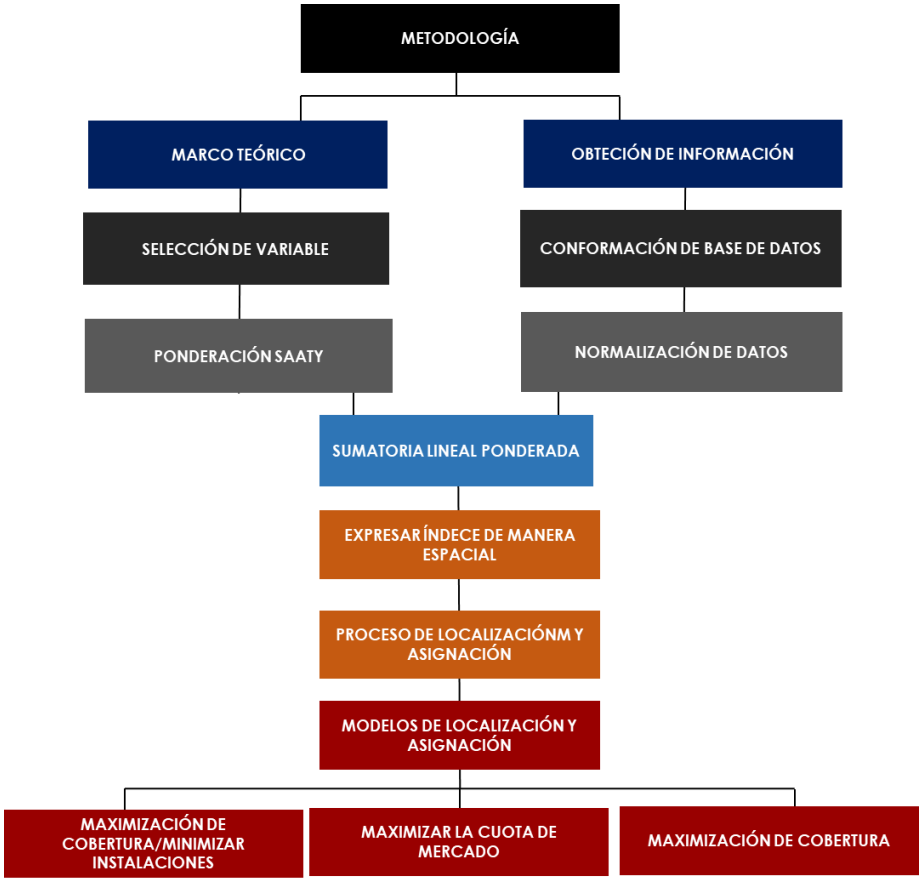
Fuente: Elaboración propia con base en información publicada por SENER.

3. PROCEDIMIENTO

En este apartado se describirá el elemento estructural del análisis el cual se conforma de diferentes etapas, se ha elegido esta metodología por que toma en consideración los factores de mayor importancia mencionados de los postulados teóricos, enfatiza la variable del mercado y permite el análisis con la información disponible de diferentes instituciones brindando certidumbre de los resultados por su composición de modelos matemáticos.

En la figura 12 se muestra de manera general pero precisa la estructura del proceso metodológico que soportara el análisis del fenómeno partiendo de la obtención de datos hasta la generación de varios modelos geoestadísticos que permitirán la identificación de una localización óptima.

Figura 12. Diagrama descriptivo metodológico



Una vez realizado la revisión de fundamentos teóricos y conceptuales, así como una breve descripción de las implicaciones que conlleva el uso de la metodología, se hace la selección de variables que determinan la localización optima de una terminal de almacenamiento y distribución de petrolíferos (Tabla 9).

De a acuerdo con Bosque (14), una de las variables de mayor importancia para este tipo de instalaciones debe ser la distancia que exista al centro urbano más cercano, la distancia entre productores e identificar las zonas con mayor demanda del servicio.

Conforme las referencias teóricas anteriores, donde se mencionan los elementos a considerar para elaborar un análisis de localización óptima para una unidad económicas del sector de petrolíferos, así como la jerarquización de una cartera de proyectos, se deben considerar elementos específicos para cada proceso, los cuales deben ser medibles, así como correlacionados entre si considerando la variable espacial.

Tabla 9. Variables determinantes para la localización optima de una terminal de almacenamiento

Variables	Indicadores	Fuente
Concentración de actividades económicas	Número de unidades económicas industriales y mineras	INEGI
	Gasto anual en combustible por unidad económica	INEGI
Distancia a centro urbano o localidad	Distancia menor a 120 kilómetros de la localidad más poblada	SEDATU
Densidad de población	Densidad por municipio	CONAPO
Tasa de crecimiento media anual	Crecimiento por municipio	CONAPO
Densidad vehicular	Densidad por municipio	INEGI
Accesibilidad por vías	Cobertura de vialidades	SCT
Terminales de almacenamiento	Distancia a terminales PEMEX	SENER
	Distancia a terminales privadas	CRE

Fuente: Elaboración propia con base en fundamentos teóricos

3.1. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN

La información necesaria para este análisis se obtendrá de múltiples lugares e instituciones. El crecimiento económico con los indicadores que lo componen se obtuvo de los Censos Económicos del 2009 y 2014 realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La información para poder estimar el tamaño del mercado por concentración de población se obtuvo del Censo de Población y Vivienda 2010 que también realiza INEGI.

La información acerca del consumo que tienen las unidades económicas de combustibles, se obtuvo la información de la página interactiva del INEGI
El listado y localización de terminales al almacenamiento y reparto, así como las Terminales Marítimas de PEMEX, que se integra en el estudio se obtuvo de la página de Infraestructura Nacional de Almacenamiento.

Por otro lado, lo que se refiere a nuevos proyectos de almacenamiento que cuentan ya con permiso o se encuentran en proceso de aprobación o que simplemente se han publicado se obtuvo de la publicación que hace la CRE, siendo que esta información puede cambiar constantemente, la institución hace publicaciones periódicas que muestra el número de proyectos, su situación y características generales. Por lo que este listado de nuevos proyectos tiene obtenido se consultó de la última publicación en agosto del 2018 y para enriquecer la información se consultaron revistas enfocadas al sector donde también se encontraron proyectos de almacenamiento de petrolíferos anunciados. La información de vialidades, así como vías férreas si obtuvo de la Secretario de Comunicaciones y Transportes.

3.2. CONFORMACIÓN DE BASE DE DATOS

Para llevar a cabo el análisis resulta necesario preparar una base de datos debidamente estructurada y filtrada con las condiciones necesarias que permitan realizar dichas operaciones en diferentes softwares utilizando los menores recursos necesarios y eficientando los procesos. La etapa del proceso de conformación de bases de datos es obtener la información de las diferentes fuentes ya mencionadas

de donde se obtienen datos con distintos tipos de formatos, por lo que se deben transformar de su formato original a uno en el que las variables puedan interrelacionar.

Para que estos datos, los cuales tendrán diferentes características se conjunten en un mismo archivo de análisis es necesario establecer un campo identificador el cual compartan todas las variables y en caso de que alguna variable no cuente con él, será necesario agregarlo asignando los datos correspondientes a un parámetro institucional (INEGI). En segundo lugar, se deberá hacer un filtrado de todos los datos dejando únicamente las variables y campos que resultan necesarios para el trabajo.

El trabajo de conformación de base de datos se realizará para los datos estadísticos en primera instancia por los formatos de origen en Excel y posteriormente se convertirá en archivo de salida para IBM SPSS Statistics 23, donde se realizarán la mayor de los cálculos de normalización de datos, así como el cálculo de indicadores. Para los datos espaciales que resultan de suma importancia porque agregan un alto nivel de especialización en los análisis de localización optima se llevaran a cabo en ArcGis 10.6. En el **Anexo** de esta tesis se muestran las tablas de las bases de datos para los cálculos de los indicadores.

3.3. ELABORAR PROCESO DE PONDERACIÓN MEDIANTE SAATY

Para cualquier trabajo de investigación la descripción y análisis son necesarios para conocer de manera adecuada las particularidades del tema en estudio, no obstante, en numerosas oportunidades, se hace preciso obtener alguna medida o magnitud resumen que permita ponderar la importancia relativa de cada una de las variables o indicadores que entran en juego en dicha descripción y análisis.

Para este proceso se realiza el listado de proyecto en forma cuadrática, es decir, en una matriz se colocan las variables tanto en las columnas como en las filas para realizar el análisis cruzado de las variables del mercado, traslado e insumos.

Posteriormente se le asignará el peso correspondiente de acuerdo con una revisión bibliográfica.

Para lograr lo anterior se comenzará haciendo un paralelismo con los numerosos estudios de evaluación multicriterio vamos a emplear un método de ponderación, que nos permita asignar pesos, jerarquías o ponderaciones a los distintos indicadores que se han calculado para generan un índice de decadencia. El objetivo de la ponderación es el de llegar a expresar, en términos cuantitativos, la importancia de los distintos elementos, agrega asimismo que, si bien es frecuente asignar pesos a los criterios, la especificación de los mismos es una cuestión en la que no existe un método generalmente aceptado para su determinación pudiéndose considerar este proceso como un aspecto que puede crear controversias acerca de la asignación de dichos pesos (23).

En este caso se ha elegido el método de análisis jerárquico propuesto por Thomas Saaty basado en comparaciones binarias de los criterios y, por otro lado, los llamados métodos de aproximación, basados en comparaciones binarias de las alternativas (24).

3.4. NORMALIZAR DATOS

El proceso de normalización de datos se realiza para lograr que cada una de las variables a analizar se pueda contener es una misma escala y de esta manera hacerlas comparables. Esto permite que al momento de realizar una ponderación asignado peso por la importancia de la variable se obtenga información objetiva y representativa del fenómeno analizado.

Para realizar esto se enlistan los índices y calcula la media aritmética de campo, posteriormente se calcula la desviación estándar de los datos para normalizar los datos de la manera siguiente:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Donde:

Z = Normalización de datos

X= Dato a normalizar

μ = Media

σ = Desviación estándar

3.5. ÍNDICE DE LOCALIZACIÓN OPTIMA POR SUMATORIO LINEAL PONDERADA

Para esta etapa se considera el resultado de ponderación anterior para relacionar esta ponderación con los valores reales de cada indicador dando como resultado un índice de ponderación en el que cada variable influye de manera diferente. A los efectos de alcanzar este parámetro recurrimos a una sumatoria lineal ponderada de los productos entre las proporciones de cada variable que impacta en la demanda natural y la ponderación que le corresponde, para cada una de las áreas, esto se resume en la siguiente expresión:

$$IJ = \sum i \quad \sum j \ (Pri \ x \ Pd)$$

Donde:

IJ = Índice de Jerarquización

Pri = Valor representativo de cada indicador

Pd = Ponderación o peso que corresponde a cada indicador

3.6. EXPRESAR ÍNDICE DE MANERA ESPACIAL

Para expresar el índice de manera espacial es necesario elaborar una base de datos con el formato específico integrando una columna de identificación para empatar con la base de datos cartográfica. Una vez que se han empatado los datos se elabora una categorización con los valores del índice de jerarquización. Dicha clasificación se puede realizar por varios métodos, los más comunes son:

- Intervalos iguales

- Natural Breacks
- Desviación estándar

Para este caso, la clasificación se realizará por las características de los datos por el método de "Natural Breaks".

Este método de clasificación es utilizado normalmente para análisis de carácter espacial en donde están involucradas variables con características del entorno físico inmediato, en donde se favorece el entendimiento las variables, así como del fenómeno analizado. Se identifica porque las características se dividen en clases cuyos límites se establecen donde hay saltos relativamente grandes en los valores.

Las clases de cortes naturales están basadas en las agrupaciones naturales inherentes a los datos. Los cortes de clase se caracterizan porque agrupan mejor los valores similares y maximizan las diferencias entre clases. Las entidades se dividen en clases cuyos límites quedan establecidos dónde hay diferencias considerables entre los valores de los datos. Esta clasificación se basa en el algoritmo de cortes naturales de Jenks (25).

3.7. PROCESO DE LOCALIZACIÓN Y ASIGNACIÓN

En esta etapa se va a retomar la matriz del cálculo del índice de ponderación para relacionar eso valores con la distribución los proyectos que se desean instaurar. Esto se realiza utilizando un campo o factor en común entre la base de los proyectos y la matriz de cálculo del índice. Una vez realizado, se ordena los datos de mayor a menor siendo el proyecto que tenga el valor del índice más alto aquel que tenga prioridad en la jerarquización, de esta manera de ordena la prioridad de proyectos quedando al final el proyecto con valor menor. Es importante mencionar que no por el hecho de tener un valor bajo o negativo el proyecto no es viable, factible o es riesgoso, este análisis solo analiza las variables del contexto para concluir con una jerarquización de la cartera de proyectos.

3.8. DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento de una TAD va de la mano con la demanda del suministro de hidrocarburos, por lo que, en esta etapa de la metodología se pretende determinar dicho dimensionamiento a partir de la demanda, la cual es representada por dos sectores primordiales, el primero de ellos se refiere a la cantidad de población circundante a la instalación, ya que es en sí la sociedad la principal demandante de este tipo de suministro y el segundo sector es el parque vehicular el cual va de la mano con el sector anterior.

En esta etapa se determinará la saturación de almacenamiento de las diferentes TAD a nivel nacional y una vez identificadas los lugares óptimos de localización, identificar que TAD se muestra ya obsoleta en su almacenamiento y así poder justificar de mejor manera la instalación de una nueva terminal en dicha zona.

Una vez identificada esta TAD se calculará el requerimiento de almacenamiento, para la nueva instalación, que garantice el suministro del combustible según lo establecido por la política pública de almacenamiento, la cual señala que, en 2020, los volúmenes mínimos de inventarios serán equivalentes a 5 días de ventas; en 2022 serán de 8 a 9 días de ventas, y de 9 a 10 días como promedio trimestral. En 2025, el inventario mínimo será de 10 a 13 días de ventas y de 12 a 15 días como promedio trimestral. La obligación de mantener inventarios mínimos será aplicable a los comercializadores y distribuidores que vendan a gasolineras o usuarios finales.

4. ANÁLISIS CONTEXTUAL

4.1. DEMANDA DE PETROLÍFEROS NACIONAL

De acuerdo con la Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos del 2017 publicado por la SENER la demanda nacional presentada en el reporte fue de 1391 mbd durante el 2016. Esta se encuentra separada en los sectores de transporte (1105.7 mbd), eléctrico (149.2 mbd), industrial (103.6 mbd) y petrolero (32.5 mbd) (tabla 10). Dentro de este ámbito en 2016 tal como se muestra en la tabla 10 el sector con

mayor demanda fue el de transporte abarcando Gasolinas, Diesel y turbosina y ocupando alrededor del 80% de la demanda nacional de petrolíferos de dicho año. Así mismo el sector que se encuentra en constante crecimiento es el industrial mientras que el eléctrico y de transporte presentan fluctuaciones y el petrolero va en decremento.

Tabla 10. Demanda de petrolíferos por sector y combustible 2010-2016 (miles de barriles diarios)

Sector	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Transporte	**1057.4**	**1063.6**	**1077.8**	**1058.9**	**1058**	**1071.4**	**1105.7**
Gasolinas	664.2	662.2	665.5	652	643.2	657	681.9
Diesel	338.3	346.5	354.7	346.6	350.1	345.5	349.6
Combustóleo	0.9	0.7	0.2	0	0.3	0.5	0.4
Turbosina	54	54.3	57.4	60.2	64.3	68.5	73.8
Eléctrico	**197.9**	**219.5**	**247**	**224**	**151.5**	**136.6**	**149.2**
Diesel	8	9.5	14.1	13.8	9.5	9.3	11.2
Combustóleo	172.5	193.2	215.6	192.4	124.2	110	122.6
Coque de Petróleo	17.4	16.8	17.4	17.8	17.7	17.4	15.4
Industrial	**90.7**	**93.7**	**92.2**	**97.4**	**88.3**	**98.2**	**103.6**
Diesel	24.5	27.3	31.4	30.9	29.4	29.7	26.3
Combustóleo	26	22.5	15.4	11.8	7	10	14.6
Coque de Petróleo	40.2	43.9	45.3	54.7	51.9	58.5	62.6
Petrolero	**50.4**	**51.1**	**46.7**	**51.2**	**48.7**	**45.7**	**32.5**
Gasolinas	0.6	0.7	1	1.1	1.7	1.5	0.8
Diesel	19.1	17.6	19.8	22.2	20.7	19.8	10.3
Combustóleo	30.7	32.8	25.9	27.9	24.4	21.4	21.4
Total	**1396.4**	**1427.9**	**1463.7**	**1431.5**	**1346.5**	**1351.9**	**1391**

Fuente: Secretaría de Energía con información de Pemex.

Por otra parte, en la demanda interna durante el 2016 (tabla 11) la entidad con mayor demanda de gasolinas fue la Ciudad de México (102.3 mbd) y seguido por el estado de México (53.4 mbd) y Veracruz (52.8 mbd). En cuanto a Diesel las 3

entidades con mayor demanda fueron: Veracruz (35.6 mbd), Nuevo León (26.2 mbd) y la Ciudad de México (25.5 mbd). Finalmente, la turbosina representó el petrolífero con menor demanda en dicho año con alrededor de 76 mbd de manera nacional y siendo las 3 entidades con mayor demanda la Ciudad de México (15.6 mbd), Veracruz (13.4 mbd) y Yucatán (12.4 mbd).

Tabla 11. Demanda interna de Gasolina automotriz por estado, 2010-2016 (miles de barriles diarios)

Estado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Aguascalientes	12.074	12.134	12.475	12.056	11.997	10.394	11.797
Baja California	39.171	40.572	41.248	39.255	36.979	38.165	40.573
Baja California Sur	9.019	8.937	8.932	8.74	8.572	8.702	9.137
Campeche	4.464	4.422	4.702	4.653	4.339	4.661	5.499
Chiapas	18.592	19.685	20.134	18.863	18.466	17.07	16.853
Chihuahua	32.33	31.612	31.617	31.411	31.323	33.01	34.334
Ciudad de México	103.974	103.235	103.093	101.451	100.155	103.636	102.378
Coahuila	17.321	16.361	16.169	16.29	15.9	16.809	17.169
Colima	21.455	21.027	21.257	17.866	17.638	18.425	22.008
Durango	19.911	19.233	19.113	19.526	20.108	21.844	19.731
Estado de México	52.516	54.077	54.24	53.977	52.906	53.367	53.439
Guanajuato	34.355	33.991	34.099	34.101	33.429	36.296	37.756
Guerrero	14.033	13.526	13.542	13.022	13.199	13.513	14.581
Hidalgo	24.739	25.241	24.741	24.223	26.572	28.77	29.229
Jalisco	41.01	41.482	40.47	41.129	39.867	40.384	41.783
Michoacán	29.784	29.531	29.028	27.858	27.898	28.331	29.416
Morelos	15.058	15.092	15.163	14.956	14.692	15.08	14.91
Nayarit	4.586	4.473	4.645	4.709	4.888	4.831	4.646
Nuevo León	46.307	44.696	44.824	44.937	45.617	47.082	49.544
Oaxaca	13.86	13.901	14.288	14.341	14.121	14.328	15.052
Puebla	33.056	32.961	32.985	32.14	30.868	29.312	29.18
Querétaro	19.085	19.387	20.962	20.921	18.799	16.975	19.093

Estado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Quintana Roo							
San Luis Potosí	16.56	16.205	16.277	15.899	15.659	16.052	16.167
Sinaloa	28.408	27.63	27.628	26.705	26.093	26.977	30.352
Sonora	24.13	24.444	24.802	24.107	23.664	23.933	25.907
Tabasco	17.311	17.996	18.396	18.235	16.204	9.547	8.92
Tamaulipas	32.257	30.339	29.986	29.171	29.131	32.28	36.278
Tlaxcala							
Veracruz	43.308	43.394	44.531	44.231	44.95	51.103	52.878
Yucatán	24.587	25.212	25.582	25.118	25.748	26.599	28.457
Zacatecas	8.363	8.33	8.257	6.992	6.52	5.379	5.556
Nacional	801.625	799.127	803.187	786.884	776.302	792.856	822.622

Fuente: Secretaría de Energía con información de Pemex.

Tabla 12. Demanda interna de diésel por estado, 2006-2016 (miles de barriles diarios)

Estado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Aguascalientes	5.012	5.228	5.263	4.966	5.574	4.389	4.519
Baja California Norte	13.55	14.317	14.871	14.289	13.497	13.021	13.759
Baja California Sur	5.319	7.461	7.866	5.768	6.809	5.64	5.563
Campeche	19.277	17.817	20.724	23.542	20.637	19.629	11.485
Chiapas	5.686				5.454	4.822	8.73
Chihuahua	15.299	16.383	17.187	17.611	17.103	16.616	16.805
Ciudad de México	25.247	25.173	26.767	25.96	26.821	25.369	25.573
Coahuila	12.079	12.909	13.091	12.929	11.579	10.343	11.246
Colima	13.199	14.053	13.586	10.18	11.964	13.526	14.702
Durango	14.881	14.18	14.514	14.356	14.512	14.809	11.529
Estado de México	16.936	17.352	16.974	16.533	17.005	16.376	17.427
Guanajuato	15.654	15.846	16.308	16.811	16.68	17.117	19.048
Guerrero	4.168	4.081	4.225	4.1.54	4.282	4.189	3.693
Hidalgo	14.315	14.966	14.778	14.068	15.976	19.99	16.514
Jalisco	17.962	18.236	17.761	18.71	17.948	16.259	17.698
Michoacán	11.344	11.797	11.944	12.47	11.873	12.43	13.21
Morelos	3.715	3.707	3.798	3.471	3.502	3.863	3.974

Estado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Nayarit	1.29	1.261	1.369	1.39	1.575	1.615	1.537
Nuevo León	25.683	25.134	27.492	26.675	28.752	28.643	26.229
Oaxaca	5.377	5.437	5.872	5.547	5.392	5.647	5.58
Puebla	14.14	13.329	13.314	13.364	13.447	11.356	11.06
Querétaro	12.512	12.745	14.981	14.012	10.966	9.155	9.029
Quintana Roo	0.198	0.2	0.743	1.083	0.385	0.607	0
San Luis Potosí	10.479	10.859	11.378	11.199	10.887	10.647	9.31
Sinaloa	18.098	18.474	18.663	19.017	19.441	20.476	22.478
Sonora	15.674	17.99	19.551	20.145	20.515	21.002	21.604
Tabasco	7.974	7.532	8.386	8.098	6.394	3.096	2.565
Tamaulipas	21.551	24.276	23.543	22.298	22.437	21.886	22.852
Veracruz	27.832	28.703	31.726	32.175	31.955	34.294	35.655
Yucatán	12.174	11.779	13.054	13.797	12.686	13.737	14.872
Zacatecas	3.567	3.405	3.77	3.647	4.107	4.034	3.561
Nacional	390.19	401.15	420.309	413.95	410.156	404.585	397.749

Fuente: Secretaría de Energía con información de Pemex.

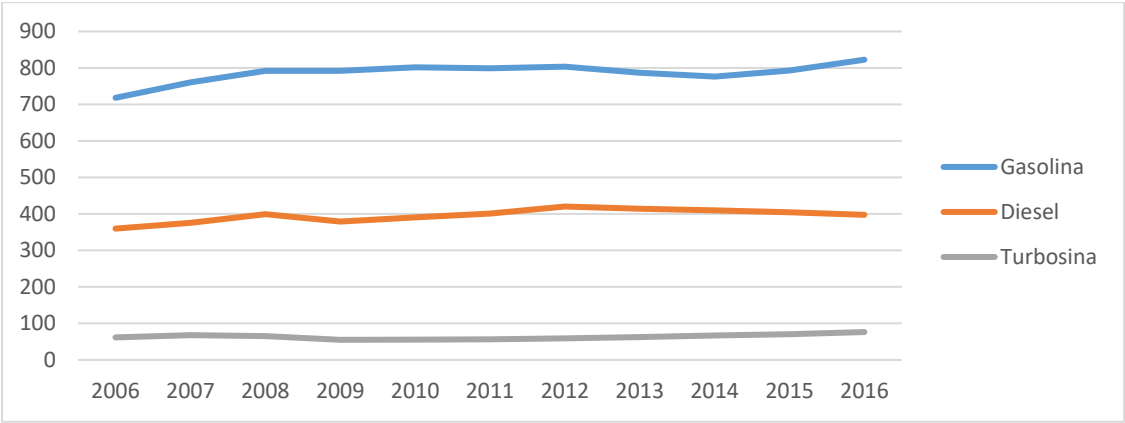
Tabla 13. Demanda interna de turbosina por estado, 2006-2016 (miles de barriles diarios)

Estado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2016
Baja California Norte	2.881	2.593	2.787	3.008	3.219	3.46	3.834	3.834
Baja California Sur	1.968	1.955	2.082	2.136	2.152	2.364	2.452	2.452
Ciudad de México	19.583	20.799	22.061	20.668	19.559	16.217	15.612	15.612
Guanajuato	8.155	7.361	8.244	10.706	9.367	9.693	9.161	9.161
Guerrero	0	0	0	0.019	0	0	0.265	0.265
Hidalgo	2.742	2.152	1.45	1.574	1.705	2.112	2.006	2.006
Nuevo Léon	3.017	3.401	4.855	3.412	3.775	3.242	2.138	2.138
Oaxaca	5.375	7.983	5.254	8.117	7.759	6.82	6.358	6.358
Sonora	1.709	1.901	1.668	1.965	1.964	2.445	3.2	3.2

Estado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2016
Tamaulipas	1.374	1.845	1.305	1.798	2.136	3.634	5.441	5.441
Veracruz	2.905	1.379	3.596	1.816	5.928	11.074	13.369	13.369
Yucatán	6.111	4.768	6	6.998	8.948	9.714	12.411	12.411
Nacional	55.819	56.137	59.303	62.239	66.512	70.74	76.248	76.248

Fuente: Secretaría de Energía con información de IMP (26).

Gráfica 1. Demanda de petrolíferos (miles de barriles diarios)



Fuente Elaboración propia con base en información publicada por SENER

4.2. OFERTA DE PETROLÍFEROS NACIONAL

Con base en los datos obtenidos de la SIE se puede observar un aumento en la oferta de petrolíferos en el periodo de 2006 a 2012 es a partir del 2013 que la misma empieza a fluctuar debido a la reforma energética y empieza un incremento sustancial en las importaciones (tabla 14).

Tabla 14. Oferta petrolíferos 2006-2016 (miles de barriles diarios)

Combustible	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Producción	**766.2**	**731**	**774.3**	**811.5**	**761.6**	**703.9**	**584.3**
Diésel	289.5	273.8	299.6	313.4	286.6	274.7	216.2
Gasolinas	424.8	400.9	418.1	437.3	421.6	381.4	325.3
Turbosina	51.9	56.3	56.6	60.8	53.4	47.8	42.8
Importaciones	**421.4**	**470.9**	**462.6**	**407**	**450.7**	**520.2**	**635**

Diésel	107.9	135.6	132.7	107	132.8	145.2	187.9
Gasolinas	313.4	335.3	326.9	296.9	306.6	352.8	414.8
Turbosina	0.1	0	3	3.1	11.3	22.2	32.3
Oferta total	**1187.5**	**1201.8**	**1237**	**1218.6**	**1212.3**	**1224.1**	**1219.3**
Diésel	397.4	409.3	432.3	420.5	419.4	419.9	404.1
Gasolinas	738.2	736.2	745	734.2	728.2	734.2	740
Turbosina	51.9	56.3	59.6	63.9	64.7	70.1	75.1

Fuente: Secretaría de Energía con información de Pemex.

4.2.1. IMPORTACIÓN DE PETROLÍFEROS

En México se consume más combustible refinado del que se logra producir en las refinerías por lo que debido a este déficit resulta necesario llevar a cabo un proceso de importación de diferentes países del mundo en diferentes proporciones. Al ser responsabilidad de Pemex satisfacer las necesidades de hidrocarburos (tabla 15).

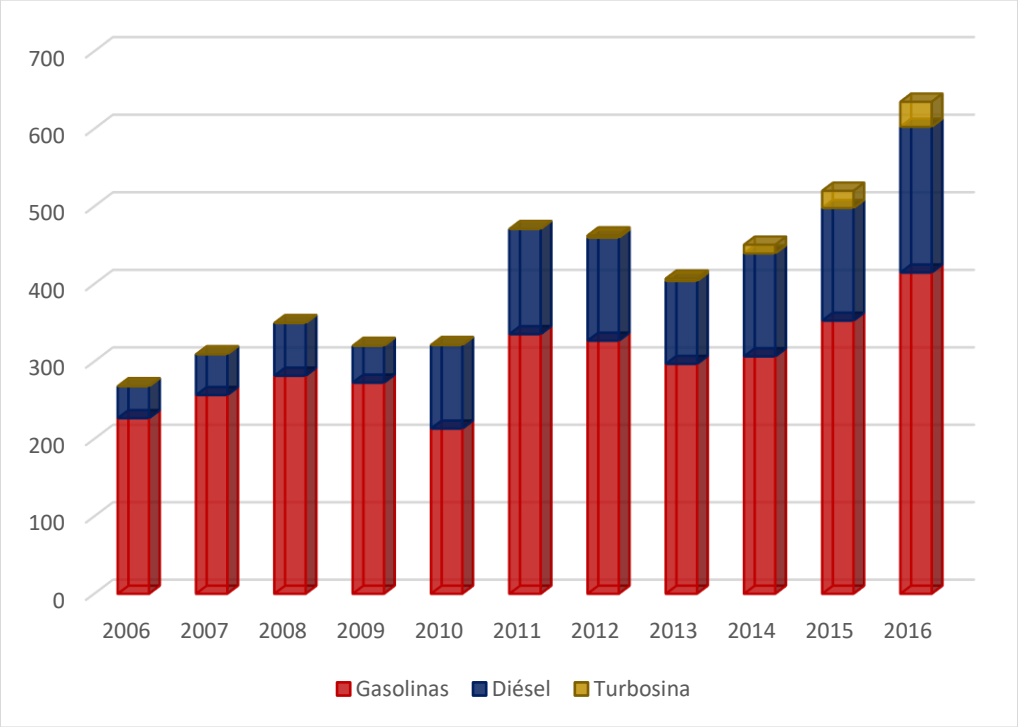
Tabla 15. Puntos de importación y puntos de internación

País (Mb)	julio-2018
Importaciones totales	**20,243**
Total PEMEX	19,521
Total Privados	723
% de importaciones totales (PEMEX)	96.43%
% de importaciones totales (Privados)	3.57%
Estados Unidos (PEMEX)	17,189
Holanda (PEMEX)	301
Francia (PEMEX)	-
España (PEMEX)	231
India (PEMEX)	-
Reino Unido (PEMEX)	
Bahamas (PEMEX)	272
Canadá (PEMEX)	-
Antillas (PEMEX)	-
Trinidad y Tobago (PEMEX)	-
Corea (PEMEX)	111
Gran Bretaña (PEMEX)	-
Turquía (PEMEX)	-

País (Mb)	julio-2018
Noruega (PEMEX	-
Lituania (PEMEX)	-
Estonia (PEMEX)	-
Finlandia (PEMEX)	-
Brasil (PEMEX)	6
Bélgica (PEMEX)	-
Singapur (PEMEX)	-
Suecia (PEMEX)	-
Panamá (PEMEX)	-
Portugal (PEMEX)	-
Italia (PEMEX)	424
Argentina (PEMEX)	-
Japón (PEMEX)	-
Rusia (PEMEX)	-
Puerto Rico (PEMEX)	5
Ucrania (PEMEX)	-
Qatar (PEMEX)	-
Emiratos Árabes Unidos (PEMEX)	-
Malasia (PEMEX)	-
China (PEMEX)	-
Venezuela (PEMEX)	974
Hon Kong	-
Comunidad Europea (PEMEX)	-
Estados Unidos (privados)	722
Francia (privados)	1
Gran Bretaña (privados)	-
Italia (privados)	-
Alemania (privados)	-
Estados Unidos (PEMEX)	7862
Japón (PEMEX)	170
Canadá (PEMEX)	-
Colombia (PEMEX)	-
Malasia (PEMEX)	-
China (PEMEX)	160
Estados Unidos (privados)	1607
Francia (privados)	0

Fuente: Tabla realizada con datos de Julio del 2018 con información de Prontuario estadístico de Petrolíferos.

Gráfica 2. Importaciones históricas de petrolíferos a nivel nacional



Fuente Elaboración propia con base en información publicada por SENER

4.2.2. PUNTOS DE IMPORTACIÓN E INTERNACIÓN

Las importaciones en lo que respecta a PEMEX cuenta con un total de 19,521 y privados 723, dando un total de 20,243 importaciones en el mes de Julio del 2018. Mediante esta tabla podemos percatarnos de que el mayor importador al país vía PEMEX es Estados Unidos, así como también en el sector privado sigue siendo Estados Unidos.

Se debe tomar en cuenta que Estados Unidos es el país con más fuerza capitalista en el mundo, así como también es el principal país industrial y el principal importador.

Descripción de puntos de importación y de internación.

A nivel nacional se manejan petrolíferos producidos en el SNR y los importados vía marítima y terrestre, estos productos son los encargados de satisfacer la demanda poblacional del país, la importación es llevado a cabo mediante:

- Terminales Marítimas.
- Instalaciones Portuarias.
- Terminales Terrestres de Almacenamiento.

Los diferentes puntos de importación a nivel nacional se encargan de recibir el producto externo para así distribuirlo a las Terminales de Almacenamiento y Distribución, así como Terminales Marítimas utilizando medios de transporte como: Buquetanque, Ducto, Autotanque y Carrotanque como se muestra en la figura 13.

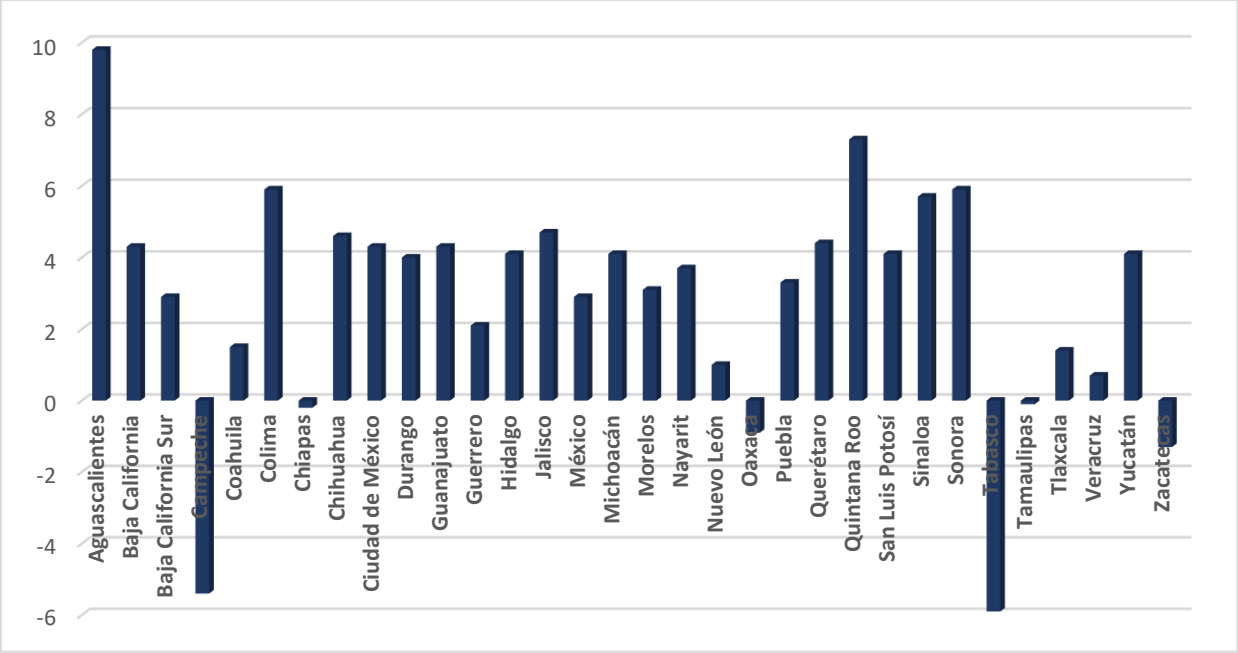
Figura 13. Distribución de punto de importación e internación.

Fuente: Elaboración propia con base en información publicada por SENER

4.3. PERFIL ECONÓMICO

En el contexto nacional se debe remarcar que de todas las adaptaciones que han generado a largo de los últimos años, el perfil económico del país es el que ha presentado cambios constantes justificadas por el comportamiento de las economías internacionales. Es debido a lo anterior que cada proyecto de inversión que se genera debe conocer las condiciones económicas tanto nacionales como de cada entidad federativa debido considerando las posibles variaciones que se pueden generar a partir de cambios políticos sociales, territoriales y hasta ambientales. Es la estabilidad económica de un territorio lo que puede favorecer o perjudicar del desarrollo de un proyecto de inversión y a su vez será el entorno inmediato un factor para mantener una estabilidad o un proceso de crecimiento.

Gráfica 3. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa, 2016



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI, 2016.

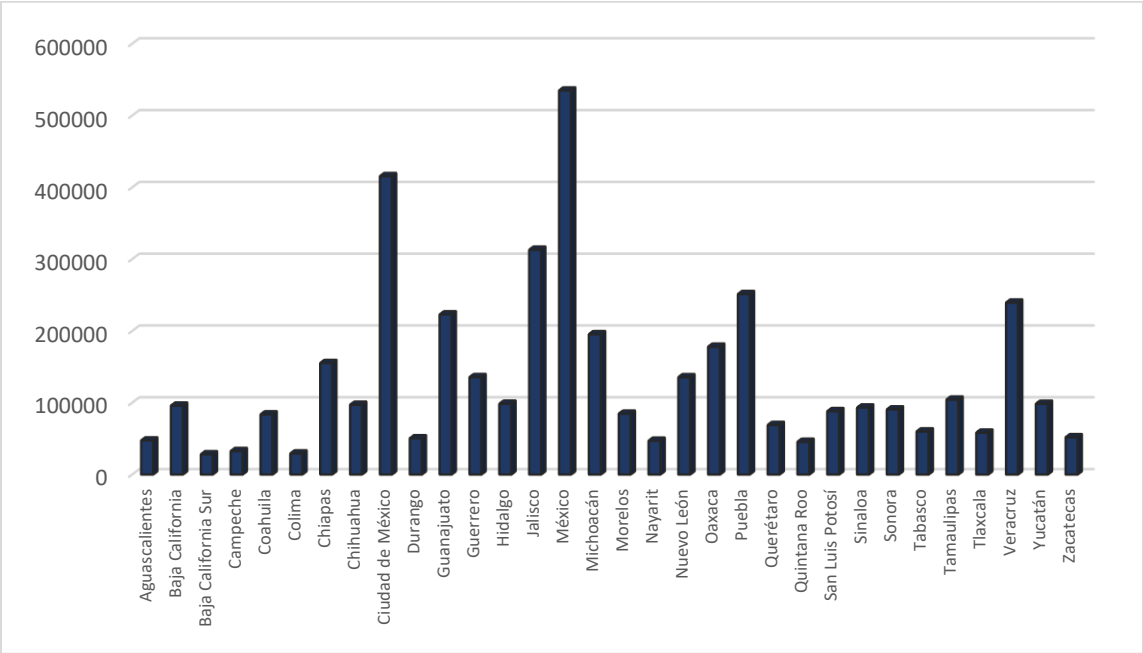
En la gráfica 3 se puede observar el Producto Interno Bruto por entidad federativa en variación porcentual que se registró para el año 2016 de acuerdo con

información publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (27). En donde resalta con el mayor crecimiento Aguascalientes, seguido por Quintana Roo, Sonora, Sinaloa y Colima.

Para complementar el análisis económico de mercado que involucra el sector de hidrocarburos es necesario conocer las condiciones de estabilidad económica y financiera que tiene cada entidad federativa. Es por lo que en este apartado se retoman las variables seleccionadas de acuerdo con el marco teórico que corresponden al sector económico para mostrar el comportamiento de las variables.

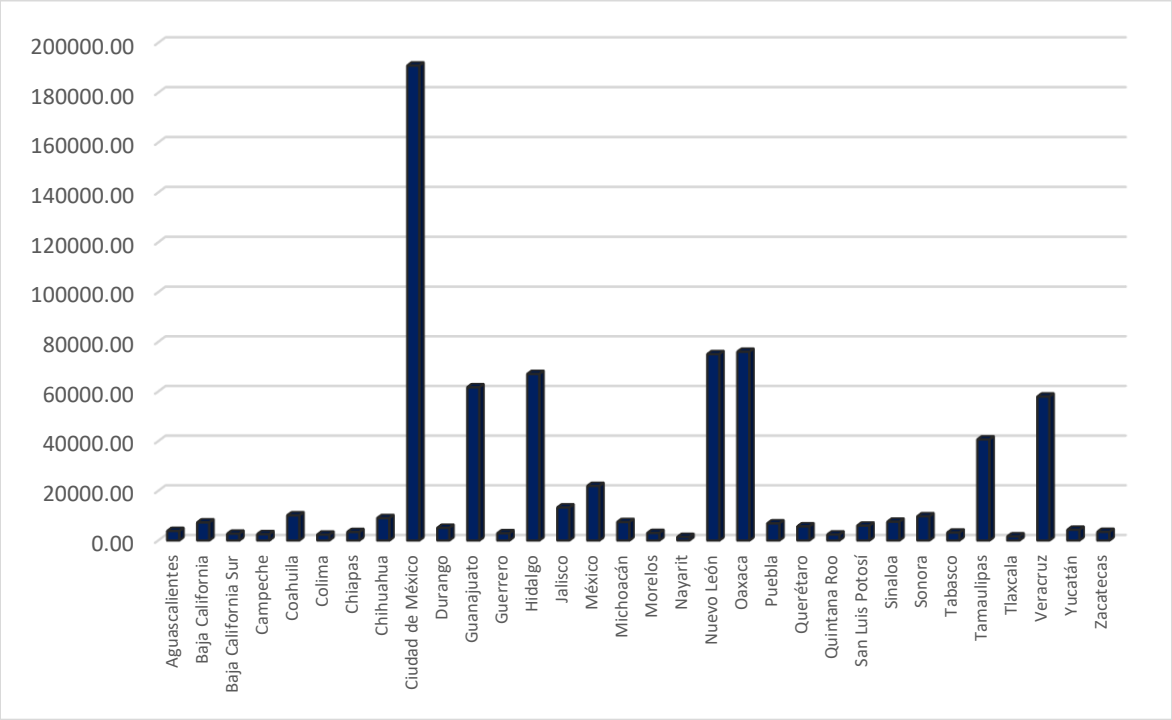
En la gráfica 4 se muestra el número de unidades económicas por entidad y en la gráfica 5, presenta el consumo de combustible de las unidades económicas por entidad federativa.

Gráfica 4. Unidades económicas por entidad federativa



Fuente: Elaboración propia con base en censo económico (INEGI, 2014)

Gráfica 5. Consumo de combustible de unidades económicas por entidad federativa



Fuente: Elaboración propia con base en censo económico (28)

4.4. PERFIL SOCIAL

Es el factor social uno de los elementos que más impactan en el comportamiento del mercado siendo la población del entorno que favorece el consumo y facilita el desarrollo de la actividad. La capacidad que tiene el crecimiento poblacional para elaborar una prospectiva de consumo para este proyecto es determinante sin embargo dentro del proceso de ponderación debido a la existencia de datos de consumo regional se le ha asignado una ponderación de importancia media.

En la tabla 16 se muestra la población total por entidad federativa el área y por último la densidad de población

Tabla 16. Comportamiento de la distribución de la población por entidad federativa

Entidad	Población	Área	Densidad
Ciudad de México	8851080	1480.0	5980
Guerrero	3388768	63584.0	53
México	15175862	22261.2	682
Morelos	1777227	4869.0	365
Sinaloa	2767761	56670.0	49
Sonora	2662480	181010.0	15
Baja California	3155070	73510.0	43
Baja California Sur	637026	74300.0	9
Colima	650555	5800.0	112
Nayarit	1084979	27800.0	39
Jalisco	7350682	77880.0	94
Michoacán de Ocampo	4351037	58044.0	75
Durango	1632934	122250.0	13
Chihuahua	3406465	247910.0	14
Zacatecas	1490668	74540.0	20
Chiapas	4796580	73716.0	65
Tabasco	2238603	24610.0	91
Oaxaca	3801962	93940.8	40
Querétaro	1827937	11580.0	158
San Luis Potosí	2585518	60585.0	43
Guanajuato	5486372	30142.0	182
Aguascalientes	1184996	5590.0	212
Veracruz	7643194	71455.4	107
Tlaxcala	1169936	3973.5	294
Puebla	5779829	34159.7	169
Hidalgo	2665018	20686.0	129
Nuevo León	4653458	63706.0	73
Coahuila	2748391	151220.0	18
Tamaulipas	3268554	79158.0	41
Yucatán	1955577	39494.0	50
Campeche	822441	57400.0	14
Quintana Roo	1325578	44520.0	30

Fuente: Elaboración propia con base en Ceso de Población y Vivienda (29)

Debido a las condiciones de heterogeneidad que caracterizan a las zonas urbanas, es difícil decir que pueden ser comparables territorios rurales y urbanos en sus múltiples factores. Tal es el caso del factor demográfico ya que a pesar de que existen en las pueden existir cantidades similares de población por cada entidad la superficie territorial puede ser completamente diferente por lo que para determinas el tamaño del mercado por la concentración poblacional es importante obtener la densidad de población, lo cual se obtiene de la manera siguiente:

$$Dp = \frac{PT}{A}$$

Donde:

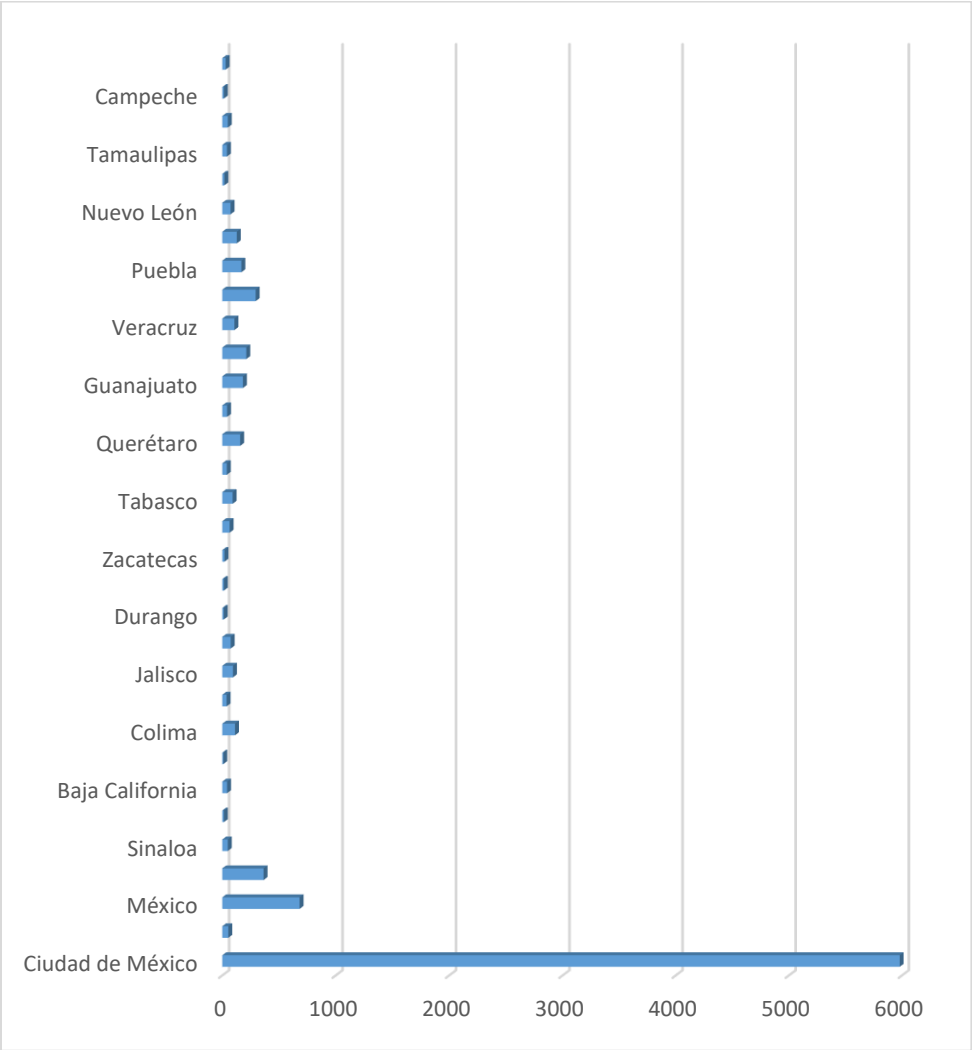
DP= Densidad de población

PT= Población total de la unidad territorial

A= Área total de la unidad territorial

En la gráfica 6 se puede observar con mayor claridad la diferencia que puede representar el crecimiento del mercado urbano debido a la alta concentración de población en un espacio reducido, siendo la Ciudad de México la entidad con mayor densidad de población, concentrando en promedio cerca de 6,000 habitantes por kilómetro cuadrado.

Gráfica 6. Densidad de población por entidad federativa



Fuente: Elaboración propia con base en Censo de Población y Vivienda (29)

Para complementa este apartado es importante poder llevar estas variantes al plano espacial identificado las zonas con mayor concentración de población representado un mercado potencial para los proyectos de inversión. En la figura 14 se muestra la densidad de población por municipio a nivel nacional.

Figura 14. Distribución territorial de la densidad de población por municipio

Fuente: Elaboración propia con base en Censo de Población y Vivienda (29)

En la figura anterior se puede observar que destacan las grandes urbes como la Ciudad de México Monterrey y Guadalajara. Sin embargo, existen otras ciudades que por el nivel crecimiento en infraestructura y equipamiento urbano, se encuentran en proceso de expansión y con capacidad de recibir población de otras ciudades. Es importante considerar los factores territoriales económicos y sociales, ya que estos pueden influir en los cambios de patrones del mercado.

Es por lo ya mencionado que dentro de las múltiples herramientas que se pueden aprovechar de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se han implementado técnicas que ayudar a identificar zonas propensas a desarrollo, lo cual resulta atractivo para los inversionistas. En este análisis se hará uso de la herramienta de interpolación Kriging. Esta herramienta es un procedimiento geoestadístico

avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z.

A diferencia de otros métodos de interpolación del conjunto de herramientas Interpolación, utilizar la herramienta Kriging de forma efectiva implica una investigación interactiva del comportamiento espacial del fenómeno representado por los valores z antes de seleccionar el mejor método de estimación para generar la superficie de salida.

Kriging presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. Por lo que ajusta una función matemática a un número específico de puntos o a todos los puntos dentro de un radio especificado, para determinar el valor de salida para cada ubicación. Este método es más adecuado cuando se sabe que hay una influencia direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos.
La fórmula general para el interpolado se forma como una suma ponderada de los datos:

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z(S_i)$$

donde:
$Z(s_i)$ = el valor medido en la ubicación n.º *i*

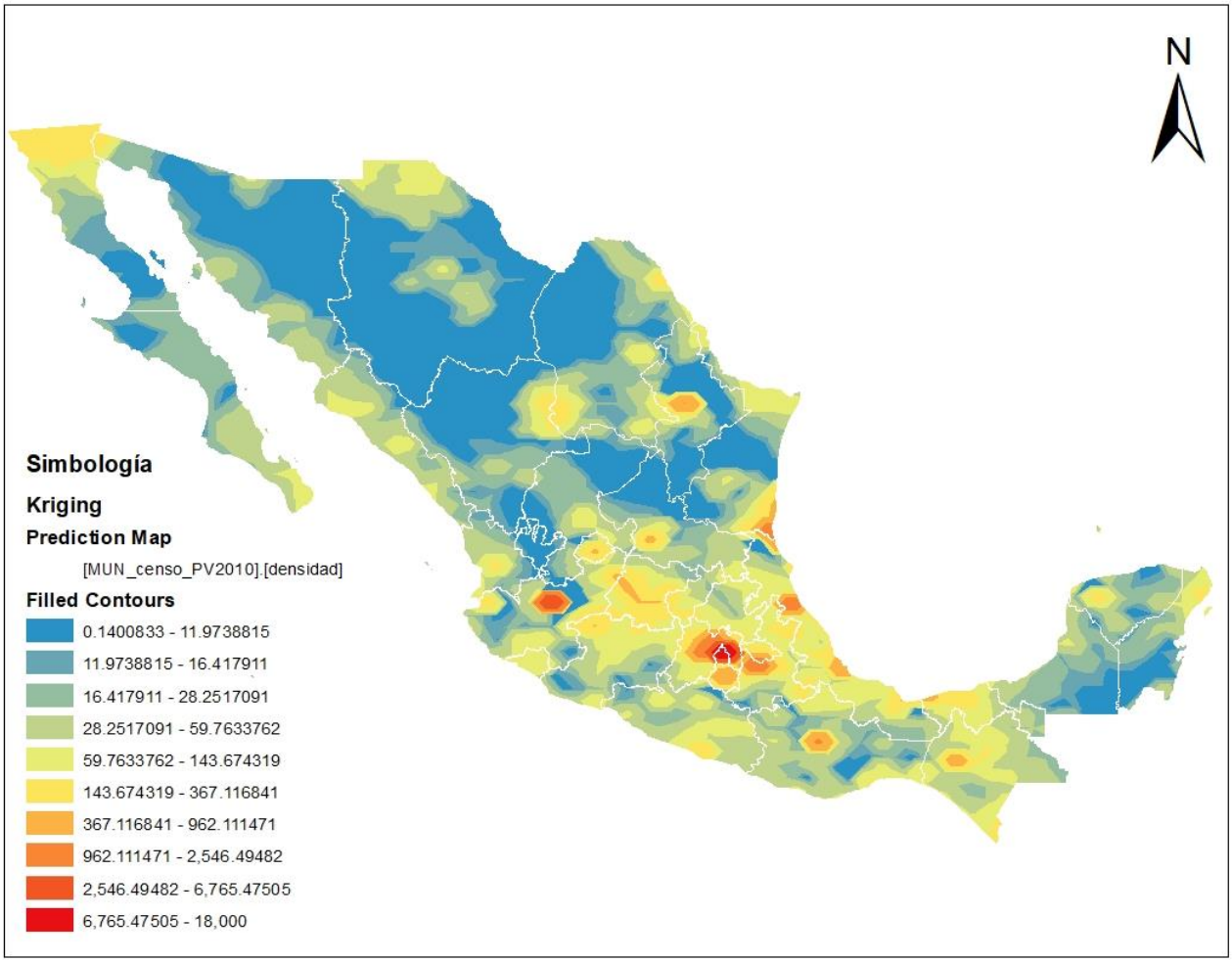
λ_i = un peso desconocido para el valor medido en la ubicación n.º *i*

s_0 = la ubicación de la predicción

N = el número de valores medidos

La figura 15, muestra el resultado de la interpolación mediante Kriging utilizando como variable la densidad de población por municipio a nivel nacional.

Figura 15. Interpolación mediante Kriging de la densidad de población por municipio



Fuente: Elaboración propia con base en Ceso de Población y Vivienda (29)

5. RESULTADOS

En la vida cotidiana una cuestión muy usual es la necesidad de desplazarse sobre el espacio geográfico para poder hacer uso de diversos servicios. Todos estos desplazamientos suponen un gasto económico o de tiempo o esfuerzo, por ello la organización de la sociedad y su plasmación sobre el territorio geográfico implica considerar la posibilidad de estudiar cómo son estos desplazamientos, tan numerosos y que afectan a tantos millones de personas de manera cotidiana, para intentar reducirlos y simplificarlos en una medida.

Es por lo anterior que la planificación de servicios se presenta, en la actualidad, como un campo de investigación de gran dinamismo. Los modelos de mayor aplicación han quedado establecidos desde un punto de vista conceptual y práctico desde hace aproximadamente cuatro décadas, pero solo hasta la década de 1990 han comenzado lentamente a difundirse en el ambiente digital a través de software destinado al apoyo en la toma de decisiones (30).

Por lo que el desarrollo de la tecnología va a ayudar para el desarrollo del mecanismo de localización optima, siendo necesario primero generar la ponderación de aquellas variables que van a determinar las condiciones de demanda para cada municipio utilizando el método de ponderación previamente descrito (tabla 17, 18 y 19).

Tabla 17. Proceso de ponderación (etapa 1)

	Población total	Parque vehicular	Unidades económicas	Gasto en combustible
Población total	1	1/3	5	3
Parque vehicular	3	1	5	3
Unidades económicas	1/5	1/5	1	1/3
Gasto en combustible	1/3	1/3	3	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Proceso de ponderación (etapa 2)

	Población total	Parque vehicular	Unidades económicas	Gasto en combustible
Población total	1.00	0.33	5.00	3.00
Parque vehicular	3.00	1.00	5.00	3.00
Unidades económicas	0.20	0.20	1.00	0.33
Gasto en combustible	0.33	0.33	0.33	1.00
Total	4.53	1.87	11.33	7.33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Proceso de ponderación (etapa 3)

	Población total	Parque vehicular	Unidades económicas	Gasto en combustible	Ponderación
Población total	0.22	0.18	0.44	0.41	0.31
Parque vehicular	0.66	0.54	0.44	0.41	0.51
Unidades económicas	0.04	0.11	0.09	0.05	0.07
Gasto en combustible	0.07	0.18	0.03	0.14	0.10

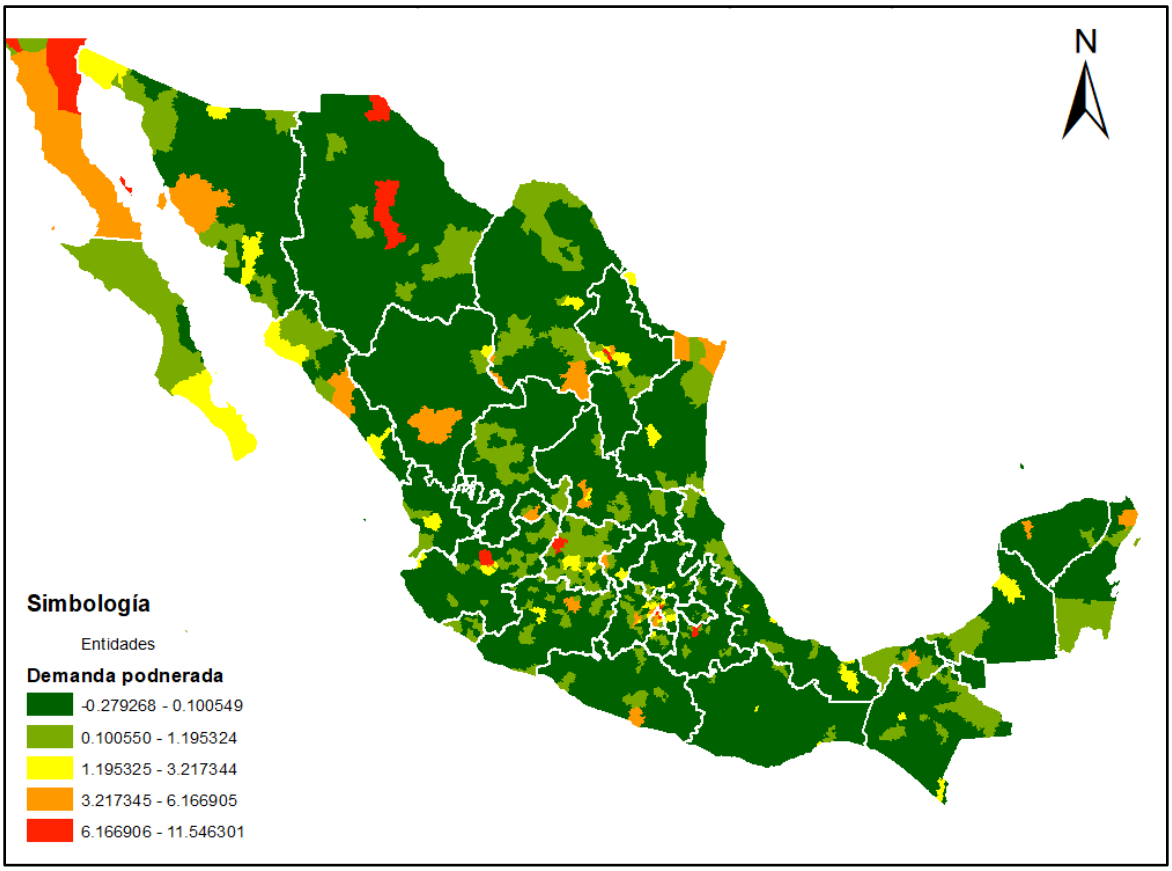
Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el proceso de ponderación para las variables que van a impactar en la demanda a nivel municipal, se realiza una sumatoria lineal ponderada con los datos de cada indicador previamente estandarizados para poder hacerlos comparables. Es esta etapa ya se pueden conocer datos acerca de las condiciones de demanda por lo que corresponde realizar la representación espacial asociando el dato obtenido a los datos espaciales municipales.

Para dicha representación la figura 16 muestra la distribución espacial de la demanda de petrolíferos una vez realizada la normalización de datos y ponderación de los mismos. Se puede observar que el comportamiento de esta es muy variado a pesar de que influye en este índice un factor tan importante como lo es el crecimiento demográfico, este fenómeno no se comporta como lo hace el

crecimiento de población debido a que, de acuerdo con la teoría, existen otros elementos que también van a impactar el comportamiento de consumo de combustible. En este caso la concentración de unidades económicas, el número de vehículos y el gasto en combustible por unidad económicas están influyendo en la manera de consumir petrolíferos por municipio.

Figura 16. Distribución espacial de la demanda de petrolíferos ponderada

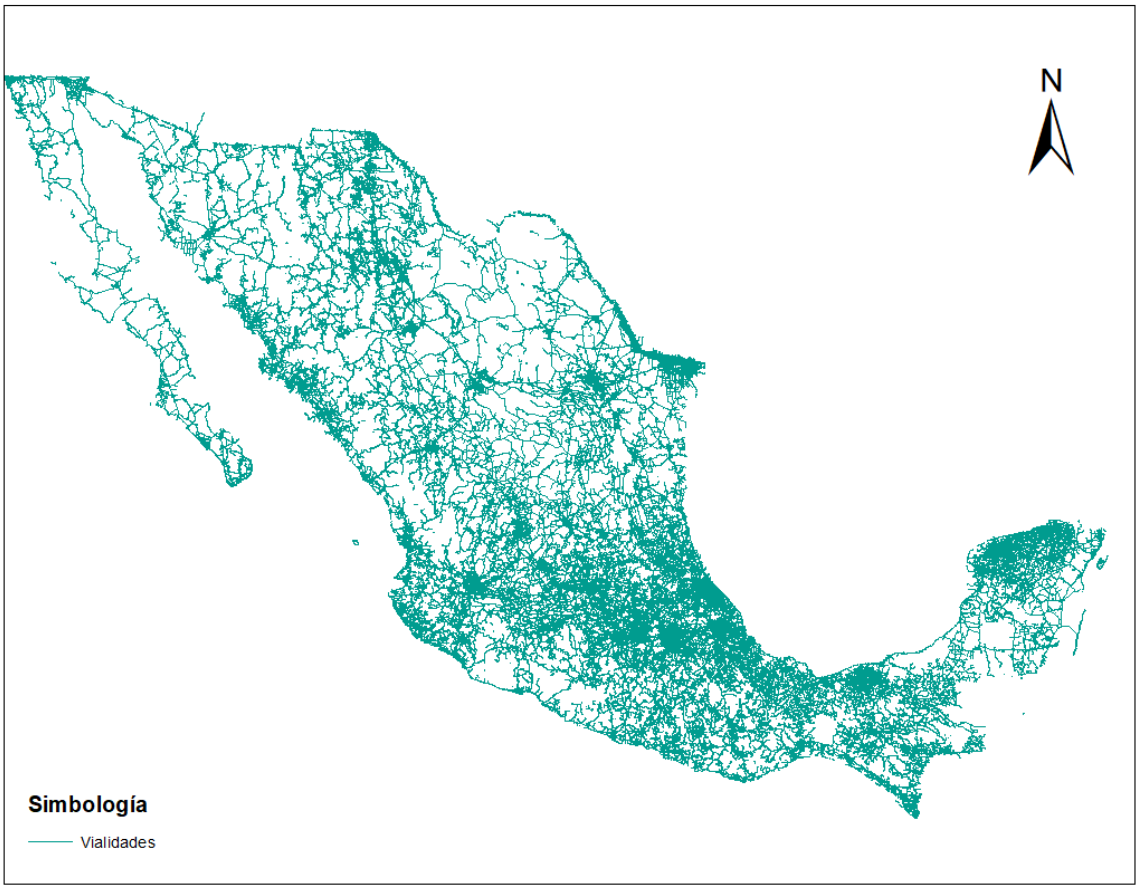


Fuente: Elaboración propia con base en información publicada por INEGI

Por otra parte, para complementar el análisis de localización es necesario incluir la traza urbana o las vialidades por las que se podrá distribuir el combustible. Siendo un análisis de localización espacial es determinante poder identificar el nivel de accesibilidad con el que cuenta cada área del territorio, lo cual esta precisado por parte de la red carretera del país.

En la figura 17 se puede observar la distribución de la red vial a nivel nacional la cual brinda un nivel de accesibilidad al cada municipio. La importancia que genera una base de datos que contenga una red de vialidades para este modelo es la de brindar un factor de conectividad y accesibilidad en cuestión de distancia desde los puntos de localización ya sea hacia los puntos de oferta y principalmente a los puntos de demanda.

Figura 17. Red vial a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia con base en información publicada por INEGI

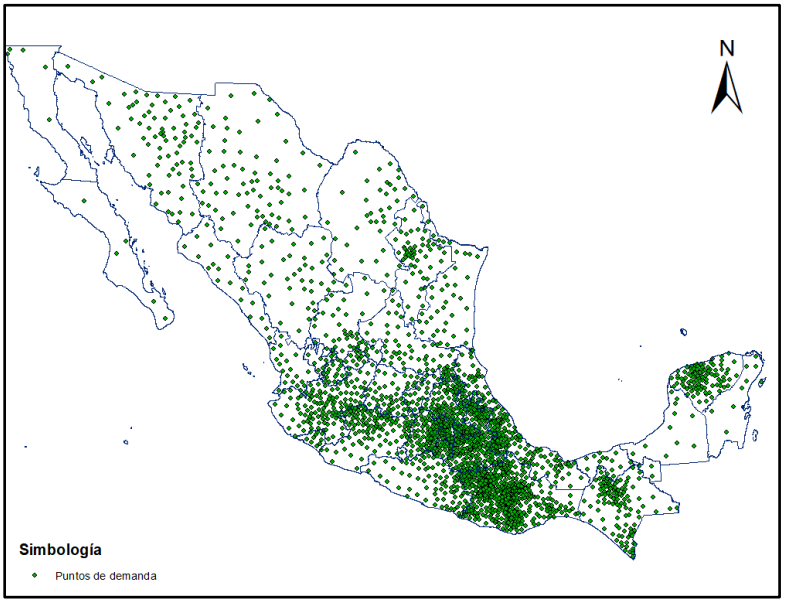
La aplicación de modelos de localización-asignación implica contar con una oferta distribuida de manera puntual, y una demanda que con motivos de simplificación puede ser asignada a un centroide de cada área, y a una red de transporte que las vincula. Sin embargo, la aplicación de métodos que tienden a

la búsqueda de nuevas localizaciones de oferta debe considerar, de manera inicial, la determinación de posibles sitios candidatos, es decir, una cantidad de puntos seleccionables con la finalidad de elegir los mejores con base en el objetivo del modelo aplicado.

El estudio se realiza tomando como base los aspectos teóricos y metodológicos desarrollados con anterioridad y presenta un análisis basado en la estructura espacial vectorial compuesta por puntos, arcos (líneas) y polígonos (áreas). La aplicación se centra en el análisis de la justicia espacial de un servicio de almacenamiento y distribución de petrolíferos.

La estructura de puntos corresponde a los centroides de los municipios que representan la demanda al tener asociados los datos de ponderación para las variables de la demanda previamente calculada. En la figura 18 se puede observar la distribución y concentración de los puntos de demanda a nivel nacional. Se debe aclarar que cada punto tiene asociado un valor que dicta el nivel de demanda que alcanza, por lo que el hecho de tener una fuerte concentración de puntos no indica necesariamente que tiene una fuerte demanda.

Figura 18. Localización de puntos de demanda de petrolíferos a nivel nacional



En esta estructura, los puntos corresponden a municipios existentes y centroides de radios censales que actúan como puntos de demanda (al asignarle los valores poblacionales de demanda potencial) y, al mismo tiempo, como sitios candidatos para la localización de nuevos centros. Las líneas corresponden a las calles como vías de circulación mediante las cuales se vincularán espacialmente los puntos de oferta y demanda, y los polígonos son áreas con diversos valores poblacionales de utilidad potencial.

5.1. ANÁLISIS DE DIMENSIONAMIENTO

Para determinar el dimensionamiento se elaboraron dos tablas, en la primera de ellas (tabla 20) se muestra la saturación de almacenamiento de cada TAD por región, a nivel nacional. En la segunda tabla (tabla 21) se identifica el requerimiento de almacenamiento de cada una de las TAD para que se garantice el suministro de combustible, así como su funcionalidad, ambas tablas cuentan con una proyección hacia el 2030 y son de suma importancia para identificar las terminales que pudieran ser consideradas rezagadas en su almacenamiento.

Tabla 20. Prospectiva de saturación para almacenamiento de petrolíferos por TAD PEMEX (mbd)

	Cap. Op. (MB)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Nacional	17,236	3,716	3,835	6,551	6,814	11,498	11,958	12,296	16,744	17,278	17,744	18,028	18,310	18,532
Noroeste	4,566	506	517	882	904	1,485	1,530	1,571	2,226	2,297	2,370	2,436	2,506	2,573
629-TAD MAZATLAN	749	47	48	81	83	136	140	144	204	210	217	223	229	236
636-TAD ROSARITO	1,202	72	74	126	129	213	219	225	319	329	339	349	360	370
637-TAD HERMOSILLO	102	71	72	122	124	203	209	214	303	312	322	332	341	351
638-TAD MEXICALI	138	60	61	104	107	176	181	186	264	272	281	289	298	306
639-TAD ENSENADA	118	26	26	45	46	75	77	79	112	116	120	123	127	130
640-TAD MAGDALENA	32	12	12	21	21	35	36	37	52	54	55	57	59	60
641-TAD NOGALES	40	10	10	17	17	28	29	30	42	44	45	47	48	49
644-TAD GUAYMAS	723	11	11	19	19	32	33	33	47	49	50	51	53	54
645-TAD TOPOLOBAMPO	636	27	28	47	48	79	81	83	117	121	125	128	132	135

	Cap. Op. (MB)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
646-TAD CD. OBREGON	191	25	26	44	45	74	76	78	110	114	118	121	125	128
647-TAD CULIACAN	100	54	55	94	96	158	162	167	236	244	252	260	268	275
648-TAD GUAMUCHIL	90	16	16	28	28	46	48	49	69	72	74	76	79	81
649-TAD LA PAZ	251	48	48	82	84	137	140	144	203	209	215	221	227	233
650-TAD NAVOJOA	87	10	10	17	17	29	29	30	43	44	46	47	49	50
633-TAD TEPIC	109	20	21	36	39	66	70	73	104	108	111	112	113	113
Norte	**1,305**	**267**	**278**	**475**	**499**	**840**	**882**	**910**	**1,302**	**1,351**	**1,394**	**1,421**	**1,444**	**1,462**
611-TAD CHIHUAHUA	402	92	95	162	169	284	298	307	439	455	470	479	486	492
612-TAD CD. JUAREZ	308	55	57	98	103	175	185	191	273	284	293	299	303	306
613-TAD GOMEZ PALACIO	422	78	81	139	146	245	257	265	378	392	405	413	420	426
614-TAD DURANGO	63	32	34	58	61	103	108	112	160	166	172	175	178	180
615-TAD PARRAL	111	10	11	19	20	33	35	36	51	53	55	56	57	58
Noreste	**2,098**	**481**	**499**	**855**	**897**	**1,509**	**1,582**	**1,632**	**2,118**	**2,195**	**2,262**	**2,302**	**2,338**	**2,364**
605-TAD MONCLOVA	235	22	22	38	40	66	69	71	92	95	98	100	102	103
606-TAD NUEVO LAREDO	68	42	43	74	77	129	133	137	177	184	190	194	198	203
607-TAD SABINAS	106	26	27	47	49	83	87	89	116	120	124	127	129	131
608-TAD SALTILLO	184	40	41	71	75	126	132	137	178	185	191	194	198	200
609-TAD REYNOSA	42	47	50	85	90	152	161	166	216	225	232	237	240	243
620-TAD MADERO	96	54	56	96	101	170	178	184	239	247	255	260	264	268
621-TAD CD. MANTE, TAMPS.	26	6	6	10	11	18	19	20	26	27	28	28	29	29
622-TAD CD. VICTORIA	171	18	19	33	35	59	62	64	84	87	90	91	93	94
604-TAD SANTA CATADINA	986	139	143	245	257	431	450	465	602	622	640	652	661	666
60X-TAD MONTERREY	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
619-TAD SAN LUIS POTOSI	90	63	65	111	116	195	204	211	273	283	291	295	299	302
623-TAD VALLES	63	16	17	29	31	53	56	58	76	78	81	82	82	83
625-TAD MATEHUALA	30	9	9	16	17	28	30	31	40	41	43	43	44	44
Centro	**3,114**	**1,084**	**1,114**	**1,902**	**1,961**	**3,236**	**3,327**	**3,405**	**4,348**	**4,441**	**4,521**	**4,572**	**4,636**	**4,683**
656-TAD QUERETADO	196	95	100	171	181	308	325	335	436	452	466	471	477	480
663-TAD PUEBLA	342	135	140	240	248	411	424	437	563	581	598	614	631	648
665-TAD CUERNAVACA	118	38	39	67	69	115	119	123	159	164	169	173	178	182

	Cap. Op. (MB)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
667-TAD PACHUCA	146	73	76	130	134	222	230	237	305	315	324	333	342	351
668-TAD TEHUACAN	40	17	17	30	31	51	53	54	70	72	74	76	78	81
669-TAD CUAUTLA	52	24	25	43	45	75	77	80	103	106	109	112	115	118
693-TAD TULA	303	65	68	116	120	198	204	210	270	278	287	294	302	310
657-TAD TOLUCA	163	117	119	203	208	340	347	354	448	454	458	459	462	462
695-TAD SAN JUAN IXHUATEPEC	182	110	113	192	197	324	331	337	427	432	436	438	440	441
696-TAD AÑIL	184	133	135	230	235	385	392	400	509	519	529	538	547	557
697-TAD BARRANCA DEL MUERTO	100	119	121	207	212	348	356	362	459	465	468	468	470	469
699-TAD AZCAPOTZALCO	1,289	158	161	273	280	459	469	476	600	603	604	597	594	585
Occidente	2,805	656	683	1,168	1,229	2,073	2,178	2,243	3,197	3,311	3,404	3,443	3,484	3,510
617-TAD AGUASCALIENTES	83	56	59	101	107	182	193	199	285	296	305	308	311	313
624-TAD ZACATECAS	67	35	37	63	67	113	120	123	176	183	188	191	193	195
627-TAD EL CASTILLO	277	87	89	150	155	256	264	270	381	391	401	406	413	418
630-TAD ZAPOPAN	332	87	88	149	154	254	262	267	377	387	396	401	407	411
631-TAD LAZARO CARDENAS	650	19	20	34	36	60	63	64	92	95	98	99	101	102
632-TAD COLIMA	54	13	13	23	25	42	45	47	67	69	71	72	72	72
654-TAD LEON	92	65	68	116	124	211	223	231	330	343	353	357	360	362
655-TAD MORELIA	113	55	58	100	106	182	193	199	285	297	305	308	311	311
658-TAD CELAYA	153	38	40	69	73	125	132	136	195	202	208	210	213	214
659-TAD URUAPAN	117	24	25	43	46	78	83	86	123	128	132	133	134	135
660-TAD ZAMORA	75	28	30	51	54	92	97	100	144	149	154	155	157	158
661-TAD IRAPUATO	376	57	59	102	108	183	193	199	284	295	304	307	311	313
628-TAD MANZANILLO	416	92	96	165	175	295	311	321	459	476	490	496	502	506
Sur	**948**	**200**	**208**	**355**	**373**	**709**	**744**	**769**	**1,156**	**1,202**	**1,240**	**1,260**	**1,275**	**1,286**
664-TAD ACAPULCO	190	35	36	61	64	122	128	133	200	207	214	217	220	222
666-TAD IGUALA	50	23	23	40	42	80	84	87	130	136	140	142	144	145
681-TAD SALINA CRUZ	475	28	29	50	52	99	104	108	162	168	173	176	178	180
682-TAD OAXACA	91	36	37	64	67	127	133	138	207	215	222	226	228	230
683-TAD TAPACHULA	53	21	22	37	39	74	78	80	120	125	129	131	133	134

	Cap. Op. (MB)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
684-TAD TUXTLA GUTIERREZ	90	58	60	103	108	206	217	224	337	351	362	368	372	374
Golfo	1,323	379	390	663	689	1,151	1,197	1,231	1,592	1,645	1,691	1,718	1,740	1,759
672-TAD MINATITLAN	23	5	5	8	8	14	14	15	19	20	20	20	21	21
673-TAD VERACRUZ	339	49	51	87	91	152	159	164	214	222	229	233	237	239
674-TAD ESCAMELA	114	31	32	55	58	97	101	105	136	141	146	148	151	153
675-TAD TIERRA BLANCA	114	22	22	38	40	67	70	72	94	98	101	103	105	106
676-TAD JALAPA	43	23	24	41	43	72	76	78	102	106	109	111	112	113
677-TAD PEROTE	31	11	12	20	21	35	37	39	50	52	54	55	55	56
678-TAD POZA RICA	86	40	41	71	74	125	131	135	176	183	188	192	194	197
685-TAD VILLAHERMOSA	321	127	129	219	225	372	384	392	502	515	526	532	536	540
698-TAD PAJARITOS	252	72	73	125	130	216	224	231	299	309	318	324	329	334
Sureste	1,076	142	147	250	261	495	518	535	804	835	861	875	886	894
688-TAD MERIDA	179	105	109	187	196	371	389	402	605	628	648	659	667	673
689-TAD CAMPECHE	418	20	21	35	37	70	74	76	114	119	122	124	125	127
690-TAD PROGRESO	478	16	16	28	29	53	55	57	85	88	91	92	93	94

Fuente: elaboración propia con base en información del IMP.

Tabla 21. Prospectiva de requerimiento para el almacenamiento de petrolíferos por TAD PEMEX (mbd)

	Cap. Op. (MB)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Nacional	17,236	-13,520	-13,401	-10,685	-10,422	-5,738	-5,278	-4,940	-492	41	508	791	1,074	1,295
Noroeste	4,566	-4,060	-4,049	-3,684	-3,663	-3,081	-3,036	-2,995	-2,340	-2,269	-2,196	-2,131	-2,060	-1,994
629-TAD MAZATLAN	749	-702	-701	-667	-665	-612	-608	-605	-545	-538	-532	-526	-519	-513
636- TAD ROSARITO	1,202	-1130	-1128	-1076	-1073	-989	-983	-977	-883	-873	-863	-853	-842	-832
637- TAD HERMOSILLO	102	-31	-30	20	22	101	107	112	201	211	221	230	240	249
638- TAD MEXICALI	138	-78	-77	-33	-31	38	43	48	126	134	143	151	160	168
639- TAD ENSENADA	118	-93	-92	-74	-73	-43	-41	-39	-6	-2	1	5	8	12
640- TAD MAGDALENA	32	-20	-20	-11	-11	3	4	5	20	22	24	25	27	29
641- TAD NOGALES	40	-30	-30	-23	-23	-12	-11	-10	3	4	5	7	8	10

	Cap. Op. (MB)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
644- TAD GUAYMAS	723	-712	-712	-704	-704	-691	-690	-690	-676	-674	-673	-672	-670	-669
645- TAD TOPOLOBAMPO	636	-609	-609	-589	-588	-557	-555	-553	-519	-515	-512	-508	-504	-501
646- TAD CD. OBREGON	191	-166	-165	-147	-146	-117	-115	-113	-81	-77	-73	-70	-66	-63
647- TAD CULIACAN	100	-46	-45	-6	-4	58	63	67	136	144	152	160	168	175
648- TAD GUAMUCHIL	90	-74	-74	-62	-61	-43	-42	-41	-20	-18	-16	-13	-11	-9
649- TAD LA PAZ	251	-203	-202	-168	-167	-114	-111	-107	-48	-42	-36	-30	-24	-18
650- TAD NAVOJOA	87	-77	-77	-70	-70	-59	-58	-57	-44	-43	-41	-40	-39	-37
633- TAD TEPIC	109	-89	-88	-73	-70	-43	-39	-37	-5	-1	2	3	4	4
Norte	**1,305**	**-1,038**	**-1028**	**-830**	**-806**	**-466**	**-423**	**-395**	**-4**	**46**	**89**	**116**	**138**	**157**
611- TAD CHIHUAHUA	402	-310	-307	-240	-232	-118	-104	-94	37	54	68	77	84	90
612- TAD CD. JUAREZ	308	-253	-251	-210	-204	-133	-123	-117	-34	-24	-14	-9	-5	-1
613- TAD GOMEZ PALACIO	422	-344	-341	-283	-276	-177	-165	-157	-44	-30	-17	-9	-2	4
614- TAD DURANGO	63	-31	-29	-5	-2	40	45	49	97	103	109	112	115	117
615- TAD PARRAL	111	-101	-100	-93	-92	-78	-76	-75	-60	-58	-56	-55	-54	-53
Noreste	**2,098**	**-1,617**	**-1,599**	**-1,243**	**-1,201**	**-589**	**-516**	**-466**	**20**	**97**	**164**	**204**	**240**	**266**
605- TAD MONCLOVA	235	-213	-212	-197	-195	-169	-166	-164	-143	-139	-137	-135	-133	-132
606- TAD NUEVO LAREDO	68	-26	-25	6	9	60	65	69	109	115	121	125	130	134
607- TAD SABINAS	106	-79	-78	-59	-56	-23	-19	-16	10	15	19	21	23	25
608- TAD SALTILLO	184	-144	-142	-113	-109	-58	-51	-47	-6	1	7	11	14	16
609- TAD REYNOSA	42	5	7	43	48	110	118	124	174	183	190	194	198	200
620- TAD MADERO	96	-42	-40	0	5	74	82	88	142	151	159	164	168	172
621-TAD CD. MANTE, TAMPS.	26	-21	-20	-16	-16	-8	-7	-7	-1	0	1	2	2	3
622- TAD CD. VICTORIA	171	-153	-152	-138	-136	-112	-109	-107	-87	-84	-81	-80	-78	-77
604- TAD SANTA CATARINA	986	-848	-843	-741	-729	-555	-536	-521	-384	-364	-346	-335	-325	-320
60X- TAD MONTERREY	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
619- TAD SAN LUIS POTOSI	90	-27	-25	21	26	105	114	120	183	193	201	205	209	211
623- TAD VALLES	63	-47	-46	-34	-32	-10	-7	-5	12	15	18	18	19	20
625- TAD MATEHUALA	30	-22	-21	-15	-14	-2	-1	0	9	11	12	13	13	14
Centro	**3,114**	**-2,030**	**-2,000**	**-1,211**	**-1,152**	**122**	**213**	**291**	**1,235**	**1,327**	**1,408**	**1,459**	**1,523**	**1,570**

	Cap. Op. (MB)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
656- TAD QUERÉTARO	196	-101	-96	-25	-15	112	129	139	240	256	270	275	281	284
663- TAD PUEBLA	342	-206	-202	-102	-93	69	82	95	221	239	256	272	289	306
665- TAD CUERNAVACA	118	-80	-79	-51	-48	-3	1	5	41	46	51	55	60	65
667- TAD PACHUCA	146	-73	-70	-16	-12	77	84	91	159	169	178	187	196	205
668- TAD TEHUACAN	40	-23	-22	-10	-9	11	13	15	30	32	35	37	39	41
669- TAD CUAUTLA	52	-28	-27	-9	-7	23	25	28	51	54	57	60	63	66
693- TAD TULA	303	-238	-236	-187	-184	-106	-99	-93	-33	-25	-17	-10	-1	7
657- TAD TOLUCA	163	-46	-44	40	45	177	185	191	285	291	295	296	299	299
695- TAD SAN JUAN IXHUATEPEC	182	-71	-69	10	16	142	149	155	245	251	255	256	259	259
696- TAD AÑIL	184	-52	-49	46	51	200	208	216	325	335	344	354	363	372
697- TAD BARRANCA DEL MUERTO	100	19	22	107	113	249	256	263	360	365	369	369	371	370
699- TAD AZCAPOTZALCO	1,289	-1131	-1128	-1016	-1009	-830	-820	-813	-689	-686	-685	-692	-695	-704
Occidente	**2,805**	**-2,149**	**-2,122**	**-1,638**	**-1,576**	**-732**	**-628**	**-562**	**392**	**506**	**599**	**638**	**678**	**705**
617-TAD AGUASCALIENTES	83	-27	-24	18	24	100	110	116	202	213	222	225	228	230
624- TAD ZACATECAS	67	-32	-30	-4	0	46	52	56	109	116	121	124	126	128
627- TAD EL CASTILLO	277	-190	-188	-127	-122	-21	-13	-7	104	114	123	129	135	141
630- TAD ZAPOPAN	332	-245	-243	-183	-178	-78	-70	-64	46	56	64	69	75	80
631- TAD LAZARO CARDENAS	650	-630	-630	-616	-614	-590	-587	-585	-558	-555	-552	-550	-549	-548
632- TAD COLIMA	54	-42	-41	-31	-30	-12	-9	-8	12	15	17	18	18	18
654- TAD LEON	92	-27	-24	24	32	119	131	139	238	251	261	265	268	269
655- TAD MORELIA	113	-58	-55	-13	-6	69	80	86	173	184	193	195	198	199
658- TAD CELAYA	153	-115	-113	-84	-80	-28	-21	-17	42	49	55	57	60	61
659- TAD URUAPAN	117	-93	-92	-74	-71	-39	-34	-31	6	10	14	15	17	17
660- TAD ZAMORA	75	-47	-45	-24	-21	17	22	25	69	74	79	80	82	83
661- TAD IRAPUATO	376	-320	-317	-275	-269	-194	-184	-178	-92	-82	-73	-69	-65	-63
628- TAD MANZANILLO	416	-324	-320	-251	-242	-121	-105	-95	42	60	74	80	86	90
Sur	**948**	**-748**	**-740**	**-593**	**-575**	**-239**	**-204**	**-179**	**208**	**254**	**292**	**312**	**327**	**338**
664- TAD ACAPULCO	190	-155	-154	-129	-125	-67	-61	-57	10	18	24	28	30	32
666- TAD IGUALA	50	-27	-26	-9	-7	30	34	37	81	86	90	93	94	96

	Cap. Op. (MB)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
681- TAD SALINA CRUZ	475	-446	-445	-425	-422	-375	-370	-367	-313	-307	-301	-298	-296	-294
682- TAD OAXACA	91	-55	-54	-28	-24	36	42	47	116	124	131	135	137	139
683- TAD TAPACHULA	53	-32	-31	-16	-14	21	24	27	67	72	76	78	80	81
684- TAD TUXTLA GUTIERREZ	90	-32	-30	13	18	116	127	134	247	261	272	278	282	284
Golfo	**1,323**	**-945**	**-933**	**-660**	**-634**	**-172**	**-126**	**-92**	**269**	**322**	**368**	**395**	**417**	**436**
672- TAD MINATITLAN	23	-18	-18	-15	-14	-9	-8	-8	-4	-3	-3	-2	-2	-2
673- TAD VERACRUZ	339	-290	-288	-252	-248	-186	-179	-174	-125	-117	-110	-105	-102	-99
674- TAD ESCAMELA	114	-83	-82	-59	-56	-17	-12	-9	22	27	32	35	37	39
675- TAD TIERRA BLANCA	114	-92	-92	-76	-74	-47	-44	-41	-20	-16	-13	-11	-9	-8
676- TAD JALAPA	43	-20	-19	-3	-1	29	32	35	58	62	66	68	69	70
677- TAD PEROTE	31	-20	-20	-11	-10	4	6	7	19	21	23	23	24	25
678- TAD POZA RICA	86	-46	-44	-15	-12	39	45	49	90	97	102	106	108	111
685- TAD VILLAHERMOSA	321	-194	-192	-102	-96	51	63	71	181	194	205	211	215	219
698- TAD PAJARITOS	252	-181	-179	-127	-123	-37	-28	-21	46	57	66	72	77	82
Sureste	**1,076**	**-934**	**-930**	**-826**	**-815**	**-581**	**-558**	**-541**	**-272**	**-241**	**-215**	**-201**	**-190**	**-182**
688- TAD MERIDA	179	-74	-70	7	16	192	210	223	425	449	469	479	488	494
689- TAD CAMPECHE	418	-398	-397	-383	-381	-348	-345	-342	-304	-300	-296	-294	-293	-292
690- TAD PROGRESO	478	-462	-462	-450	-450	-425	-423	-421	-393	-390	-388	-386	-385	-384

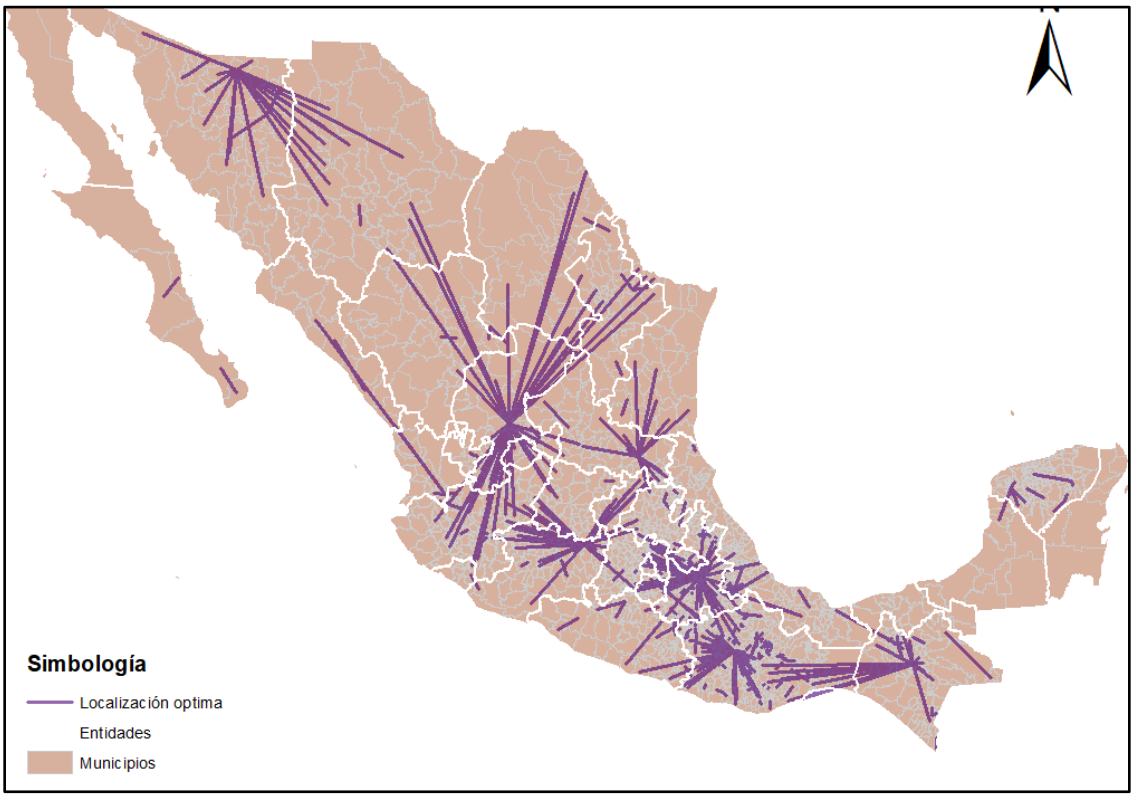
Fuente: elaboración propia con base en información del IMP.

5.2. RESULTADO DE LA APLICACIÓN DEL MODELO DE LOCALIZACIÓN Y ASIGNACIÓN

5.2.1. Maximizar la asistencia

Esta opción resuelve el problema de la ubicación de la terminal de almacenamiento y distribución de petrolíferos donde la proporción de la demanda asignada a la instalación elegida más cercana cae a medida que aumenta la distancia, el conjunto de instalaciones para maximizar la demanda total asignada se elige. La demanda más allá del límite de impedancia especificado no afecta el conjunto de instalaciones elegido (figura 19).

Figura 19. Localización óptima de TAD mediante la maximización de cobertura/minimizar instalaciones

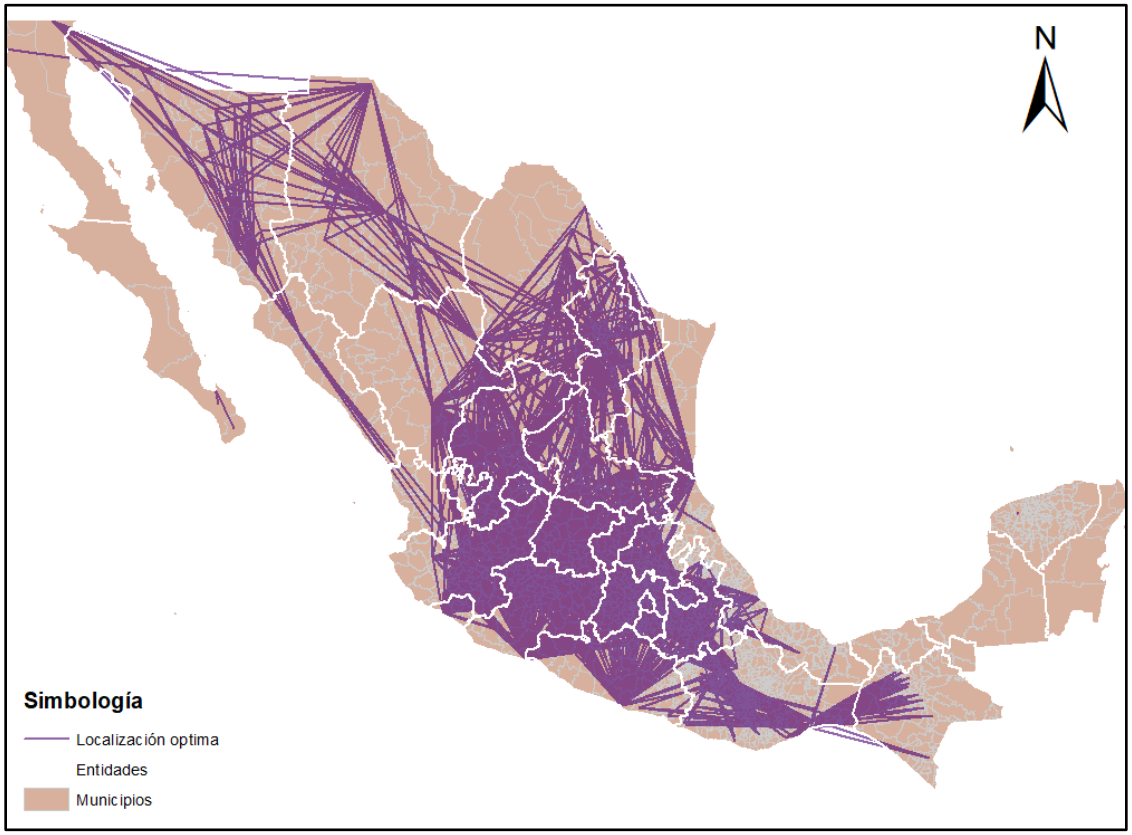


Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Maximizar la cuota de mercado

Esta opción resuelve el problema de la ubicación competitiva de las instalaciones. elige instalaciones para maximizar la participación de mercado en presencia de instalaciones competitivas. Los conceptos del modelo de gravedad se utilizan para determinar la proporción de la demanda asignada a cada instalación, el conjunto de instalaciones para maximizar la demanda asignada elegida (figura 20).

Figura 20. Localización óptima de TAD mediante la maximización del mercado

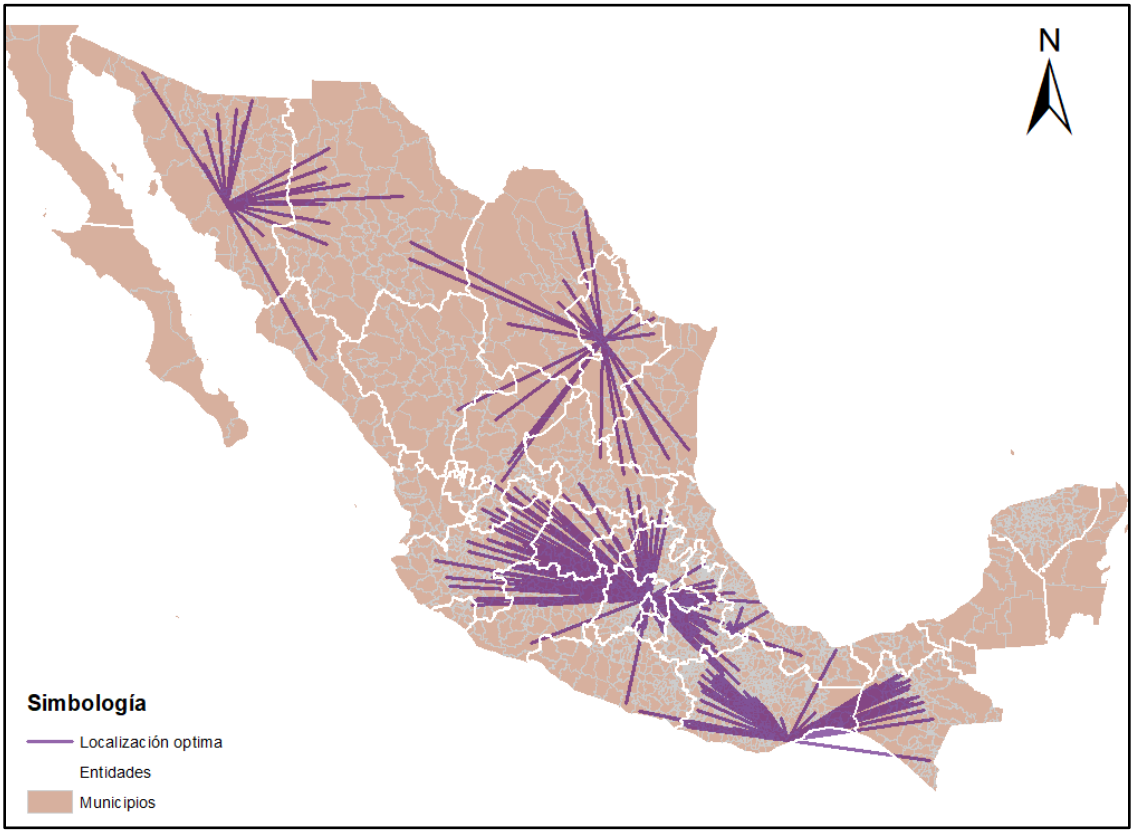


Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Maximización de cobertura

Esta opción resuelve el problema de ubicación de la terminal de almacenamiento y distribución de petrolíferos asignando un número mínimo de instalaciones a localizar. Elige instalaciones de manera que toda o la mayor cantidad de demanda sea con un límite de impedancia específico. Esto permite que de acuerdo con las condiciones del proyecto se pueda cubrir la mayor parte de la demanda existente (figura 21).

Figura 21. Localización óptima de TAD mediante la maximización de cobertura



Fuente: Elaboración propia

En este modelo se ha decidido colocar cinco terminales a nivel nacional, por lo que el software identificara los puntos de localización óptima para estas cinco instalaciones tratando de cubrir la mayor demanda posible. En medida que aumente el número de instalaciones se modificara la distribución y reducirán las distancias de cobertura.

Para cada una de estas terminales el requerimiento que se estima según la zona donde se encuentra la localización optima se presenta en la tabla 22 en donde claramente se muestra en las celdas verdes cual será el requerimiento necesario para que las terminales funcionen adecuadamente hasta el año 2030, dentro de la tabla se muestra también las zonas que presentan el requerimiento inmediato, es decir aquellas cuyo requerimiento mínimo este próximo a expirar.

Tabla 22. Dimensionamiento de instalación por zona de localización óptima de las nuevas terminales, 2018-2030

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Noreste	**-1,617**	**-1,599**	**-1,243**	**-1,201**	**-589**	**-516**	**-466**	**20**	**97**	**164**	**204**	**240**	**266**
HERMOSILLO	-31	-30	20	22	101	107	112	201	211	221	230	240	249
MONTERREY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Centro	**-2,030**	**-2,000**	**-1,211**	**-1,152**	**122**	**213**	**291**	**1,235**	**1,327**	**1,408**	**1,459**	**1,523**	**1,570**
CIUDAD DE MÉXICO	19	22	107	113	249	256	263	360	365	369	369	371	370
TOLUCA	-46	-44	40	45	177	185	191	285	291	295	296	299	299
Golfo	**-945**	**-933**	**-660**	**-634**	**-172**	**-126**	**-92**	**269**	**322**	**368**	**395**	**417**	**436**
JALAPA	-20	-19	-3	-1	29	32	35	58	62	66	68	69	70
POZA RICA	-46	-44	-15	-12	39	45	49	90	97	102	106	108	111
Sur	**-748**	**-740**	**-593**	**-575**	**-239**	**-204**	**-179**	**208**	**254**	**292**	**312**	**327**	**338**
OAXACA	-55	-54	-28	-24	36	42	47	116	124	131	135	137	139

Fuente: elaboración propia

Conforme a los resultados de la modelación se ha decido considerar el resultado del último modelo donde se desarrolla la localización mediante la maximización de cobertura y nos arroja cinco puntos de ubicación. Son estos puntos la referencia para poder determinar la dimensión o capacidad que deberá tener una terminal de almacenamiento siendo el requerimiento calculado de acuerdo con la prospectiva de demanda y completando con lo establecido en la "Política Publica de Almacenamiento Mínimo de Petrolíferos".

Como resultado de este proceso se ha identificado las condiciones de demanda y requerimientos de infraestructura, y la Ciudad de México es uno de los puntos que mejores condiciones y soportes técnicos cuenta para iniciar un proyecto de inversión enfocado al almacenamiento y distribución de petrolíferos con un dimensionamiento estimado de 1,370,000 barriles diarios para satisfacer la necesidad de la zona.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo ha quedado ejemplificada la capacidad de los modelos de localización-asignación basados en el cálculo de cobertura para la búsqueda de eficiencia y equidad espacial al identificar la localización óptima para una terminal de almacenamiento y distribución de petrolíferos a nivel nacional.

Con estos elementos se puede responder la pregunta planteada para esta investigación (¿cuál es la localización óptima para implantar una terminal de almacenamiento y distribución de petrolíferos que permita maximizar el valor del proyecto?) al presentar elementos clave para la planificación territorial del área de estudio favoreciendo la toma de decisiones en el desarrollo de un proyecto. Con la obtención de resultados concretos que permiten responder a esta pregunta, se observa que las pautas teórico-metodológicas desarrolladas actualmente al interior de las tecnologías permiten una aproximación válida a la solución de problemas de localización compleja. El análisis espacial automatizado contribuye a apoyar con bases teórico-metodológicas geográficas los procesos de toma de decisión en materia de planificación urbana y, de esta manera, permite adelantar acciones orientadas a disminuir aspectos centrales en las desigualdades socioespaciales de la población.

Ya con los datos obtenidos del análisis se puede precisar de manera puntual la localización de nuevas instalaciones de almacenamiento favoreciendo la disminución de costos de inversión, asegurando la viabilidad y factibilidad de dicho proyecto, basado en la consideración de las variables que interfieren según la teoría con un proceso de localización industrial. Es necesario identificar las necesidades o condiciones del cada proyecto y de esta manera seleccionar el modelo adecuado para una óptima localización.

El dimensionamiento, es un elemento complementario fundamental para estructurar un proyecto y determinar la capacidad o las condiciones de operación de una terminal de almacenamiento. Es por esto que al conocer los resultados de los modelos de localización podemos conocer los lugares favorables para localizar

una instalación de almacenamiento y distribución aunado a esto también se conoce la necesidad por déficit de atención por parte de las instalaciones construidas habiendo ya considerado las condiciones que establece la "Política Publica de Almacenamiento Mínimo de Petrolíferos".

En conclusión, se puede decir que mediante la utilización de modelos de localización optima se ha identificado cinco puntos importantes para desarrollar un proyecto de almacenamiento y distribución de petrolíferos, además también se puede estimar la dimensión de acuerdo con la identificación del requerimiento de almacenamiento por región. Esto aporta elementos determinantes que favorece en gran medida la maximización de valor para un proyecto de almacenamiento de petrolíferos, disminuyendo costos de inversión focalizando estrategias y priorizando líneas de acción.

APORTACIÓN DE LA TESIS

El presente trabajo tiene como principal aportación el plantear un mecanismo de análisis que permite incrementar valor de un proyecto al hacer uso y adecuación de una metodología con fundamentos teóricos que puede brindar mayor certidumbre en la planeación, gestión y desarrollo de un proyecto en el sector hidrocarburos, utilizando nuevas herramientas tecnológicas que involucran diferentes áreas de conocimiento permitiendo la complementariedad del estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Bosques, Sendra.** *Sistemas de información geografica.* Madrid : Ediciones Rialp, 1992.

2. **Dickinson, I.** *Variation of the Von Thunen theme in a semi-traditional society.* (A.A.A.G Abstract) : ,, vol. 57, 1972, p. 172., 1972.

3. **García, Ramón, D.** *Estudio de 10s cambios en la agricultura del Baix Camp de Tarragona.* Barcelona : Universidad de Barcelona, Departamento de Geografía, 1975.

4. **Peet, J. Richard,.** *The Spatial Expansion of Commercial Agriculture in the Nineteenth Century:a Von Thunen nterpretation, Economic Geography.* London : Transactions I.B.G, 1969.

5. **Bustos, Gisbert, M. L.** Teorias de Localización Industrial:una breve aproximación. *Teorias de Localización Industrial:una breve aproximación.* [En línea] 14 de Agosto de 2014. http://www.revistaestudiosregionales.com/documentos/articulos/pdf399.pdf.

6. **Chapman, K y Walker, D.** *Industrial Location.* New York : Oxford, 1987.

7. **Richardson, N. W.** *Economía Regional, Teoría de la Localización, Estructuras Urbanas y Crecimiento Regional.* Barcelona : Vicens Vives, 1973.

8. **Baskin, W. Carlisle y Christaller, Walter.** *Central places in southern Germany.* s.l. : Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1966.

9. **Gómez López, José Daniel.** Geografía Económica. [aut. libro] José Antonio Segrelles Serrano. *Geografía Humana: fundamento, métodos y conceptos.* España : Editorial Club Universitario, 2003, págs. 35-73.

10. *Modelos de localización-asignación aplicados a servicios públicos urbanos.* **Buzai, Gustavo.** 2, 2011, CUADERNOS DE GEOGRAFÍA,REVISTA COLOMBIANA DE GEOGRAFÍA , Vol. 20, págs. 111-123.

11. **Beavon, Keith.** *Geografía de las actividades terciarias. Una reinterpretación de la teoría de los lugares centrales.* Barcelona : Oikos-tau, 1980.

12. **Berry, Brian.** *Geografía de los centros de mercado y distribución al por menor.* Barcelona : Vicens-Vives, 1971.

13. **Ramírez, Liliana y Bosques Sendra, Joaquín.** Localización de hospitales: analogías y diferencias del uso del modelo p-mediano en SIG raster y vectorial. *Anuales de Geografía de la Universidad Complutense.* s.l. : Universidad Complutense, 2001, págs. 53-79.

14. *Facility location analysis and planning.* **Bosque, Sendra y Moreno, Jiménez.** EGIS Foundation, 1990, EGIS'90, Vol. First European Conference on Geogrcq>hícal Information Systems, págs. 87-94.

15. *Location of Economic Activities: The JRS Contribution to the Research Literatur.* **STEVENS, BENJAMÍN.** 4, 1985, Journal of Regional Science, Vol. 25, págs. 663-685.

16. *Equity and Efficiency in Public Facility Location.* **MCALLISTER, D. M.** 1976, Geographical Analysis, Vol. 8, págs. 47-63.

17. **Church, Richard y Sorensen, Paul.** Integrating Normative Location Models into GIS: Problems and Prospects with the p-median models. *Santa Barbara; Technical Report* . Santa Barbara : NCGIA, 1994, págs. 94-95.

18. *Strategies for solving large location-allocation problems by heuristic methods.* **Densham, Paul y Rushton, Gerard.** 24, 1992, Environment and Planning , Vol. A, págs. 289-304.

19. **SENER.** *Prospetiva de petróleo crudo y petrolíferos.* CDMX : SENER, 2017.

20. Secretaria de Energía. [En línea] mayo de 2016. [Citado el: 20 de enero de 2019.] https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/92090/DGP_Diagn_stico_petrol_feros_Mayo_2016_FINAL.pdf.

21. **CRE.** *Comisión Reguladora de Energía* . s.l. : CRE, 2015.

22. **ASEA.** Diarios oficial de la federación. [En línea] 24 de noviembre de 2015. [Citado el: 05 de febrero de 2019.] https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5533266&fecha=27/07/2018.

23. **Barredo, J.** *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio.* Madrid : RA-MA, 1996.

24. **Barbara Romero, S. & Pomerol, J. C.** *Decisiones Multicriterio. Fundamentos Teóricos y Utilización Practica.* España : Univerdada de Alcala, 1997.

25. **ESRI.** Geospatial Analysis 6th edition. [En línea] Arcmap, 2018. [Citado el: 06 de febrero de 2019.] https://www.spatialanalysisonline.com/HTML/index.html.

26. **IMP.** Instituto Mexicano del Petroleo. [En línea] SEGOB, 2018. [Citado el: 24 de 02 de 2019.] https://www.gob.mx/imp/es/articulos/exploracion-y-produccion-176543.

27. **INEGI.** *PIB por Entidad Federativa.* s.l. : INEGI, 2016.

28. *Censo Económico.* México : INEGI, 2014.

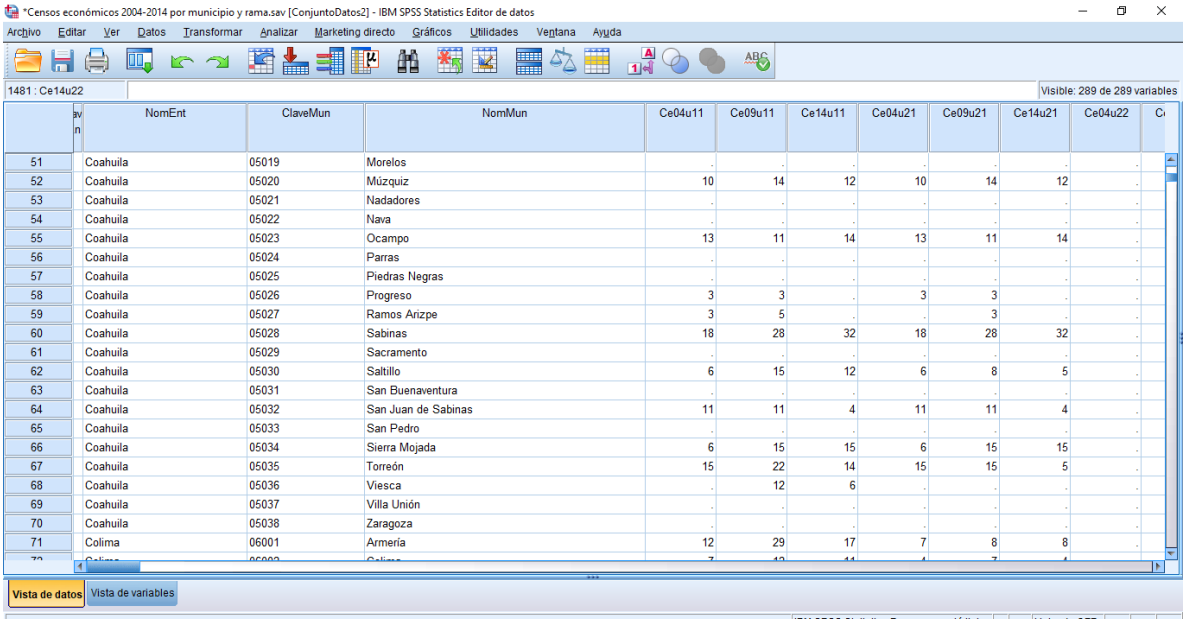
29. *Censo de Población y Vivienda.* México : INEGI, 2010.

30. **Densham, Paul.** *Spatial Decision Support Systems. En Geographical Information Systems: Principles and Applications, eds.* London : Logman, 1991.

ANEXO

Como ya se ha mencionado en el documento, la metodología precisa para los cálculos de los indicadores, la conformación de bases de datos, las cuales consideran que para cada variable se identifiquen los campos necesarios que caracterizan el fenómeno analizado.

Es por lo que en el anexo se integran extractos de las bases de datos en donde de acuerdo la formula descrita en el documento se realiza el cálculo por cada dato de los diferentes indicadores que impactan el comportamiento de la demanda, así como el dimensionamiento del equipamiento estudiado.



	NomEnt	ClaveMun	NomMun	Ce04u11	Ce09u11	Ce14u11	Ce04u21	Ce09u21	Ce14u21	Ce04u22
51	Coahuila	05019	Morelos	.	.	.	.	.	.	.
52	Coahuila	05020	Múzquiz	10	14	12	10	14	12	.
53	Coahuila	05021	Nadadores	.	.	.	.	.	.	.
54	Coahuila	05022	Nava	.	.	.	.	.	.	.
55	Coahuila	05023	Ocampo	13	11	14	13	11	14	.
56	Coahuila	05024	Parras	.	.	.	.	.	.	.
57	Coahuila	05025	Piedras Negras	.	.	.	.	.	.	.
58	Coahuila	05026	Progreso	3	3	.	3	3	.	.
59	Coahuila	05027	Ramos Arizpe	3	5	.	.	3	.	.
60	Coahuila	05028	Sabinas	18	28	32	18	28	32	.
61	Coahuila	05029	Sacramento	.	.	.	.	.	.	.
62	Coahuila	05030	Saltillo	6	15	12	6	8	5	.
63	Coahuila	05031	San Buenaventura	.	.	.	.	.	.	.
64	Coahuila	05032	San Juan de Sabinas	11	11	4	11	11	4	.
65	Coahuila	05033	San Pedro	.	.	.	.	.	.	.
66	Coahuila	05034	Sierra Mojada	6	15	15	6	15	15	.
67	Coahuila	05035	Torreón	15	22	14	15	15	5	.
68	Coahuila	05036	Viesca	.	12	6	.	.	.	.
69	Coahuila	05037	Villa Unión	.	.	.	.	.	.	.
70	Coahuila	05038	Zaragoza	.	.	.	.	.	.	.
71	Colima	06001	Armería	12	29	17	7	8	8	.

*02 Censo de población por municipios 2010.sav [ConjuntoDatos3] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ventana Ayuda

22 : p_3ymas_m 24519 Visible: 195 de 195 variables

	ClaveEnt	Entidad	ClaveMun	Municipio	pobtot	pobmas	pobfem	p_0a2	p_0a2_m	p_0a2_f	p_3ymas	p_3ymas
1	01	Aguascalientes	01001	Aguascalientes	797010	386429	410581	44873	22835	22038	748891	3
2	01	Aguascalientes	01002	Asientos	45492	22512	22980	3206	1585	1621	42253	
3	01	Aguascalientes	01003	Calvillo	54136	26250	27886	3433	1750	1683	50649	
4	01	Aguascalientes	01004	Cosío	15042	7326	7716	967	494	473	14062	
5	01	Aguascalientes	01005	Jesús María	99590	49090	50500	7044	3624	3420	92182	
6	01	Aguascalientes	01006	Pabellón de Arteaga	41862	20170	21692	2827	1408	1419	38965	
7	01	Aguascalientes	01007	Rincón de Romos	49156	24067	25089	3289	1668	1621	45807	
8	01	Aguascalientes	01008	San José de Gracia	8443	4043	4400	581	295	286	7813	
9	01	Aguascalientes	01009	Tepezalá	19668	9600	10068	1357	677	680	18306	
10	01	Aguascalientes	01010	El Llano	18828	9573	9255	1230	652	578	17581	
11	01	Aguascalientes	01011	San Francisco de los Romo	35769	17578	18191	2677	1387	1290	32971	
12	02	Baja California	02001	Ensenada	466814	235130	231684	25379	12882	12497	438589	2
13	02	Baja California	02002	Mexicali	936826	473203	463623	48305	24663	23642	869579	4
14	02	Baja California	02003	Tecate	101079	53323	47756	5482	2714	2768	94874	
15	02	Baja California	02004	Tijuana	1559683	783653	776030	86944	44147	42797	1461433	7
16	02	Baja California	02005	Playas de Rosarito	90668	46301	44367	4682	2407	2275	82378	
17	03	Baja California Sur	03001	Comondú	70816	36436	34380	3735	1940	1795	66953	
18	03	Baja California Sur	03002	Mulegé	59114	30617	28497	3473	1757	1716	55199	
19	03	Baja California Sur	03003	La Paz	251871	126397	125474	12501	6265	6236	236013	1
20	03	Baja California Sur	03008	Los Cabos	238487	123101	115386	15713	7985	7728	217634	1
21	03	Baja California Sur	03009	Loreto	16738	8882	7856	966	506	460	15502	
22	04	Campeche	04001	Calkiní	52890	26072	26818	2833	1459	1374	49868	

Vista de datos Vista de variables

*tr_persona20.sav [ConjuntoDatos4] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

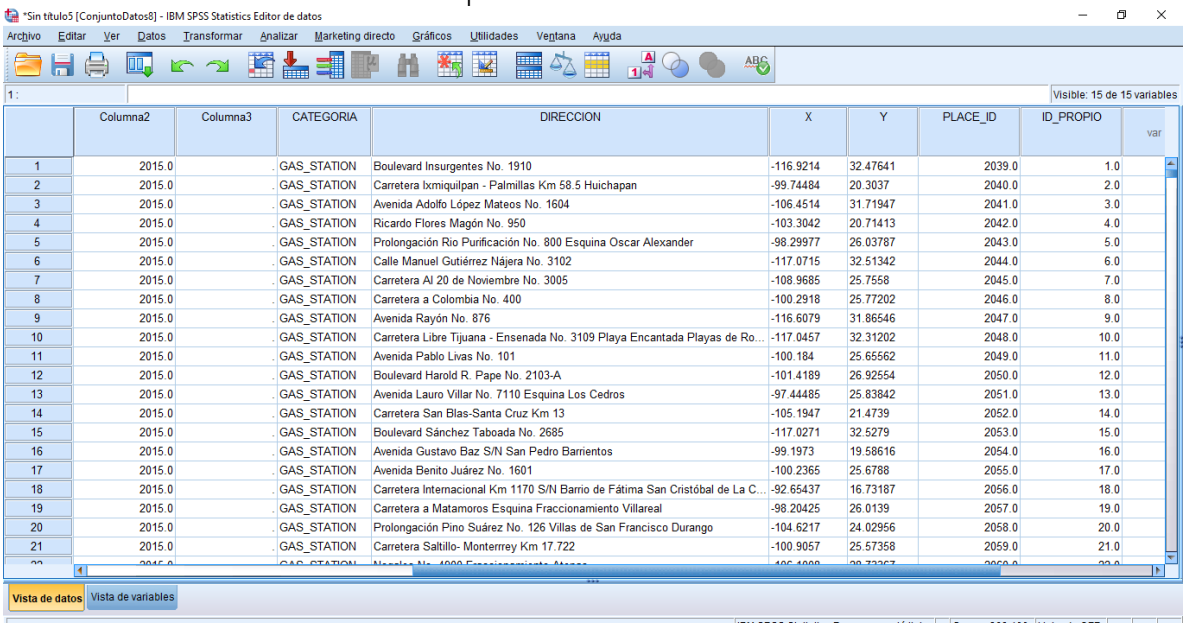
Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ventana Ayuda

1 : NUMPER 1 Visible: 86 de 86 variables

	ID_VIV	ID_PERSONA	ENT	NOM_ENT	MUN	NOM_MUN	LOC50K	NOM_LOC	COBE...	ESTRATO	UPM	FACT...	NUMPER	SEXO
1	200010000001	20001000000101	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155941	1	1	3
2	200010000002	20001000000203	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155949	1	3	1
3	200010000002	20001000000201	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155949	1	1	3
4	200010000002	20001000000202	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155949	1	2	1
5	200010000003	20001000000303	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155951	1	3	1
6	200010000003	20001000000301	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155951	1	1	3
7	200010000003	20001000000302	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155951	1	2	3
8	200010000003	20001000000304	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155951	1	4	1
9	200010000004	20001000000401	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155947	1	1	3
10	200010000005	20001000000501	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155952	1	1	3
11	200010000005	20001000000502	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155952	1	2	3
12	200010000006	20001000000601	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-02	155953	1	1	1
13	200010000006	20001000000605	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-02	155953	1	5	3
14	200010000006	20001000000604	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-02	155953	1	4	3
15	200010000006	20001000000603	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-02	155953	1	3	3
16	200010000006	20001000000602	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-02	155953	1	2	3
17	200010000007	20001000000704	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155945	1	4	1
18	200010000007	20001000000706	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155945	1	6	3
19	200010000007	20001000000705	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155945	1	5	1
20	200010000007	20001000000703	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155945	1	3	3
21	200010000007	20001000000702	20	Oaxaca	001	Abejones	0000	Localidad de m...	1	20-001-03	155945	1	2	3

Vista de datos Vista de variables

IBM SPSS Statistics Processor está listo Unicode:OFF



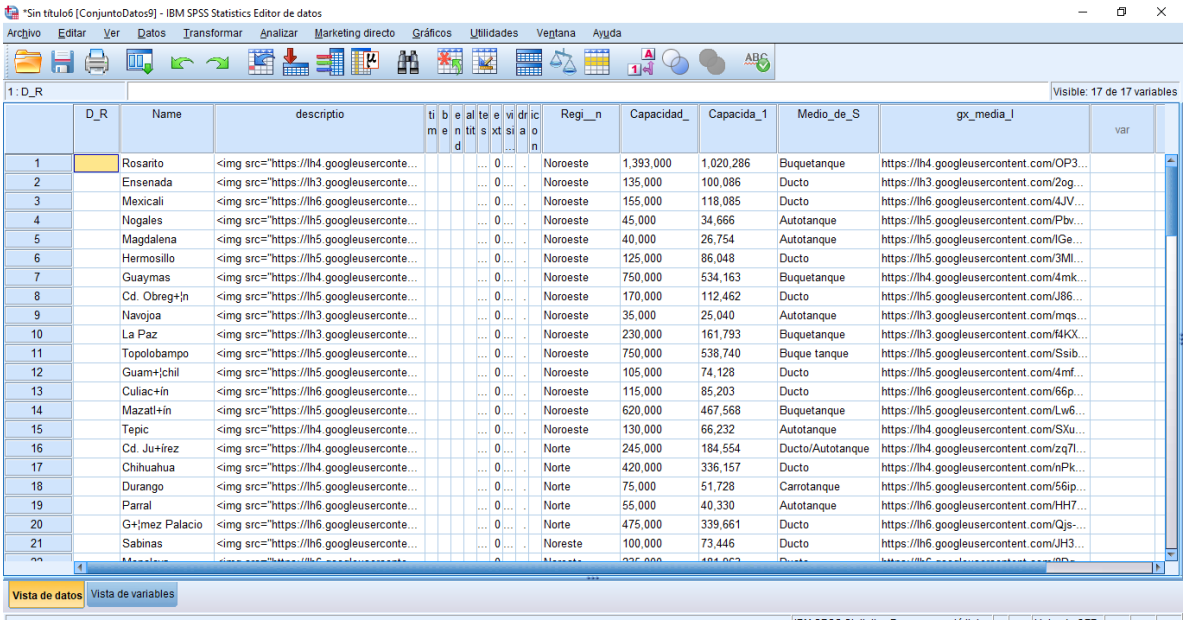
*Sin título5 [ConjuntoDatos8] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ventana Ayuda

1 : Visible: 15 de 15 variables

	Columna2	Columna3	CATEGORIA	DIRECCION	X	Y	PLACE_ID	ID_PROPIO	var
1	2015.0	.	GAS_STATION	Boulevard Insurgentes No. 1910	-116.9214	32.47641	2039.0	1.0	
2	2015.0	.	GAS_STATION	Carretera Ixmiquilpan - Palmillas Km 58.5 Huichapan	-99.74484	20.3037	2040.0	2.0	
3	2015.0	.	GAS_STATION	Avenida Adolfo López Mateos No. 1604	-106.4514	31.71947	2041.0	3.0	
4	2015.0	.	GAS_STATION	Ricardo Flores Magón No. 950	-103.3042	20.71413	2042.0	4.0	
5	2015.0	.	GAS_STATION	Prolongación Rio Purificación No. 800 Esquina Oscar Alexander	-98.29977	26.03787	2043.0	5.0	
6	2015.0	.	GAS_STATION	Calle Manuel Gutiérrez Nájera No. 3102	-117.0715	32.51342	2044.0	6.0	
7	2015.0	.	GAS_STATION	Carretera Al 20 de Noviembre No. 3005	-108.9685	25.7558	2045.0	7.0	
8	2015.0	.	GAS_STATION	Carretera a Colombia No. 400	-100.2918	25.77202	2046.0	8.0	
9	2015.0	.	GAS_STATION	Avenida Rayón No. 876	-116.6079	31.86546	2047.0	9.0	
10	2015.0	.	GAS_STATION	Carretera Libre Tijuana - Ensenada No. 3109 Playa Encantada Playas de Ro...	-117.0457	32.31202	2048.0	10.0	
11	2015.0	.	GAS_STATION	Avenida Pablo Livas No. 101	-100.184	25.65562	2049.0	11.0	
12	2015.0	.	GAS_STATION	Boulevard Harold R. Pape No. 2103-A	-101.4189	26.92554	2050.0	12.0	
13	2015.0	.	GAS_STATION	Avenida Lauro Villar No. 7110 Esquina Los Cedros	-97.44485	25.83842	2051.0	13.0	
14	2015.0	.	GAS_STATION	Carretera San Blas-Santa Cruz Km 13	-105.1947	21.4739	2052.0	14.0	
15	2015.0	.	GAS_STATION	Boulevard Sánchez Taboada No. 2685	-117.0271	32.5279	2053.0	15.0	
16	2015.0	.	GAS_STATION	Avenida Gustavo Baz S/N San Pedro Barrientos	-99.1973	19.58616	2054.0	16.0	
17	2015.0	.	GAS_STATION	Avenida Benito Juárez No. 1601	-100.2365	25.6788	2055.0	17.0	
18	2015.0	.	GAS_STATION	Carretera Internacional Km 1170 S/N Barrio de Fátima San Cristóbal de La C...	-92.65437	16.73187	2056.0	18.0	
19	2015.0	.	GAS_STATION	Carretera a Matamoros Esquina Fraccionamiento Villareal	-98.20425	26.0139	2057.0	19.0	
20	2015.0	.	GAS_STATION	Prolongación Pino Suárez No. 126 Villas de San Francisco Durango	-104.6217	24.02956	2058.0	20.0	
21	2015.0	.	GAS_STATION	Carretera Saltillo- Monterrrey Km 17.722	-100.9057	25.57358	2059.0	21.0	

Vista de datos | Vista de variables



*Sin título6 [ConjuntoDatos9] - IBM SPSS Statistics Editor de datos

Archivo Editar Ver Datos Transformar Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ventana Ayuda

1 : D_R Visible: 17 de 17 variables

	D_R	Name	descriptio	tim	ben	end	altit	tes	ext	visi...	dra...	ion	Regi__n	Capacidad_	Capacida_1	Medio_de_S	gx_media_l	var
1		Rosarito	<img src="https://lh4.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	1,393,000	1,020,286	Buquetanque	https://lh4.googleusercontent.com/OP3...	
2		Ensenada	<img src="https://lh3.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	135,000	100,086	Ducto	https://lh3.googleusercontent.com/2eg...	
3		Mexicali	<img src="https://lh6.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	155,000	118,085	Ducto	https://lh6.googleusercontent.com/4JV...	
4		Nogales	<img src="https://lh5.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	45,000	34,666	Autotanque	https://lh5.googleusercontent.com/Pbv...	
5		Magdalena	<img src="https://lh5.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	40,000	26,754	Autotanque	https://lh5.googleusercontent.com/IGe...	
6		Hermosillo	<img src="https://lh5.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	125,000	86,048	Ducto	https://lh5.googleusercontent.com/3Ml...	
7		Guaymas	<img src="https://lh4.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	750,000	534,163	Buquetanque	https://lh4.googleusercontent.com/4mk...	
8		Cd. Obreg+¦n	<img src="https://lh5.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	170,000	112,462	Ducto	https://lh5.googleusercontent.com/J86...	
9		Navojoa	<img src="https://lh3.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	35,000	25,040	Autotanque	https://lh3.googleusercontent.com/mqs...	
10		La Paz	<img src="https://lh3.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	230,000	161,793	Buquetanque	https://lh3.googleusercontent.com/f4KX...	
11		Topolobampo	<img src="https://lh5.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	750,000	538,740	Buque tanque	https://lh5.googleusercontent.com/Ssib...	
12		Guam+¦chil	<img src="https://lh5.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	105,000	74,128	Ducto	https://lh5.googleusercontent.com/4mf...	
13		Culiac+¦n	<img src="https://lh6.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	115,000	85,203	Ducto	https://lh6.googleusercontent.com/66p...	
14		Mazatl+¦n	<img src="https://lh5.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	620,000	467,568	Buquetanque	https://lh5.googleusercontent.com/Lw6...	
15		Tepic	<img src="https://lh4.googleuserconte...					...	0	...		.	Noroeste	130,000	66,232	Autotanque	https://lh4.googleusercontent.com/SXu...	
16		Cd. Ju+¦rez	<img src="https://lh4.googleuserconte...					...	0	...		.	Norte	245,000	184,554	Ducto/Autotanque	https://lh4.googleusercontent.com/zq7l...	
17		Chihuahua	<img src="https://lh4.googleuserconte...					...	0	...		.	Norte	420,000	336,157	Ducto	https://lh4.googleusercontent.com/nPk...	
18		Durango	<img src="https://lh5.googleuserconte...					...	0	...		.	Norte	75,000	51,728	Carrotanque	https://lh5.googleusercontent.com/56ip...	
19		Parral	<img src="https://lh6.googleuserconte...					...	0	...		.	Norte	55,000	40,330	Autotanque	https://lh6.googleusercontent.com/HH7...	
20		G+¦mez Palacio	<img src="https://lh6.googleuserconte...					...	0	...		.	Norte	475,000	339,661	Ducto	https://lh6.googleusercontent.com/Qjs-...	
21		Sabinas	<img src="https://lh6.googleuserconte...					...	0	...		.	Noreste	100,000	73,446	Ducto	https://lh6.googleusercontent.com/JH3...	

Vista de datos | Vista de variables