



## UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

### ESCUELA SUPERIOR DE TLAHUELILPAN

OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE MARÍTIMO DE  
RESIDUOS SÓLIDOS, DE MANEJO ESPECIAL Y  
PELIGROSO GENERADOS EN PLATAFORMAS  
PETROLERAS MEXICANAS

### T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

P R E S E N T A :  
**C. José Juan Hernández Flores**

DIRECTORES DE TESIS:

Dra. Ocotlán Díaz Parra

Dr. Alejandro Fuentes Penna



TLAHUELILPAN DE OCAMPO, HGO.

ABRIL DE 2016

## **RESUMEN**

El problema del transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas petroleras es una variante del problema del ruteo de vehículos mezclado con el problema del Transporte de Materiales Peligrosos y consisten en reducir al mínimo el costo de llevar diferentes tipos de residuos de un lugar (puerto / plataforma) a otro lugar (puerto / plataforma) utilizando buques con algunas restricciones de capacidad y ventanas de tiempo. La perforación y el mantenimiento de pozos es una de las principales actividades que se llevan al cabo en Petroleos Mexicanos [1], durante las cuales se tiene la necesidad de adquirir materiales y equipos para cumplir con eficiencia y eficacia los objetivos de la empresa. En estas actividades se generan diferentes tipos de residuos, los cuales deben ser manejados correctamente para prever afectaciones o deterioro al ambiente, así como un riesgo a la salud.

El propósito del proyecto es analizar de forma óptima la transportación de residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX con la finalidad de reducir los gastos de transportación que representa a la empresa la transportación de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social. El proyecto busca la calendarización de rutas de transporte marítimo de Buques [2], así como la ruta óptima de transporte residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligroso de tal forma que se establezcan puntos estratégicos para minimizar distancias de rutas de Buques para obtener un gasto mínimo de transportación.

En esta propuesta se propone la generación de un nuevo modelo matemático para el problema del transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas petroleras y la generación de instancias de prueba para proponer una solución utilizando técnicas analíticas y computacionales. Con este modelo de prueba se pretende minimizar el costo implicado en la transportación de sólidos peligrosos para la empresa.

## AGRADECIMIENTOS.

Gracias a mi asesora y colaboradores, los doctores Alejandro Fuentes Penna y la doctora Ocotlán Díaz Parra a quien agradezco de su paciencia, dedicación. Motivación, criterio y apoyo. Han hecho fácil lo difícil. Es un privilegio trabajar a su lado y compartiendo horas de trabajo y esfuerzo.

Gracias a todos los maestros y colaboradores de la Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo Escuela Superior De Tlahuelilpan, por su enseñanza y estudios los cuales contribuyeron en mi formación .

Gracias a PROMEP por brindar el recurso y apoyar el trabajo realizado contando con todo el apoyo de nuestra casa de estudios en acuerdo con la solicitud realizada por mi asesora y colaboradores.

Gracias a las personas que de una manera estuvieron cerca de mi y que me apoyaron de alguna forma en mi formación y estudios realizados, a quienes en esa etapa de Universidad confiarón en mi y sabían que directa o indirectamente contribuyeron para concluir esta tesis y esta etapa de estudios, se les agradece a todos mis compañeros y alumnos de esta universidad y sobre todo a mis amistades que siempre estuvieron ahí motivándome a seguir y comprometerme con mi carrera, a ser responsable cuando debía serlo y a poder compartir el tiempo libre con muy buenos recuerdos y muy buenos resultados.

Gracias a todos los que me motivaron y confiaron en mi que me dieron el proyecto esperando este resultado, gracias a usted Coordinador de la carrera Dr. Alejandro Fuentes Penna por ser además de un excelente maestro, una excelente persona.

Gracias Universidad por esta gran etapa que viví dia a dia en tus aulas y por el conocimiento que adquirí en cada actividad que realizaste y apoyaste interno y externo a las aulas de la escuela.

## DEDICATORIAS.

Dedico de manera especial este trabajo a mis familiares quienes en todo momento conté con su apoyo y motivación, a las personas, compañeros, amigos y catedráticos de la universidad que estuvieron en esta etapa de mi vida y en esta formación personal ya que ustedes con su apoyo y herramientas brindadas permitieron terminar este trabajo de la manera esperada.

Gracias principalmente a mi Madre, Padre y Hermana quienes estuvieron todos los días al pendiente de mí mostrándome orgullo y confianza la cual lleva a ser responsable y siempre esforzarse de una manera o otra para alcanzar el objetivo y realizarlo bien hasta llegar a la meta esperada.

## **Contenido**

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	10
1.2. ANTECEDENTES .....	11
1.3. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN .....	12
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES .....	13
1.5. OBJETIVO GENERAL.....	13
1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.7. HIPÓTESIS.....	14
1.8. RESULTADOS ESPERADOS.....	14
1.9. CONTRIBUCIONES ORIGINALES ESPERADAS.....	15
<b>CAPÍTULO II. TRABAJOS RELACIONADOS .....</b>	<b>16</b>
2.1. PROBLEMA DE TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS .....	16
2.2. PRINCIPALES AUTORES DEL TRANSPORTE MARÍTIMO DE RESIDUOS SÓLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS .....	21
2.3. TIPOS DE RESIDUOS (SÓLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS).....	28
<b>CAPÍTULO III. TRANSPORTE MARÍTIMO DE RESIDUOS SOLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS .</b>	<b>33</b>
3.1. MODELO MATEMÁTICO DEL TRANSPORTE MARÍTIMO DE RESIDUOS SÓLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS .....	33
3.2. INSTANCIAS DEL MODELO DEL TRANSPORTE MARÍTIMO DE RESIDUOS SÓLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS .....	35
3.3 ALGORITMO SOLUCIÓN MEDIANTE LA HERRAMIENTA AIMMS .....	37
<b>CAPÍTULO IV. EXPERIMENTACIÓN .....</b>	<b>38</b>
4.1 IMPLEMENTACION DE LA SOLUCIÓN.....	38
4.2 REALIZACION DE PRUEBAS MEDIANTE LA HERRAMIENTA AIMMS .....	74
4.3 RESULTADOS.....	77
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>

<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1.Tipos de residuos.	16
Table 2. Trabajos Relacionados.	24
Tabla 3. Consideracion de variables	35
Tabla 3. Resultados en pruebas	75
Table 4. WTP instances	77
Tabla 5. Resultados de los casos de prueba del Transporte problema de los residuos .	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Distribución de la capacidad instalada para el manejo de residuos peligrosos	30
Figura 2. Estadística de prestación de servicio.	31
Figura 4.1.1 Pantalla de inicio AIMMS	38
Figura 4.1.2 Optimización Transporte marítimo de residuos peligrosos	39
Figura 4.1.3 Inicialización de proyecto	40
Figura 4.1.4 Set proyectos	41
Figura 4.1.5 Datos de proyectos	42
Figura 4.1.6 Datos de barcos	43
Figura 4.1.7 Set turnos	44
Figura 4.1.8 Datos de turnos	45

Figura 4.1.9 Datos de turnos	46
Figura 4.1.10 Parametro de solicitudes	47
Figura 4.1.11 Datos para solicitud	48
Figura 4.1.12 Parametro caracteristicas_barcos	49
Figura 4.1.13 Parametro caracteristicas_barcosDesechos	50
Figura 4.1.14 Descripción de características de barcos sk	51
Figura 4.1.15 Descripción de costo de barco	52
Figura 4.1.16 Descripción de turno de barco	53
Figura 4.1.17 Descripción de valores turno de barco	54
Figura 4.1.18. Descripción de valores turno de barco	55
Figura 4.1.19. Variable de especificación	56
Figura 4.1.20. Descripción demanda	57
Figura 4.1.21. Descripción de primera restricción	58
Figura 4.1.22. Descripción de segunda restricción	59
Figura 4.1.23. Descripción de tercera restricción	60
Figura 4.1.24. Descripción de parametro	61
Figura 4.1.25. Descripción de variable referente al costo	62
Figura 4.1.26. Descripción de variable referente a preferencia	63
Figura 4.1.27. Descripción de variable costo total	64
Figura 4.1.28. Minimización de costo	65
Figura 4.1.29. Aserción en apoyo a modelo matemático	66
Figura 4.1.30. Descripción de proyecto	67
Figura 4.1.31. Descripción	68

Figura 4.1.31. Descripción	69
Figura 4.1.33. Solución	70
Figura 4.1.34. Agregar nueva plataforma	71
Figura 4.1.35. Agregar nuevo barco	72
Figura 4.1.36. Resultados omitidos por versión de software sin licenciamiento.	73

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Actualmente el problema de transportación de productos de cualquier índole como son: productos alimenticios, materiales para construcción, herramientas, material eléctrico, materiales de desecho, entre otros, generan gran inversión por parte de las empresas que se ve reflejado en el costo final al consumidor. Los precios varían dependiendo del tipo de transporte que se utilice, en algunos casos se utilizan rutas de transporte heterogéneo, es decir que una parte la realizan por mar, otra por aire y otra por tierra. Con la necesidad de reducir el gasto que invierte una empresa en temas de transportación, se propone, en esta investigación, una solución al problema del transporte marítimo de residuos peligrosos, la cual pretende optimizar el gasto de transportación en plataformas petroleras mexicanas.

Actualmente PEMEX es la empresa más importante de México, una de las más grandes de América Latina y el mayor contribuyente fiscal para el país. Una de las pocas compañías que desarrolla toda la cadena productiva: exploración, producción, transformación industrial, logística y comercialización.

En materia de transformación industrial cuenta con 6 refinerías, 8 complejos petroquímicos y 9 complejos procesadores de gas.

PEMEX utiliza buques para transportar los residuos de sus plataformas cabe mencionar que los residuos alimenticios se deben descargar al mar siempre que hayan pasado por un desmenuzador o triturador y ello se efectúe tan lejos como sea posible de la tierra más próxima, el vertimiento de los residuos alimenticios se debe realizar después de tres millas mar adentro de la tierra más próxima y debe realizarse conforme a las condiciones del oficio resultorio en materia de impacto ambiental de la SEMARNAT.

Los residuos colectados en los depósitos dentro de las plataformas, deben ser llevados al área de compactación, una vez compactados deben ser colocados en los supersacos.

Los residuos de manejo especial se deben separar y colocar en depósitos que tengan bolsas transparentes.

Para los residuos de material ferroso el color del depósito es amarillo y con la leyenda correspondiente al tipo de residuo que contiene en el sitio de generación. Por seguridad de manejo no sobrepasar el 80 por ciento de la capacidad de los depósitos.

Aquellos residuos de manejo especial, que por sus dimensiones no se puedan manejar en los depósitos, se deben manejar en contenedores del tamaño adecuado al volumen y tipo del residuo.

En el caso de chatarra que por sus dimensiones pueda ser recolectada en contenedores metálicos.

Durante el envasado en bolsas herméticas de los residuos biológico-infecciosos, éstos no se deben mezclar con ningún otro tipo de residuo, las bolsas se deben llenar hasta aproximadamente un 80 por ciento de su capacidad, se deben cerrar con cintillas de cierre antes de ser desembarcadas de la plataforma marina.

Por lo cual es importante seguir las normas establecidas para el transporte de estos residuos y tomar en cuenta la separación y el absoluto cuidado con cada tipo de residuo al momento de desembarcar y vertir algunos desechos al mar ya que el mal empleo de estos buques los cuales trasladan estos residuos pueden causar daños al medio ambiente los cuales están establecidos por la SEMARNAT, el transporte de los residuos peligrosos, únicamente se debe realizar en contenedores para residuos peligrosos por vía marítima y terrestre, queda prohibido transportarlos por vía aérea, se debe tener un plan de contingencia para el manejo de residuos incluyendo tener un programa calendarizado de recolección de residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos avalado por PEMEX [1].

En éste trabajo de investigación se plantea una solución optimizada de la transportación de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas petroleras mexicanas, permitiendo con esta investigación reducir tiempo y recurso a la empresa.

## 1.2 ANTECEDENTES

Petróleos Mexicanos es la mayor empresa de México y de América Latina. Pemex desarrolla toda la cadena productiva de la industria, desde la exploración, hasta la distribución y comercialización de productos finales. En las actividades que se llevan al cabo en PEMEX, se generan diferentes tipos de residuos que deben ser manejados de acuerdo a la normatividad vigente para prevenir y controlar la contaminación, así como para evitar riesgos al medio ambiente y a la salud personal [3]. PEMEX y organismos subsidiarios emiten a través del comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios (CNPMOS) la norma de referencia NFR-040-PEMEX 2013 para el manejo de residuos de Plataformas petroleras.

El procedimiento que actualmente utilizan es el siguiente:

- Los residuos almacenados se deben localizar en el área de transferencia establecida en forma conjunta entre el contratista y PEMEX adecuándose el número de supersacos, contenedores y otros.
- Los supersacos deben estar cerrados previamente a ser embarcados para su transporte a tierra.
- El traspase de los supersacos de plataforma a la embarcación, debe ser en contenedores o canastillas metálicas. Los movimientos a tierra, se deben registrar mediante el manifiesto de desembarque/embarque de residuos firmados por el Superintendente de la plataforma, así como de la embarcación receptora.
- El registro se debe estimar en volumen (m<sup>3</sup>) para cada uno de los residuos que se envíen, considerando si es posible registrar también en unidades de peso (kg). Derivado que el volumen estimado se sujeta a interpretación, se debe calcular la densidad de los residuos (kg/m<sup>3</sup>) para reducir la incertidumbre en la medición.
- Los residuos deben ser recibidos en los muelles con el manifiesto de desembarque/embarque de residuos firmado por el responsable del área, para su posterior transporte a centros de transferencia o acopio, con el fin de determinar su aprovechamiento, valorización o disposición final.

Para el transporte marítimo de los residuos peligrosos se debe cumplir con la información requerida en la NOM-005-SCT/2008[4], así como con lo que se estipula en la NOM-027-SCT4-1995[5] y las condiciones de seguridad y protección ambiental establecidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), Secretaría de Marina (SEMAR) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), formato SEMARNAT-07-033-I, artículo 50, de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) Autorización para el transporte de residuos peligrosos y Artículo 86 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (RLGPGIR).

En el caso de los residuos biológicos infecciosos se deben enviar a tierra para su incineración. No se debe efectuar vertimiento de residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligroso al mar excepto residuos alimenticios siempre y cuando se cumpla con las siguientes condiciones: Que se trituren hasta alcanzar una dimensión máxima de 25 mm. Que las plataformas marinas se localicen a cuando menos 4,828 km (3 millas) de distancia de la tierra más próxima.

Por la investigación realizada se puede identificar que actualmente PEMEX sigue la normatividad establecida para la transportación de residuos peligrosos, la problemática actual existente es la programación de rutas de transportación para el material peligroso y en esta investigación se apoyará a la empresa en la parte de optimización de rutas de transportación de material impactando en el ahorro de tiempo de transportación así como el ahorro de combustible de cada una de las unidades que pertenecen a la flota.

### **1.3. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

Actualmente PEMEX invierte gran cantidad de dinero en la transportación de residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX, con motivo de disminuir este gasto y el ahorro invertirlo en apoyo a la investigación de generación de recursos energéticos utilizando recursos renovables se realizará una propuesta solución para poder optimizar este gasto.

La propuesta de solución consiste de una metodología de investigación científica que permitirá encontrar una solución óptima del problema del transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX, mediante la formulación de un modelo matemático, utilización de una herramienta computacional y la generación de instancias de prueba. La metodología propuesta consiste de los siguientes pasos:

1. Analizar el problema del transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.

2. Identificar las variables del problema del transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.
3. Construir el modelo matemático del problema del transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.
4. Realizar experimentación para resolver el problema de transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.
5. Generar artículos de impacto nacional e internacional en base a los resultados de la solución del problema de transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.

#### **1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES**

Las limitaciones a las cuales estará sujeto este trabajo de investigación son:

- Para el caso de la experimentación se ha considerado solo las instancias de prueba generadas con base en el modelo matemático.
- Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación acorde al modelo matemático que representa el problema solo son representativos para las instancias de prueba generadas.
- Se limitó la introducción de variables en la herramienta computacional AIMMS.
- Cualquier aspecto no contemplado dentro de los alcances estará fuera de este proyecto de investigación, a menos que surjan de aspectos de interés importante para el proyecto de investigación mencionado.

#### **1.5. OBJETIVO GENERAL**

Encontrar una solución mediante un algoritmo optimizador de rutas que genere rutas para el transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.

## **1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Construir el modelo matemático del transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.
- Construir algoritmo solución de rutas de recolección para transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.
- Realizar experimentación para resolver el problema de transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.
- Generar soluciones factibles para el problema del transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.

## **1.7. HIPÓTESIS**

Es posible encontrar la solución óptima del problema de transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas petroleras mexicanas de acuerdo a este modelo matemático que establece el manejo de recursos eficaz de acuerdo a los requerimientos de la empresa, el modelo actúa minimizando el costo de transporte en las rutas de los buques y utilizando los buques necesarios y tamaños necesarios de acuerdo con las necesidades de cada plataforma y los horarios en los cuales se puede hacer la recolección de los diferentes tipos de desechos identificados por su color en cuanto a su clasificación, envasado y recipientes donde se almacenan.

## **1.8. RESULTADOS ESPERADOS**

En este trabajo de investigación se espera obtener los siguientes resultados:

- Análisis del problema de transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX de la región sur sureste del país.
- Identificación de variables del problema de transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.
- Construcción del modelo matemático del problema de transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas de PEMEX.

Utilización de herramienta informática para generar la solución al problema.

- Generar artículos de impacto nacional e internacional en base a los resultados de la solución del problema de transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligroso generados en plataformas marinas mexicanas.

## **1.9. CONTRIBUCIONES ORIGINALES ESPERADAS**

Dentro de las contribuciones originales esperadas se citan las siguientes:

- Generación de un modelo matemático que represente a lo sumo posible el problema de transporte marítimo de residuos especial y peligrosos de plataformas petroleras.
- Creación de instancias de prueba.
- Construcción de una solución mediante la herramienta AIMMS.
- Publicación de un artículo de impacto nacional e internacional en base a los resultados obtenidos en la presente investigación.

## CAPÍTULO II. TRABAJOS RELACIONADOS

### 2.1 PROBLEMA DE TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS

Por la investigación realizada, hasta ahora no se ha encontrado en literatura algun tipo de problema modelado que represente cada uno de los residuos peligrosos generados por las diferentes empresas, lo que hemos encontrado son propuestas de solución al problema de transportación de residuos que se describen en la sección 2.2 de este capítulo. Los tipos de problemas que se encuentran en literatura con respecto a los residuos peligrosos son el transporte de residuo biológico-infeccioso, de agua, hidrocarburos, entre otros. Tan solo en la empresa petrolera, según las investigaciones realizadas se encontraron mas de 6 tipos de residuos peligrosos generados por las diversas actividades que se realizan en la empresa.

El problema de los residuos es el problema ambiental más importante que enfrenta el mundo y México, causado por las personas y las empresas. El problema de los residuos afecta a la compañía petrolera estatal de México (PEMEX). PEMEX [1] es la compañía más grande de México y América Latina, y el contribuyente fiscal más importante del México. Es de las pocas empresas petroleras del mundo que desarrolla toda la cadena productiva de la industria, desde la exploración, hasta la distribución y comercialización de todos los productos. PEMEX una de las zonas en las que opera es el sureste de la costa (Sonda de Campeche es la zona marítima correspondiente a la prolongación submarina de la Península de Yucatán en el Golfo de México) cerca de 100 plataformas costa afuera en forma permanente, se hace girar alrededor de 5000 personas que viven ahí.

Las actividades que se realizan en PEMEX generan diferentes tipos de residuos, que deben ser manejados de acuerdo a las regulaciones para prevenir y controlar la contaminación y evitar riesgos para el medio ambiente y la salud de los empleados [1]. PEMEX [1] y Organismos Subsidiarios a través del Comité de Normalización y Organismos Subsidiarios creando un estándar de referencia para la gestión de residuos en las plataformas marinas con el fin de unificar criterios, aprovechar las experiencias y combinar los resultados de la investigación nacional e internacional [1]. La norma de referencia [1] establece los requisitos para la gestión integral de los residuos generados en las plataformas costa afuera (no se aplica al procesamiento buque, almacenamiento, remolcadores, proveedores, y el servicio de posicionamiento dinámico).

Los tipos de residuos se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1. Tipos de residuos.**

TIPO DE RESIDUOS	ACTIVIDAD	RESIDUOS
INCOMPATIBLES	Los desechos incompatibles	Estopa, trapos, guantes, uniformes y cartón contaminados con aceite usado, grasa desgastada,

<p>son aquellos que cuando se mezcla con agua, otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores.</p>	<p>de equipos electromecánicos , perforación , producción y estructuras</p>	<p>diesel o fluidos hidráulicos. Contenedores (recipiente, puede) y embalajes contaminados con aceite usado lubricantes, grasa usada, diesel o fluidos hidráulicos.</p>
	<p>Exploración y transporte de petróleo crudo</p>	<p>Estopa, trapos, guantes, uniformes y cartón contaminados con petróleo crudo. Contenedores (recipiente, puede) y embalajes contaminados con petróleo crudo.</p>
<p><b>MANEJO ESPECIAL</b> Los residuos de manejo especial son los generados en los procesos productivos, que tienen no las características para ser considerados como residuos peligrosos o sólido, o son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.</p>	<p>Procesos Productivos</p>	<p>Residuos de amianto, residuos ferrosos, materiales de limpieza cubierta, residuos oleosos, material de estiba (incluyendo cuerdas), el material, los recortes a base de agua, cemento sólido de la molienda, material de construcción impregnada con grasa de color verde, otros sólidos y fluidos adicionales a la perforación, y que hacen no tiene las características de peligro.</p>
<p><b>SÓLIDOS URBANOS</b> Los residuos sólidos urbanos son los que resultan de la eliminación de los materiales utilizados en actividades de vivienda, los productos que se consumen y de sus envases, embalajes o de embalaje; También los residuos procedentes de cualquier otra actividad dentro de la plataforma siempre que no se consideran como otros residuos.</p>	<p>Técnica de bombeo y en el mar u otro administrativos necesidades similar (hotel flotante que alberga a cientos de trabajadores )</p>	<p>Alimentos residuos, envoltorios, envases, empaques, tarimas y bandas que no están impregnados con materiales o residuos peligrosos, latas, desechos médicos (papel higiénico), plásticos, papel, cartón y unicel, latas de aluminio, de hierro, el vidrio no impregnados con cualquier material o residuos peligrosos, los tubos de rayos catódicos (CRT como televisores, monitores de ordenador), dispositivos electrónicos de consumo</p>

		(televisores de pantalla plana y monitores, ordenadores (CPU), teclados, consolas de juego, equipos de música, microondas, teléfonos móviles e inalámbricos, y cualquier artículo que contiene las placas de circuitos, termómetros de mercurio, fluorescentes Tubos y balastos.
	Operaciones de limpieza ácidos o alcalinos	Residuos de compuestos ácidos o alcalinos. Estopa, trapos, guantes, uniformes y cartón contaminados con residuos de ácidos o compuestos alcalinos.
		Contenedores (recipiente, puede) y embalajes contaminados con residuos de compuestos ácidos o alcalinos.
RESIDUOS PELIGROSOS  Los residuos peligrosos son los que tienen algunas de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les dan su peligrosidad, así como envases, recipientes y envases que han sido contaminados cuando se transfiere a otro sitio.	Limpieza y mantenimiento de equipos electromecánicos , perforación , producción y estructuras	Primer, residuos de pintura, disolventes, diluyentes, anticorrosivo esmalte, barniz.  La arena de sílice contaminada con residuos de pinturas, disolventes, diluyentes, esmaltes anticorrosivos, barnices, Primer.
		Estopa, trapos, guantes, uniformes, cartón y aserrín contaminados con residuos de pintura, disolventes, diluyentes, anticorrosivo esmalte, barniz, Primer.
		Contenedores (recipiente, puede) y materiales contaminados con residuos de pinturas, solventes, solvenetes, anticorrosivos esmalte, barniz, imprimación embalaje.

		El aceite usado en lubricantes, grasa usada, diesel o fluidos hidráulicos.
		Chatarra contaminada con aceite usado en lubricantes, pinturas, disolventes, diluyentes, esmaltes barnices, aceite anticorrosivo, crudo.
	Almacenamientos de crudo	Estopa, trapos, guantes, uniformes y cartón contaminados con lodos aceitosos.
	Habitación de material químico	Reactivos químicos de hoja caduca.
	Comunicaciones	Pilas alcalinas usadas. Baterías de plomo - ácido.
	Mantenimiento del sistema de iluminación	Lámparas y bombillas utilizadas de vapor de mercurio.
RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECTIOSOS  Los residuos peligrosos biológico-infeciosos que contienen bacterias, virus u otros microorganismos con capacidad de causar infección o que contiene o puede contener toxinas producidas por microorganismos que causan efectos adversos en los organismos vivos y el medio ambiente.	Servicios médicos	Residuos no anatómicos de las unidades de pacientes.
		Cortopunzantes usados.
		Residuos infecciosos varios: la curación de materiales.

Los residuos recogidos en los contenedores deben ser llevados a la zona de compactación, una vez compactado debe ser colocado en los supersacos. Los supersacos deben cumplir con las siguientes especificaciones [1]: a) Debe ser laminado blanco de polipropileno de 0,27 kg / m<sup>2</sup> (8 onzas por yarda cuadrada), un espesor de 2,2 mm. b) En la parte inferior debe tener dos bandas de carga estibador que se adjunta a un par de asas. c) En los supersacos superior debe tener una carga de la boca de la tela blanca de polipropileno laminado de 0 10 kg / m<sup>2</sup> (3 onzas por yarda cuadrada), 80 cm de longitud conectada a la parte superior de los supersacos. d) Las dimensiones de supersacos deben ser de dos tipos: Tipo A: 95 cm x 95 cm x 135 cm (1,218 m<sup>3</sup>). Tipo B: 85 cm x 85 cm x 85 cm (0,614 m<sup>3</sup>). e) Debe tener cuatro asas en la parte superior y cuatro asas en la parte

inferior. Cada tirador debe ser de polipropileno y tienen una longitud total de 160 cm por 5 cm de ancho y 2,2 mm de espesor, debe ser cosido doblemente zigzag 40 cm de cada extremo del cuerpo principal y deben supersacos sobresalir 80 cm.

Los contenedores (anexo 2) con tapas, que se etiquetan adecuadamente para su posterior transporte. En el caso de la chatarra debido a sus dimensiones pueden ser recogidos en contenedores, debe ser dispuesta en el área de transferencia. El recipiente de metal utilizado para transferir los desechos plataforma marítima del buque debe cumplir con lo siguiente [1]: Las dimensiones pueden variar dependiendo de las necesidades de la instalación, un ejemplo de las dimensiones es 2,50 m de longitud, 2,00 m de ancho, y 1,70 de alto. Los recipientes utilizados para la recolección, transferencia, transferencia y transporte de residuos peligrosos, excepto los desechos médicos deben cumplir con las siguientes especificaciones [1]: a) El contenedor deben ser diseñados para una capacidad de 25 barriles y una carga máxima admisible de 10 toneladas métricas y deben considerar las siguientes dimensiones, alto: 1 651,0 mm (65 pulgadas), anchura: 1 854,2 mm (73 pulgadas) y la duración: 2 438,4 mm (96 in). b) Estructura de hecho de la norma ASTM A-36 o equivalente, de chapa de acero sobre acero estructural de 6,35 mm (0,25 pulgadas) de espesor A-36, con canales de refuerzo estructural 101,6 mm (4 pulgadas) y espesor de 4,76 mm (0,1875 in) A- 36 en la periferia, bases llenas por los canales fabricante carretilla elevadora formada de 152,4 mm (6 pulgadas) y un espesor de 4,76 mm (0,1875 in) A-36, inferior, 4 ganchos superior de 25,4 mm (1 pulg.) de espesor A-36, 4 ganchos inferior de 25,4 mm (1 pulg.) de espesor A-36 para moverse con grúa, dos tapas en la parte superior, parte plegable, de chapa de 6,35 mm (0,25 pulgadas) de espesor A-36 paquetes en el sistema de la costa y de cierre, y corrosión de recubrimiento primario y acabado.

Para la gestión de los residuos peligrosos biológico-infecciosos generados en las áreas de atención de la salud (médico o unidades de salud en el trabajo), deben cumplir con [1]: a) las bolsas de polietileno. Las bolsas deben mencionarse de polietileno de color rojo translúcido, 200 mínimo calibre y 300 de calibre mínimo translúcida amarilla, resistente al agua, cloro libre, un contenido de metales pesados de no más de una parte por millón. Las bolsas deben llenarse hasta un 80 por ciento de su capacidad, deben ser cerradas con extensiones de cierre antes de ser aterrizado plataforma marina. B) Depósitos reducidos. Depósitos herméticos deben ser de polipropileno rígido, cloro libre con contenido de metales pesados de no más de una parte por millón, resistente a las fracturas y pérdida de contenido de caer, destructible por métodos físicos, con una baja resistencia a la penetración de 12,5 Newtons en todas sus partes. Depósitos de residuos cortopunzantes peligrosos deben ser de color rojo, lo que debería permitir verificar el volumen ocupado en ella, debe tener un separador de agujas y una abertura en el contenedor debe tener una tapa (s) de seguros y cerrar el montaje de forma permanente.

Por la investigación realizada hasta ahora se encontró que existen diferentes tipos de residuos para los cuales aun no se encontró definido un problema matemático que los represente.

En el presente trabajo de investigación se pretende contribuir mediante la modelación matemática del problema del transporte Marítimo de residuos sólidos, especiales y peligrosos de México generados por la empresa estatal petrolera (PEMEX).

## **2.2 PRINCIPALES AUTORES DEL TRANSPORTE MARITIMO DE RESIDUOS SÓLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS**

Dentro de los autores que han propuesto ideas sobre el transporte de materiales peligrosos encontramos a:

Fagerholt y Heimdal (1998) [2] resuelven el problema del transporte de lastre (agua) entre los tanques de lastre en una plataforma de producción costa afuera para hacer esto lo más rápido y eficiente, pero también teniendo en cuenta la seguridad, la estabilidad y la fuerza de la plataforma. Utilizaron dos algoritmos: un modelo de programación entera mixta (MIP) y un algoritmo heurístico. El algoritmo heurístico está instalado en los sistemas de control en una plataforma que opera en el Mar del Norte y la experiencia hasta ahora ha sido buena.

Iakovou et al. (1999) [3] consideran el problema estratégico de enrutamiento de nivel de materiales peligrosos en las aguas marinas en una red multiservicio con múltiples orígenes-destinos. Propusieron una metodología solución ilustrada a través de un solo problema de riesgo del material (HAZMAT), seguido de un estudio de caso a gran escala del sistema de transporte marítimo de productos petrolíferos en el Golfo de México.

Iakovou (2001) [4] presenta el desarrollo de un problema de transporte de mediano alcance estratégico de petróleo marítimo que aborda algunas de las cuestiones y preocupaciones planteadas por la Ley de Contaminación por Petróleo de 1990 - OPA 90. El problema del transporte marítimo de hidrocarburos se formula como una multiobjetivo , multiservicio, múltiples origen-destino, problema multimodal y la implementación de una metodología solución interactiva con un módulo de soporte de decisiones basada en la Web - IOTS.

Grob (2006) [5] resuelve el problema de vigilancia de superficie marítima llevada a cabo por las plataformas marítimas, como fragatas, helicópteros o aviones de patrulla marítima por SURPASS (un acrónimo de la superficie de evaluación de imagen). El modelo SURPASS da una idea de las plataformas y sensores necesarios para una operación de vigilancia y de diversas normas existentes y de nuevo desarrollo de tácticas de vigilancia.

Gribkovskai, Laporte y Shlopak (2007) [6] presentan un problema de recogida y entrega encontrado en la prestación de servicios a las plataformas de petróleo y gas en alta mar de Haltenbanken en el Mar de Noruega. Este artículo describe varios heurística de construcción y un algoritmo de búsqueda tabú para resolver el problema.

Velasco et al. (2012) [7] modelado un pick-up y el problema de la entrega, donde un conjunto de solicitudes de transporte se debe programar en rutas, lo que minimiza el costo total de transporte, mientras que las peticiones más urgentes son satisfechas por prioridad para las compañías petroleras que utilizan helicópteros para transportar a los ingenieros, técnicos y personal auxiliar de plataforma en plataforma. Utilizan una clasificación Algoritmo Genético para no dominado (NSGA-II) para resolver el problema.

Zhou et al. (2013) [8] desarrollado un algoritmo basado en la epsilon-restricción y Optimización Basado Lógica Fuzzy-de peligrosos Transporte de materiales a través de Lane. Soluciones óptimas de Pareto se obtienen por la primera, y una solución preferida es seleccionado por el enfoque basado en la lógica difusa.

Xie, et al. (2012) [9] proponer un modelo multi-objetivo y multimodal que puede optimizar simultáneamente ubicaciones yarda transferencia y materiales peligrosos (HAZMAT rutas) de transporte con sujeción a las limitaciones de riesgo y costo. El modelo se formula como un programa entero lineal mixto y se codifica en el estudio CPLEX usando OPL. También está ampliamente probado en dos redes multimodales de muestras consistentes en carreteras y ferrocarriles. El modelo desarrollado se aplica a dos estudios de casos de diferentes tamaños de red para demostrar su aplicabilidad.

Boyer et al. (2012) [10] presentan un modelo entero de programación biobjetiva mixta para residuos industriales peligrosos en la localización de enrutamiento con dos objetivos se desarrolla. El primer objetivo es la minimización del costo total incluyendo el costo de transporte, costo de operación, el costo de inversión inicial, y el ahorro de costes de la venta de residuos reciclados. El segundo objetivo es la minimización del riesgo de transporte. Para resolver el problema de software GAMS con CPLEX solucionador se utiliza. El problema se aplica en la provincia de Markazi en Irán.

Samanlioglu (2013) [11] formula un modelo matemático en la localización de enrutamiento de tres objetiva para materiales peligrosos industriales decisiones (HAZMAT) de gestión. Una formulación Tchebycheff ponderada lexicográfica se desarrolla y se calcula con el software CPLEX para encontrar soluciones eficientes representativos para el problema. Los datos relacionados con la región de Mármaro se obtiene mediante la utilización de Arcview 9.3 software de SIG y de Mármaro (Turquía) Región de base de datos geográfica.

Kazantzi et al. (2011) [12] presentar un marco sistemático hacia el desarrollo de un Modelo de Transporte de Materiales Peligrosos (materiales peligrosos). El estudio de investigación identifica y evalúa diferentes factores de riesgo que influyen en el problema y gráficamente mediante nodos y arcos y las condiciones óptimas son identificados por resolver el problema de la red de flujo asociado un costo mínimo. Los resultados muestran los niveles de seguridad que ayudan a tomar decisiones informadas sobre cómo elegir la configuración óptima de transporte para los envíos de materiales peligrosos. Se emplea el enfoque metodológico para demostrar la utilidad de las

herramientas de análisis adecuadas en la toma de decisiones y en particular para asegurar que los procedimientos de seguridad científicamente informadas están en su lugar, mientras que el transporte de mercancías que pueden ser potencialmente peligroso demostrado al público y los alrededores.

Kalelkar y Brooks (1978) [13] y Shobrys (1981) [14] El trabajo representa el primer intento de tratar explícitamente el marco objetivo múltiple en el transporte de materiales peligrosos. Pero el primer método Minimax fue propuesto por Kuby et al. (1997) [15] en el contexto de los problemas de "flujo multiservicio" llamados el modelo de flujo de coste mínimo de múltiples productos básicos (MMCFM).

Pradhananga et al. (2010) [16] presente un nuevo algoritmo de meta-heurística utilizando un sistema de colonia de hormigas (ACS) para la optimización multi-objetivo de materiales peligrosos (HAZMAT) transporte. Se centran en el problema de rutas para vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) aspecto del problema de transporte de materiales peligrosos. Se proporciona una formulación VRPTW considerando múltiples atributos en una aplicación para el transporte de materiales peligrosos. ACS en el algoritmo propuesto funciona en el marco de Pareto-óptima para el enrutamiento e integra un algoritmo de etiquetado para encontrar caminos no dominadas con fines elección camino.

Frank et al. (2000) [17] proponer un sistema de apoyo a las decisiones espaciales de trabajo (SDSS) Camino llamada Hazmat se desarrolla. La propuesta de materiales peligrosos enrutamiento SDSS supera tres retos importantes, a saber, el manejo de una red realista, ofreciendo heurística generadoras ruta sofisticados y el funcionamiento de una computadora personal de escritorio. El artículo discute enfoques creativos para la manipulación de datos, los datos y la visualización solución, interfaces de usuario, y la heurística de optimización aplicadas en Camino Hazmat para enfrentar estos desafíos.

Kara et al. (2003) [18] proponen dos algoritmos de selección de ruta para el transporte de materiales peligrosos. Los algoritmos pueden tratar con enlace impedancias que son dependiente de la trayectoria.

Erkut y Ingolfsson (2005) [19] proponen funciones de evaluación ruta para el transporte de materiales peligrosos utilizar una aproximación y modelos para satisfacer los axiomas y son relativamente manejables.

Zografos y Androutsopoulos (2004) [20] presentan un algoritmo heurístico para resolver el ruteo de vehículos y la programación problema bi-objetivo. Los resultados de estas aplicaciones parecen ser bastante alentador. El algoritmo se ha integrado dentro de un sistema de soporte de decisiones SIG para materiales peligrosos operaciones de logística que proporcionan resultados preliminares válidos sobre un conjunto de estudios de caso. La determinación de materiales peligrosos rutas de distribución se puede definir como un problema de ruteo de vehículos bi-objetivo con ventanas de tiempo ya la minimización del riesgo acompaña a la minimización de costos en la función objetivo.

Erkut y Gzara (2008) [21] consideran que el problema de diseño de la red para el transporte de materiales peligrosos donde el gobierno designa a una red, y las compañías eligen las rutas de la red. Modelamos el problema como una formulación de flujo de red de dos niveles y analizamos el problema de diseño de dos niveles, comparándolo con otros tres escenarios de decisión. Proponen un método de solución heurística para explotar la estructura de flujo de red en ambos niveles para superar la dificultad y la inestabilidad del modelo de programación número entero de dos niveles.

Alumur y Kara (2007) [22] proponen se propone un modelo de localización de ruta multiobjetivo. El objetivo del modelo es responder a las preguntas: ¿dónde abrir centros de tratamiento y con qué tecnologías, dónde abrir centros de recogida, cómo encaminar los diferentes tipos de residuos peligrosos a cuál de las tecnologías de tratamiento compatibles, y cómo encaminar los residuos de desecho de centros de eliminación. El modelo tiene el objetivo de minimizar el coste total y el riesgo transporte. Se presenta una implementación a gran escala del modelo en la región de Anatolia Central de Turquía.

Raemdonck et al. (2013) [23] muestran un estudio de la literatura sobre los sistemas de análisis de riesgo para el transporte de materiales peligrosos. Ellos proponen un marco que permite la creación de un mapa de riesgo global para el transporte de materiales peligrosos por los diferentes modos de transporte, una metodología para calcular el riesgo de accidente local, que toma parámetros de infraestructura local y datos de accidentes en cuenta. El marco de evaluación permite estimar los riesgos de transporte de materiales peligrosos a lo largo de una ruta específica para el transporte por carretera, ferrocarril, la navegación interior y hasta tuberías.

Tabla 2. Trabajos Relacionados.

Investigador	Problema	Contribución
Fagerholt and Heimdal (1998) [2]	Problema transporte de lastre de Plataforma Offshore Producción	Utilizaron la programación entera mixta modelo ( MIP ) y el algoritmo heurístico instalado en sistemas de control en una plataforma y en el Mar del Norte .
Iakovou et al. (1999) [3]	Problema de Transporte de Materiales Peligrosos	Un problema solo peligro de materiales ( materiales peligrosos ) del sistema de transporte marítimo de productos petrolíferos en el Golfo de México .
Frank et al. (2000) [17]	Material de Transporte Problema Un Sistema de Soporte de Decisiones Espaciales Peligrosos ( SDSS ) Llamado Camino de Materiales Peligrosos, Que offers sofisticados heurística de Generación de Rutas y EL FUNCIONAMIENTO De Una	Material de Transporte Problema Un Sistema de Soporte de Decisiones Espaciales Peligrosos ( SDSS ) Llamado Camino de Materiales Peligrosos, Que offers sofisticados heurística de Generación de Rutas y EL FUNCIONAMIENTO De Una

	Peligrosos , Que offers sofisticados heurística de Generación de Rutas y EL FUNCIONAMIENTO De Una Computadora de Escritorio personal	Computadora de Escritorio personal.
Iakovou (2001) [4]	Medio Plazo Marítima Estratégico de Transporte de Petróleo Problema	Las preocupaciones planteadas por la Ley de Contaminación por Hidrocarburos de 1990 - 90 de OPA, y desplegaron un módulo de soporte de decisiones basada en la Web - IOTS.
Kara et al. (2003) [18]	Problema de Transporte de Materiales Peligrosos	Dos algoritmos de selección de ruta para el transporte de materiales peligrosos.
Zografos and Androutsopoulos (2004) [20]	Problema de Transporte de Materiales Peligrosos	Un algoritmo heurístico para la resolución del enrutamiento de vehículos y la programación problema bi-objetivo, integrado dentro de un sistema de soporte de decisiones basada en SIG para las operaciones de logística de materiales peligrosos que proporcionan resultados preliminares válidos de un conjunto de estudios de casos.
Erkut and Ingolfsson (2005) [19]	Problema de Transporte de Materiales Peligrosos	funciones de evaluación ruta para el transporte de materiales peligrosos utilizan una aproximación y modelos.
Grob (2006) [5]	Problema Marítimo de superficie de Vigilancia	Llevado a cabo por las plataformas marítimas tales como fragatas, helicópteros o aviones de patrulla marítima por superar. El modelo SUPERAR da una idea de las plataformas y sensores necesarios para una operación de vigilancia.
Gribkovskai, Laporte and Shlopak (2007) [6]	Recolección y entrega de problemas	En el documento se describe la construcción heurística y un algoritmo de búsqueda tabú para

		resolver el problema que se encuentra en el mantenimiento de plataformas de petróleo y gas en alta mar de Haltenbanken en el mar de Noruega.
Alumur and Kara (2007) [22]	Problema de Transporte de Materiales Peligrosos	Un modelo de ubicación de ruta multiobjetivo con el objetivo de minimizar el coste total y el riesgo de transporte y una implementación en la región de Anatolia Central de Turquía.
Erkut and Gzara (2008) [21]	Problema de Transporte de Materiales Peligrosos	Considera el problema de diseño de la red para el transporte de materiales peligrosos donde el gobierno designa una red, y las compañías eligen las rutas de la red. Proponen un método de solución heurística para explotar la estructura del flujo de red.
Velasco et al. (2012) [7]	Recolección y entrega de problemas	Utilizan una dominada por no Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) para solucionar el problema de rutas de petición, lo que minimiza el coste total de transporte, mientras que las peticiones más urgentes son satisfechas por prioridad para las empresas petroleras que utilizan helicópteros para el transporte de ingenieros, técnicos y personal auxiliar de plataforma en plataforma.
Zhou et al. (2013) [8]	Problema de Transporte de Materiales Peligrosos	Un algoritmo basado en la épsilon-restricción y Optimización Lógica Fuzzy-base de material peligroso Transporte a través de Lane.
Xie et al.(2012) [9]	Problema de Transporte de Materiales Peligrosos	Un programa lineal entera mixta y codificado en el estudio usando CPLEX OPL probaron en dos redes multimodales muestra que consta de carreteras y ferrocarriles.
Boyer et al. (2012)[10]	Localización de enrutamiento - Industrial problema de los residuos peligrosos	Utilice el software GAMS con el solver CPLEX aplicado en la provincia de Markazi en Irán.

Samanlioglu (2013) [11]	Materiales peligrosos industriales Gestión ( HAZMAT )	software CPLEX para encontrar soluciones eficaces al problema de representación con los datos relacionados con la región de Mármara, Turquía.
Kazantzi et al. (2011) [12]	Problema de Transporte de Materiales Peligrosos	El estudio de investigación identifica y evalúa diferentes factores de riesgo que influyen en el problema y gráficamente utilizando nodos y arcos y las condiciones óptimas se identifican por resolver el problema de la red de flujo mínimo coste asociado.
Pradhananga et al. (2010) [16]	VRPTW con Hazardous Material de Transporte Problema	Un nuevo algoritmo de meta-heurística utilizando un sistema de colonias de hormigas (ACS) para la optimización multi-objetivo del transporte de materiales peligrosos (HAZMAT). ACS trabaja en el marco de Pareto óptimo para el enrutamiento e integra un algoritmo de etiquetado para encontrar caminos no dominadas con fines selección de pasos.
Raemdonck et al. (2013) [23]	Problema de Transporte de Materiales Peligrosos	Un estudio de la literatura de los sistemas de análisis de riesgo para el transporte de materiales peligrosos. Proponen un marco que permite la creación de un mapa de riesgo global para el transporte de materiales peligrosos por los diferentes modos de transporte (por carretera, ferrocarril, la navegación interior e incluso tuberías).

Con base en los trabajos relacionados investigados en literatura, hasta la fecha no se ha encontrado la modelación matemática del problema de transporte de residuos sólidos, de tratamiento especial y residuos peligrosos en el que se optimice los costos de transportación. Por lo que en este trabajo de investigación se aborda la modelación del problema de forma matemática conforme a su tipo y clasificación de acuerdo a las normas establecidas y actividades de PEMEX.

## **2.3 TIPOS DE RESIDUOS (SÓLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS)**

LGPGIR (Prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos) publicada el 8 de octubre de 2003, establece en su artículo 25 que "La Secretaría deberá formular e instrumentar el PNPGIR (artículos 7º y 25º de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2003)".

La Secretaría llevó a cabo la elaboración y publicación de un Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DBGIR), con el cual da cumplimiento al compromiso establecido por la LGPGIR y aporta información requerida para estar en condiciones de diseñar políticas y otros instrumentos necesarios en la búsqueda de soluciones adecuadas al manejo de residuos.

### **Residuos Sólidos Urbanos (RSU)**

Según los datos que se registraron por SEDESOL en el 2004 la generación de RSU fue de 34.6 millones de toneladas anuales en todo el país. Con el constante aumento de población se indica una proyección al año 2020, indicando la generación de 1,060 gr/día.

La composición en años anteriores consistía de materiales reciclables como papel, cartón, plásticos, hojalata y textiles y otros como madera, cuero, hule, trapo y fibras diversas.

Estos residuos se manejan de acuerdo a la recolección, tratamiento y disposición final, en los estudios anteriores se recolectaron entre 60% y 80%. Del total recolectado solamente un 64% se depositó en rellenos sanitarios y 21 sitios controlados, lo restante se estima que se depositó en tiraderos a cielo abierto, barrancas, o bien en cualquier otro sitio sin control.

Algunos materiales recuperados para su venta (cartón, papel, aluminio, vidrio, PET), representan del 8% al 12% del total generado, esto se da en todos los sitios (controlados y no controlados).

### **Residuos Peligrosos (RP)**

Son aquellos que posean alguna característica de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, entre los cuales incluyen envases, recipientes, embalajes y suelos que

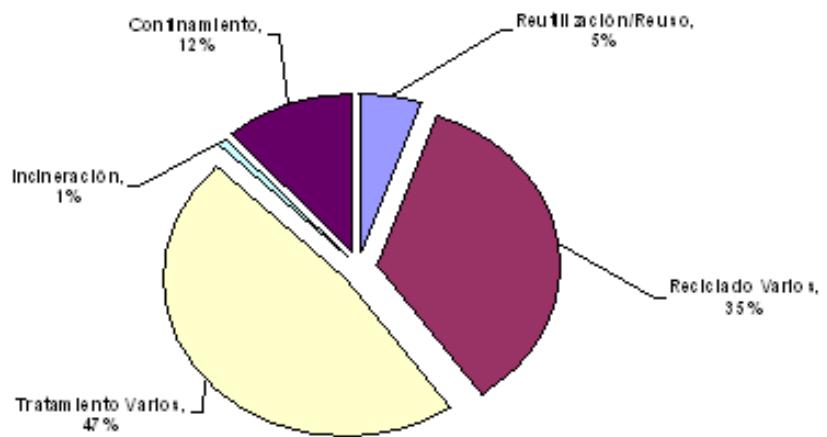
hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad como se establece en esta Ley.

En cuanto a este problema México ratifica al Convenio de Brasilea el cual modifica el control de importación y exportación de estos residuos y asume una serie de acciones que incluyen entre otras, el intercambio de información y transferencia tecnológica y otras acciones necesarias para fortalecer la gestión integral de estos residuos, así mismo fortalecerá la regulación y control en el movimiento fronterizo de residuos peligrosos desde y hacia el país ya que anualmente se generan alrededor de 9.1 millones de toneladas de residuos peligrosos registrados ante SEMARNAT.

La secretaría lleva a cabo el manejo de los residuos peligrosos de acuerdo a la LGPGIR, la cual consta de orientación y promoción hacia los generadores de residuos peligrosos con el fin de modificar las actividades de manejo (reutilización, reciclado, tratamientos, disposición final) que confieren dichos residuos beneficiando económicamente, ambientalmente y técnicamente que se obtienen al considerarse la prevención de generar residuos como primera opción en la jerarquía de administración de recursos materiales.

Al producirse residuos los generadores aprovechan y valoran los mismos, recuperando algunas propiedades y componentes que puedan ser útiles en algún otro proceso, de lo contrario si no es posible recuperar algo útil se toma en cuenta el tratamiento de estos por diversas técnicas consistiendo en cambiar las características de los residuos y reducir su volumen de peligrosidad, finalmente como última opción es la disposición final en confinamientos controlados de residuos

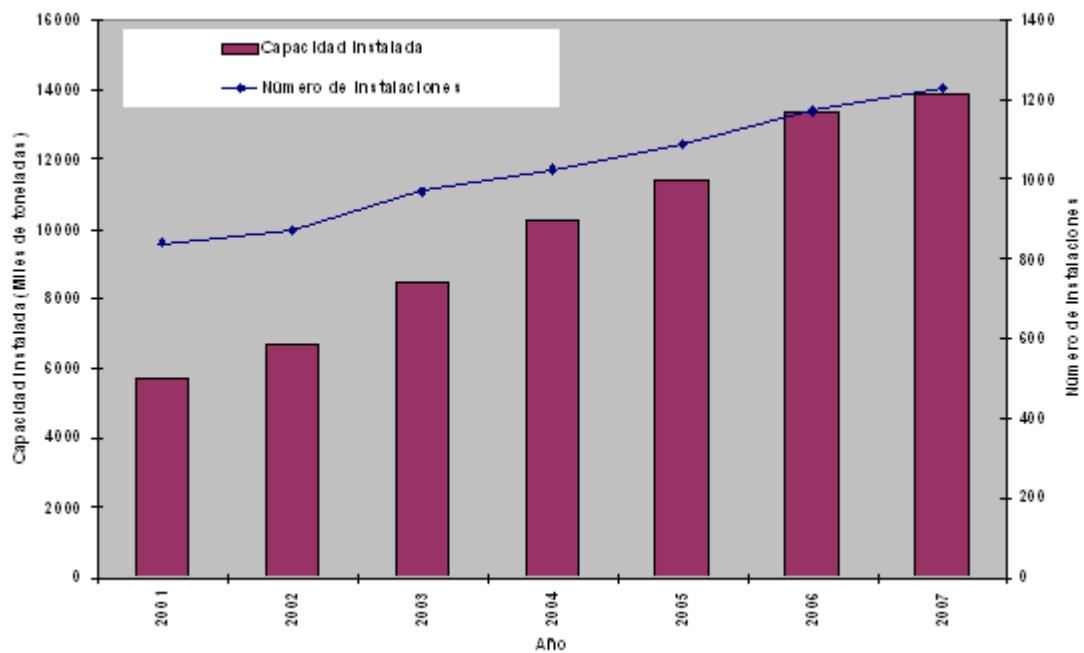
Figura 1.. Distribución de la capacidad instalada para el manejo de residuos peligrosos



**Fuente:** Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, SEMARNAT. 2008

Respecto a la disposición final de recursos peligrosos en confinamientos controlados los cuales son operados en una instalación privada sin prestación del servicio y otros dos son empresas que prestan el servicio y se encuentran ubicados en los estados de Coahuila y Nuevo León y en el 2006 se autorizaron 6 proyectos incluyendo uno en el estado de Hidalgo el cual está en la fase final y los otros 5 se encuentran en etapas previas de construcción.

Figura 2..Estadistica de prestación de de servicio.



**Fuente:** Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas, SEMARNAT. 2008

### Residuos de Manejo Especial (RME)

La LGPGIR en su artículo 19 clasifica los RME en ocho categorías diferentes, entre las cuales encontramos las siguientes y más importantes:

- Servicios de salud generados por establecimientos que realizan actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, centros de investigación con excepción de los biológico-infecciosos (fracción II)
- Servicios de transporte, así como los generados a consecuencia de las actividades que se realizan en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias y en las aduanas (fracción IV)
- Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales (fracción V)
- Tiendas departamentales o centros comerciales, generados en grandes volúmenes (fracción VI), y
- De la construcción, mantenimiento y demolición en general (fracción VII)

### **Residuos Peligrosos Biológico-infeciosos**

Estos son todos los residuos de los servicios de salud que no son considerados en los de manejo especial como algunos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

### **Residuos de la industria Petrolera**

Entre los cuales genera importantes volúmenes de residuos peligrosos y de manejo especial ya que realiza diferentes actividades y procesos como:

- La exploración y extracción de hidrocarburos
- El procesamiento del gas natural y sus líquidos
- La refinación
- Los procesos petroquímicos
- El transporte, almacenamiento y comercialización de hidrocarburos.
- El mantenimiento de sus instalaciones.

En 2007, Petróleos Mexicanos generó 483,500 toneladas de residuos (15.7 % RP y 81.3% RME).

**Residuos peligrosos** resultantes de actividades de refinación y elaboración de petroquímicos (lodos aceitosos, residuos sólidos contaminados, sosas gastadas, catalizadores gastados y residuos organoclorados).

**Residuos de Manejo Especial** resultantes de recortes de perforaciones, provenientes de extracción de hidrocarburos y el resto de desechos ferroso y residuos generados por mantenimiento. [38]

## CAPÍTULO III. TRANSPORTE MARÍTIMO DE RESIDUOS SOLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS

### 3.1 MODELO MATEMÁTICO DEL TRANSPORTE MARÍTIMO DE RESIDUOS SÓLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS.

El problema Marítimo de transporte conforme a los residuos sólidos, especiales y peligrosos (una variante de el problema de Transporte de cada Plataforma petrolera [26] mezclado con un problema de transporte de materiales peligrosos o materiales no peligrosos [24]) consisten en reducir al mínimo el costo de transportar diferentes tipos de residuos de un ubicación (puerto / plataforma) a otra ubicación (puerto / plataforma) utilizando buques o similar con algunas restricciones de capacidad y tiempo.

Proponemos un nuevo modelo matemático para la Plataforma Marítima Transporte problema de los residuos sólidos, especiales y peligrosos (MPTP-W). El modelo matemático de MPTP-W está formado por las ecuaciones 1-5: La ecuación (1) es la minimización del costo (C) por la ruta ( $x_{ij}$ ) realizado por la nave ( $b_k$ ). La ecuación (2) representa la capacidad total del buque teniendo en cuenta los tipos y tamaños de contenedores y la capacidad no debe ser superada por la suma de las demandas de cada plataforma. La ecuación (3) es la longitud total de las naves de todas las rutas de cada barco cumplir una serie de plataformas o nodos. La ecuación (4) se menciona que cada ruta tomada por una nave debe empezar en el nodo cero y terminar en el nodo cero. La ecuación (5) es el peso máximo permitido por la carga de la nave y no debe ser excedido por la suma de los pesos de los contenedores.

$$\min Z = \sum_{i=0}^n Cx_{ij}b_k \quad (1)$$

$$Q_{bk} \leq \sum_{i=1}^n d_{pi}; \quad Q_{bk} = \{qso, qsp, qh\} \quad (2)$$

$$X_{ijb_k} = \sum_{i=0}^n x_{ijb_k} \quad (3)$$

$$x_{ijb_k} = \sum_{i=0}^n x_{ijb_k} + \sum_{i=j}^0 x_{i0} \quad (4)$$

$$W_{b_k} \leq \sum_{i=0}^n wd_{ib_k} \quad (5)$$

Dónde:  $X_{ijb_k}$  es la  $X_{ij}$  ruta trazada por  $b_k$  barco,  $ij$  es los lugares a visitar (plataformas) definidos por  $i$  empezando plataforma y  $j$  la plataforma final, la definición de la plataforma  $i = 0$  como el punto central donde los barcos salen y regresan al finalizar su viaje.  $D = [dp_1, ..., DPN]$  es la demanda total de contenedores de transporte que

representa la suma de las demandas de todas las plataformas. De la demanda se considera heterogénea; que puede ser de diferentes tipos y tamaños de recipientes que se transportan. Los tipos de contenedores están en función del tipo de residuo que se maneja. Actualmente hay cinco tipos: 1) incompatibles (pt1), 2) Manejo Especial (pt2), 3) Urbanas y Solid (pT3), 4) Residuos peligrosos (pT4), 5) de residuos peligrosos biológico-infecciosos (PT5). Por ejemplo, si en la plataforma 1 se solicita para el transporte de 3 envases de tipo 1, 3 contenedores de tipo 5 y 1 contenedor de tipo 1, la demanda total de la plataforma son:  $DP1 = 3pt11 + 3pt41 + 1pt51$  o  $dpi = 3pt1i + 3pt4i + 1pt5i$ . La demanda del transporte de contenedores está directamente relacionada con la capacidad y el peso de la nave. **QBK** es la capacidad del buque para el transporte de contenedores, para un buque se considera, tres diferentes tamaños pequeño, mediano y grande, **qso** es el número de contenedores para Residuos Sólidos **qsp** es el número de contenedores para residuos especiales, **qh** es el número de contenedores para residuos peligrosos. La capacidad del recipiente se mide a 20 pies cúbicos (teu, TEU) correspondiente a un recipiente de medición que se corresponden con un recipiente con  $20 \times 8 \times 8,5$  pies ( $6,1 \times 2,4 \times 2,6$  m), el más común es Actualmente  $40 \times 8 \times 8,5$  pies. Un barco de pequeño tamaño considerar  $20 \times 8 \times 8,5$  pies de la zona de carga de contenedores, un barco de tamaño medio considerar  $30 \times 8 \times 8,5$  pies de la zona de carga de contenedores, un barco de gran tamaño considerar  $40 \times 8 \times 8,5$  pies en el área de carga de contenedores. **Wbk** es el peso total permitido por el buque, que considera el peso de los contenedores en el bk buque,  $Wbk \leq wdp1bk1 + wdp2bk2 + wdp3bk3 + \dots + IPIM-1bkm-1 + wdpibkm$ , el **wdpibkm** representa, la **wdpibkm** variable representa el peso del recipiente, la variable **m** representa el número de contenedores en el buque **bk**. **B** representa la flota (número de buques o barcos con capacidad homogénea o heterogénea), la flota está representado por un vector  $B = [b1, b2, b3, \dots, bk-1, bk]$ .

El problema de transporte de los residuos sólidos, especiales y peligrosos ( L1 ) es una variante del problema de transporte de materiales peligrosos o materiales no peligrosos ( L2 ), el HAZMAT es NP - duro. La L1 se transformó en la L2 ( $L1 \leq P L2$ ) o ( MPTP - W  $\leq P$  HAZMAT ). Luego, con la transformación polinómica de los casos - MPTP W para las instancias HAZMAT, llegamos a la conclusión de que el problema de transporte de los residuos sólidos, especial y peligroso es NP - duro.

### 3.2 INSTANCIAS DEL MODELO DEL TRANSPORTE MARÍTIMO DE RESIDUOS SÓLIDOS, ESPECIALES Y PELIGROSOS

La descripción de las variables utilizadas en el set de instancias generadas para la experimentación se muestra en la Tabla 3.

Las instancias se identifican con el nombre **MPTP-W-H**, que se compone de las siglas del modelo del transporte marítimo de residuos sólidos, especiales y peligrosos (siglas en inglés, aumentando la H que es para identificar que la característica de la flota es heterogénea, es decir que utiliza barcos de diferente capacidad).

**Tabla 3. Consideración de variables**

NOMBRE <b>MPTP-W-H</b>								
Flota	Numero de Plataformas	Capacidad qso	Capacidad qsp	Capacidad Qh	Contenedores Capacidad	Tiempo		
Heterogenea	36	3 Ton 1 Ton ½ Ton	Numero	Numero	Numero	8:00-12:00=M 12:00-7:00=T 7:00-12:00=N		
Numero Instancia	Latitud	Longitud	Demanda Supersacos	Bolsas Polietileno	Contenedores	Apertura Dia	Apertura Fecha	Equitación Hora
$I_1$	$X_1$	$Y_1$	$S_1$	$B_1$	$C_1$	$ED_1$	$DD_1$	$RT_1$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$I_{36}$	$X_{36}$	$Y_{36}$	$S_{36}$	$B_{36}$	$C_{36}$	$ED_{36}$	$DD_{36}$	$RT_{36}$

Como se observa en la Tabla 3 se describen cada una de las variables con el tipo de dato que almacenan, cabe mencionar que por las especificaciones de la herramienta utilizada AIMS, se renombraron las variables y a continuación se describe el nombre de la variable utilizada en la herramienta y el equivalente en la instancia.

Proyectos = plataformas (1-10).

Barcos = buques (1-10).

Turnos = mañana, tarde y noche.

Tipo de cargamentos = Residuos sólidos, especiales y peligrosos.

Solicitudes = Demanda solicitada por plataforma.

Características = Tipo de residuo que transporta cada buque.

Costo = Costo a PEMEX el envío de cada barco conforme a su tamaño.

Turnos = Disponibilidad de buques por turno.

Asignación = Desechos por barco en cada turno

Unfullfiled = Desechos por barco no asignado reducido a cero.

Satisfacción de la demanda = Satisfacción en cuanto a turno y barcos.

Asignación turnos = Satisfacción de turnos asignados.

Asignación de barcos = Satisfacciones de buques de acuerdo a sus características.

Max turnos = Asignación Max por turno = 1.

UnfulfilledWeightingFactor = Penalización por no asignar buque a solicitud.

UnfulfilledCost = Costo si no se cubren el total de solicitudes.

NotPreferenceCost = Preferentemente reducir el uso de buques que generen mayor costo.

Totalcost = Costo total por proyecto.

El conjunto de instancias de prueba fueron generadas aleatoriamente con la herramienta exel, cuidando en todo momento las restricciones de cada variable.

Para consultar el set de instancias generadas se pueden consultar en la sección de anexos de este documento.

### **3.3 ALGORITMO SOLUCIÓN MEDIANTE LA HERRAMIENTA AIMMS**

- 01 Inicio de agoritmo
- 02 Ingresar datos necesarios conforme las siguientes  
intrucciones
- 03 Datos de plataformas
- 04 Datos de buques disponibles y tamaños en existencia
- 05 Datos de horarios determinados
- 06 Datos de requerimientos por plataforma
- 07 Buscar una solución a los requerimientos y datos ingresados
- 08 Selección de solución generada en el sistema AIMMS
- 09 Envío de buques conforme la solución presentada en la  
solución
- 10 Depósito de desechos orgánicos al mar
- 11 Retomar la ruta entre plataformas y llevando el desecho a  
plataforma de desembarque
- 12 Proceso de desembarque
- 13 Finalización de solución

## CAPÍTULO IV. EXPERIMENTACIÓN

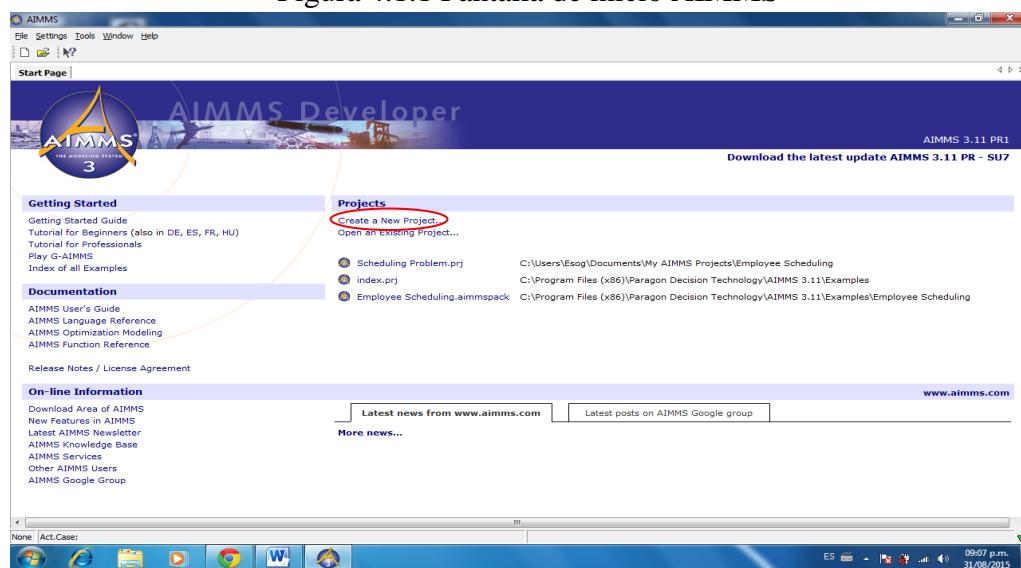
### 4.1 IMPLEMENTACION DE LA SOLUCIÓN

La solución a la problemática del transporte marítimo de residuos sólidos especial y peligroso se implemento utilizando la herramienta AIMMS(an acronym for "Advanced Interactive Multidimensional Modeling System")

Que es una herramienta que permite optimizar aplicaciones de investigación operacional con una interfaz gráfica intuitiva el cual incluye programación matemática.

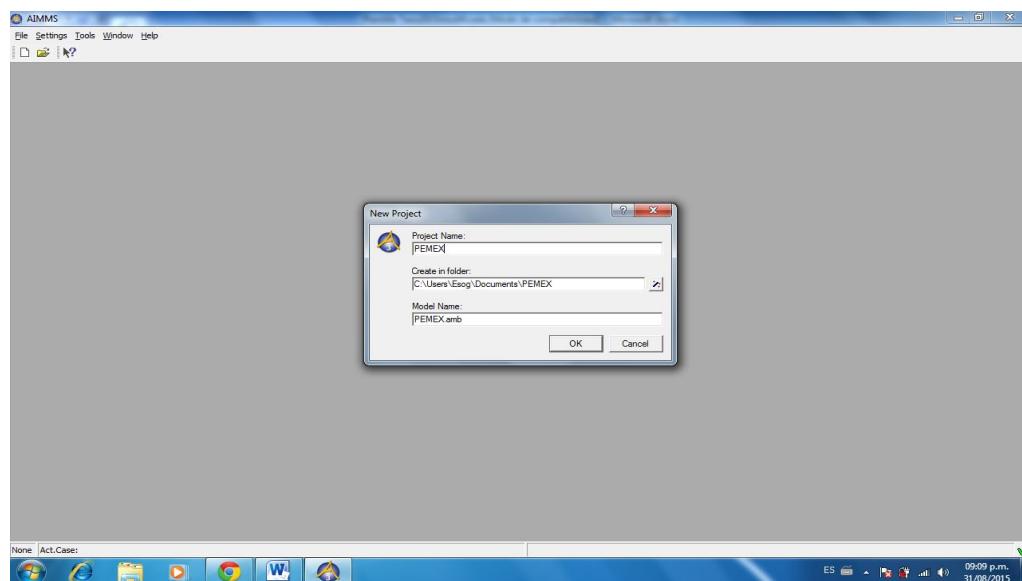
El entorno de la herramienta se muestra en la figura 4.1.1 donde se inicia la captura de la información permitiendo crear un nuevo proyecto en la pestaña “Create a New Project”, donde nos permite crear el proyecto “PEMEX” es el nombre que se le dio al proyecto solución propuesto en este documento.

Figura 4.1.1 Pantalla de inicio AIMMS



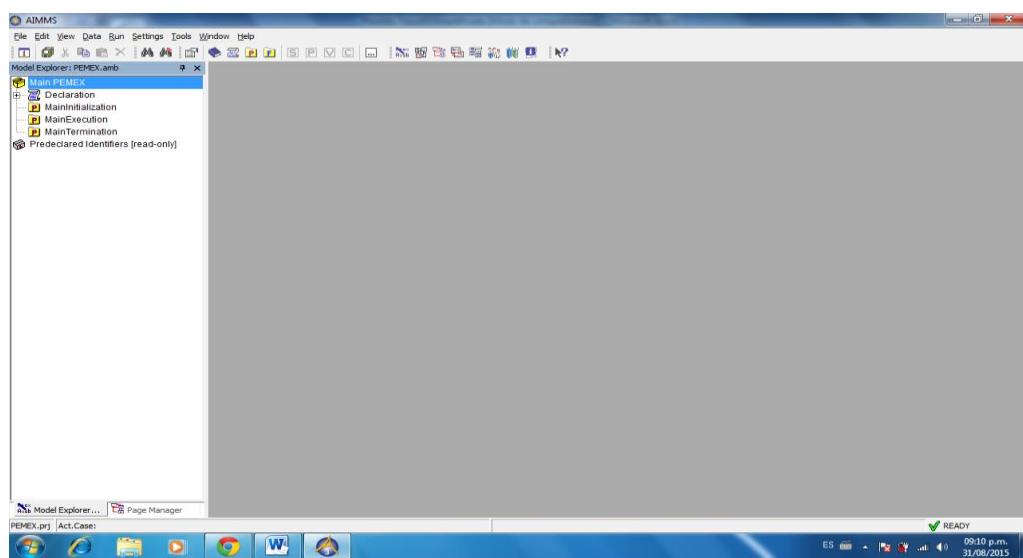
Posteriormente de que ingresa al entorno selecciona la opcion “Create a New Project” aparece la pantalla que se muestra en la figura 4.1.2 en la cual permite dar nombre al proyecto, seleccionar la ruta donde se guardará el proyecto y el nombre del modelo con la extensión correspondiente.

Figura 4.1.2 Optimización Transporte marítimo de residuos peligrosos



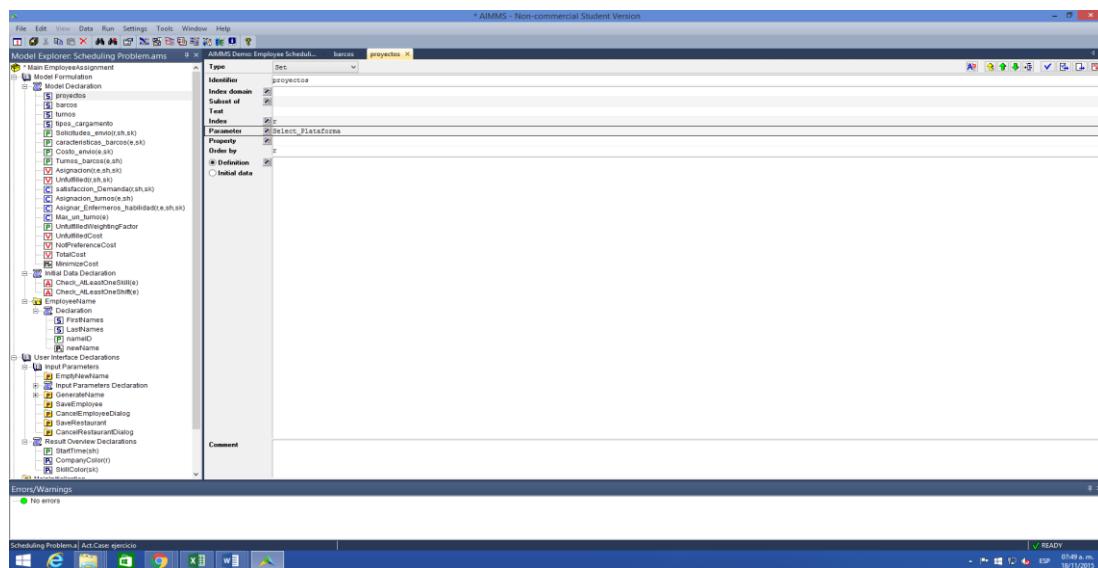
Al dar nombre al proyecto pasará a la siguiente pantalla que se muestra en la figura 4.1.3 donde se mostraran las carpetas creadas en el proyecto por default, sobre las cuales empezaremos a trabajar como se muestra posteriormente.

Figura 4.1.3 Inicialización de proyecto



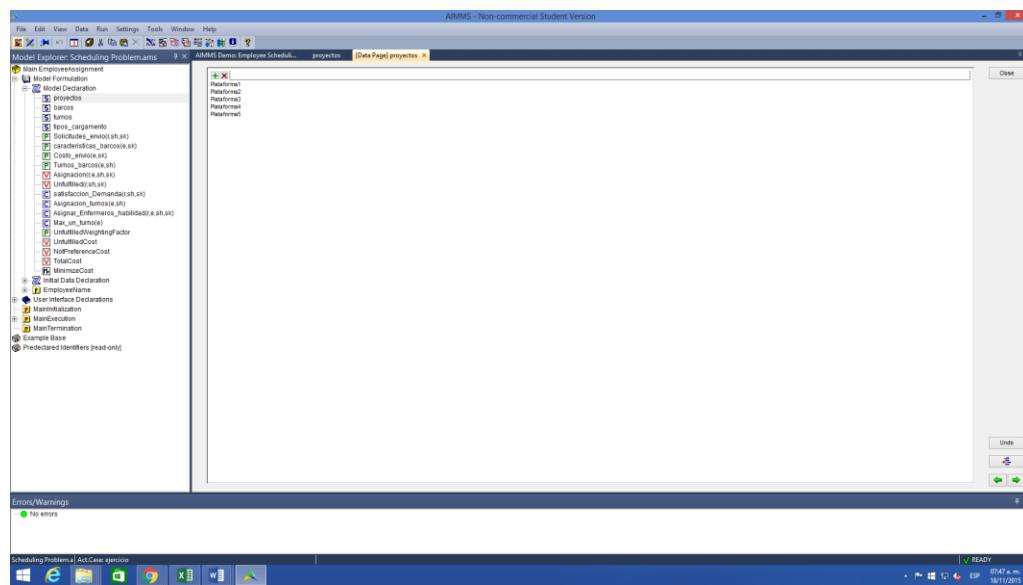
En este paso tienes un proyecto al cual se le dará sentido y forma en cuanto a lo que vamos a requerir, seguiremos con lo que es la declaración de variables ampliando con el símbolo de + el menú de declaraciones para que desplaze ampliamente cada dato dentro del proyecto, en la figura 4.1.4 se muestra del lado izquierdo la lista de cada dato ingresado que tendremos al final del proyecto.

Figura 4.1.4 Set proyectos



Empezaremos con la declaración de un set al cual llamaremos **proyectos** y con un parámetro (Parameter) al cual llamaremos **Select\_Plataform** que se mandará llamar (Order by) con “r”

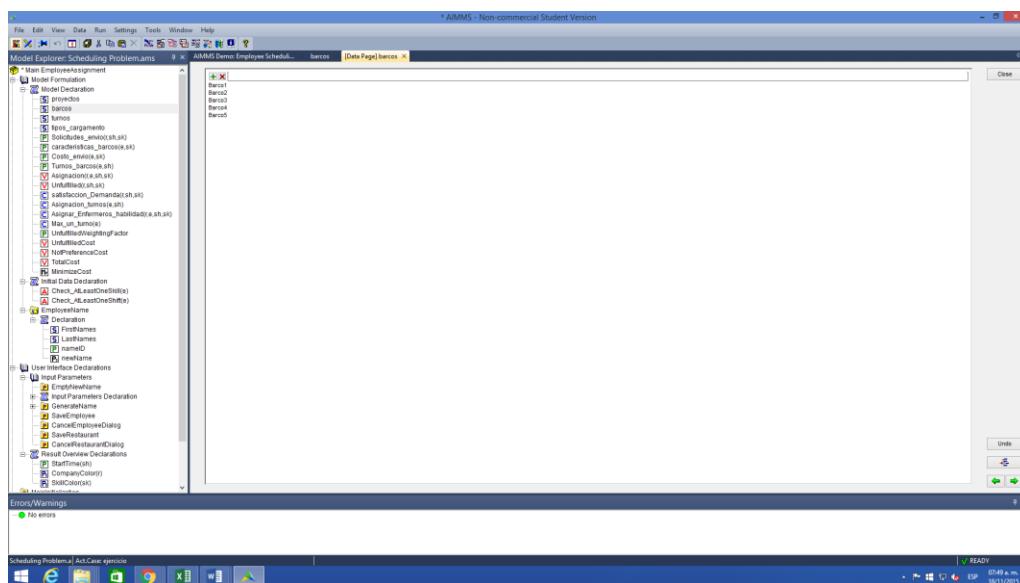
Figura 4.1.5 Datos de proyectos



Posterior a crear el set se ingresan los datos que estarán dentro de **proyectos** dentro de este set ingresaremos los siguientes datos como aparecen en la figura 4.1.5 con los nombres: **Plataforma1, Plataforma2, Plataforma3, Plataforma4, Plataforma5**.

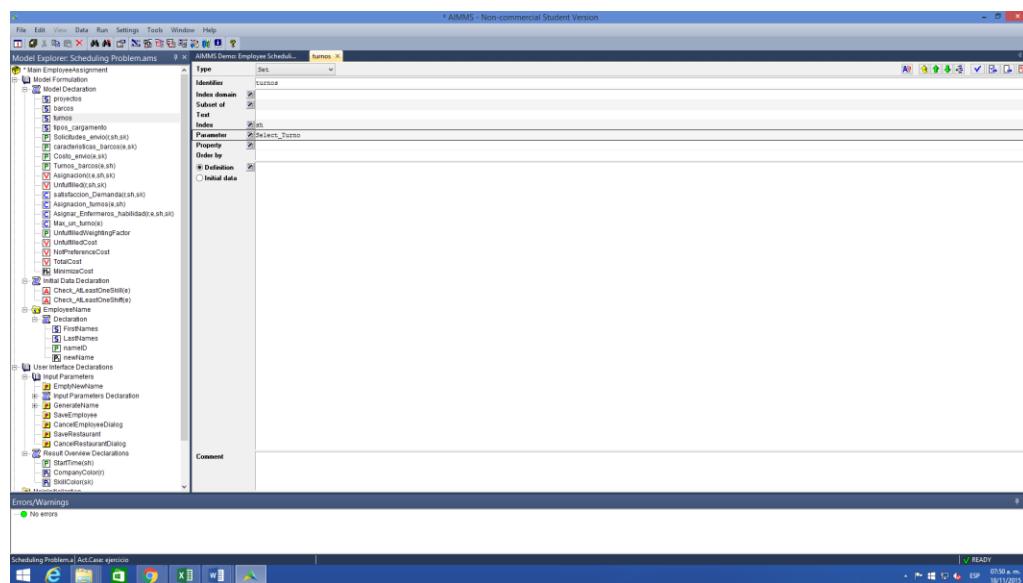
Declaramos un set al cual llamaremos **barcos** y con un parámetro (Parameter) al cual llamaremos **Select\_Buque** que se mandará llamar (Order by) con “sk”.

Figura 4.1.6 Datos de barcos



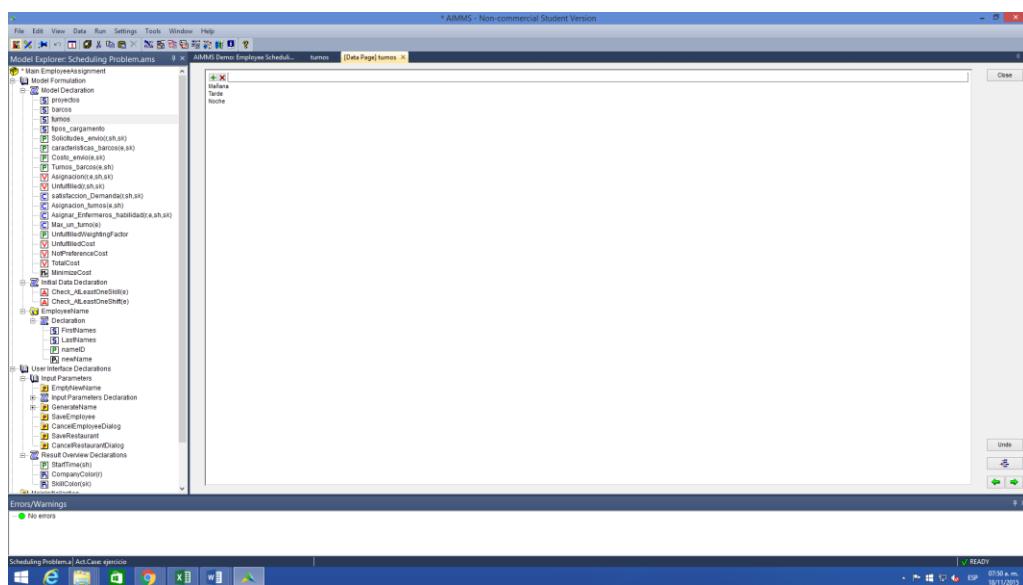
Posterior a crear el set se ingresan los datos que estarán dentro de **barcos** dentro de este set ingresaremos los siguientes datos como aparecen en la figura 4.1.6 con los nombres: **Barco1, Barco2, Barco3, Barco4, Barco5**.

Figura 4.1.7 Set turnos



Declaramos un set al cual llamaremos **turnos** como en la figura 4.1.7 y con un parámetro (Parameter) al cual llamaremos **Select\_Turn** que se mandará llamar (Order by) con “sh”

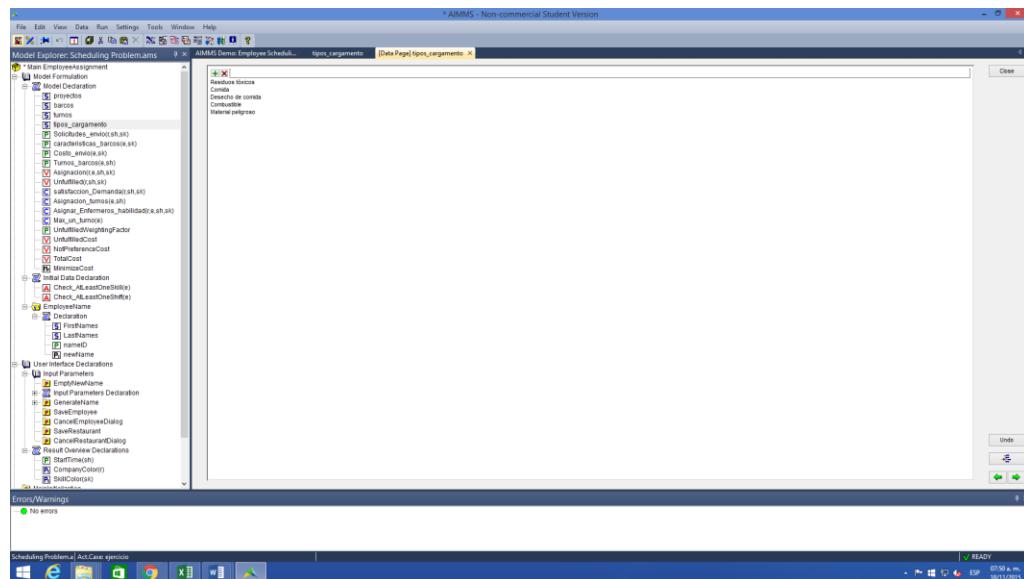
Figura 4.1.8 Datos de turnos



Posterior a crear el set se ingresan los datos que estarán dentro de **turnos** dentro de este set ingresaremos los siguientes datos como aparecen en la figura 4.1.8 con los nombres: **mañana, tarde, noche** las cuales representan los 3 turnos de recolección.

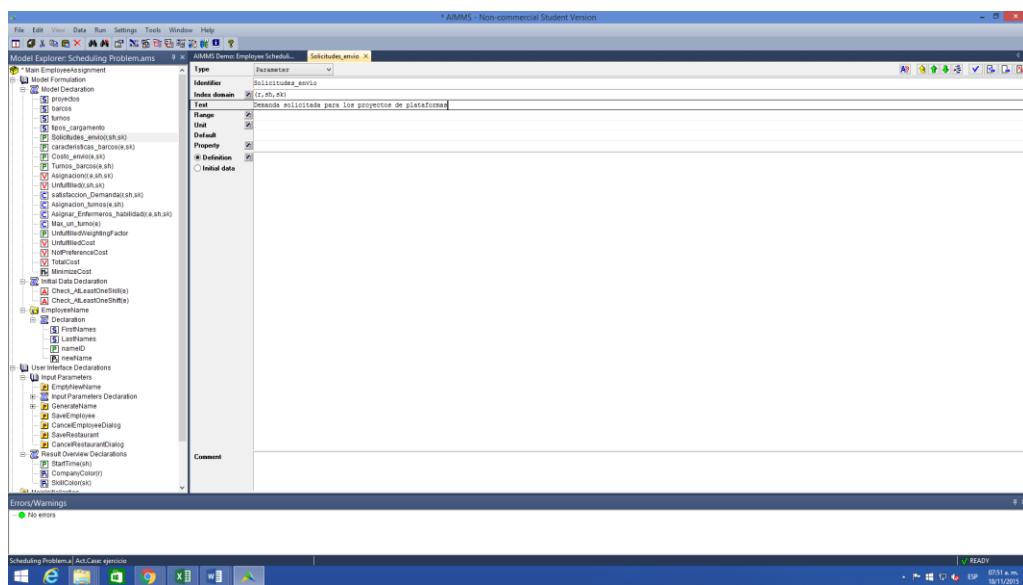
Declaramos un set al cual llamaremos **tipos\_cargamento** y con un parámetro (Parameter) al cual llamaremos **Select\_Carga** que se mandará llamar (Order by) con “e”.

Figura 4.1.9 Datos de turnos



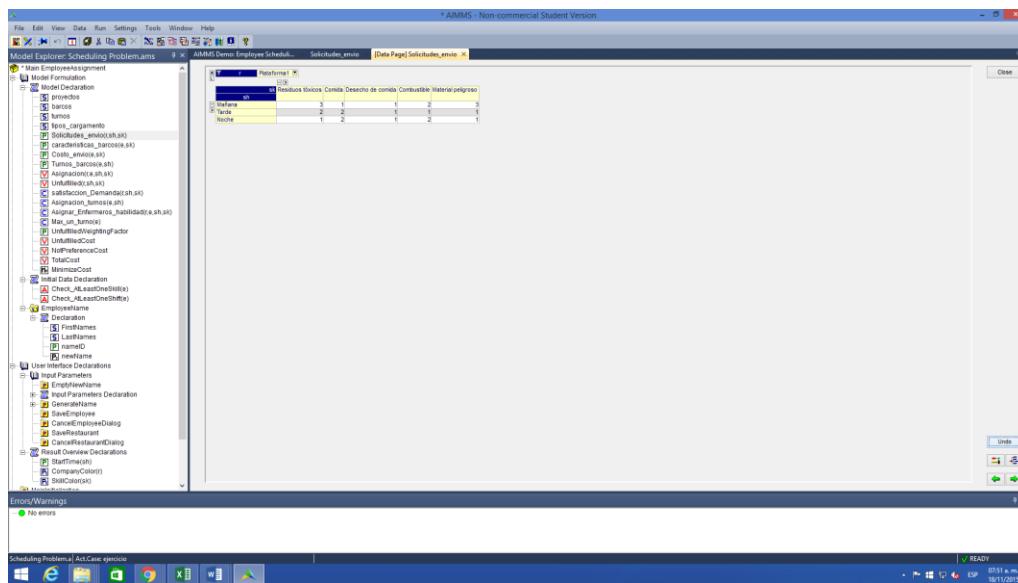
Posterior a crear el set se ingresan los datos que estarán dentro de **tipo\_cargamento** dentro de este set ingresaremos los siguientes datos como aparecen en la figura 4.1.9 con los nombres: **Residuos tóxicos, Comida, Desecho de comida, Combustible, Material peligroso** ejemplificando los tipos de residuos.

Figura 4.1.10 Parametro de solicitudes



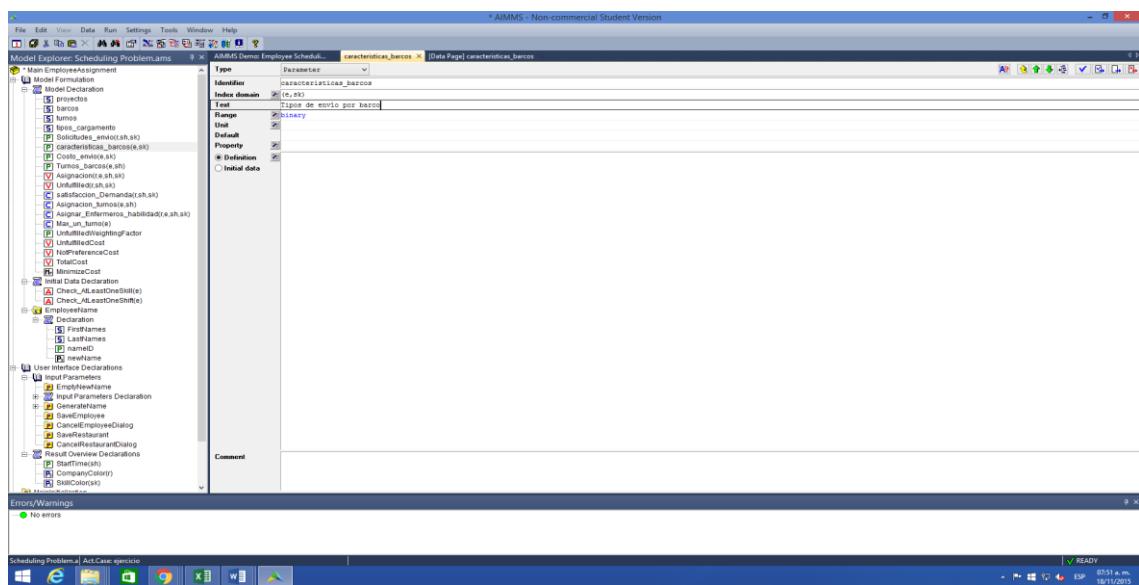
Declaramos un parameter al cual llamaremos **Solicitudes\_envio** como en la imagen 4.1.10 añadiendole un índice de dominio (index domain) en el cual declararemos “**(r,sh,sk)**” y colocaremos un texto de ayuda para identificar el parametro en el cual escribiremos **Demandas solicitadas para los proyectos de plataformas**.

Figura 4.1.11 Datos para solicitud



Ingresaremos los datos correspondientes conforme la necesidad de barcos en cada turno y de acuerdo al tipo de desechos, se ingresan manualmente los datos que aparecen dentro de la imagen 4.1.11 para obtener los resultados esperados.

Figura 4.1.12 Parametro caracteristicas\_barcos



Parametro llamado **caracteristicas\_barcos** con índices **(e,sk)** especificación de rango **binary**

Declaramos un parameter al cual llamaremos **características\_barcos** como en la imagen 4.1.12 añadiendole un índice de dominio (index domain) en el cual declararemos “**(e,sk)**” y colocaremos un texto de ayuda para identificar el parametro en el cual escribiremos **Tipo de envio por barco**, añadiendo un rango (Range) en el cual especificaremos la opción **binary**.

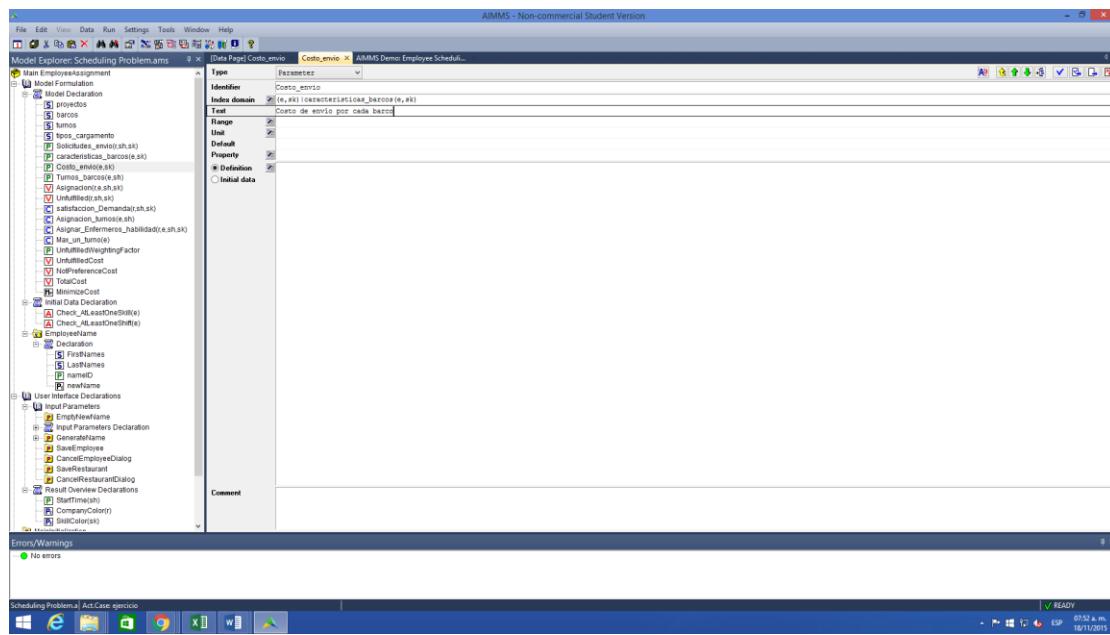
Figura 4.1.13 Parametro caracteristicas\_barcosDesechos

The screenshot shows the AIMMS Non-commercial Student Version interface. The Model Explorer on the left lists various declarations and objects, including 'Model Declaration', 'Input Parameters', and 'Result Overview Declarations'. The main workspace displays a data page titled 'characteristicas\_barcos'. The table in the center has the following structure:

Barco	Resumen tareas: Contar Desecho de comida, Combustible, Material peligroso
Barco1	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Barco2	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Barco3	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Barco4	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Barco5	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

En la figura Figura 4.1.13 se puede apreciar los datos de tabla a llenar con la característica de cada barco de acuerdo al tipo de desechos que puede transportar.

Figura 4.1.14 Descripción de características de barcos sk



En la figura Figura 4.1.14 se aprecia el Parametro llamado Costo\_envio con índices (e,sk) | **características\_barcos (e,sk)**especificación de rango **binary**

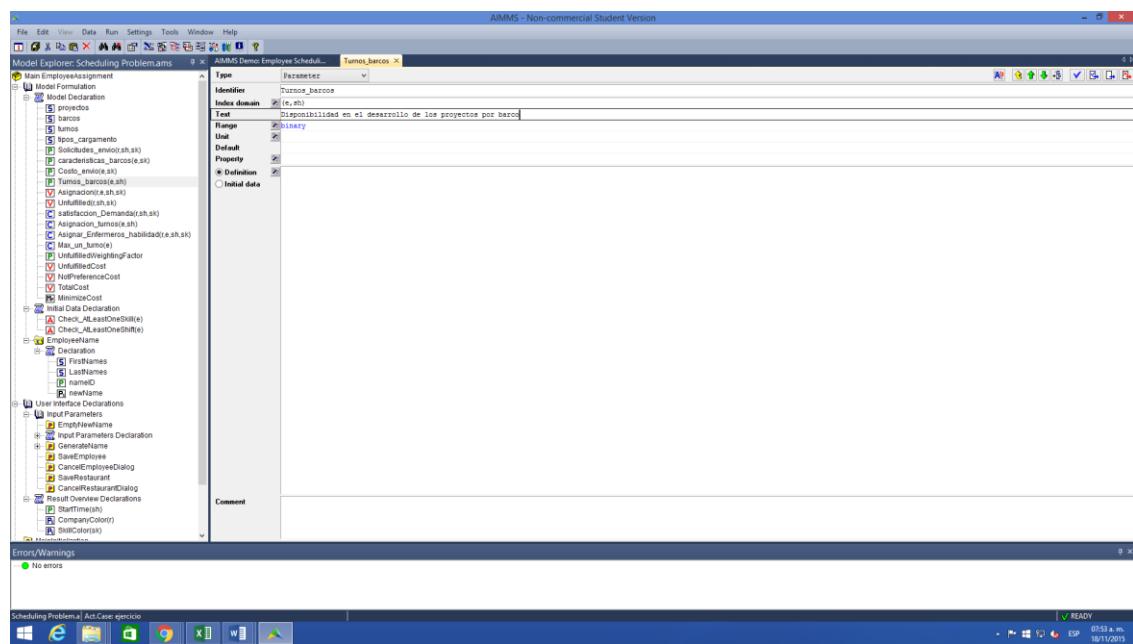
Figura 4.1.15 Descripción de costo de barco

The screenshot shows the AIMMS Non-commercial Student Version interface. The Model Explorer on the left lists various declarations and data structures. The main workspace displays a data page titled 'Costo\_envio' with a table containing five rows of data. The table has columns labeled 'Residuo tóxico', 'Comida', 'Desecho de comida', 'Combustible', and 'Material peligroso'. The rows are labeled 'Barco1' through 'Barco5'. The data values are as follows:

	Residuo tóxico	Comida	Desecho de comida	Combustible	Material peligroso
Barco1	10	6	5	8	9
Barco2	8	6	6	10	9
Barco3	9	3	3	3	9
Barco4	6	4			
Barco5	6	4			

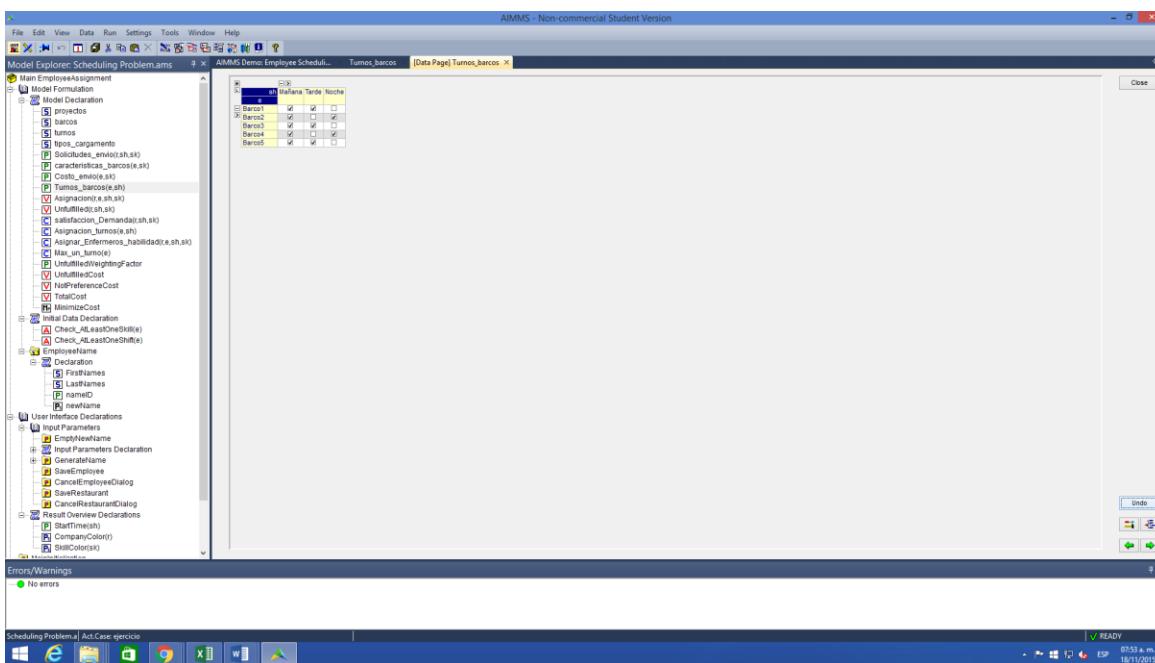
En la figura Figura 4.1.15 se ven los datos de tabla a llenar con el costo de cada barco de acuerdo al tipo de desechos que puede transportar con su valor representativo (valores 1-10) .

Figura 4.1.16 Descripción de turno de barco



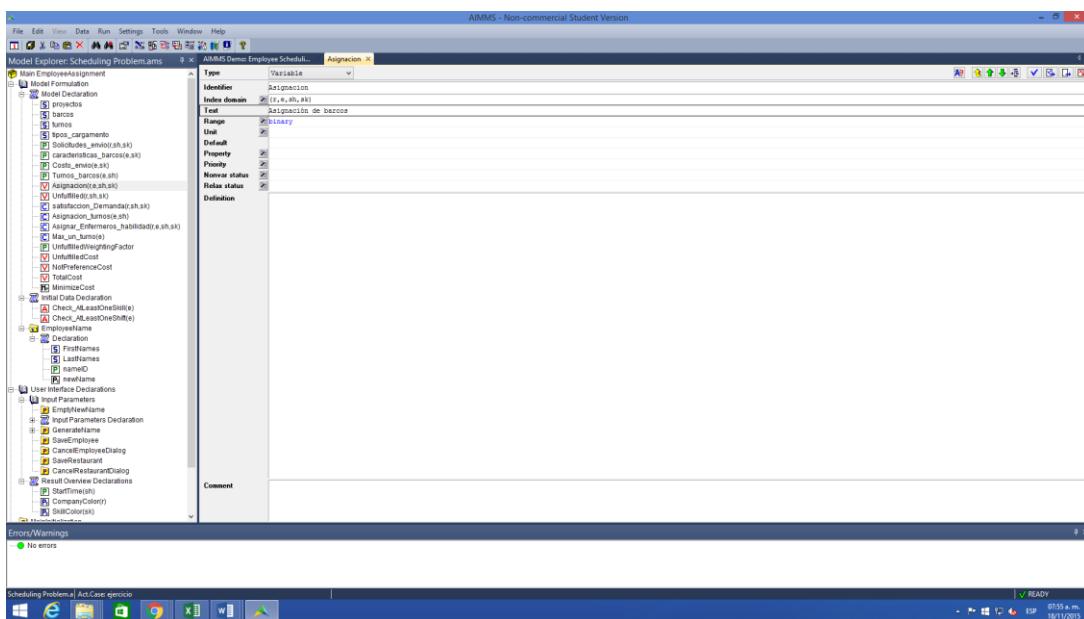
En la figura Figura 4.1.16 se aprecia los Parametro llamado Turnos\_barcos con índices (e,sh) especificación de rango **binary**

Figura 4.1.17 Descripción de valores turno de barco



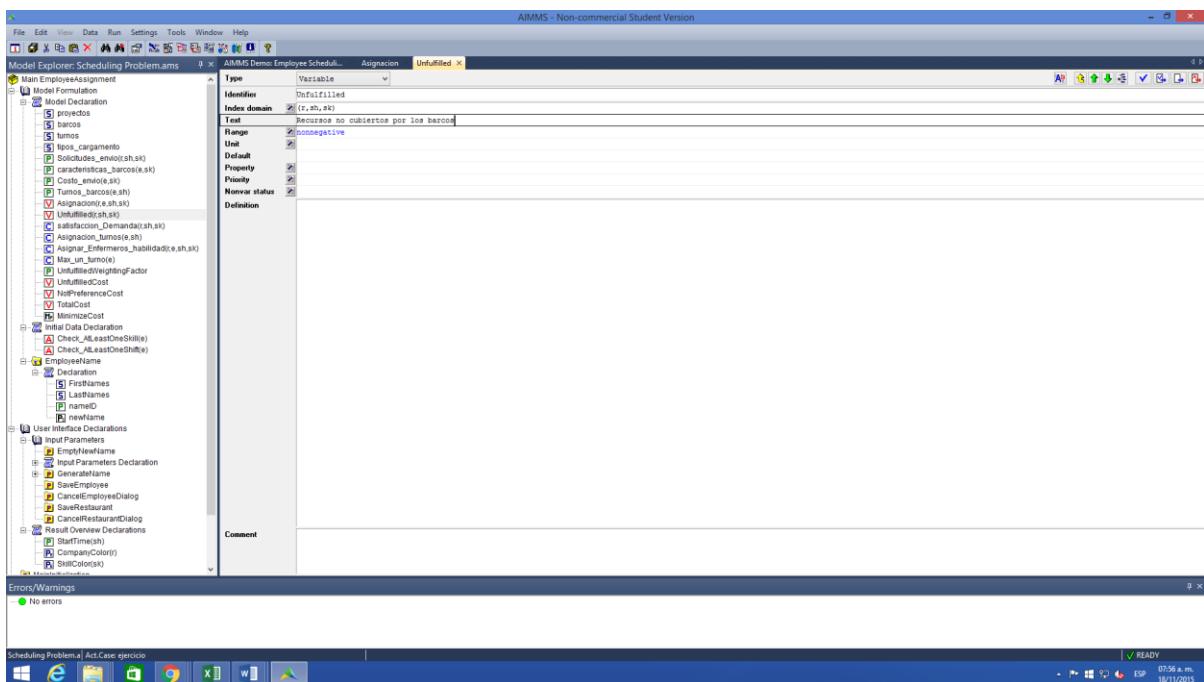
En la figura Figura 4.1.17 se aprecia los Datos de tabla a llenar con el turno de cada barco.

Figura 4.1.18. Descripción de valores turno de barco



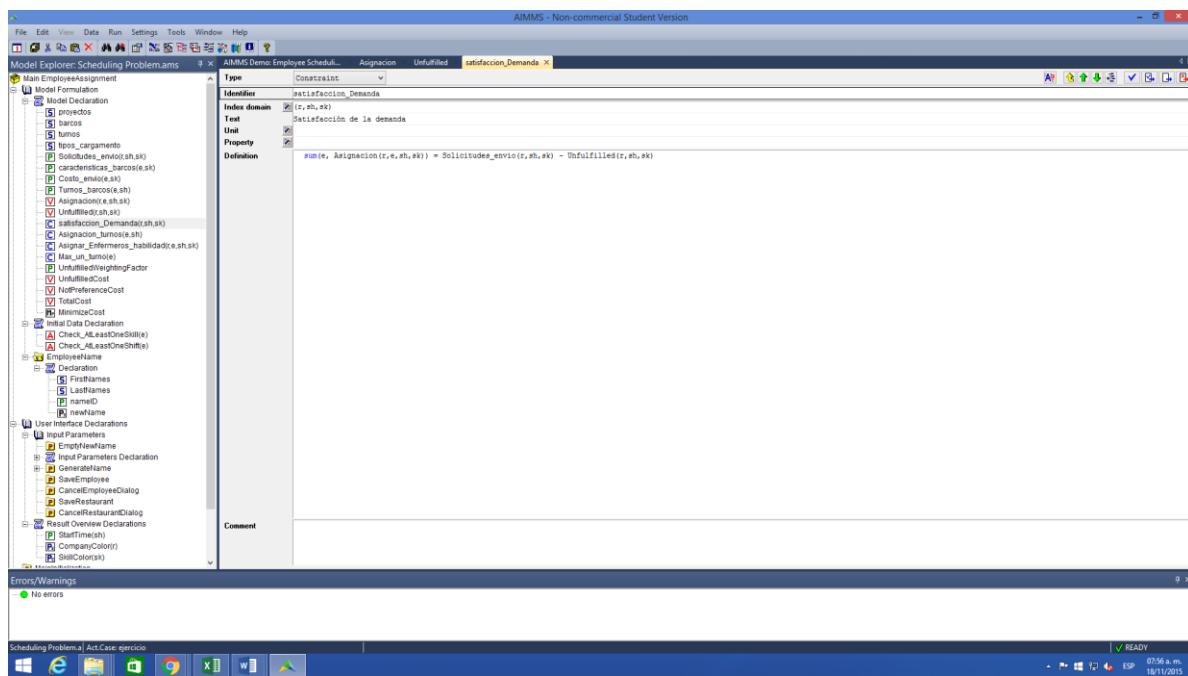
En la figura Figura 4.1.18 se debe Insertar las variables a ocupar . Variable llamada Asignacion con índices (**r,e,sh,sk**) especificación de rango **binary**.

Figura 4.1.19. Variable de especificación



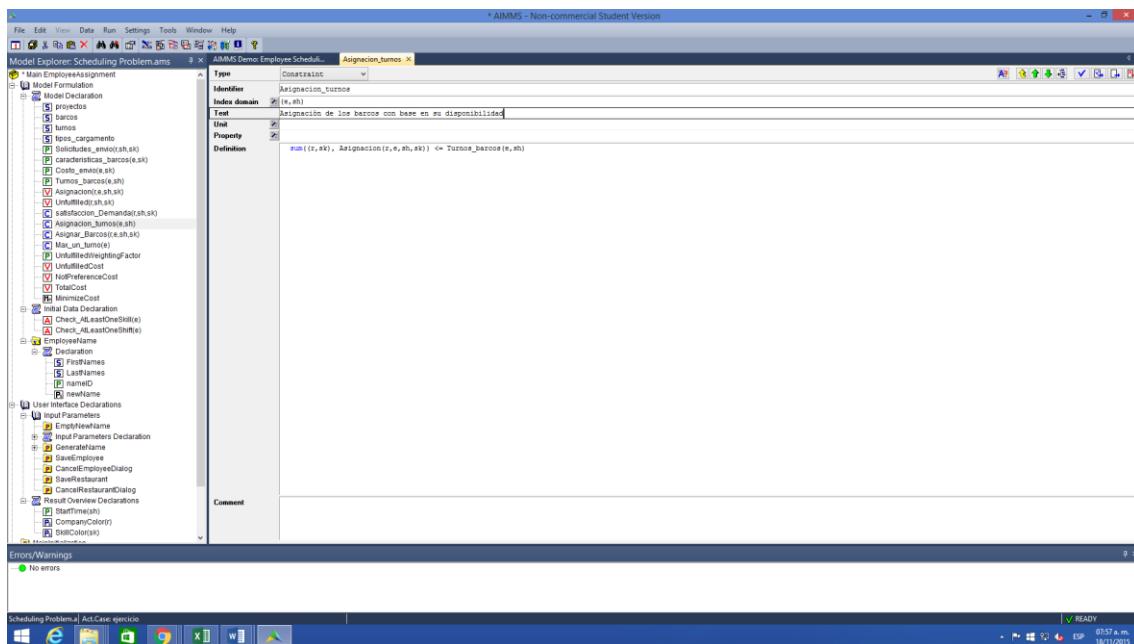
En la figura Figura 4.1.19 se aprecian Variable llamada Unfulfilled con índices ( $r, sh, sk$ ) especificación de rango **nonnegative**.

Figura 4.1.20. Descripción demanda



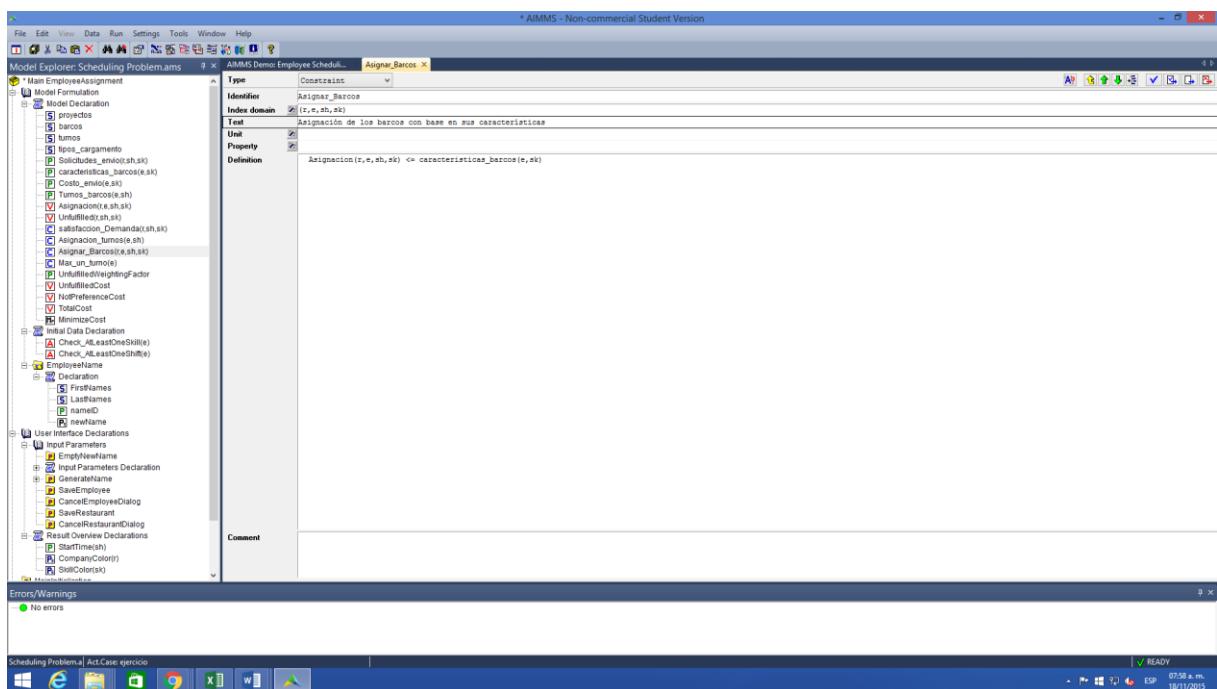
En la figura Figura 4.1.20 se Insertar las restricciones a ocupar . Restricción llamada satisfaccion\_Demanda con índices (r,sh,sk) , definition sum(e,Asignacion(r,e,sh,sk)) = **Solicitudes\_envio(r,sh,sk) – Unfulfilled(r,sh,sk)**.

Figura 4.1.21. Descripción de primera restricción



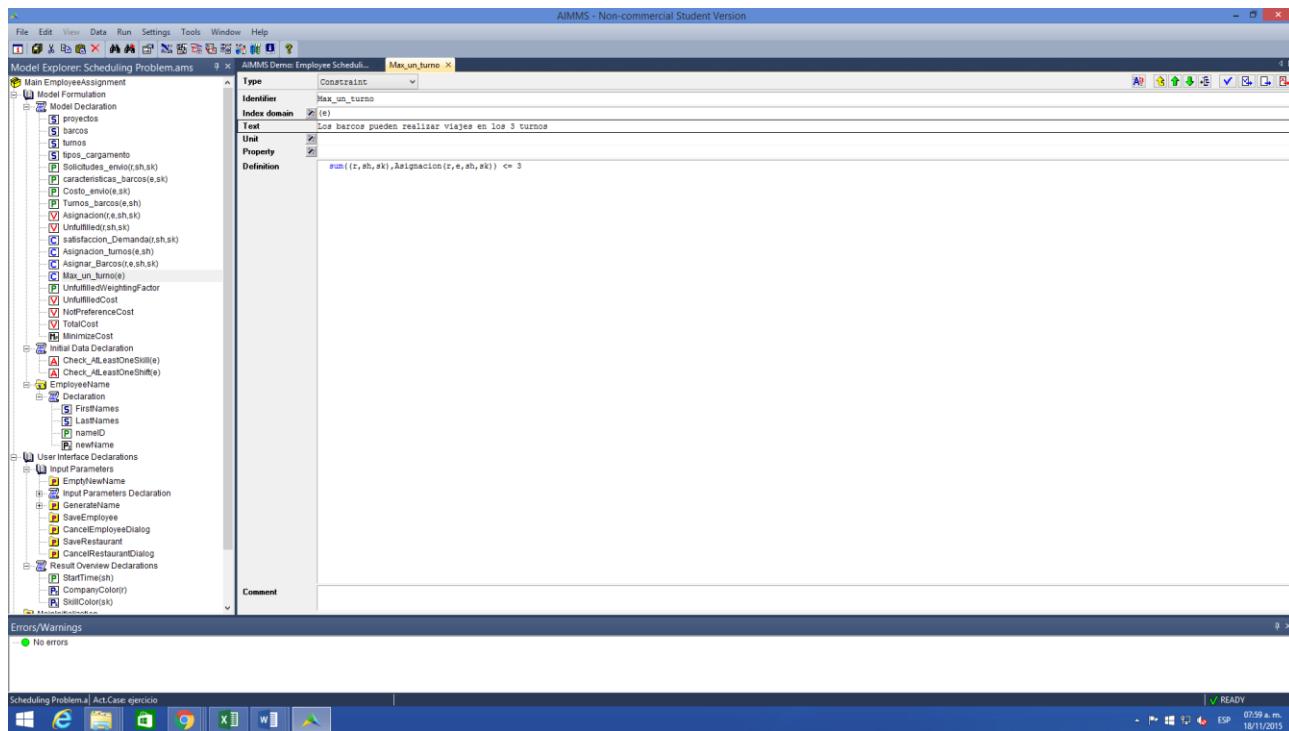
En la figura Figura 4.1.21 se aprecian Restricción llamada Asignacion\_turnos con índices (e,sh) , definition **sum((r,sk), Asignacion(r,e,sh,sk)) <= Turnos\_barcos(e,sh)**.

Figura 4.1.22. Descripción de segunda restricción



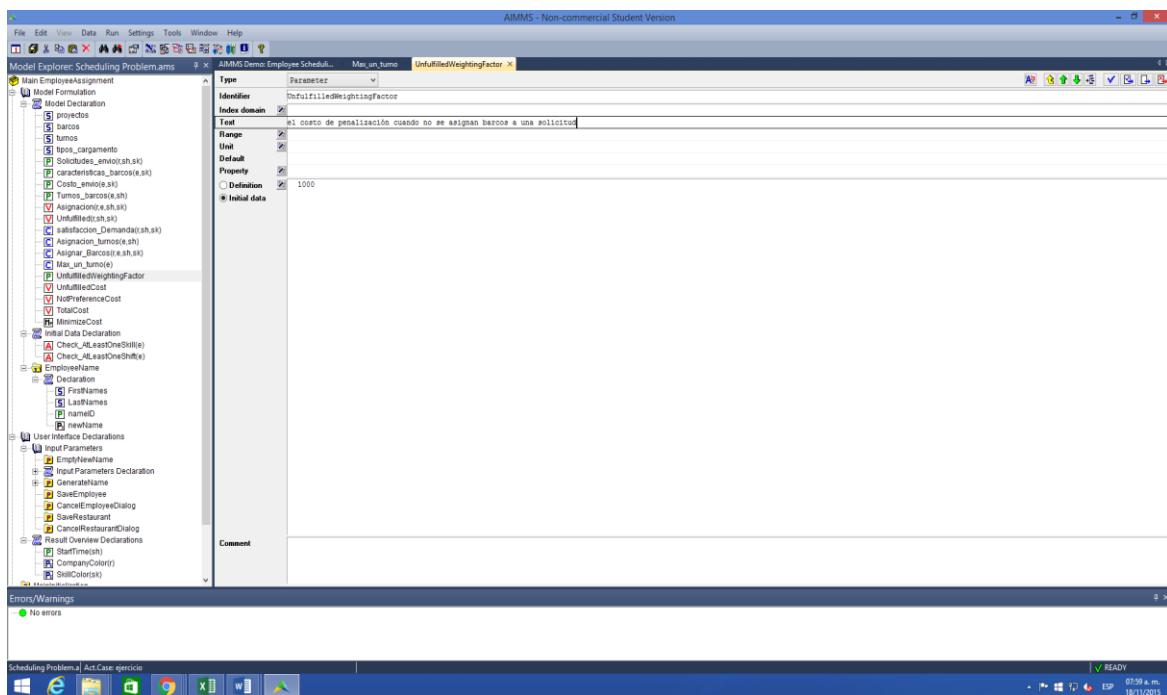
En la figura Figura 4.1.22 se aprecian Restricción llamada Asignar\_Barcos con índices  $(r,e,sh,sk)$  , definition  $\text{Asignacion}(r,e,sh,sk) \leq \text{caracteristicas\_barcos}(e,sk)$ .

Figura 4.1.23. Descripción de tercera restricción



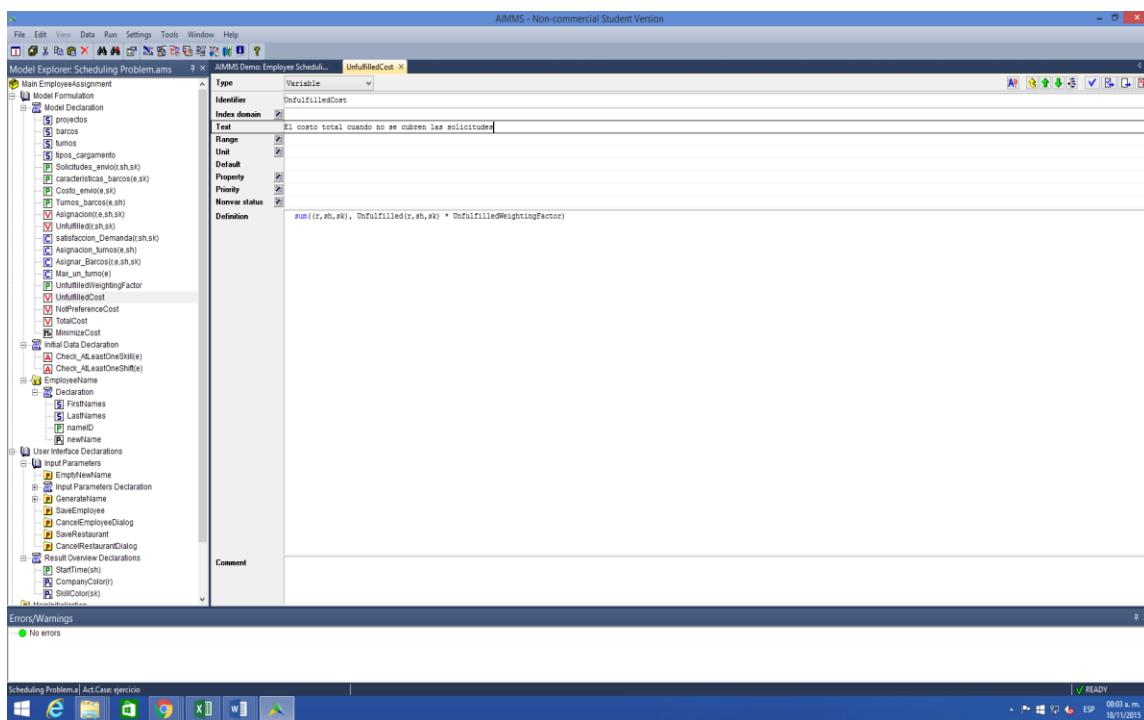
En la figura Figura 4.1.23 se Restricción llamada Max\_un\_turno con índices (e) , definition  $\text{sum}((r,sh,sk), \text{Asignacion}(r,e,sh,sk)) \leq 3$ .

Figura 4.1.24. Descripción de parametro



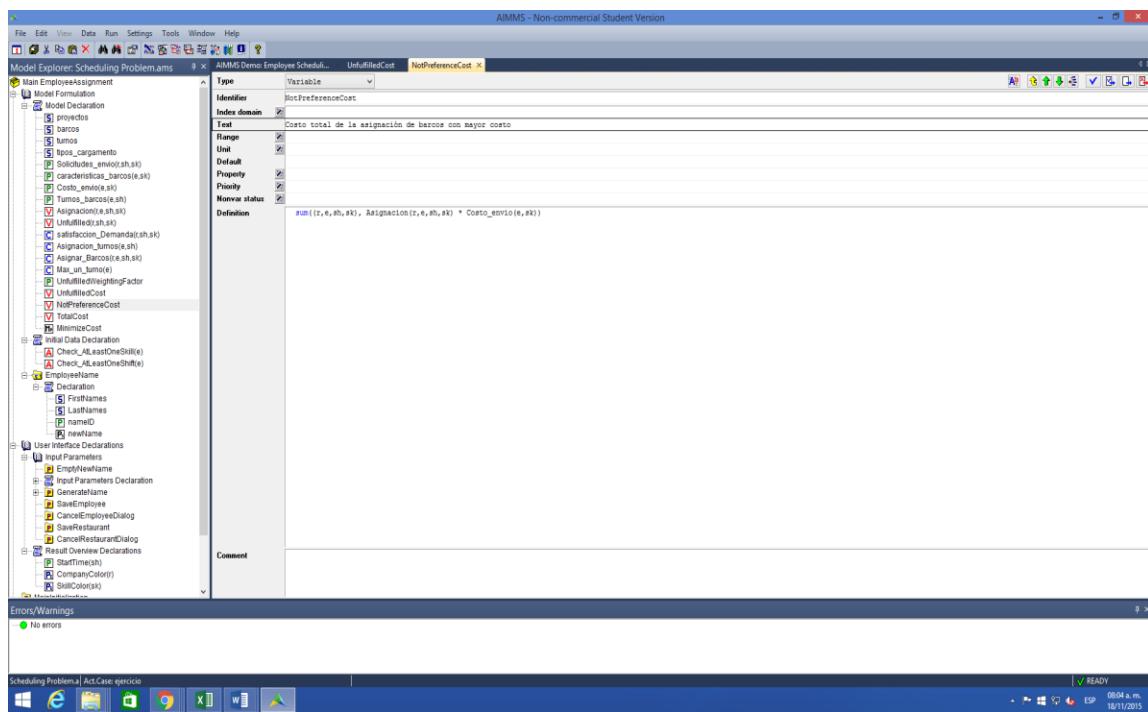
En la figura Figura 4.1.24 se aprecian los Parametro llamado UnfulfilledWeightingFactor definition **1000**

Figura 4.1.25. Descripción de variable referente al costo



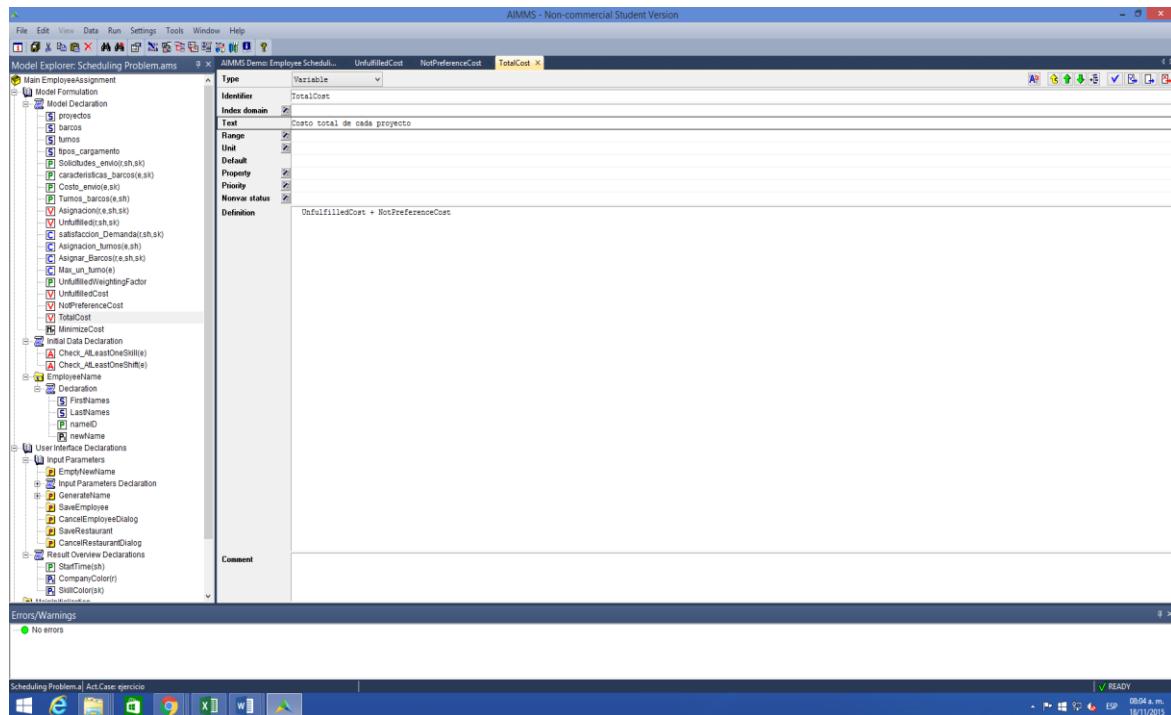
En la figura Figura 4.1.25 se aprecia Variable llamada UnfulfilledCost Definition **sum ((r,sh,sk), Unfulfilled(r,sh,sk) \* UnfulfilledWheigthingFactor).**

Figura 4.1.26. Descripción de variable referente a preferencia



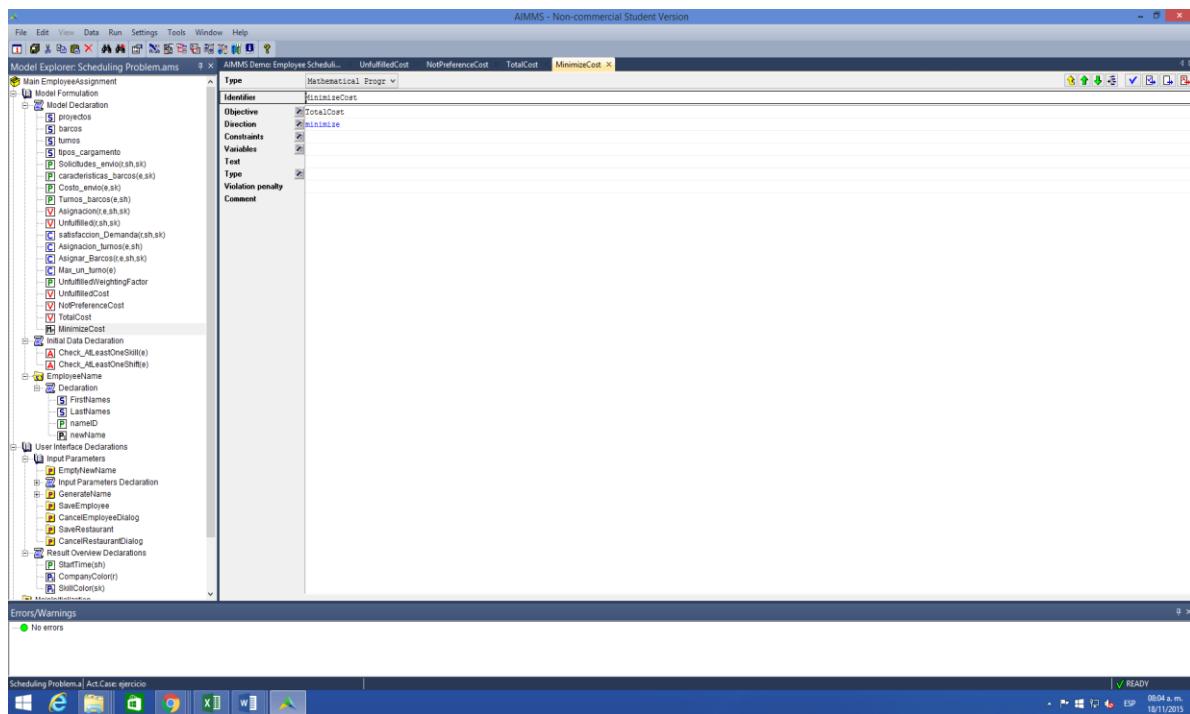
En la figura Figura 4.1.26 se aprecia Variable llamada NotPreferenceCost Definition  $\sum ((r,e,sh,sk), \text{Unfulfilled}(r,e,sh,sk) * \text{Costo\_envio}(e,sk))$ .

Figura 4.1.27. Descripción de variable costo total



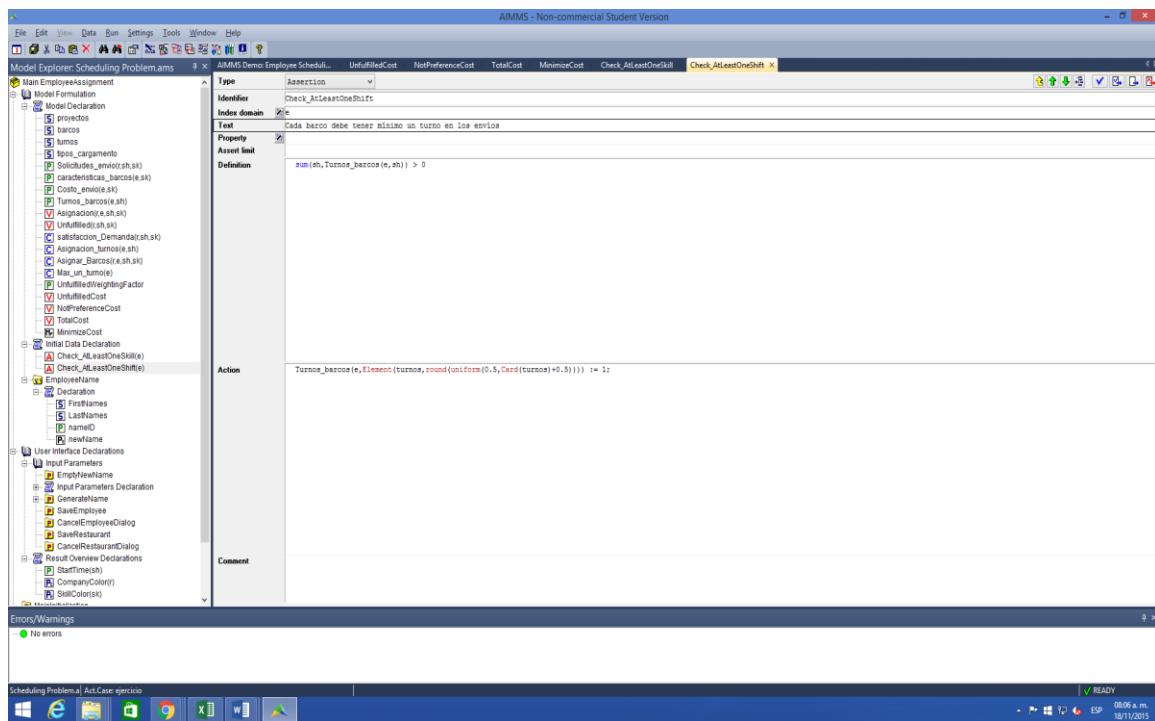
En la figura Figura 4.1.27 se aprecian Variable llamada TotalCost Definition **UnfulfilledCost+NotPreferenceCost**.

Figura 4.1.28. Minimización de costo



En la figura Figura 4.1.28 se aprecia Se ingresará una programación matemática para minimizar el costo con objetivo **TotalCost** Direction **minimize**.

Figura 4.1.29. Aserción en apoyo a modelo matemático



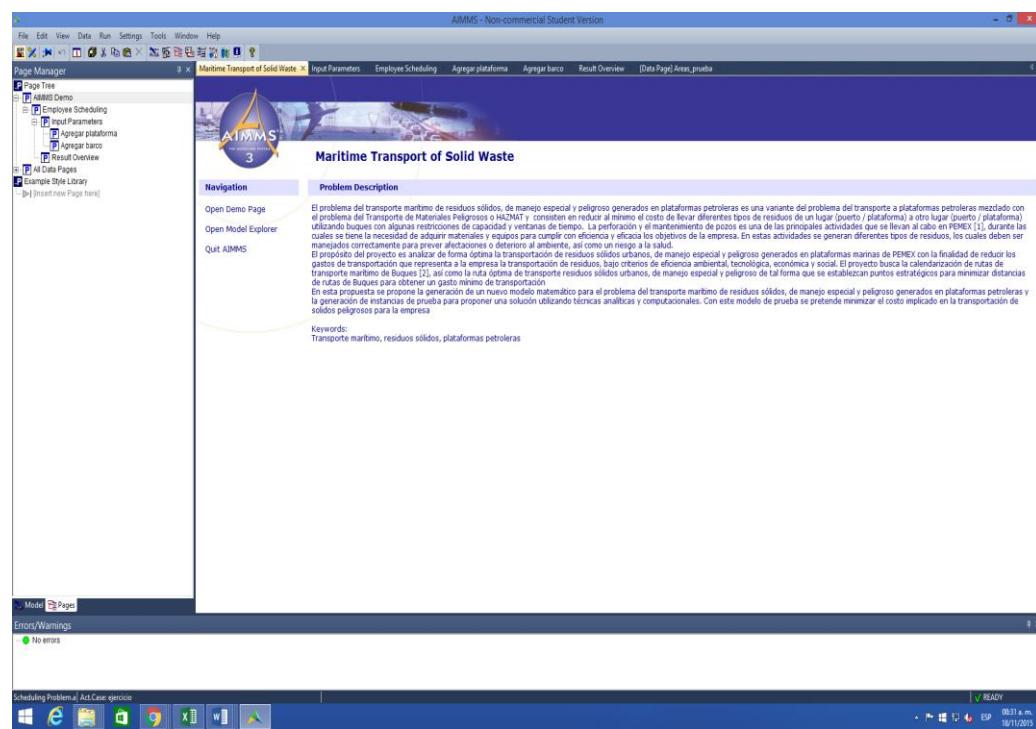
En la figura Figura 4.1.29 se aprecian Creación de aserciones. Nombre Check\_AtLeastOneShift índice e definición  $\text{sum}(\text{sh}, \text{Turnos\_barcos}(e, \text{sh})) > 0$  Action  $\text{Turnos\_barcos}(e, \text{Element}(\text{turnos}, \text{round}(\text{uniform}(0.5, \text{Card}(\text{turnos}) + 0.5)))) := 1;$

Figura 4.1.30. Descripción de proyecto



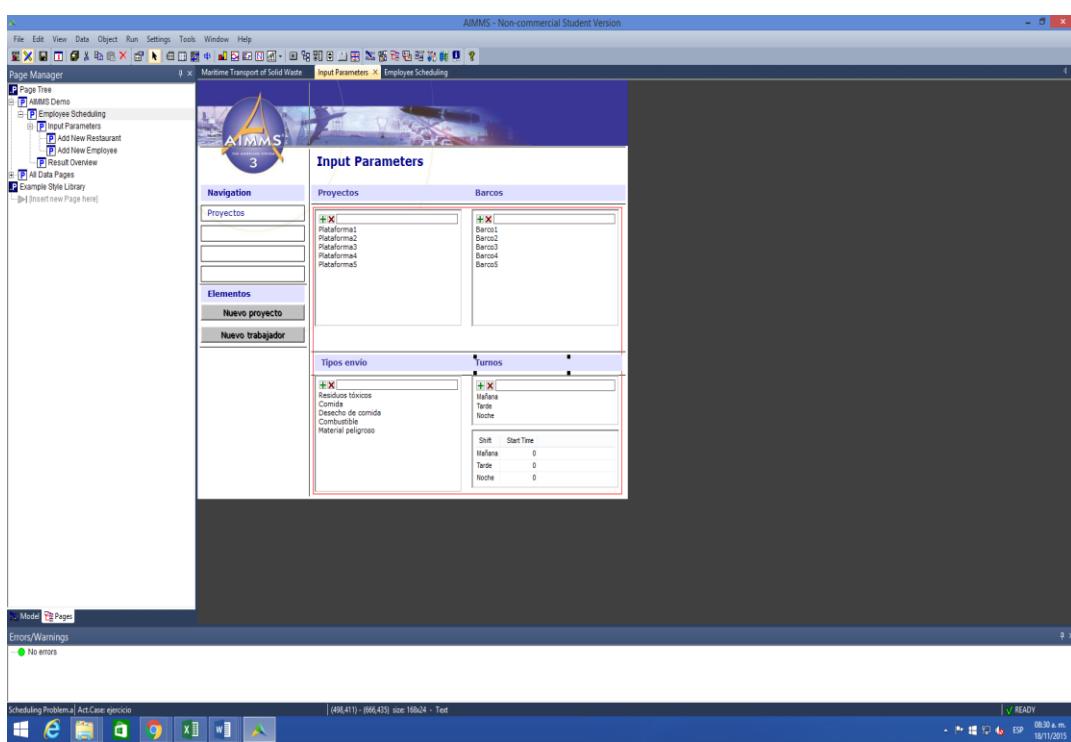
En la figura Figura 4.1.30 se aprecian En la elaboración de dicho proyecto se da una descripción al problema resulto con el modelo matemático.

Figura 4.1.31. Descripción



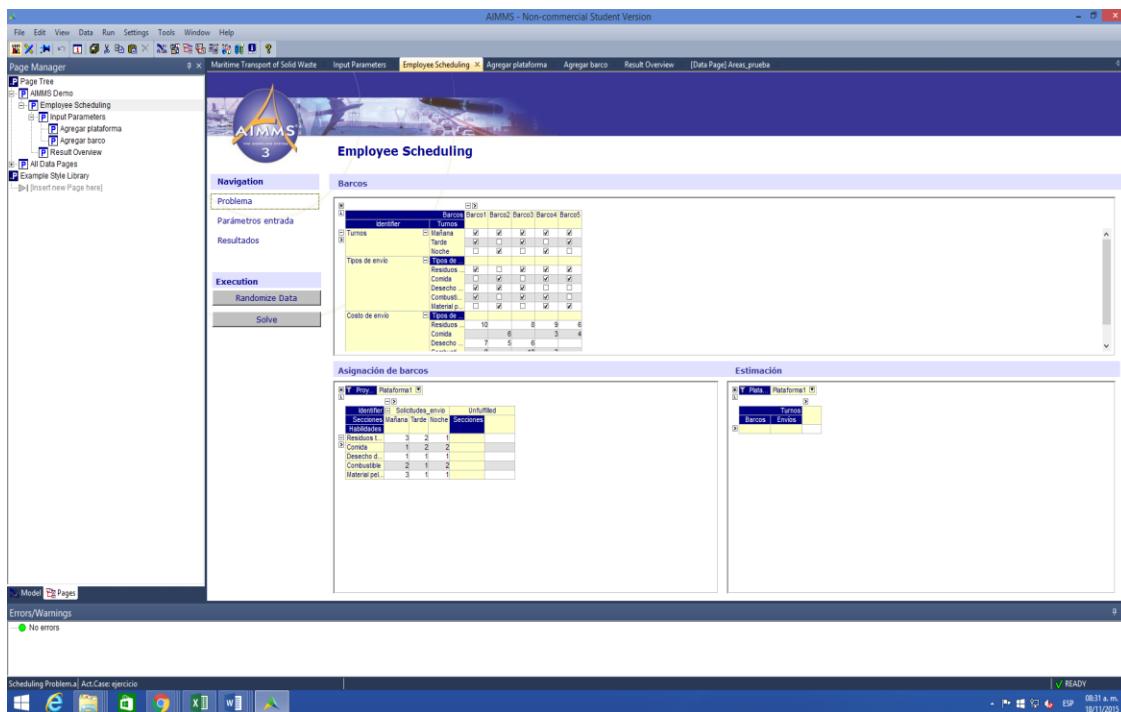
En la figura Figura 4.1.31 se aprecian Encontramos el proyecto con su descripción

Figura 4.1.32. Edición de proyecto



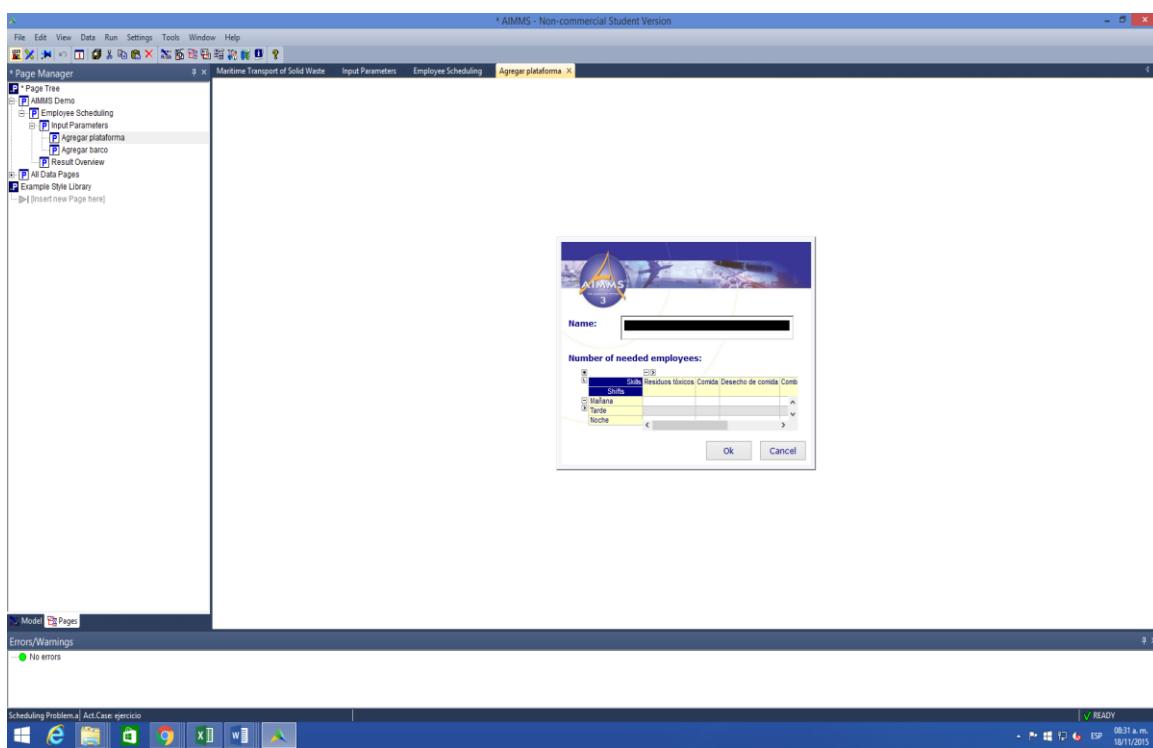
En la figura Figura 4.1.32 se aprecian Ingresar, eliminar y editar parámetros.

Figura 4.1.33. Solución



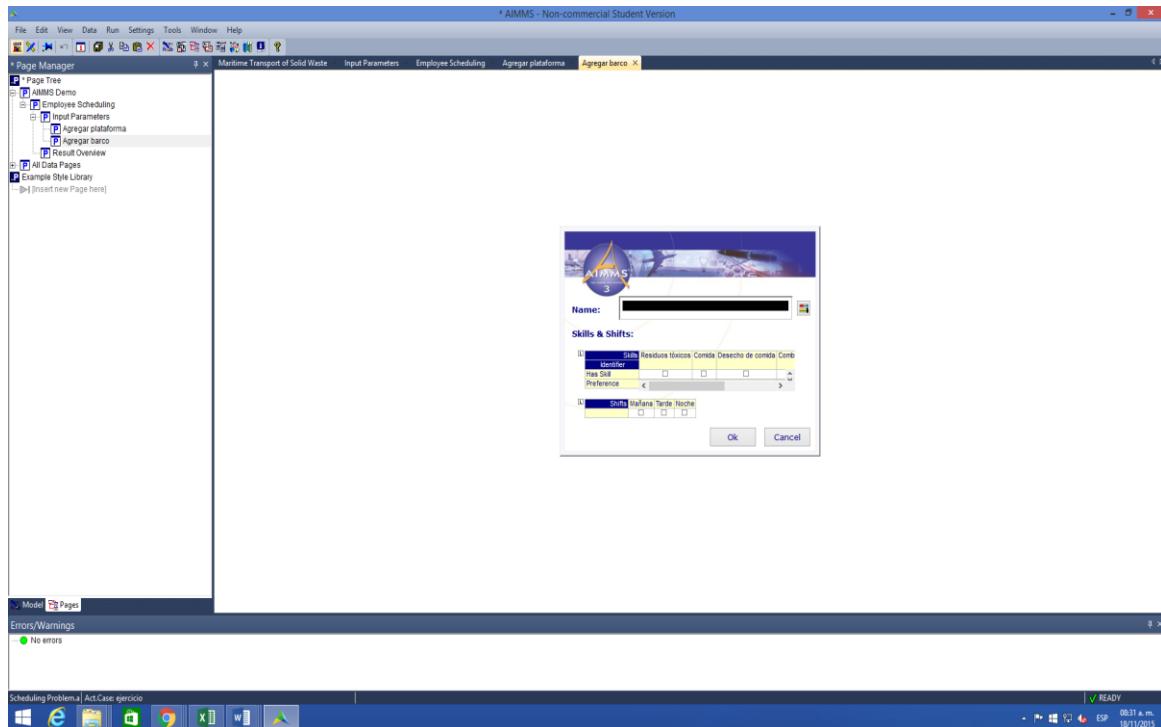
En la figura Figura 4.1.33 se aprecian Resolución del problema con los datos ingresados.

Figura 4.1.34. Agregar nueva plataforma



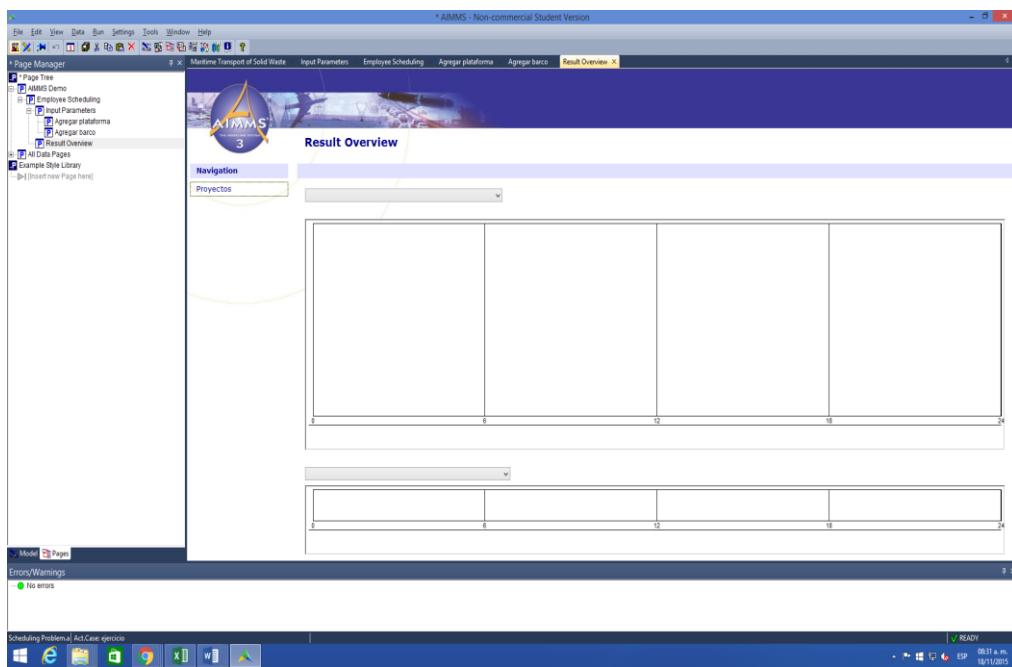
En la figura Figura 4.1.34 se aprecian Agregar nueva plataforma (Nombre y sus Necesidades)

Figura 4.1.35.Agregar nuevo barco



En la figura Figura 4.1.35 se aprecian Agregar nuevo barco (nombre y sus características y turno)

Figura 4.1.36. Resultados omitidos por versión de software sin licenciamiento.



En la figura Figura 4.1.36 se aprecian Vista de resultados en diferentes proyectos y casos.

## 4.2 REALIZACION DE PRUEBAS MEDIANTE LA HERRAMIENTA AIMMS

Con la herramienta AIMMS se realizaron varias pruebas eligiendo un algoritmo de los propuestos por la misma herramienta ejecutando 10 instancias de prueba para los cuales se tuvo que relajar el número de variables permitidas en el sistema por limitaciones de la herramienta. Basicamente las variables que se utilizaron para la solución, son variables definidas en el rango permitido por las restricciones del modelo matemático propuesto en este documento. A continuación se muestran los rangos de valores considerados para la experimentación:

plataformas (1-10).

buques (1-10).

Turnos = mañana, tarde y noche.

Tipo de cargamentos = Residuos sólidos, especiales y peligrosos.

Solicitudes = Demanda solicitada por plataforma.

Características = Tipo de residuo que transporta cada buque.

Costo = Costo a PEMEX el envío de cada barco conforme a su tamaño.

Turnos = Disponibilidad de buques por turno.

Asignación = Desechos por barco en cada turno

Unfullfiled = Desechos por barco no asignado reducido a cero.

Satisfacción de la demanda = Satisfacción en cuanto a turno y barcos.

Asignación turnos = Satisfacción de turnos asignados.

Asignación de barcos = Satisfacciones de buques de acuerdo a sus características.

Asignación Max por turno = 1.

UnfulfilledWeightingFactor = Penalización por no asignar buque a solicitud.

UnfulfilledCost = Costo si no se cubren el total de solicitudes.

NotPreferenceCost = Preferentemente reducir el uso de buques que generen mayor costo.

Totalcost = Costo total por proyecto.

El conjunto de instancias que se utilizó en la esperimentacion corresponde con las generadas para la empresa PEMEX. La flota considerada es homogenea, atendiendo a 36 plataformas, con peso y capacidad para una tonelada y demanda de 200 contenedores en un horario de 9:00 a 11:00 hrs.

Aquí se muestra como ejemplo la instancia **PEMEX-WTPS-36M-1** el set completo de instancias se muestra en el anexo 1.

#### **PEMEX-WTPS-36M-1**

FLEET	Number of Platforms	Capacity qso 1000	Cpacity qsp 1000	Capacity qh 1000	Capacity Containers 200	TIME 9:00-11:00
HOMOGENEOUS	36					

No. Platform	GIS LATITUDE	GIS LENGTH	demand supersacks	Polyethylene bags	Deposits tight container	DEMAND	TIME WINDOW		
							earliest	Due	Riding Time
0	18.62616	-91.85145	0	0	0	0	900	1100	15
1	19.39861111	-92.03972222	17	10	27	6	930	937	7
2	19.41722222	-92.02694444	23	1	5	1	1014	1021	7
3	19.41777778	-92.05	21	19	19	6	1002	1009	7
4	19.39805556	-92.06222222	4	18	24	4	1004	1011	7
5	19.38	-92.05055556	6	11	6	6	1027	1034	7
6	19.37388889	-92.03138889	17	21	5	1	935	942	7
7	19.39833333	-92.01555556	18	21	6	4	929	936	7
8	19.46138889	-92.06111111	26	12	7	5	914	921	7
9	19.43638889	-92.06138889	4	26	27	6	1034	1041	7
10	19.40583333	-92.08111111	24	5	19	4	1019	1026	7
11	19.38027778	-92.07333333	13	1	10	4	1018	1025	7
12	19.3475	-92.0475	10	24	7	6	1027	1034	7
13	19.36166667	-92.06944444	9	15	5	5	1012	1019	7
14	19.29527778	-92.17055556	3	21	28	3	1052	1059	7
15	19.32361111	-92.18583333	11	21	6	1	1024	1031	7
16	19.29861111	-92.20083333	18	4	22	6	1046	1053	7
17	19.27305556	-92.18527778	27	13	11	3	920	927	7
18	19.27388889	-92.155	5	12	3	4	913	920	7
19	19.29916667	-92.13944444	2	7	25	3	934	941	7
20	19.34138889	-92.21916667	15	11	17	1	1035	1042	7
21	19.27361111	-92.13222222	12	4	27	6	917	924	7
22	19.28333333	-92.23	11	28	7	6	947	954	7
23	19.29694444	-92.31722222	27	10	24	1	948	955	7
24	19.22194444	-92.08861111	18	5	20	4	1018	1025	7

25	19.17944444	-92.28666667	8	8	22	3	1004	1011	7
26	19.14583333	-92.30583333	22	28	6	5	1005	1012	7
27	19.51916667	-92.18861111	1	27	6	2	1044	1051	7
28	19.49416667	-92.17361111	5	1	14	4	1049	1056	7
29	19.58888889	-92.19972222	19	22	3	2	1031	1038	7
30	19.5625	-92.18416667	21	27	22	3	1012	1019	7
31	19.37 -	92.004444	20	11	7	6	1016	1023	7
32	19.34305556	-92.00444444	23	3	18	5	1000	1007	7
33	19.23666667	-92.25444444	8	25	5	3	1008	1015	7
34	19.22416667	-92.26222222	28	4	17	4	1043	1050	7
35	19.24277778	-92.28111111	18	26	18	2	1006	1013	7
36	19.09583333	-92.53305556	1	7	15	6	939	946	7
			25.75	25.45	25.5	7.05			

Tabla 3. Resultados en pruebas

**Carácteristicas de PC en la que se realizaron las pruebas aquí mencionadas:**

Computadora HP DV5la

Procesador: AMD Turion(tm)X2 Dual-Core Mobile RM-72 2.10 GHz

Memoria RAM: 4,00 GB

Windows 7 Ultimate, Service Pack1

Software instalado: CPLEX, AIMMS

## 4.3 RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados del solucionador CPLEX para la resolución de los casos del problema de transporte de residuos sólidos, especiales y peligrosos de las plataformas costa afuera. Los resultados se obtuvieron a partir del solucionador CPLEX para encontrar el óptimo coste del transporte de residuos peligrosos en las plataformas petroleras.

Se presentan los parámetros o caracterización de la Plataforma Problema de Transporte Marítimo de instancias de residuos sólidos, especiales y peligrosos de la empresa petrolera estatal mexicana (PEMEX). Hemos generado una instancia de conjunto con 50 casos de casos generados al azar y casos reales (con datos SIG) de las plataformas marinas de PEMEX. Se utilizó la nomenclatura de los casos: PEMEX (nombre de la empresa), P (número de plataformas), T (tipo de transporte, aéreo, terrestre o marítimo), # (número de casos), .wtp (extensión del archivo) , por ejemplo: PEMEX-36M-10.wtp. En la Tabla 4, se presentan los parámetros o la caracterización utilizados para la generación de los casos.

**Tabla 4. Caracterización de los datos de la instancia.**

NOMBRE INSTANCIA								
Flota	Numero de Plataformas	Capacidad qso	Capacidad qsp	Capacidad Qh	Contenedores Capacidad	Tiempo		
Tipo	Numero	Numero	Numero	Numero	Numero	Rango		
Numero Instancia	Latitud	Longitud	Demanda Supersacos	Bolsas Polietileno	Contenedores	Apertura Dia	Apertura Fecha	Equitación Hora
$I_1$	$X_1$	$Y_1$	$S_1$	$B_1$	$C_1$	$ED_1$	$DD_1$	$RT_1$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$I_{36}$	$X_{36}$	$Y_{36}$	$S_{36}$	$B_{36}$	$C_{36}$	$ED_{36}$	$DD_{36}$	$RT_{36}$

La tabla 5 muestra los resultados del depositario de las instancias tomadas en la experimentación para encontrar una solución al Problema de Transporte Marítimo de Residuos Sólidos , especial y peligrosos de las plataformas petroleras utilizando el solucionador CPLEX. En la solución se obtiene el costo total del transporte el numero de buques optimizado para la transportación y la demanda atendida.

Tabla 5. Resultados de los casos de prueba del Transporte problema de los residuos .

Instancias	Demandas	Costo	Buques
<b>PEMEX-WTPS-36M-1</b>	1577	\$15,334.74	2
<b>PEMEX-WTPS-36M-2</b>	1803	\$16,922.44	2
<b>PEMEX-WTPS-36M-3</b>	1661	\$15,526.75	2
<b>PEMEX-WTPS-36M-4</b>	1792	\$17,027.77	2
<b>PEMEX-WTPS-36M-5</b>	1736	\$16,498.36	2
<b>PEMEX-WTPS-36M-6</b>	1594	\$15,030.55	2
<b>PEMEX-WTPS-36M-7</b>	1687	\$16,011.41	2
<b>PEMEX-WTPS-36M-8</b>	1794	\$17,080.47	2
<b>PEMEX-WTPS-36A-9</b>	1768	\$16,697.44	2
<b>PEMEX-WTPS-36M-10</b>	1661	\$15,788.87	2

Como se puede observar en los resultados la solución optima oscila entre un costo de \$16,498.36 atendiendo en promedio una demanda de 1667 contenedores. Con solo dos buques de con capacidad mil contenedores y de tamaño de contenedor de 200.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Por la investigación realizada en este trabajo de tesis se puede concluir que la propuesta del nuevo modelo matemático, las instancias generadas y el uso de la herramienta CPLEX en conjunto produjeron soluciones factibles que optimizan el recurso de transportación de residuos peligrosos.

Se logró conceptualizar un nuevo problema de transportación marítima de residuos sólidos de tratamiento especial y peligroso mediante la modelación matemática del problema de transporte marítimo de residuos sólidos, especial y peligroso generados en plataformas petroleras mexicanas. Para el modelo matemático se consideraron las variables que mejor representan el comportamiento del problema real.

Enfatizando la principal contribución de este trabajo que es la propuesta de una variante del problema del transporte de Residuos Sólidos de Tratamiento Especial y Peligroso, un modelo matemático del problema del transporte marítimo de residuos sólidos, de manejo especial y peligrosos generados en plataformas petroleras mexicanas (MPTP-W), la caracterización de los casos de prueba de la empresa petrolera mexicana (PEMEX), y el uso del solucionador CPLEX para encontrar el costo óptimo del transporte marítimo de Residuos sólidos de tratamiento especial y peligroso a plataformas petroleras mexicanas.

Por la protección de datos reales de la empresa PEMEX en la experimentación se utilizaron valores estimados de los rangos de cada variable modelada en cada ecuación del modelo matemático que representa el problema de transporte marítimo de residuos sólidos, especial y peligroso generados en plataformas petroleras mexicanas.

## REFERENCIAS

- [1] PEMEX. <http://www.pemex.com>
- [2] Øvstebø, B.O., Hvattum, L.M., Fagerholt, K.: Optimization of stowage plans for RoRo ships. Computers & Operations Research, Vol. 38, No. 10 (2011) 1425-1434.
- [3] NRF-040-PEMEX-2013. Manejo integral de residuos en plataformas marinas. Pemex Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.
- [4] NOM-005-SCT/2008. Información de emergencia para el transporte de substancias, materiales y residuos peligrosos. Pemex Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.
- [5] NOM-027-SCT4-1995. Requisitos que deben cumplir las mercancías peligrosas para su transporte en embarcaciones. Pemex Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios.
- [6] Fagerholt, K., Heimdal, S.I.: Algorithms for effective transfer of ballast for an oil installation. Journal of the Operational Research Society Vol. 49, No. 1 (1998) 16-22. doi:10.1057/palgrave.jors.2600499.
- [7] Iakovou, E.T., Douligeris, C., Li, H., Ip, C., Yudhbir, L.: A Maritime Global Route Planning Model for Hazardous Materials Transportation, Transportation Science February, Vol. 33, No. 1 (1999) 34-48. doi: 10.1287/trsc.33.1.34.
- [8] Díaz-Parra, O., Ruiz-Vanoye, J.A., Bernábe Loranca, B., Fuentes-Penna, A. and Barrera-Cámara, R.A.: A Survey of Transportation Problems, Journal of Applied Mathematics, Vol. 2014, Article ID 848129, 2014. doi:10.1155/2014/848129.
- [9] Erkut, E., Tjandra, S., Verter, V.: Hazardous materials transportation, C. Barnhart, G. Laporte (Eds.), Handbook on Operations Research and Management Science, Transportation, vol. 14, North Holland, Amsterdam (2007) 539-622.
- [10] Boyer, O. , Hong, T.S., Pedram, A. Yusuff, R.B.M., Zulkifli, N.: A Mathematical Model for the Industrial Hazardous Waste Location-Routing Problem. Journal of Applied Mathematics, Vol. 2013 (2013), 1-10. Doi: 10.1155/2013/435272
- [11] Kazantzi, V., Kazantzis, N., Gerogiannis, V.C.: Risk Informed Optimization Of A Hazardous Material Multi-Periodic Transportation Model. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 24, No. 6 (2011) 767-773. Doi:

10.1016/j.jlp.2011.05.006.

- [12] Zhou, Z., Chu, F., Che, A., Zhou, MC.: Epsilon-Constraint and Fuzzy Logic-Based Optimization of Hazardous Material Transportation via Lane Reservation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol. 14, No. 2 (2013) 847-857.  
doi: 10.1109/TITS.2013.2243836
- [13] Fagerholt, K., Heimdal, S.I.: Algorithms for effective transfer of ballast for an oil installation. *Journal of the Operational Research Society* Vol. 49, No. 1 (1998) 16-22. doi:10.1057/palgrave.jors.2600499.
- [14] Iakovou, E.T., Douligeris, C., Li, H., Ip, C., Yudhbir, L.: A Maritime Global Route Planning Model for Hazardous Materials Transportation, *Transportation Science* February, Vol. 33, No. 1 (1999) 34-48. doi: 10.1287/trsc.33.1.34.
- [15] Iakovou, E.T.: An interactive multiobjective model for the strategic maritime transportation of petroleum products: risk analysis and routing. *Safety Science*, Vol. 39, No. 1 (2001), 19-29. doi: 10.1016/S0925-7535(01)00022-4.
- [16] Grob, M.J.H.B.: Routing of platforms in a maritime surface surveillance operation. *European Journal of Operational Research*. Vol. 170, No. 2 (2006) 613-628. doi: 10.1016/j.ejor.2004.02.029.
- [17] Gribkovskai, I., Laporte, G., Shlopak, A.: A Tabu Search heuristic for a routing problem arising in servicing of offshore oil and gas platforms. *Journal of the Operational Research Society* Vol. 59 (2008) 1449-1459. doi: 10.1057/palgrave.jors.2602469.
- [18] Velasco, N., Dejax, P., Guéret, C., Prins, C.: A non-dominated sorting genetic algorithm for a bi-objective pick-up and delivery problem. *Engineering Optimization*, Vol. 44, No. 3 (2012) 305-325. doi: 10.1080/0305215X.2011.639368.
- [19] Zhou, Z., Chu, F., Che, A., Zhou, MC.: Epsilon-Constraint and Fuzzy Logic-Based Optimization of Hazardous Material Transportation via Lane Reservation. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. Vol. 14, No. 2 (2013) 847-857 doi: 10.1109/TITS.2013.2243836
- [20] Xie, Y., Lu, W., Wang, W., Quadrifoglio, L.: A multimodal location and routing model for hazardous materials transportation. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 227-228 (2012) 135-141. Doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.05.028
- [21] Boyer, O., Hong, T.S., Pedram, A. Yusuff, R.B.M., Zulkifli, N.: A Mathematical Model for the Industrial Hazardous Waste Location-Routing Problem. *Journal of*

Applied Mathematics, Vol. 2013 (2013), 1-10. Doi: 10.1155/2013/435272.

- [22] Samanlioglu, F.: A multi-objective mathematical model for the industrial hazardous waste location-routing problem. European Journal of Operational Research, Vol. 226, No. 2 (2013) 332-340. Doi: 10.1016/j.ejor.2012.11.019.
- [23] Kazantzi, V., Kazantzis, N., Gerogiannis, V.C.: Risk Informed Optimization Of A Hazardous Material Multi-Periodic Transportation Model. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 24, No. 6 (2011) 767-773. Doi: 10.1016/j.jlp.2011.05.006.
- [24] Kalelkar, A., Brooks, R.: Use of multidimensional utility functions in hazardous shipment decisions, Accident Analysis and Prevention 10, (1978) 251-265.
- [25] Shobrys, D.: A model for the selection of shipping routes and storage locations for a hazardous substance, Ph.D. Dissertation, Johns Hopkins University, Baltimore (1981).
- [26] Kuby, M., Zhongyi, X. Xiaodong, X.: A minimax method for finding the k best differentiated paths, Geographica Analysis Vol. 29, No. 4 (1997) 298-313.
- [27] Pradhananga, R., Taniguchi, E., Yamada, T.: Ant colony system based routing and scheduling for hazardous material transportation, Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol. 2, No. 3 (2010) 6097-6108. Doi: 10.1016/j.sbspro.2010.04.022.
- [28] Frank, W.C., Thill, J-C., Batta, R.: Spatial decision support system for hazardous material truck routing, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 8, No. 1-6 (2000) 337-359. Doi: 10.1016/S0968-090X(00)00007-3.
- [29] Kara, B.Y., Erkut, E., Verter, V.: Accurate calculation of hazardous materials transport risks, Operations Research Letters, Vol. 31, No. 4 (2003) 285-292. Doi: 10.1016/S0167-6377(02)00238-9.
- [30] Erkut, E., Ingolfsson, A.: Transport risk models for hazardous materials: revisited, Operations Research Letters, Vol. 33, No. 1 (2005) 81-89. Doi: 10.1016/j.orl.2004.02.006.
- [31] Zografos, K.G., Androultsopoulos, K.N.: A heuristic algorithm for solving hazardous materials distribution problems, European Journal of Operational Research, Vol. 152, No. 2 (2004) 507-519. Doi: 10.1016/S0377-2217(03)00041-9.
- [32] Erkut, E., Gzara, F.: Solving the hazmat transport network design problem, Computers & Operations Research, Vol. 35, No. 7 (2008) 2234-2247. Doi: 10.1016/j.cor.2006.10.022.

- [33] Alumur, S., Kara, B.Y.: A new model for the hazardous waste location-routing problem, Computers & Operations Research, Vol. 34, No. 5 (2007) 1406-1423. Doi: 10.1016/j.cor.2005.06.012.
- [34] Raemdonck, K.V., Macharis, C., Mairesse, O.: Risk analysis system for the transport of hazardous materials, Journal of Safety Research, Vol. 45 (2013) 55-63. Doi: 10.1016/j.jsr.2013.01.002.
- [35] Erkut, E., Tjandra, S., Verter, V.: Hazardous materials transportation, C. Barnhart, G. Laporte (Eds.), Handbook on Operations Research and Management Science, Transportation, vol. 14, North Holland, Amsterdam (2007) 539-622.
- [36] Bisschop, J., Entriken, R.: AIMMS: The modeling system, Paragon Decision Technology (1997).
- [37] Díaz-Parra, O(Targetware Informática S.A de C.V, 2007-2013), Ruiz-Vanoye, J.A., Bernábe Loranca, B., Fuentes-Penna, A. and Barrera-Cámara, R.A.: A Survey of Transportation Problems, Journal of Applied Mathematics, Vol. 2014, Article ID 848129, 2014. doi:10.1155/2014/848129
- [38] PROGRAMA Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5112600&fecha=02/10/2009](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5112600&fecha=02/10/2009)
- [39] Targetware Informática S.A de C.V, «Software.com.mx,» 2007-2013. [En línea]. Available: <http://www.targetware.com.mx/programacion/aimms.html>.
- [40] <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/35.pdf>
- [41] [http://www.pemex.com/bienes-y-servicios/laassp/Documents/REF\\_COPE-13\\_RBL\(170913\).pdf](http://www.pemex.com/bienes-y-servicios/laassp/Documents/REF_COPE-13_RBL(170913).pdf)

**ANEXOS.**

**ANEXO 1. CONJUNTO DE INSTANCIAS DE EXPERIMENTACIÓN BASADAS EN PLATAFORMAS DE PEMEX.**

**ANEXO 2. DESCRIPCIÓN GRÀFICA DE CONTENEDORES.**

**ANEXO 3. DESCRIPCIÓN DE MODELO MATEMÁTICO**

**ANEXO 1. CONJUNTO DE INSTANCIAS DE EXPERIMENTACIÓN BASADAS EN PLATAFORMAS DE PEMEX.**  
**PEMEX-WTPS-36M-1**

FLEET HOMOGENEOUS	Number of Platforms 36	Capacity qso 1000	Cpacity qsp 1000	Capacity qh 1000	Capacity Containers 200	TIME 9:00-11:00				
No. Platform	GIS LATITUDE	GIS LENGTH	demand supersacks	Polyethylene bags	Deposits tight	DEMAND container	TIME WINDOW	earliest Due	DueDate	Riding Time
0	18.62616	-91.85145	0	0	0	0	900	1100	15	
1	19.39861111	-92.03972222	17	10	27	6	930	937	7	
2	19.41722222	-92.02694444	23	1	5	1	1014	1021	7	
3	19.41777778	-92.05	21	19	19	6	1002	1009	7	
4	19.39805556	-92.06222222	4	18	24	4	1004	1011	7	
5	19.38	-92.05055556	6	11	6	6	1027	1034	7	
6	19.37388889	-92.03138889	17	21	5	1	935	942	7	
7	19.39833333	-92.01555556	18	21	6	4	929	936	7	
8	19.46138889	-92.06111111	26	12	7	5	914	921	7	
9	19.43638889	-92.06138889	4	26	27	6	1034	1041	7	
10	19.40583333	-92.08111111	24	5	19	4	1019	1026	7	
11	19.38027778	-92.07333333	13	1	10	4	1018	1025	7	
12	19.3475	-92.0475	10	24	7	6	1027	1034	7	
13	19.36166667	-92.06944444	9	15	5	5	1012	1019	7	
14	19.29527778	-92.17055556	3	21	28	3	1052	1059	7	
15	19.32361111	-92.18583333	11	21	6	1	1024	1031	7	
16	19.29861111	-92.20083333	18	4	22	6	1046	1053	7	
17	19.27305556	-92.18527778	27	13	11	3	920	927	7	
18	19.27388889	-92.155	5	12	3	4	913	920	7	
19	19.29916667	-92.13944444	2	7	25	3	934	941	7	
20	19.34138889	-92.21916667	15	11	17	1	1035	1042	7	
21	19.27361111	-92.13222222	12	4	27	6	917	924	7	
22	19.28333333	-92.23	11	28	7	6	947	954	7	
23	19.29694444	-92.31722222	27	10	24	1	948	955	7	
24	19.22194444	-92.08861111	18	5	20	4	1018	1025	7	
25	19.17944444	-92.28666667	8	8	22	3	1004	1011	7	
26	19.14583333	-92.30583333	22	28	6	5	1005	1012	7	
27	19.51916667	-92.18861111	1	27	6	2	1044	1051	7	
28	19.49416667	-92.17361111	5	1	14	4	1049	1056	7	
29	19.58888889	-92.19972222	19	22	3	2	1031	1038	7	
30	19.5625	-92.18416667	21	27	22	3	1012	1019	7	
31	19.37	-92.00444444	20	11	7	6	1016	1023	7	
32	19.34305556	-92.00444444	23	3	18	5	1000	1007	7	
33	19.23666667	-92.25444444	8	25	5	3	1008	1015	7	
34	19.22416667	-92.26222222	28	4	17	4	1043	1050	7	
35	19.24277778	-92.28111111	18	26	18	2	1006	1013	7	
36	19.09583333	-92.53305556	1	7	15	6	939	946	7	
			25.75	25.45	25.5	7.05				

## PEMEX-WTPS-36M -2

No. Platform	GIS LATITUDE	GIS LENGTH	Capacity qso			Capacity qh	Capacity Containers	TIME 9:00-11:00		
			1000	1000	1000			1000	200	earliest Due
0	18.62616	-91.85145	0	0	0	0	0	900	1100	15
1	19.39861111	-92.03972222	1	2	7	4	930	937	7	
2	19.41722222	-92.02694444	1	22	3	5	1014	1021	7	
3	19.41777778	-92.05	14	5	1	3	1002	1009	7	
4	19.39805556	-92.06222222	21	6	23	3	1004	1011	7	
5	19.38	-92.05055556	1	25	2	5	1027	1034	7	
6	19.37388889	-92.03138889	8	26	25	1	935	942	7	
7	19.39833333	-92.01555556	19	28	1	1	929	936	7	
8	19.46138889	-92.06111111	12	6	8	3	914	921	7	
9	19.43638889	-92.06138889	10	12	5	5	1034	1041	7	
10	19.40583333	-92.08111111	3	20	17	1	1019	1026	7	
11	19.38027778	-92.07333333	26	25	26	3	1018	1025	7	
12	19.3475	-92.0475	24	19	27	6	1027	1034	7	
13	19.36166667	-92.06944444	10	2	10	2	1012	1019	7	
14	19.29527778	-92.17055556	7	11	11	4	1052	1059	7	
15	19.32361111	-92.18583333	8	15	16	2	1024	1031	7	
16	19.29861111	-92.20083333	27	20	11	6	1046	1053	7	
17	19.27305556	-92.18527778	19	14	23	6	920	927	7	
18	19.27388889	-92.155	28	1	17	6	913	920	7	
19	19.29916667	-92.13944444	15	20	4	6	934	941	7	
20	19.34138889	-92.21916667	6	14	22	3	1035	1042	7	
21	19.27361111	-92.13222222	1	23	22	3	917	924	7	
22	19.28333333	-92.23	21	20	15	1	947	954	7	
23	19.29694444	-92.31722222	26	14	20	4	948	955	7	
24	19.22194444	-92.08861111	2	21	22	6	1018	1025	7	
25	19.17944444	-92.28666667	8	23	7	6	1004	1011	7	
26	19.14583333	-92.30583333	17	27	19	3	1005	1012	7	
27	19.51916667	-92.18861111	12	3	3	5	1044	1051	7	
28	19.49416667	-92.17361111	10	14	25	3	1049	1056	7	
29	19.58888889	-92.19972222	14	28	1	5	1031	1038	7	
30	19.5625	-92.18416667	17	3	25	2	1012	1019	7	
31	19.37	-92.00444444	7	15	22	5	1016	1023	7	
32	19.34305556	-92.00444444	15	6	6	5	1000	1007	7	
33	19.23666667	-92.25444444	10	8	19	6	1008	1015	7	
34	19.22416667	-92.26222222	6	15	11	1	1043	1050	7	
35	19.24277778	-92.28111111	12	17	10	5	1006	1013	7	
36	19.09583333	-92.53305556	9	4	28	6	939	946	7	
			22.35	26.7	25.7	7.05				

### PEMEX-WTPS-36M -3

FLEET HOMOGENEOUS	Number of Platforms 36	Capacity qso 1000	Cpacity qsp 1000	Capacity qb 1000	Capacity Containers 200	TIME 9:00-11:00				
No. Platform	GIS LATITUDE	GIS LENGTH	demand supersacks	Polyethylene bags	Deposits tight	DEMAND container	TIME WINDOW	earliest Due	DueDate	Riding Time
0	18.62616	-91.85145	0	0	0	0	900	1100	15	
1	19.39861111	-92.03972222	7	6	26	6	930	937	7	
2	19.41722222	-92.02694444	26	6	19	4	1014	1021	7	
3	19.41777778	-92.05	17	13	1	5	1002	1009	7	
4	19.39805556	-92.06222222	7	12	22	1	1004	1011	7	
5	19.38	-92.05055556	2	17	3	4	1027	1034	7	
6	19.37388889	-92.03138889	14	7	14	4	935	942	7	
7	19.39833333	-92.01555556	19	2	6	5	929	936	7	
8	19.46138889	-92.06111111	12	8	5	3	914	921	7	
9	19.43638889	-92.06138889	6	7	18	2	1034	1041	7	
10	19.40583333	-92.08111111	7	19	15	3	1019	1026	7	
11	19.38027778	-92.07333333	12	7	16	3	1018	1025	7	
12	19.3475	-92.0475	28	15	25	1	1027	1034	7	
13	19.36166667	-92.06944444	22	9	14	3	1012	1019	7	
14	19.29527778	-92.17055556	6	13	9	4	1052	1059	7	
15	19.32361111	-92.18583333	20	23	8	6	1024	1031	7	
16	19.29861111	-92.20083333	28	16	9	5	1046	1053	7	
17	19.27305556	-92.18527778	5	28	21	6	920	927	7	
18	19.27388889	-92.155	26	8	27	5	913	920	7	
19	19.29916667	-92.13944444	11	26	5	6	934	941	7	
20	19.34138889	-92.21916667	6	17	15	3	1035	1042	7	
21	19.27361111	-92.13222222	3	21	25	1	917	924	7	
22	19.28333333	-92.23	23	17	17	6	947	954	7	
23	19.29694444	-92.31722222	13	21	13	2	948	955	7	
24	19.22194444	-92.08861111	27	16	20	3	1018	1025	7	
25	19.17944444	-92.28666667	23	24	3	3	1004	1011	7	
26	19.14583333	-92.30583333	23	12	9	2	1005	1012	7	
27	19.51916667	-92.18861111	9	18	3	1	1044	1051	7	
28	19.49416667	-92.17361111	18	20	1	5	1049	1056	7	
29	19.58888889	-92.19972222	21	24	4	3	1031	1038	7	
30	19.5625	-92.18416667	25	25	15	2	1012	1019	7	
31	19.37	-92.00444444	8	26	25	4	1016	1023	7	
32	19.34305556	-92.00444444	17	28	19	5	1000	1007	7	
33	19.23666667	-92.25444444	2	27	19	2	1008	1015	7	
34	19.22416667	-92.26222222	15	6	23	6	1043	1050	7	
35	19.24277778	-92.28111111	1	2	4	1	1006	1013	7	
36	19.09583333	-92.53305556	1	28	6	3	939	946	7	
			25.5	28.7	24.2	6.4				

### PEMEX-WTPS-36M -4

FLEET HOMOGENEOUS	Number of Platforms 36	Capacity qso 1000	Cpacity qsp 1000	Capacity qb 1000	Capacity Containers 200	TIME 9:00-11:00				
No. Platform	GIS LATITUDE	GIS LENGTH	demand supersacks	Polyethylene bags	Deposits tight	DEMAND container	TIME WINDOW	earliest Due	DueDate	Riding Time
0	18.62616	-91.85145	0	0	0	0	900	1100	15	
1	19.39861111	-92.03972222	6	2	12	3	930	937	7	
2	19.41722222	-92.02694444	22	18	14	2	1014	1021	7	
3	19.41777778	-92.05	20	9	20	6	1002	1009	7	
4	19.39805556	-92.06222222	27	27	18	5	1004	1011	7	
5	19.38	-92.05055556	5	14	28	3	1027	1034	7	
6	19.37388889	-92.03138889	15	23	24	2	935	942	7	
7	19.39833333	-92.01555556	7	13	18	4	929	936	7	
8	19.46138889	-92.06111111	21	10	16	2	914	921	7	
9	19.43638889	-92.06138889	14	16	28	6	1034	1041	7	
10	19.40583333	-92.08111111	26	28	10	3	1019	1026	7	
11	19.38027778	-92.07333333	24	2	17	6	1018	1025	7	
12	19.3475	-92.0475	9	23	28	6	1027	1034	7	
13	19.36166667	-92.06944444	28	22	17	1	1012	1019	7	
14	19.29527778	-92.17055556	15	10	21	3	1052	1059	7	
15	19.32361111	-92.18583333	13	23	20	1	1024	1031	7	
16	19.29861111	-92.20083333	12	19	19	3	1046	1053	7	
17	19.27305556	-92.18527778	4	23	14	3	920	927	7	
18	19.27388889	-92.155	4	25	10	4	913	920	7	
19	19.29916667	-92.13944444	16	25	16	5	934	941	7	
20	19.34138889	-92.21916667	15	21	19	5	1035	1042	7	
21	19.27361111	-92.13222222	1	24	15	4	917	924	7	
22	19.28333333	-92.23	6	26	17	3	947	954	7	
23	19.29694444	-92.31722222	6	13	14	6	948	955	7	
24	19.22194444	-92.08861111	25	7	15	5	1018	1025	7	
25	19.17944444	-92.28666667	1	20	11	4	1004	1011	7	
26	19.14583333	-92.30583333	2	8	16	1	1005	1012	7	
27	19.51916667	-92.18861111	7	12	16	4	1044	1051	7	
28	19.49416667	-92.17361111	1	10	3	3	1049	1056	7	
29	19.58888889	-92.19972222	27	25	17	1	1031	1038	7	
30	19.5625	-92.18416667	17	9	18	3	1012	1019	7	
31	19.37	-92.00444444	15	15	6	3	1016	1023	7	
32	19.34305556	-92.00444444	10	10	27	4	1000	1007	7	
33	19.23666667	-92.25444444	14	6	12	6	1008	1015	7	
34	19.22416667	-92.26222222	4	18	3	1	1043	1050	7	
35	19.24277778	-92.28111111	26	16	6	5	1006	1013	7	
36	19.09583333	-92.53305556	5	10	2	2	939	946	7	
			23.5	29.1	28.35	6.4				

### PEMEX-WTPS-36M -5

FLEET HOMOGENEOUS	Number of Platforms 36	Capacity qso 1000				Cpacity qsp 1000		Capacity qb 1000		Capacity Containers 200		TIME 9:00-11:00		
		demand supersacks	Polyethylene bags	Deposits tight	DEMAND container	TIME WINDOW	earliest Due	DueDate	Riding Time					
0	18.62616	-91.85145	0	0	0	900	1100	15						
1	19.39861111	-92.03972222	6	2	12	930	937	7						
2	19.41722222	-92.02694444	22	18	14	1014	1021	7						
3	19.41777778	-92.05	20	9	20	1002	1009	7						
4	19.39805556	-92.06222222	27	27	18	1004	1011	7						
5	19.38	-92.05055556	5	14	28	1027	1034	7						
6	19.37388889	-92.03138889	15	23	24	935	942	7						
7	19.39833333	-92.01555556	7	13	18	929	936	7						
8	19.46138889	-92.06111111	21	10	16	914	921	7						
9	19.43638889	-92.06138889	14	16	28	1034	1041	7						
10	19.40583333	-92.08111111	26	28	10	1019	1026	7						
11	19.38027778	-92.07333333	24	2	17	1018	1025	7						
12	19.3475	-92.0475	9	23	28	1027	1034	7						
13	19.36166667	-92.06944444	28	22	17	1012	1019	7						
14	19.29527778	-92.17055556	15	10	21	1052	1059	7						
15	19.32361111	-92.18583333	13	23	20	1024	1031	7						
16	19.29861111	-92.20083333	12	19	19	1046	1053	7						
17	19.27305556	-92.18527778	4	23	14	920	927	7						
18	19.27388889	-92.155	4	25	10	913	920	7						
19	19.29916667	-92.13944444	16	25	16	934	941	7						
20	19.34138889	-92.21916667	15	21	19	1035	1042	7						
21	19.27361111	-92.13222222	1	24	15	917	924	7						
22	19.28333333	-92.23	6	26	17	947	954	7						
23	19.29694444	-92.31722222	6	13	14	948	955	7						
24	19.22194444	-92.08861111	25	7	15	1018	1025	7						
25	19.17944444	-92.28666667	1	20	11	1004	1011	7						
26	19.14583333	-92.30583333	2	8	16	1005	1012	7						
27	19.51916667	-92.18861111	7	12	16	1044	1051	7						
28	19.49416667	-92.17361111	1	10	3	1049	1056	7						
29	19.58888889	-92.19972222	27	25	17	1031	1038	7						
30	19.5625	-92.18416667	17	9	18	1012	1019	7						
31	19.37	-92.00444444	15	15	6	1016	1023	7						
32	19.34305556	-92.00444444	10	10	27	1000	1007	7						
33	19.23666667	-92.25444444	14	6	12	1008	1015	7						
34	19.22416667	-92.26222222	4	18	3	1043	1050	7						
35	19.24277778	-92.28111111	26	16	6	1006	1013	7						
36	19.09583333	-92.53305556	5	10	2	939	946	7						
			23.5	29.1	28.35	6.4								

### PEMEX-WTPS-36M -6

FLEET HOMOGENEOUS	Number of Platforms 36	Capacity qso 1000				Capacity qsp 1000	Capacity qb 1000	Capacity Containers 200	TIME 9:00-11:00		
		Cpacity qso 1000	Cpacity qsp 1000	Capacity qb 1000	TIME earliest Due	DueDate	Riding Time				
No. Platform	GIS LATITUDE	GIS LENGTH	demand supersacks	Polyethylene bags	Deposits tight	DEMAND container					
0	18.62616	-91.85145	0	0	0	0	900	1100	15		
1	19.39861111	-92.03972222	27	15	20	2	930	937	7		
2	19.41722222	-92.02694444	20	26	16	5	1014	1021	7		
3	19.41777778	-92.0521	3	13	2	1002	1009	7			
4	19.39805556	-92.06222222	4	3	5	2	1004	1011	7		
5	19.38	-92.05055556	5	17	15	4	1027	1034	7		
6	19.37388889	-92.03138889	12	12	6	3	935	942	7		
7	19.39833333	-92.01555556	17	18	1	3	929	936	7		
8	19.46138889	-92.06111111	28	4	25	3	914	921	7		
9	19.43638889	-92.06138889	25	2	21	5	1034	1041	7		
10	19.40583333	-92.08111111	28	1	7	5	1019	1026	7		
11	19.38027778	-92.07333333	5	18	19	4	1018	1025	7		
12	19.3475	-92.0475	13	22	17	3	1027	1034	7		
13	19.36166667	-92.06944444	27	18	14	4	1012	1019	7		
14	19.29527778	-92.17055556	12	4	16	5	1052	1059	7		
15	19.32361111	-92.18583333	16	27	28	4	1024	1031	7		
16	19.29861111	-92.20083333	14	21	5	5	1046	1053	7		
17	19.27305556	-92.18527778	19	8	28	4	920	927	7		
18	19.27388889	-92.155	18	26	8	3	913	920	7		
19	19.29916667	-92.13944444	26	9	8	5	934	941	7		
20	19.34138889	-92.21916667	3	23	20	4	1035	1042	7		
21	19.27361111	-92.13222222	6	8	2	1	917	924	7		
22	19.28333333	-92.23	2	5	4	5	947	954	7		
23	19.29694444	-92.31722222	12	14	23	4	948	955	7		
24	19.22194444	-92.08861111	21	25	24	5	1018	1025	7		
25	19.17944444	-92.28666667	1	15	25	1	1004	1011	7		
26	19.14583333	-92.30583333	22	24	14	4	1005	1012	7		
27	19.51916667	-92.18861111	8	15	8	3	1044	1051	7		
28	19.49416667	-92.17361111	4	22	22	4	1049	1056	7		
29	19.58888889	-92.19972222	12	10	18	4	1031	1038	7		
30	19.5625	-92.18416667	26	23	11	6	1012	1019	7		
31	19.37	-92.00444444	17	5	3	5	1016	1023	7		
32	19.34305556	-92.00444444	26	17	11	5	1000	1007	7		
33	19.23666667	-92.25444444	9	15	19	2	1008	1015	7		
34	19.22416667	-92.26222222	24	26	28	4	1043	1050	7		
35	19.24277778	-92.28111111	6	7	13	5	1006	1013	7		
36	19.09583333	-92.53305556	24	4	18	5	939	946	7		
			28	25.6	26.75	6.9					

### PEMEX-WTPS-36M -7

No. Platform	GIS LATITUDE	GIS LENGTH	Capacity qso				Capacity Containers 200	TIME 9:00-11:00		
			1000	1000	1000	200		earliest Due	DueDate	Riding Time
0	18.62616	-91.85145	0	0	0	0	900	1100	15	
1	19.39861111	-92.03972222	18	3	13	2	930	937	7	
2	19.41722222	-92.02694444	9	4	22	3	1014	1021	7	
3	19.41777778	-92.05	12	8	11	3	1002	1009	7	
4	19.39805556	-92.06222222	2	7	11	2	1004	1011	7	
5	19.38	-92.05055556	27	11	13	5	1027	1034	7	
6	19.37388889	-92.03138889	16	2	14	2	935	942	7	
7	19.39833333	-92.01555556	18	15	27	3	929	936	7	
8	19.46138889	-92.06111111	20	14	8	1	914	921	7	
9	19.43638889	-92.06138889	8	13	28	2	1034	1041	7	
10	19.40583333	-92.08111111	25	17	10	2	1019	1026	7	
11	19.38027778	-92.07333333	26	4	24	1	1018	1025	7	
12	19.3475	-92.0475	17	7	4	4	1027	1034	7	
13	19.36166667	-92.06944444	13	12	8	1	1012	1019	7	
14	19.29527778	-92.17055556	24	5	6	1	1052	1059	7	
15	19.32361111	-92.18583333	25	14	2	4	1024	1031	7	
16	19.29861111	-92.20083333	19	8	8	3	1046	1053	7	
17	19.27305556	-92.18527778	17	20	24	5	920	927	7	
18	19.27388889	-92.155	7	6	25	4	913	920	7	
19	19.29916667	-92.13944444	28	26	23	3	934	941	7	
20	19.34138889	-92.21916667	7	28	27	6	1035	1042	7	
21	19.27361111	-92.13222222	10	18	12	5	917	924	7	
22	19.28333333	-92.23	11	2	8	2	947	954	7	
23	19.29694444	-92.31722222	7	11	1	4	948	955	7	
24	19.22194444	-92.08861111	16	13	11	5	1018	1025	7	
25	19.17944444	-92.28666667	10	10	3	6	1004	1011	7	
26	19.14583333	-92.30583333	15	20	19	6	1005	1012	7	
27	19.51916667	-92.18861111	6	22	19	5	1044	1051	7	
28	19.49416667	-92.17361111	25	26	5	2	1049	1056	7	
29	19.58888889	-92.19972222	27	4	28	5	1031	1038	7	
30	19.5625	-92.18416667	20	11	9	3	1012	1019	7	
31	19.37	-92.00444444	27	18	9	3	1016	1023	7	
32	19.34305556	-92.00444444	8	12	25	2	1000	1007	7	
33	19.23666667	-92.25444444	8	14	14	6	1008	1015	7	
34	19.22416667	-92.26222222	27	27	3	3	1043	1050	7	
35	19.24277778	-92.28111111	15	3	27	4	1006	1013	7	
36	19.09583333	-92.53305556	8	9	19	3	939	946	7	
			28.9	22.2	26	6.05				

### PEMEX-WTPS-36M -8

FLEET HOMOGENEOUS	Number of Platforms 36	Capacity qso 1000				Capacity qsp 1000	Capacity qb 1000	Capacity Containers 200	TIME 9:00-11:00		
		Capacity qso 1000	Cpacity qsp 1000	Capacity qb 1000	Capacity Containers 200				TIME earliest Due	TIME DueDate	Riding Time
No. Platform	GIS LATITUDE	GIS LENGTH	demand supersacks	Polyethylene bags	Deposits tight	DEMAND container					
0	18.62616	-91.85145	0	0	0	0	900	1100	15		
1	19.39861111	-92.03972222	17	11	28	6	930	937	7		
2	19.41722222	-92.02694444	11	14	19	6	1014	1021	7		
3	19.41777778	-92.05	13	3	23	5	1002	1009	7		
4	19.39805556	-92.06222222	8	7	11	2	1004	1011	7		
5	19.38	-92.05055556	6	19	10	4	1027	1034	7		
6	19.37388889	-92.03138889	10	19	22	4	935	942	7		
7	19.39833333	-92.01555556	5	6	14	1	929	936	7		
8	19.46138889	-92.06111111	19	19	27	2	914	921	7		
9	19.43638889	-92.06138889	13	15	21	2	1034	1041	7		
10	19.40583333	-92.08111111	11	13	4	5	1019	1026	7		
11	19.38027778	-92.07333333	20	18	15	5	1018	1025	7		
12	19.3475	-92.0475	10	11	1	3	1027	1034	7		
13	19.36166667	-92.06944444	14	7	8	1	1012	1019	7		
14	19.29527778	-92.17055556	15	17	24	1	1052	1059	7		
15	19.32361111	-92.18583333	11	7	13	3	1024	1031	7		
16	19.29861111	-92.20083333	16	21	14	3	1046	1053	7		
17	19.27305556	-92.18527778	20	19	14	5	920	927	7		
18	19.27388889	-92.155	12	27	5	4	913	920	7		
19	19.29916667	-92.13944444	11	10	15	3	934	941	7		
20	19.34138889	-92.21916667	2	19	14	4	1035	1042	7		
21	19.27361111	-92.13222222	1	9	23	3	917	924	7		
22	19.28333333	-92.23	25	27	22	1	947	954	7		
23	19.29694444	-92.31722222	22	10	13	5	948	955	7		
24	19.22194444	-92.08861111	13	25	8	2	1018	1025	7		
25	19.17944444	-92.28666667	9	27	20	3	1004	1011	7		
26	19.14583333	-92.30583333	12	27	9	2	1005	1012	7		
27	19.51916667	-92.18861111	6	24	15	5	1044	1051	7		
28	19.49416667	-92.17361111	12	26	9	1	1049	1056	7		
29	19.58888889	-92.19972222	5	7	20	2	1031	1038	7		
30	19.5625	-92.18416667	28	23	10	2	1012	1019	7		
31	19.37	-92.00444444	26	15	21	4	1016	1023	7		
32	19.34305556	-92.00444444	22	28	22	5	1000	1007	7		
33	19.23666667	-92.25444444	4	19	3	5	1008	1015	7		
34	19.22416667	-92.26222222	20	21	14	6	1043	1050	7		
35	19.24277778	-92.28111111	7	1	6	1	1006	1013	7		
36	19.09583333	-92.53305556	3	17	20	4	939	946	7		
			22.95	29.4	26.85	6					

### PEMEX-WTPS-36M -9

FLEET HOMOGENEOUS	Number of Platforms 36	Capacity qso 1000	Cpacity qsp 1000	Capacity qb 1000	Capacity Containers 200	TIME 9:00-11:00			
No. Platform	GIS LATITUDE	GIS LENGTH	demand supersacks	Polyethylene bags	Deposits tight	DEMAND container	TIME WINDOW earliest Due DueDate	Riding	Time
0	18.62616	-91.85145	0	0	0	0	900 1100	15	
1	19.39861111	-92.03972222	26	19	21	6	930 937	7	
2	19.41722222	-92.02694444	18	24	4	1	1014 1021	7	
3	19.41777778	-92.05	18	27	27	5	1002 1009	7	
4	19.39805556	-92.06222222	21	2	17	2	1004 1011	7	
5	19.38	-92.05055556	27	2	19	4	1027 1034	7	
6	19.37388889	-92.03138889	24	24	27	1	935 942	7	
7	19.39833333	-92.01555556	9	20	13	2	929 936	7	
8	19.46138889	-92.06111111	9	22	21	3	914 921	7	
9	19.43638889	-92.06138889	7	8	21	4	1034 1041	7	
10	19.40583333	-92.08111111	5	26	25	1	1019 1026	7	
11	19.38027778	-92.07333333	22	17	24	6	1018 1025	7	
12	19.3475	-92.0475	12	26	18	4	1027 1034	7	
13	19.36166667	-92.06944444	15	5	3	2	1012 1019	7	
14	19.29527778	-92.17055556	9	1	10	5	1052 1059	7	
15	19.32361111	-92.18583333	3	7	5	3	1024 1031	7	
16	19.29861111	-92.20083333	4	18	24	6	1046 1053	7	
17	19.27305556	-92.18527778	23	21	17	6	920 927	7	
18	19.27388889	-92.155	20	12	1	4	913 920	7	
19	19.29916667	-92.13944444	20	5	24	2	934 941	7	
20	19.34138889	-92.21916667	3	19	25	6	1035 1042	7	
21	19.27361111	-92.13222222	28	16	4	1	917 924	7	
22	19.28333333	-92.23	20	16	24	5	947 954	7	
23	19.29694444	-92.31722222	2	2	12	1	948 955	7	
24	19.22194444	-92.08861111	24	16	8	1	1018 1025	7	
25	19.17944444	-92.28666667	25	15	9	3	1004 1011	7	
26	19.14583333	-92.30583333	12	3	15	3	1005 1012	7	
27	19.51916667	-92.18861111	26	20	3	1	1044 1051	7	
28	19.49416667	-92.17361111	6	4	25	4	1049 1056	7	
29	19.58888889	-92.19972222	24	10	11	1	1031 1038	7	
30	19.5625	-92.18416667	5	11	8	4	1012 1019	7	
31	19.37	-92.00444444	4	20	12	3	1016 1023	7	
32	19.34305556	-92.00444444	6	16	27	1	1000 1007	7	
33	19.23666667	-92.25444444	19	28	10	5	1008 1015	7	
34	19.22416667	-92.26222222	9	3	5	5	1043 1050	7	
35	19.24277778	-92.28111111	12	14	14	1	1006 1013	7	
36	19.09583333	-92.53305556	6	22	4	6	939 946	7	
			26.15	26.05	26.85	5.9			

### PEMEX-WTPS-36M -10

FLEET HOMOGENEOUS	Number of Platforms 36	Capacity qso 1000	Cpacity qsp 1000	Capacity qb 1000	Capacity Containers 200	TIME 9:00-11:00			
No. Platform	GIS LATITUDE	GIS LENGTH	demand supersacks	Polyethylene bags	Deposits tight	DEMAND container	TIME WINDOW earliest Due DueDate	Riding	Time
0	18.62616	-91.85145	0	0	0	0	900 1100	15	
1	19.39861111	-92.03972222	23	17	9	2	930 937	7	
2	19.41722222	-92.02694444	6	18	13	5	1014 1021	7	
3	19.41777778	-92.05	25	11	7	2	1002 1009	7	
4	19.39805556	-92.06222222	8	15	24	2	1004 1011	7	
5	19.38	-92.05055556	4	20	28	5	1027 1034	7	
6	19.37388889	-92.03138889	1	23	9	5	935 942	7	
7	19.39833333	-92.01555556	26	13	26	4	929 936	7	
8	19.46138889	-92.06111111	28	9	20	1	914 921	7	
9	19.43638889	-92.06138889	13	2	16	6	1034 1041	7	
10	19.40583333	-92.08111111	16	7	11	2	1019 1026	7	
11	19.38027778	-92.07333333	27	16	13	3	1018 1025	7	
12	19.3475	-92.0475	6	21	21	3	1027 1034	7	
13	19.36166667	-92.06944444	5	3	5	1	1012 1019	7	
14	19.29527778	-92.17055556	13	2	7	3	1052 1059	7	
15	19.32361111	-92.18583333	21	21	1	1	1024 1031	7	
16	19.29861111	-92.20083333	25	21	5	4	1046 1053	7	
17	19.27305556	-92.18527778	2	28	2	2	920 927	7	
18	19.27388889	-92.155	7	17	15	4	913 920	7	
19	19.29916667	-92.13944444	18	24	26	4	934 941	7	
20	19.34138889	-92.21916667	12	24	19	2	1035 1042	7	
21	19.27361111	-92.13222222	26	21	18	2	917 924	7	
22	19.28333333	-92.23	17	26	8	6	947 954	7	
23	19.29694444	-92.31722222	16	25	10	4	948 955	7	
24	19.22194444	-92.08861111	6	12	17	2	1018 1025	7	
25	19.17944444	-92.28666667	28	16	28	5	1004 1011	7	
26	19.14583333	-92.30583333	12	26	2	5	1005 1012	7	
27	19.51916667	-92.18861111	21	21	17	1	1044 1051	7	
28	19.49416667	-92.17361111	20	6	22	4	1049 1056	7	
29	19.58888889	-92.19972222	23	18	1	1	1031 1038	7	
30	19.5625	-92.18416667	27	23	3	4	1012 1019	7	
31	19.37	-92.00444444	11	10	27	5	1016 1023	7	
32	19.34305556	-92.00444444	16	5	17	1	1000 1007	7	
33	19.23666667	-92.25444444	3	27	28	5	1008 1015	7	
34	19.22416667	-92.26222222	14	23	6	4	1043 1050	7	
35	19.24277778	-92.28111111	17	5	21	5	1006 1013	7	
36	19.09583333	-92.53305556	16	12	4	6	939 946	7	
			27.95	29.4	25.3	6.05			

## ANEXO 2. DESCRIPCIÓN GRÀFICA DE CONTENEDORES.

### Supersaco

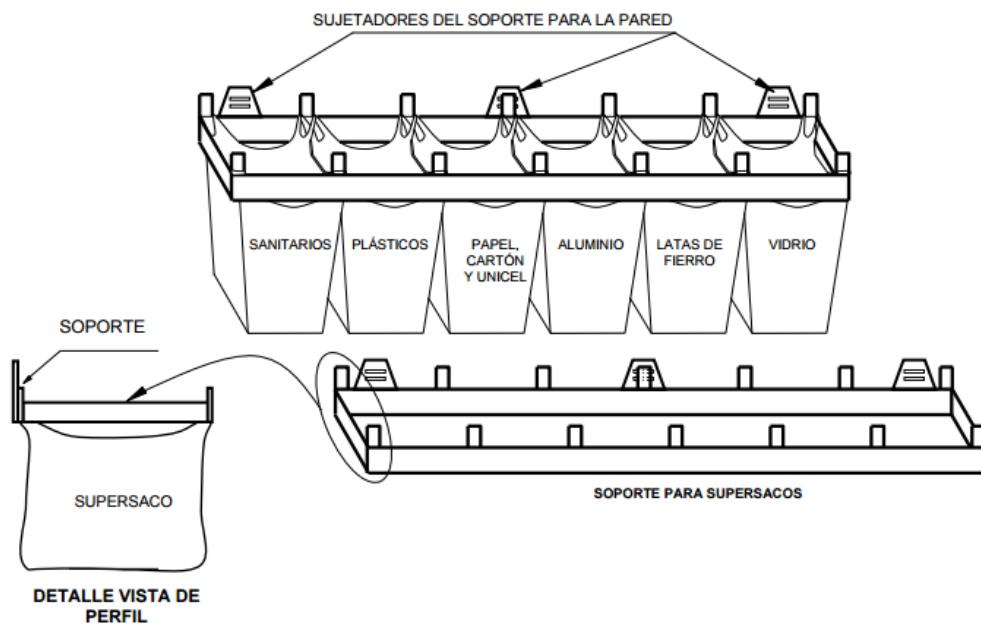


Figura 1. Modelo de estructuras según disponibilidad de espacio para colocar los supersacos en el área de transferencia

## Contenedor

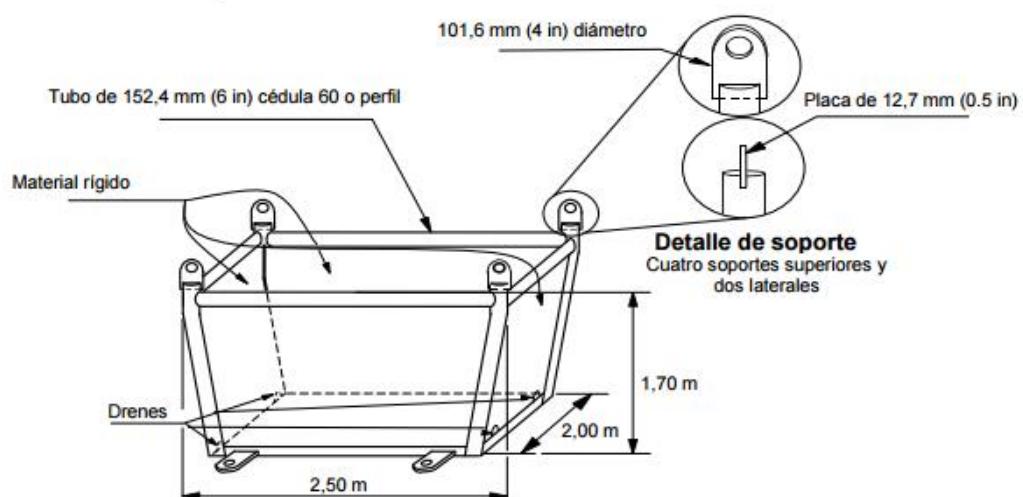


Figura 2. Esquema ilustrativo de las características de los contenedores para traspase de chatarra

## **Envase de residuos**

<b>Tipo de residuos</b>	<b>Estado físico</b>	<b>Envase</b>	<b>Color del depósito</b>
Sangre	Líquidos	Depósitos herméticos	Rojo
Residuos no anatómicos	Sólidos	Bolsas de polietileno	Rojo
	Líquidos	Depósitos herméticos	Rojo
Patológicos	Sólidos	Bolsa de polietileno	Amarillo
	Líquidos	Depósitos herméticos	Amarillo
Objetos punzo cortantes	Sólidos	Depósitos rígidos	Rojo

**Tabla 3. Envase de residuos biológico-infecciosos)**

**Símbolo de riesgo**



RESIDUOS  
PELIGROSOS  
BIOLÓGICO-INFECTIOSOS

**Figura 3. Símbolo universal de riesgo biológico**

### ANEXO 3. DESCRIPCIÓN DE MODELO MATEMÀTICO

$$\min Z = \sum_{i=0}^n Cx_{ij}b_k \quad (1)$$

$$Q_{bk} \leq \sum_{i=1}^n d_{pi}; \quad Q_{bk} = \{qso, qsp, qh\} \quad (2)$$

$$X_{ijb_k} = \sum_{i=0}^n x_{ijb_k} \quad (3)$$

$$x_{ijb_k} = \sum_{i=0}^n x_{ijb_k} + \sum_{i=j}^0 x_{i0} \quad (4)$$

$$W_{b_k} \leq \sum_{i=0}^n wd_{ib_k} \quad (5)$$

$$\min Z = \sum_{i=0}^n Cx_{ij} b_k$$

La ecuación (1) es la minimización del costo (C) por la ruta ( $x_{ij}$ ) realizado por la nave ( $b_k$ ).

$$Q_{bk} \leq \sum_{i=1}^n d_{pi}; \quad Q_{bk} = \{qso, qsp, qh\}$$

La ecuación (2) representa la capacidad total del buque teniendo en cuenta los tipos y tamaños de contenedores y la capacidad no debe ser superada por la suma de las demandas de cada plataforma.

$$X_{ijb_k} = \sum_{i=0}^n x_{ijb_k}$$

La ecuación (3) es la longitud total de las naves de todas las rutas que debe cumplir cada barco.

$$x_{ijb_k} = \sum_{i=0}^n x_{ijb_k} + \sum_{i=j}^0 x_{i0}$$

La ecuación (4) se menciona que cada ruta tomada por una nave debe empezar en el nodo cero y terminar en el nodo cero.

$$W_{b_k} \leq \sum_{i=0}^n wd_{ib_k}$$

La ecuación (5) es el peso máximo permitido por la carga de la nave y no debe ser excedido por la suma de los pesos de los contenedores.