



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA

**HÍPER GRÁFICAS Y PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA PARA LA MODELACIÓN DE
UN SISTEMA DE TRANSPORTE DE CARGA BASADO EN FULLES**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS, EN EL CAMPO DE
CONOCIMIENTO DE TRANSPORTE**

PRESENTA

MAT. RICARDO RAFAEL AVILA GÓMEZ

DIRECTOR DE TESIS:

DOCTORA ZAIDA ESTEFANÍA ALARCÓN BERNAL
POSGRADO DE INGENIERIA

Ciudad Universitaria, CD. MX. Agosto 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mi asesora, Zaida Estefanía Alarcón Bernal, por el apoyo brindado durante este proceso.

A mis sinodales, la Doctora Mayra Elizondo Cortés, al Doctor Ricardo Aceves García, al Doctor José Antonio Rivera Colmenero y al Doctor Manuel Del Moral Dávila por darse el tiempo y el espacio de ser partícipes de este trabajo.

A Milka Becaria.

A la UNAM, por el apoyo brindado.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE GRÁFICAS Y FIGURAS	6
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	10
1.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL AUTO TRANSPORTE EN MÉXICO	10
1.2 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS PARTICULARES	13
CAPÍTULO 2: HÍPER GRÁFICAS.....	15
2.1 ELEMENTOS DE LA TEORÍA DE HÍPER GRÁFICAS	16
2.2 METODOLOGÍA.....	20
<i>Paso 1: Definir los elementos que conforman la híper gráfica.</i>	22
<i>Paso 2: Definición y delimitación de aristas.</i>	23
<i>Paso 3: Análisis individual de cada área.</i>	25
<i>Paso 4: Análisis del sistema.</i>	26
<i>Paso 5: Resultados y recomendaciones.</i>	26
CAPÍTULO 3: RUTINAS Y PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA.....	27
3.1 ESTADO INICIAL DEL SISTEMA.....	28
3.2 PROGRAMAS Y RUTINAS DE PRIMERA ETAPA	30
3.2.1 Rutina de ranqueo de rutas.....	30
3.2.2 Técnica de tipificación Z-Score	30
3.2.2.1 Características de las rutas.....	31
3.2.2.2 Observaciones sobre el ranqueo de rutas.....	33
3.2.3 Programa de asignación de unidades	33
3.3 PROGRAMAS Y RUTINAS DE SEGUNDA ETAPA	38
3.3.1 Costos.....	38
3.3.2 Programa de asignación de entidades hombre-camión para cubrir la demanda.....	41
3.4 PROGRAMAS Y RUTINAS DE TERCERA ETAPA	43
3.4.1 Reemplazo de unidades	43
3.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	45
CAPÍTULO 4 CASO DE ESTUDIO: TRANSBALCO	46
4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	46
4.2 PROGRAMAS Y RUTINAS DE PRIMERA ETAPA, CASO DE ESTUDIO	50
4.2.1 Ranqueo de rutas.....	50
4.2.2 Asignación de unidades.....	51
4.3 PROGRAMAS Y RUTINAS DE SEGUNDA ETAPA, CASO DE ESTUDIO.....	53
4.3.1 Asignación de unidades hombre - camión para cubrir la demanda.....	53
4.3.1.1 Utilidad con base solo en el rendimiento.....	55
4.3.1.2 Observaciones sobre utilidad y asignación.....	60
4.3.1.3 Margen de utilidad por cliente	60
4.4 TRANSBALCO COMO UN MODELO DE HÍPER GRÁFICAS.....	61

4.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	68
4.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES SOBRE EL CASO DE ESTUDIO	69
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES GENERALES, LIMITANTES Y TRABAJO FUTURO	71
BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXO	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Aumento de la deficiencia del mercado de Auto transporte de Carga, CANACAR (2019)	12
Tabla 2 Nomenclatura de los elementos de la arista Operación de la entidad Eij	23
Tabla 3 Métodos de reemplazo en auto transporte, elaboración propia con base en Bosch & Varas (2001)	45
Tabla 4 Rutas activas de Transbalco	48
Tabla 5 Cantidad de Viajes por cliente y destino	49
Tabla 6 Ranqueo de rutas de Transbalco	50
Tabla 7 Cálculo de parámetros para los criterios analizados	50
Tabla 8 El valor Z-Score final para cada ruta	51
Tabla 9 Rendimientos actuales de los Operadores	51
Tabla 10 Rendimientos actuales de las Unidades	52
Tabla 11 Comparación de Estados	53
Tabla 12 Demanda por Ruta	54
Tabla 13 Cobertura de la demanda 1	56
Tabla 14 Ahorro por combustible 1	57
Tabla 15 Utilidad con base en el rendimiento y en la conducción del operador	57
Tabla 16 Cobertura de la demanda 2	58
Tabla 17 Ahorro por combustible 2	59
Tabla 18 Utilidad 2	60
Tabla 19 Margen de utilidad por clientes	61
Tabla 20 Arista de operación de las entidades	63
Tabla 21 Operación	63
Tabla 22 Clientes	64
Tabla 23 Mantenimiento	64
Tabla 24 Vértices de la hiper gráfica	65
Tabla 25 Administración	66
Tabla 26 Resultados de encuesta de relación	66
Tabla 27 Aristas perturbadas	68
Tabla 28 Asignación modificada	69

ÍNDICE DE GRÁFICAS Y FIGURAS

Gráfica 1 PIB y auto transporte, CANACAR (2019).....	11
Figura 1 Híper gráfica de 5 aristas y 9 vértices	16
Figura 2 Ejemplo de arista contenida, arista D_2 contenida en arista D_1	17
Figura 3 Híper gráfica estrella con centro en x_1	18
Figura 4 Ejemplo de una gráfica de línea, (Bretto, 2013)	19
Figura 5 Metodología de análisis de sistema HG	21
Figura 6 Estructura sistémica de híper gráficas.....	22
Figura 7 Estructura sistémica de híper gráficas.....	24
Figura 8 Construcción de la Híper Gráfica.....	25
Figura 9 Diagrama de trabajo por etapas.....	28
Figura 10 Evolución de un sistema a través del tiempo	29
Figura 11 Logotipo Transbalco	46
Figura 12 Clientes de Transbalco	46
Figura 13 Unidad Full; un tractocamión y dos tanques.....	47
Figura 14 Mapa de Destinos y Rutas activas.....	48
Figura 15 Ejemplo de Reportes de conducción	55
Figura 16 Grafo condensado	67
Figura 17 Representación ideal del mercado de auto transporte	72

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Akron: Empresa con alta presencia en el país, dedicada al comercio de básicos lubricantes y cliente de Transbalco.

Bardahl: Empresa con alta presencia en el país, dedicada al comercio de básicos lubricantes y cliente de Transbalco.

Depreciación: Disminución periódica en el tiempo de un bien.

Flota homogénea: Conjunto de unidades vehiculares con características semejantes.

Full: Una unidad vehicular compuesta por un tractocamión y dos unidades de carga; tanques o cajas.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global usado para determinar la posición de un objeto en el mundo mediante el uso de satélites.

KPI: Indicador clave de desempeño, son una manera de medir si un proceso, una persona o una acción, son eficientes desde un punto de vista jerárquico que determina una meta.

Lowin: Empresa dedicada a la manufactura de derivados del petróleo como combustibles y lubricantes, cliente de Transbalco

Mantenimiento correctivo: Trabajos de reparación en unidades vehiculares posteriores a la aparición de una falla mecánica.

Mantenimiento preventivo: Trabajos de reparación en unidades vehiculares previos a la aparición de una falla mecánica.

Tarjetas TAG: Sistema de pase rápido por casetas mediante un chip en una tarjeta instalada en unidades vehiculares.

Tracto camión: Unidad vehicular con gran capacidad de arrastre, también conocido como tráiler.

Transporte de carga: Actividad económica dedicada al traslado de mercancías.

Unidad de carga: Unidad vehicular con capacidad de espacio para trasladar carga; tanques para trasladar líquidos y cajas para trasladar productos sólidos.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo inicia con una breve presentación de la situación actual del mercado del auto transporte en México, a partir de esta información y desde el punto de vista del transportista, se diagnostica la situación de una empresa dedicada al auto transporte de carga basado en fulles.

Con este diagnóstico se pretende encontrar áreas de oportunidad, generar herramientas que contribuyan a mejorar la toma de decisiones de las diferentes áreas de la operación y, en consecuencia, buscar un aumento en las utilidades de la empresa.

Visto “desde arriba”, el enfoque usado para abordar la operación de auto transporte objeto de este estudio, se acerca más al punto de vista sistémico usado en Sussman (2000) con la no pequeña diferencia de evitar propiedades suaves o cualitativas. En este trabajo se opta por un enfoque sistémico duro que se cimienta sobre la teoría de híper gráficas.

Esta modelación busca contribuir a la toma de decisiones con base en datos sólidos y comprobables, apoyándonos a su vez en técnicas de programación matemática que permitan optimizar las potenciales utilidades generadas y enriquecer la comprensión del sistema.

La motivación de elegir teoría de híper gráficas sobre otras herramientas encuentra su explicación en los Puntos Uno y Dos; estos dos puntos si bien, no son la motivación del trabajo, si son la motivación de elegir la teoría de híper gráficas como herramienta de modelación.

Punto Uno: se pretende brindar una nueva perspectiva de un sistema ya conocido, con el propósito de identificar nuevas características que contribuyan a profundizar los estudios sobre este importante sistema, a la vez que motivamos a la comunidad a continuar con el estudio de híper gráficas en este y en otros campos.

Punto Dos: la necesidad de encontrar nuevas técnicas que optimicen los sistemas de transporte de carga. El transporte como actividad humana es fundamental para el desarrollo como sociedad. Cada vez se vuelve más necesaria la detección de nuevas técnicas de modelado y optimización de los sistemas de transporte de carga. Es importante que estas nuevas técnicas consideren herramientas novedosas y nuevas tecnologías. Si bien, con este trabajo no se pretende ampliar las fronteras del conocimiento, se espera sirva de punto de partida para eventualmente, contribuir con desarrollo más robusto al campo del transporte.

Se proponen también, un conjunto de rutinas y programas , con ellos se busca contribuir a la toma de decisiones, con el objetivo de mejorar el desempeño de cada subsistema y, en consecuencia, de toda la operación. Cada rutina y programa se enfoca en apoyar la toma de decisiones en procesos bien definidos dentro de una operación de auto transporte.

Respecto a la estructura del documento, en el Capítulo 1 se aborda la situación actual del auto transporte en México, y se describen los objetivos generales y particulares del trabajo.

En el Capítulo 2 se habla sobre la teoría de Híper Gráficas usada, así como la Metodología empleada para describir el sistema como un modelo de Híper Gráficas.

En el Capítulo 3 se presentan las rutinas y programas propuestos para atacar procesos bien definidos dentro de la operación de auto transporte.

En el Capítulo 4 se aplican la modelación y los programas sobre un caso de estudio. Este caso de estudio es una empresa de auto transporte; Transbalco. También se presentan los resultados y recomendaciones sobre el caso de estudio.

El Capítulo 5 detalla las conclusiones generales del documento y aborda las limitaciones de este, así como las líneas de desarrollo de algunos trabajos futuros.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

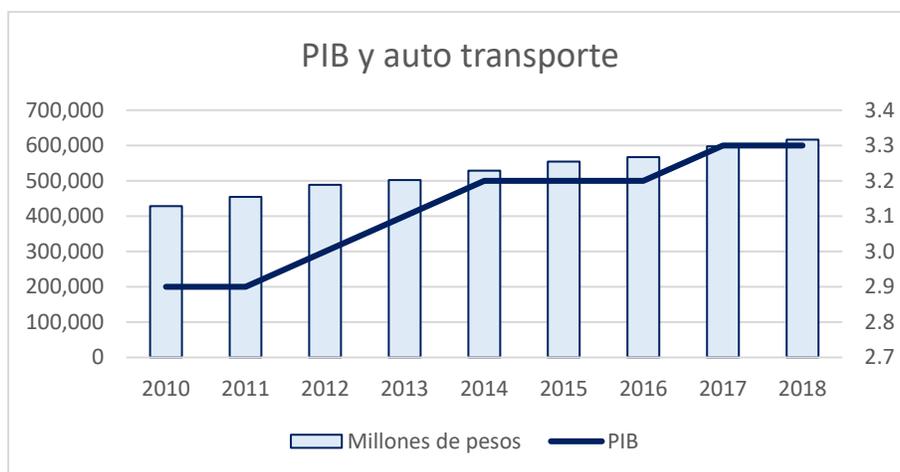
1.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL AUTO TRANSPORTE EN MÉXICO

Hablar de la situación actual del auto transporte de carga, de su presencia e impacto en la economía de nuestro país, es un tema vasto que por sí solo podría ser una tesis de grado. Con el objetivo de delimitar el trabajo y describir el ecosistema donde se mueve la operación objeto de este documento, nos concentraremos en detallar una serie de datos que ayuden a esclarecer el papel que juega el auto transporte en nuestro país, y la ubicación del sistema a analizar.

El auto transporte de carga contribuye a mover la economía de una nación; es parte de diversas cadenas de suministro alrededor de muchas actividades económicas. De manera similar, es una fuente de empleos y, algo evidente pero necesario de puntualizar, mueve los productos que usamos todos los días, de ahí su gran importancia e impacto en la economía.

- Genera 4 millones de empleos, 1.5 millones de ellos de forma directa y 2.5 millones de forma indirecta (Jiménez Castillo & Jiménez Sánchez, 2016).
- En 2018 se transportaron 556.4 millones de toneladas de mercancía, lo que representa alrededor del 80% de la carga nacional e internacional (Jiménez Castillo & Jiménez Sánchez, 2016; CANACAR, 2019).
- Proporciona servicios a 71 actividades económicas en el país (Jiménez Castillo & Jiménez Sánchez, 2016).

Durante el 2018, el auto transporte de carga generó 616.6 millones de pesos, cantidad que representa 3.3 del PIB. Esta actividad económica ha presentado un crecimiento significativo en los últimos años. En la Gráfica 1 PIB y Auto transporte, podemos apreciar el crecimiento que esta actividad ha tenido desde el año 2010 hasta el año 2018 (CANACAR, 2019).



Gráfica 1 PIB y auto transporte, CANACAR (2019)

La operación de auto transporte objeto de este estudio que lleva por nombre Transbalco, se dedica a transportar aceite básico lubricante con origen en Brownsville, Texas, a diferentes destinos en distintos puntos de la República Mexicana. Los cruces fronterizos se realizan en la ciudad de Matamoros, Tamaulipas. Las unidades tipo full están compuestas por una unidad tracto camión de 3 ejes y dos unidades de arrastre tipo pipa de 3 ejes cada una. En el Capítulo 4 se hablará con mayor detalle de Transbalco.

Una unidad tipo full tiene como peso límite permitido 66.5 toneladas más 1 tonelada por cada eje de carga y 1.5 toneladas por cada eje motriz, dando un total de 75 toneladas, incluida la tara (SCT, 2017).

Usando datos de la Agenda 2019 de CANACAR, fue posible obtener datos de interés que rodean la operación.

- Para el año 2018 había 322,979 unidades tracto camión de 3 ejes y 386,568 semi remolques de 3 ejes.
- Para el año 2018 solo el 16.8% de las unidades motrices tenían una edad de 0 a 5 años, y solo el 15.7% de las unidades de arrastre tenían una edad de 0 a 5 años.
- Una empresa se considera pequeña cuando tiene una flota de 6 a 30 vehículos. Para el año 2018 había 25,189 empresas con esas características. Estas empresas poseían en conjunto 290,265 unidades.
- Entre los años 2010 y 2018, las unidades especializadas en el transporte de materiales peligrosos aumentaron sus números pasando de 70,669 a 114,424; esta es la rama de operación de Transbalco.

- Durante el año 2018 ocurrieron 8.5 millones de cruces fronterizos. Nuevo Laredo es la ciudad con la mayor cantidad de cruces; representa el 33% del total. Matamoros representa el 4% del total.

Es importante resaltar el surgimiento de empresas pequeñas en los últimos años. Cada año surgen nuevas empresas de auto transporte, aumentando la oferta, esto está ocurriendo en un mercado donde la demanda no crece a la par de la oferta, esta observación la podemos encontrar en la Tabla 1 Aumento de la deficiencia del mercado de Auto transporte de Carga.

Año	Crecimiento promedio de las empresas	Crecimiento del movimiento de mercancías	Deficiencia del mercado
2011	3.3%	3.3%	0.0%
2012	6.3%	2.6%	-3.7%
2013	1.9%	0.8%	-1.1%
2014	3.8%	1.8%	-2.0%
2015	4.2%	2.3%	-1.9%
2016	6.4%	2.4%	-4.0%
2017	4.4%	2.1%	-2.3%
2018	6.3%	1.8%	-4.5%

Tabla 1 Aumento de la deficiencia del mercado de Auto transporte de Carga, CANACAR (2019)

La situación se agrava si consideramos que los precios de venta del servicio de auto transporte son muchas veces, fijados por los propios clientes, orillando a los prestadores del servicio a reducir sus costos en detrimento de la calidad del servicio, dando origen a un mercado con malos pagos; como se verá más adelante cuando se presenten los márgenes de utilidad, y calidad deficiente (Torres & Zimbron, 2017).

En aras de aumentar el margen de ganancias sin afectar la calidad del servicio, se opta por buscar áreas de oportunidad dentro de las operaciones de transporte de carga. Este trabajo nace en respuesta a la necesidad de los prestadores del servicio de mejorar las utilidades de sus empresas, tratando de mantener el mayor nivel posible de calidad en el servicio.

Este trabajo propone una dupla Modelo - Herramienta que permita a las empresas optimizar sus ganancias. El modelo propuesto toma como base el enfoque sistémico y se apoya en la teoría de hiper gráficas, buscando dotar de mayor dureza el modelo del sistema. De manera paralela, se propone un conjunto de procesos especializados y definidos que buscan optimizar las utilidades de la operación, se pretende que este conjunto de procesos pueda funcionar como una herramienta tipo “Caja Negra”, y que sea fácilmente manejado por personal no especializado.

1.2 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS PARTICULARES

El objetivo principal de este trabajo es maximizar las utilidades de una empresa dedicada al auto transporte de carga que utiliza una flota homogénea. Para lograr este objetivo, se busca un modelo que permita una mejor comprensión del sistema. A la par, se pretende fortalecer distintas áreas de la empresa, brindándoles una herramienta que facilite su toma de decisiones.

Como todo sistema de transporte, es posible separarlo en distintos subsistemas, cada uno con objetivos particulares. Estos subsistemas interactúan dando origen a procesos y a conflictos, en este sentido, se propone un modelo basado en hiper gráficas que busque identificar áreas de oportunidad, detectar el nivel de conexidad entre las distintas áreas de la operación y en general, ampliar el conocimiento sobre cada elemento del sistema. Como productos de este modelo de hiper gráficas, se pretende obtener valores que puedan ayudar a la construcción de indicadores de desempeño y a obtener una vista amigable del sistema.

Se espera que el modelo de hiper gráficas permita una mejor comprensión de la operación, de sus elementos y la forma en que interactúan.

Este sistema está sujeto a un conjunto de limitantes; el número de unidades, las rutas en su catálogo, el personal, etcétera. Siguiendo el objetivo de maximizar las utilidades y sin perder de vista las restricciones, es natural pensar en la necesidad de un conjunto de problemas de programación matemática que contribuyan a optimizar las diferentes áreas de la operación. En términos generales, se busca identificar un conjunto de procesos que logren optimizar toda la operación; este conjunto de procesos estará conformado por programas y rutinas independientes diseñadas para optimizar cada una de las áreas del sistema.

A modo de lista, los objetivos son los siguientes:

1. Objetivo general: Desarrollar la dupla Modelo - Herramienta que logre maximizar las utilidades de la empresa, mediante una mayor comprensión de sus áreas y sus elementos.
2. Objetivos particulares
 - 2.1 Construir el modelo basado en híper gráficas para:
 - 2.1.1 Identificar áreas de oportunidad.
 - 2.1.2 Determinar la conexidad entre las diferentes áreas.
 - 2.1.3 Conocer a profundidad cada elemento del sistema.
 - 2.1.4 Identificar indicadores de la operación para la mejora continua.
 - 2.2 Desarrollar los problemas de programación matemática y rutinas que logren la optimización de las utilidades y mejorar el desempeño de cada área.

CAPÍTULO 2: HÍPER GRÁFICAS.

La teoría de híper gráficas ha sido aplicada como herramienta de modelación en distintas áreas. Podemos encontrar modelos con aplicaciones en la medicina, en química o en psicología tal como se presentan respectivamente en Haus Utz-Uwe (2009), Choudhury, (2019) y Junjie Zhu (2019).

Dada la forma natural de un híper gráfica, las herramientas y modelos usados en ramas como BigData y Minería de Datos, tienen una buena modelación como híper gráfica. En Wenyin (2018) se exploran modelos que usan teoría de híper gráficas dentro del campo de la minería de datos.

Respecto a la combinación: transporte e híper gráficas, Srinivasan (2017), presenta un proyecto que busca minimizar los costos en redes estocásticas de transporte con ventanas de tiempo, tomando como base un modelo de híper graficas. Srinivasan (2017), usa un principio demostrado en Daniele (1998) que señala una equivalencia entre una híper grafica acíclica y una red Stochastic Time-Dependent (STD).

El marco teórico usado en la modelación de nuestro sistema de transporte de carga comprende definiciones básicas de la teoría de hiper gráficas y algunos resultados derivados de estas definiciones.

Una híper gráfica puede entenderse como una generalización del concepto de gráfica. Dentro de la teoría de gráficas una arista relaciona únicamente dos vértices y en hiper gráficas, una arista tendrá la virtud de poder relacionar más de dos vértices.

Se opta por esta herramienta sobre otras debido a que se aleja de las representaciones clásicas que, muchas veces carecen de dureza y no permiten cuantificar o analizar con profundidad; un ejemplo de estas representaciones está en Sussman (2000). Se busca poder identificar de buena manera los distintos elementos que componen el sistema, así como las relaciones que existen entre ellos. Las híper gráficas son amigables a la vista, esto permite su fácil comprensión, además, poseen una basta teoría que permite profundizar su análisis en diferentes niveles.

Al ser una generalización del concepto de grafo, tienen la gran virtud de ser altamente adaptables a muchos sistemas, en ese sentido, el trabajo desarrollado aquí, puede ser aplicado a sistemas similares y no tan similares, por ejemplo, siguiendo esta misma línea de modelación, es posible cimentar modelos generales de híper gráficas de registros de personal, de flotas y de sistemas. Esto permitirá a los responsables de estos elementos, definir fácilmente indicadores de desempeño.

Antes de comentar a detalle la metodología de análisis con híper gráficas, vamos a explorar un poco la teoría y las definiciones que nos van a ayudar a cuantificar y analizar el sistema como híper gráfica.

2.1 ELEMENTOS DE LA TEORÍA DE HÍPER GRÁFICAS

La teoría de híper gráficas es amplia y hay varios niveles de complejidad acorde al objetivo de cada proyecto, en este caso, no se profundizará en cuanto a complejidad y las definiciones por presentar son básicas acorde al objetivo de este trabajo: dar un modelo que nos pueda dar información de su comportamiento, (Bretto, 2013; Berge, Graps And Hypergrpahs, 1973; Berge, Hypergraphes: Combinatorics Of Finite Sets, 1989).

Sea V un conjunto finito y sea E una familia de subconjuntos de V . Llamaremos Híper Gráfica a la pareja $H = (V, E)$, donde V representa el conjunto de vértices y E el conjunto de aristas. Esta definición es importante pues es la estructura que vamos a otorgar al sistema de transporte de carga. Dentro de la híper gráfica que da forma al sistema, los vértices van a representar distintos objetos: unidades, operadores, mecánicos, personal administrativo. Las híper aristas van a representar distintas combinaciones de elementos que darán lugar a diferentes componentes del sistema, a saber: entidades hombre - camión, rutas, áreas de trabajo, por ejemplo: administrativa, planeación, operación, mantenimiento. En la Figura 1 podemos encontrar el ejemplo de una híper gráfica de 5 aristas y 9 vértices.

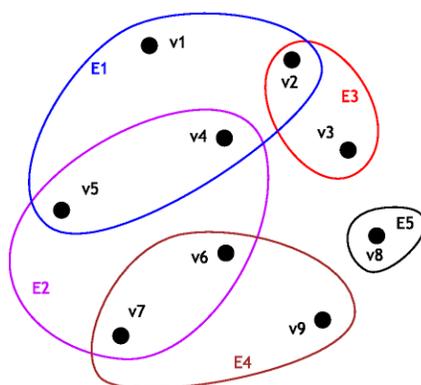


Figura 1 Híper gráfica de 5 aristas y 9 vértices

En una híper gráfica decimos que dos vértices son adyacentes si existe una arista $E_i \in E$ que contenga ambos vértices, de manera similar, dos aristas son adyacentes si su intersección es no vacía. Si un vértice pertenece a una arista decimos que la arista es incidente al vértice. Las definiciones de adyacencia e incidencia nos ayudarán a representar y analizar las relaciones entre los diferentes elementos del sistema.

En la Figura 1, podemos ver que los vértices $v_1 \wedge v_2$ son adyacentes por la arista E_1 , a su vez, las aristas $E_1 \wedge E_3$ son adyacentes por el vértice v_2 .

Dado un par de aristas e_u, e_v si $e_u \subset e_v$ decimos que e_u está contenida en e_v . Si $e_u = e_v$ decimos que es una arista múltiple. A través de este concepto podremos representar la pertenencia de un área del sistema respecto a otra área, es decir, podremos determinar si un área es independiente o bien, está contenida dentro de otra, y más aún, podremos ver si un área está desperdiciada o si sus funciones son repetitivas. En la Figura 2, podemos ver que la arista D_2 está contenida en la arista D_1 .

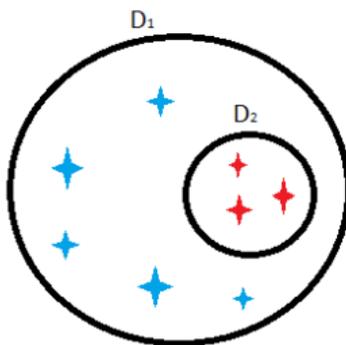


Figura 2 Ejemplo de arista contenida, arista D_2 contenida en arista D_1

El orden de una híper gráfica $H = (V, E)$ indica cuántos vértices posee, lo denotamos $n(H) = |V|$, de manera similar, la definición de tamaño, nos indica la cantidad de aristas presentes en la gráfica, se denota como $m(H) = |E|$. Estos dos conceptos nos ayudan a determinar la cantidad de elementos y subsistemas presentes en la operación.

Dada una híper gráfica $H = (V, E)$, el rango de H será el máximo de las cardinalidades de las aristas $E = \{e_i \mid i \in I\}$ y se denota: $r(H) = \max |E_i|$, de manera análoga, dada una híper gráfica $H = (V, E)$, el anti rango de H será el mínimo de las cardinalidades de las aristas, se denota como: $s(H) = \min |E_i|$. Estos conceptos serán de ayuda para determinar la cantidad e incluso la relevancia de cada subsistema de la operación. Naturalmente, este ordenamiento será con base en la cantidad de elementos de cada subsistema.

Dada una híper gráfica $H = (V, E)$, para el vértice $v \in V$ definimos la híper gráfica parcial estrella con centro en v , esta es una híper gráfica formada por las aristas que contienen al vértice v . Este vértice juega el papel de centro de la estrella y puede no ser único. Estamos hablando de un conjunto intersección respecto a cierto conjunto de vértices. Denotamos la estrella de un vértice como $H(v)$. La definición de estrella es muy útil para determinar cómo se relaciona un conjunto específico de elementos con el sistema, nos ayuda también a comprender su alcance e impacto dentro de la operación. La vecindad del vértice se define como el conjunto de todas las aristas donde el vértice v está contenido. La vecindad de un vértice es una manera fácil de entender y representar los subsistemas donde un elemento interactúa.

La diferencia entre la estrella y la vecindad de un vértice radica en que la estrella es una hiper gráfica parcial y la vecindad es un subconjunto de E . Denotamos la vecindad de un vértice como $D(v)$. En la Figura 3, encontramos el ejemplo de una hiper gráfica estrella con centro en x_1 .

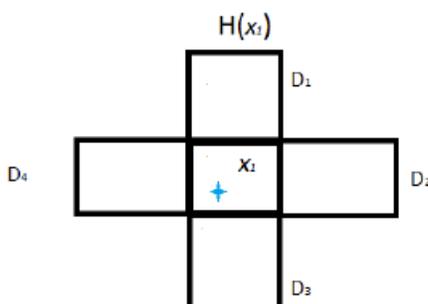


Figura 3 Híper gráfica estrella con centro en x_1

El grado de un vértice es el valor absoluto de su vecindad y lo denotamos con la letra delta: $\delta(v) = |D(v)|$. Dada una hiper gráfica $H = (V, E)$ definimos el grado máximo de H como el máximo de los grados de los vértices de H . Lo denotamos como $\Delta(H) = \max_{v \in V} \delta(v)$, de manera análoga definimos el grado mínimo de H como el mínimo de los grados de los vértices de H , se denota de la siguiente manera $\delta(H) = \min_{v \in V} \delta(v)$.

Los conceptos de grado son por sí solos, un indicador de la cantidad de relaciones e impacto que poseen los distintos componentes del sistema, estos conceptos serán nuestro apoyo para cuantificar y evaluar el desempeño de los elementos.

Un camino es una secuencia alternada de vértices y aristas: $v_0, e_0, v_1, e_1, \dots, v_{t-1}, e_{t-1}, v_t$. Una hiper gráfica es conexa si para todo par de vértices de H existe un camino que los conecta. Los caminos los podemos interpretar como los distintos procesos que se experimentan dentro de la operación, en este sistema y posiblemente en muchos otros, pueden representar la trayectoria que sigue la toma de decisiones. Usar el concepto de camino para emular el proceso que vive la toma de decisiones es solo el inicio para poder encontrar deficiencias y áreas de oportunidad.

La distancia entre los vértices x, y , está definida como la longitud mínima de todos los caminos que los conectan. Denotamos la distancia entre vértices como $d(x, y)$.

El diámetro de una hiper gráfica, es el máximo de las distancias entre todos los vértices, es decir: $Diam(H) = \max \{d(x, y) \mid \forall x, y \in H\}$.

La excentricidad de un vértice se define la máxima distancia a cualquier otro vértice de la hiper gráfica, es decir: $\epsilon(x) = \max \{d(x, y) \mid \forall y \in H\}$.

Las definiciones de distancia serán útiles para determinar la magnitud de los procesos y del alcance del impacto de los distintos elementos. La distancia de cada elemento será; en conjunto con el resto de las definiciones, la piedra angular para determinar su relevancia y desempeño dentro del sistema.

Dada una híper gráfica $H = (V, E)$, una componente conexa es un conjunto $X \subseteq V$ maximal tal que, para todo par de vértices, la distancia entre ellos es distinta a infinito. Esta definición nos ayudará a delimitar los diferentes subsistemas de la operación, donde cada área será interpretada como una componente conexa.

Dada una híper gráfica $H(V, E)$, su gráfica de línea $L(V', E')$, es aquella donde:

- $V' = E$
- $(i, j) \in E'$ con $i \neq j \Leftrightarrow e_i \cap e_j \neq \emptyset$.

En la Figura 2, se presenta un ejemplo de una gráfica de línea. Este proceso puede ser entendido como un isomorfismo de grafos.

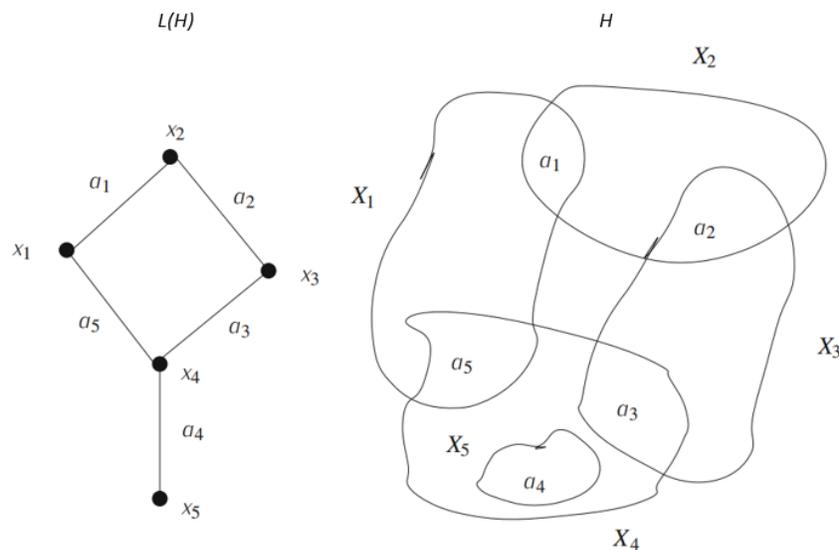


Figura 4 Ejemplo de una gráfica de línea, (Bretto, 2013)

2.2 METODOLOGÍA

En términos generales, la metodología usada para describir una operación de auto transporte de carga como híper gráfica, se puede trazar en los siguientes pasos:

1. Definir los elementos que conforman la híper gráfica.

Los vértices de la híper gráfica serán distintos elementos de la operación: operadores, trabajadores, unidades y clientes.

Las aristas serán diferentes conjuntos formados por los vértices. Estas aristas representan diferentes áreas o elementos más complejos: entidades hombre-camión, área operativa, área de mantenimiento, etcétera.

2. Definición y delimitación de aristas.

Antes de iniciar el análisis de las diferentes áreas, se debe realizar una evaluación para delimitar y definir de manera clara cada área del sistema. Este paso es de vital importancia, su objetivo es evitar ambigüedad en las aristas y en su análisis final.

3. Análisis individual de cada área.

En aras de mejorar al sistema componente a componente, se va a realizar un análisis a cada una de las aristas, este análisis se realiza dentro de la propia arista. Se pretende analizar los elementos del conjunto, encontrar áreas de oportunidad e identificar un indicador que represente de manera objetiva el desempeño del área analizada.

4. Análisis del sistema.

Una vez obtenido el indicador final de cada una de las áreas analizadas en el paso anterior, usaremos un isomorfismo de línea que transforme nuestra híper gráfica en un grafo común. Esto con el objetivo de analizar el comportamiento de las aristas como un todo. Gracias al análisis individual de cada área del paso anterior, ya se cuenta con la información más importante de cada subsistema y, siguiendo la idea de simplificar cada vez más el modelo, usamos el isomorfismo mencionado anteriormente para obtener un modelo reducido. El análisis de todo el sistema tiene como objetivo buscar el nivel de conexidad entre las diferentes aristas, áreas de oportunidad y un indicador final que evalúa de manera clara y objetiva el comportamiento del sistema.

5. Resultados y recomendaciones.

En este paso se presentan los resultados finales del análisis.

En la Figura 5 Metodología de análisis de sistema HG, encontramos un diagrama que presenta los pasos ya descritos. El proceso de análisis es enteramente secuencial. Cada vez que se modifiquen las condiciones iniciales tales como: la cantidad de unidades, la creación de nuevas áreas, la modificación de un área ya existente, lo más prudente es rehacer el análisis. Esto pudiera parecer un trabajo exhaustivo, sin embargo, usando las herramientas

diseñadas para cada área planteadas a lo largo de este documento, el proceso descrito en esta Metodología se simplifica mucho.

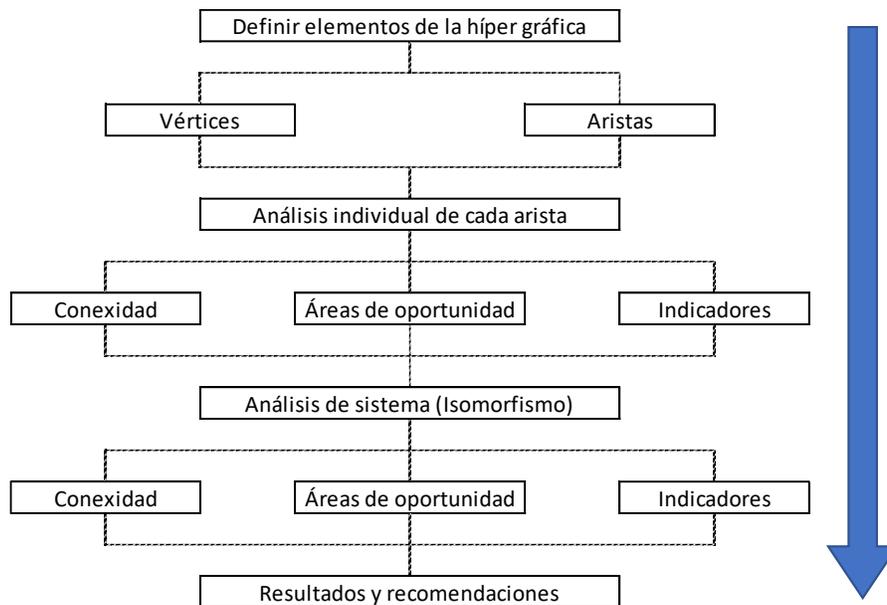


Figura 5 Metodología de análisis de sistema HG

Para poder modelar un sistema de transporte usando teoría de hiper gráficas, iniciamos tomando los conceptos clásicos de esfera política y esfera operativa presentados en (Sussman, 2000). Estos dos conjuntos serán las dos grandes hiper aristas que van a definir las distintas áreas del sistema. Dentro de ellas, encontraremos los elementos que conforman el sistema de transporte.

En la Figura 6 Estructura sistémica de hiper gráficas, podemos ver los dos grandes componentes del sistema de transporte de carga: la esfera política y la esfera operativa, para los fines de este trabajo, a ambas esferas las vamos a denominar: **No Operación** y **Operación**, respectivamente. Cada una de ellas está representada por una hiper arista. Será dentro de cada una de estas aristas que podremos encontrar los distintos elementos del sistema, a saber: personal operativo, personal administrativo, activos, indicadores, etcétera.

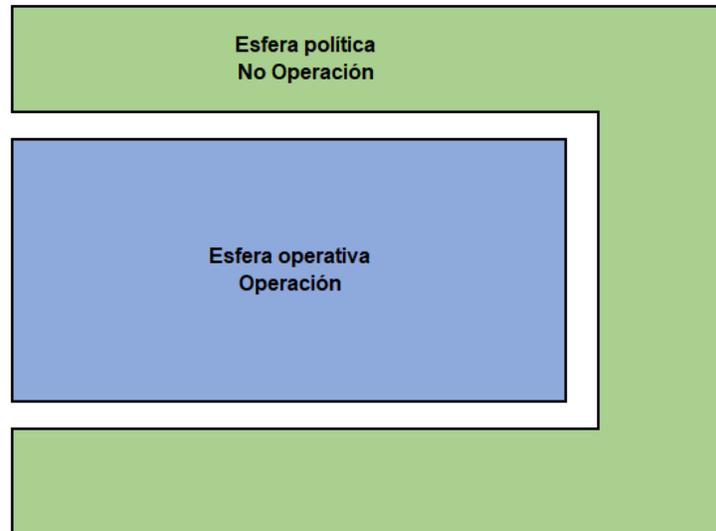


Figura 6 Estructura sistémica de hiper gráficas

Una observación importante es que el proceso de análisis del sistema parte de considerar una gran cantidad de elementos dentro de diversas áreas, este análisis pretende simplificar los diferentes conjuntos, arrojando un valor final que represente el comportamiento de un área o bien, de todo el sistema. Dicho de otra forma, este proceso va de lo más grande y complejo, a lo más simple.

A continuación, se detalla cada uno de los pasos presentados en la Metodología 2.2 y su forma de aplicación.

Paso 1: Definir los elementos que conforman la hiper gráfica.

Operadores: son los trabajadores principales de la operación. Son los responsables de manejar las unidades full que transportan las mercancías desde el punto de origen a su destino. Un operador es objeto de evaluación respecto a su rendimiento y su conducción, estos valores están presentes dentro de la hiper gráfica.

Unidades: son los activos principales de la empresa. Son los tractocamiones y tanques que realizan en conjunto con los operadores la actividad de transporte. Una unidad puede cuantificarse gracias a su rendimiento.

Trabajadores: son el conjunto de personas en la operación que no son operadores. Estamos hablando de mecánicos, personal administrativo y personal de apoyo en ruta. Pueden cuantificarse en términos de su nivel de interacción e importancia dentro de su área o bien, en términos del costo que le generan a la empresa.

Cientes: son aquellas entidades que contratan al transportista para desplazar sus mercancías. Son los dueños de los productos que el transportista lleva de un punto a otro. Estos son evaluados en términos de las utilidades de sus rutas o de sus plazos de pago.

Rutas: son los caminos definidos por un origen y un destino; ambos fijados por los clientes. Pueden ser cuantificadas con base en su rentabilidad o en sus costos.

Agentes sin control: son situaciones y elementos ajenos a la operación que impactan de manera negativa el desempeño del sistema. Se evalúan e incorporan a los elementos con base en su impacto al sistema.

Indicadores: son la representación de la evaluación final de un elemento. Pulir y validar este objeto será uno de nuestros objetivos.

Paso 2: Definición y delimitación de aristas.

Entidades hombre-camión: este es un elemento importante dentro del sistema. Es el conjunto formado por un operador y una unidad. Esta dupla es la responsable de la actividad de transporte. Vamos a considerar esta entidad como una arista y no como un vértice. El motivo es la forma en que se desarrolla el análisis; partiendo de lo más complejo en búsqueda de una simplificación. La entidad hombre-camión puede ser cuantificada con base en su rendimiento.

Operación de entidad hombre camión: es la arista originada por el conjunto de una entidad hombre-camión y las rutas que ha realizado en determinado periodo de tiempo. Puede ser evaluada en términos de la utilidad generada.

Operación: es la arista más importante del sistema. Está definida por el conjunto de todas las operaciones de cada entidad hombre-camión. La arista Operación es el conjunto de hombres-camión y rutas que cada uno de ellos ha recorrido. Puede ser evaluada con base en su desempeño, en su costo y en su utilidad, tomando como referencia cierto periodo de tiempo. Sus elementos y respectivas nomenclaturas pueden ser encontrados en la Tabla 2 Nomenclatura de los elementos de la arista Operación de la entidad E_{ij} .

Nomenclatura	Descripción
U_j	j-ésima unidad.
O_i	i-ésimo operador.
E_{ij}	Entidad hombre-camión definida por la j-ésima unidad y el i-ésimo operador.
R_{ij}^k	k-ésima ruta recorrida por la entidad E_{ij} .
OP_{ij}	Nombre de arista formada por toda la información generada por E_{ij} .

Tabla 2 Nomenclatura de los elementos de la arista Operación de la entidad E_{ij}

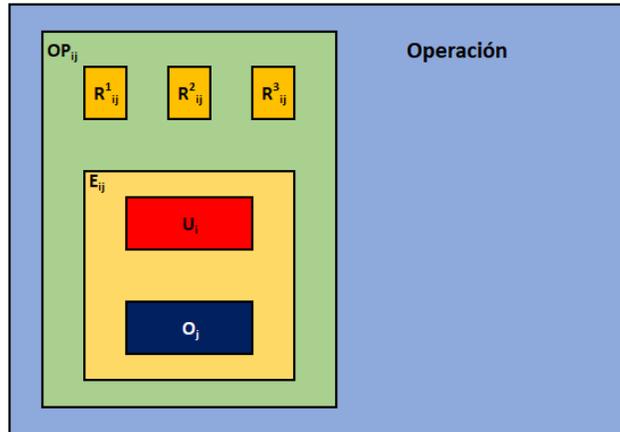


Figura 7 Estructura sistémica de hiper gráficas

Mantenimiento: conjunto formado por los mecánicos contratados por la empresa y aquellos que brindan apoyo en carretera. Podemos entender esta arista como el conjunto formado por el mantenimiento correctivo, el mantenimiento preventivo y los mecánicos que realizan las reparaciones. Esta arista puede ser evaluada en términos de su desempeño y del costo asociado a la misma.

Administración: conjunto formado por todos aquellos trabajadores que no son operadores ni mecánicos. Estos personajes pueden ser evaluados en términos de su desempeño, de su alcance y de su costo a la empresa.

Clientes: arista formada por todo el catálogo de clientes. Esta área del sistema se evalúa tomando como referencia la rentabilidad de las diferentes rutas de cada cliente, así como los tiempos de pago que cada uno tarda en liquidar el servicio prestado.

Agentes sin control: es el conjunto definido por todos aquellos elementos que perturban el sistema impidiendo que su desempeño sea el adecuado. Su evaluación puede ser entendida como los potenciales ataques al sistema o la vulnerabilidad de este.

No operación: es el conjunto formado por las aristas: Agentes sin control, Clientes, Administración y Mantenimiento. Su nivel de desempeño dependerá de la evaluación de cada una de las áreas que la conforman.

En la Figura 8 Construcción de la Híper Gráfica, se presenta una versión de la híper gráfica diseñada bajo esta estructura.

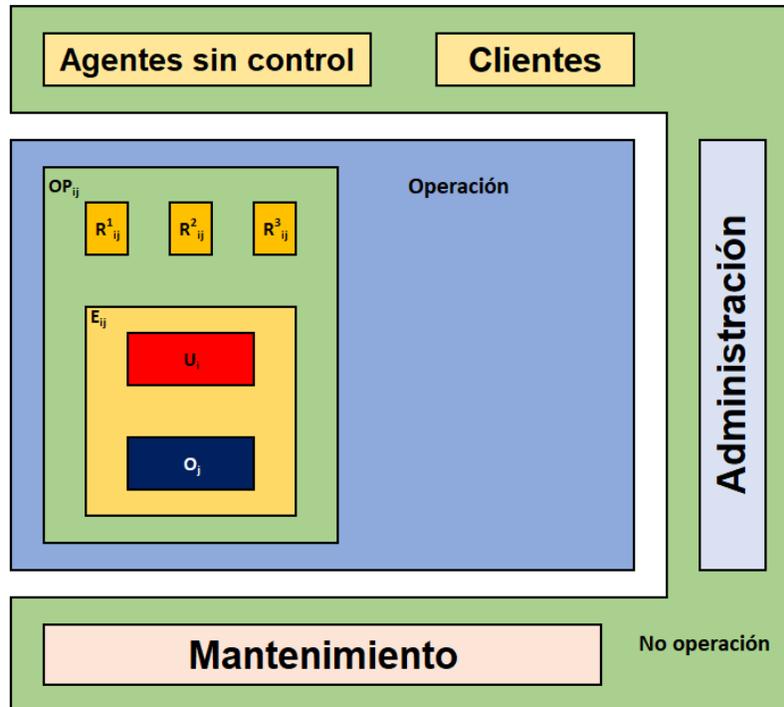


Figura 8 Construcción de la Híper Gráfica

Paso 3: Análisis individual de cada área.

El análisis de cada área va en función de la medición de la conexidad de cada elemento, de la búsqueda de áreas de oportunidad y en la identificación de un indicador que represente el desempeño del área.

- Conexidad:** en términos de híper gráficas contamos con las definiciones de grado y distancia que nos van a ayudar a cuantificar el nivel de interacciones que cada elemento tiene.
- Áreas de oportunidad:** como tal, son los costos asociados al empleo de un elemento, a su conexidad y a las potenciales maneras de reducir su costo o mejorar su desempeño y conexidad.

El costo asociado a cada área dará origen a un ranqueo que podremos comparar con el desempeño de cada arista y, analizar con base en su costo y en su desempeño, cuál es el área que requiere atención urgente.

- Indicador:** el objetivo final del análisis es poder representar en un solo valor el comportamiento de cada área.

Paso 4: Análisis del sistema.

Para analizar los datos finales arrojados en el paso anterior, y con la intención de simplificar la hiper gráfica, usaremos un isomorfismo de grafos llamado gráfica de línea. De esta manera, analizaremos la interacción de las áreas y en general, del sistema.

Paso 5: Resultados y recomendaciones.

En este paso pretendemos ranquear las áreas con base en la comparación de sus evaluaciones finales. Trataremos de dar opciones y cursos de acción que, desde el enfoque sistémico y numérico, pueden mejorar el desempeño del sistema. Dicho de otra manera, se propondrán acciones que busquen una reducción en los costos y una mejora en la calidad de trabajo del sistema.

CAPÍTULO 3: RUTINAS Y PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA

Antes de proceder, vamos a enfatizar en los términos **rutina** y **programa**. El concepto rutina podemos entenderlo como una sección con una tarea específica, que es parte de un programa, por ejemplo, la función “Buscar” dentro de una hoja de cálculo, o descartar soluciones factibles, para encontrar un óptimo dentro de un algoritmo de programación matemática.

En este trabajo, llamamos rutinas a aquellos procesos que no alcanzan a formar estrictamente un programa por sí solos.

El conjunto de rutinas y programas matemáticos tiene dos objetivos particulares:

1. Maximizar las utilidades de la empresa.
2. Mejorar el desempeño de cada área del sistema.

Los programas y rutinas propuestos están divididos en tres conjuntos: Primera etapa, Segunda etapa y Tercera etapa. Esta división obedece al orden natural de la operación de transporte y su actividad del día a día. Una manera de describir esta actividad es de la siguiente forma:

Estado inicial del sistema: la empresa cuenta con un catálogo de rutas, una flota de unidades y un equipo de operadores.

Primera etapa: previo a atender la demanda de viajes solicitados por los clientes, en esta etapa encontramos la necesidad de definir las mejores rutas para trabajar y determinar cuál es la mejor forma de asignar los operadores a las unidades. En la Figura 9, Diagrama de trabajo por etapas, podemos encontrar el flujo que siguen las diferentes etapas del auto transporte desde el punto de vista del transportista. La Primera etapa está representada en color rojo.

Segunda etapa: una vez definidos los fletes a realizar, En color verde, podemos encontrar los programas y rutinas de Segunda etapa. Estos procesos atacan la relación de egresos – ingresos que ayudan a determinar la utilidad de la operación.

Tercera etapa: finalmente, se evalúan los resultados en busca de áreas de oportunidad, mediante análisis de sensibilidad e incluso, la necesidad de promover el reemplazo de unidades. Dentro del Diagrama de trabajo representado en la Figura 9, podemos encontrar esta etapa en color azul.

El conjunto de programas y rutinas en su totalidad, así como su ubicación dentro de las diferentes etapas, está representada en la Figura 9 Diagrama de trabajo por etapas. Este es un proceso que puede ser iterativo en el tiempo conforme la operación evolucione.

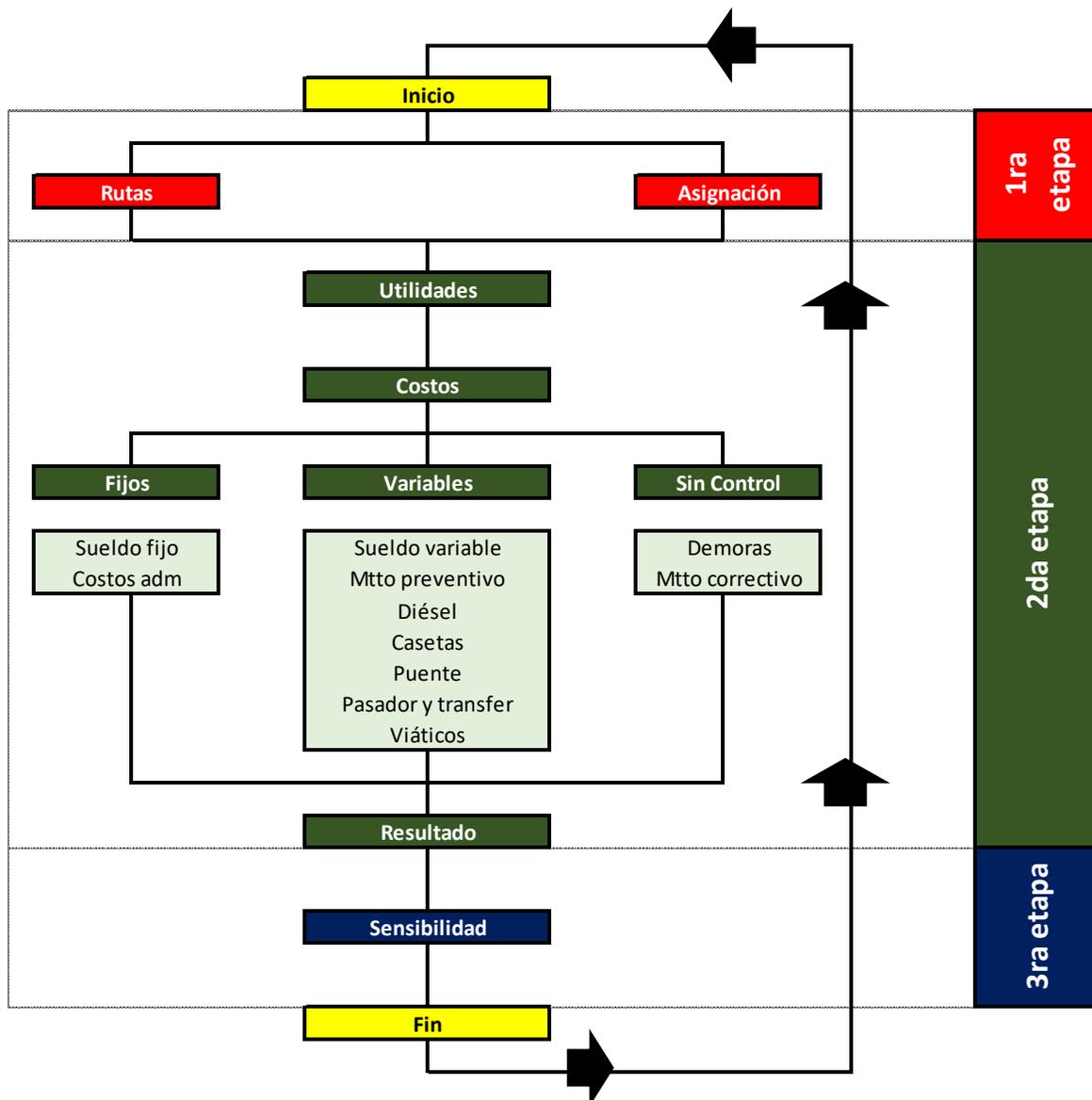


Figura 9 Diagrama de trabajo por etapas

Cada una de las etapas nombradas anteriormente posee su propio conjunto de programas matemáticos y rutinas, estos programas están diseñados para optimizar un proceso específico de la operación según la etapa donde trabajen. La descripción del estado original del sistema y de cada una de las etapas, se pueden encontrar en la siguiente sección.

3.1 ESTADO INICIAL DEL SISTEMA

Al iniciar este proyecto, la empresa ya era un negocio en operación. Anteriormente, describimos la empresa desde el enfoque sistémico de Sussman como una híper gráfica;

dentro de esta estructura encontramos un conjunto de aristas que representan los diferentes elementos del sistema.

Desde el punto de vista sistémico, la empresa posee un estado inicial, es en este punto donde incorporamos, al menos de manera teórica, los diferentes procesos que en este proyecto se desarrollan.

En términos de sistemas, la empresa tiene un estado futuro. Este estado es la consecuencia de permitir que el estado inicial evolucione sin modificaciones a través del tiempo. Existe también un estado futuro deseable; este estado es un ideal de lo que queremos lograr al implementar cambios en el estado inicial. Puntualizando un poco, el estado futuro deseable debe ser mejor que el estado futuro.

Dicho de otra forma, si se permite que el sistema evolucione sin perturbaciones en el tiempo, existe la posibilidad de que el sistema no alcance su máximo potencial, por tal motivo, se proponen acciones sobre el estado original con el objetivo de alcanzar el futuro deseable.

Esta idea la podemos encontrar representada en la Figura 10.

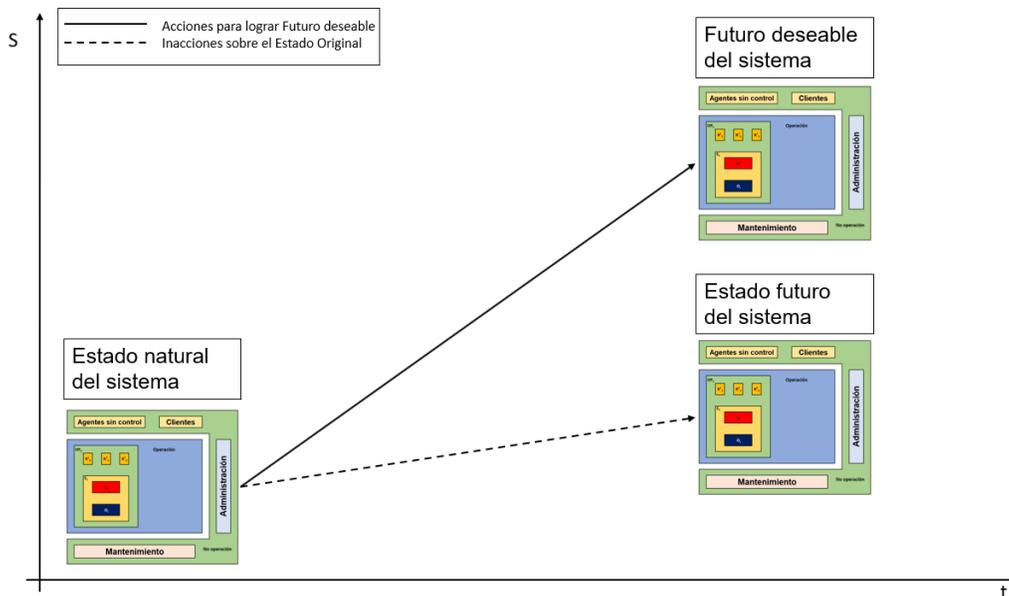


Figura 10 Evolución de un sistema a través del tiempo

Los programas y la modelación propuesta en este trabajo buscan ser implementados en el estado inicial de la empresa, de tal forma que, al evolucionar en el tiempo, estos cambios sobre el sistema den como resultado un mejor panorama del estado futuro de la operación.

¿Cuál es este futuro deseable del sistema?, se pretende aumentar las ganancias potenciales de la empresa, robustecer cada una de las áreas y enriquecer la conexidad entre subsistemas,

siempre buscando la optimización de los procesos en aras de construir un sistema más ágil, tanto interna como externamente.

3.2 PROGRAMAS Y RUTINAS DE PRIMERA ETAPA

Los programas y rutinas de primera etapa atacan los problemas previos a la realización de los viajes; definen las variables y las líneas de trabajo usados en etapas posteriores, es decir, los valores de salida en las rutinas y programas de primera etapa funcionan para definir los valores de entrada de las rutinas y programas de etapas posteriores.

Cobran importancia debido al uso de indicadores definidos por un conjunto de decisores que determinan; con base en su experiencia y su criterio, diferentes aspectos cualitativos de las rutas, de los operadores y de las unidades. En otras palabras, los programas de primera etapa traducen valores cualitativos en indicadores que nos permiten trabajar estas características dentro de programas que buscan una optimización enfocada a facilitar la toma de decisión.

3.2.1 Rutina de ranqueo de rutas

Este primer programa tiene como objetivo establecer un orden dentro del catálogo de rutas trabajadas. Utilizando el proceso Z-Score; este proceso se detalla más adelante, y la base de datos histórica del caso de estudio, definimos un orden descendente de las rutas ofertadas, donde la primera ruta de la lista es aquella mejor puntuada bajo dicho proceso.

3.2.2 Técnica de tipificación Z-Score

Es una técnica de tipificación de unidades (Benzécri, 1976), es un proceso que permite la comparación de valores de diferentes naturalezas, por ejemplo, un proceso de tipificación permite comparar y trabajar de manera simultánea valores monetarios contra valores cuyas unidades pueden ser distancia o energía (Salazar Isaza, 2019).

El valor tipificado obtenido con este proceso es un valor estandarizado cuyo significado es la ubicación exacta del dato original dentro de una distribución, describe su distancia a la media en términos de desviaciones estándar. En otras palabras, el método Z-Score nos dice cuántas distribuciones estándar dista el dato analizado de la media de la muestra.

El valor tipificado es obtenido usando la Ecuación 1, donde x es el dato por analizar, μ es la media del dato observado y σ es su desviación estándar.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Ecuación 1 Z-Score

El valor de Z-Score puede ser visto como una transformación lineal sobre la variable, de tal forma que la variable transformada, tenga media cero y desviación estándar 1. Naturalmente, si este proceso se realiza con todas las variables involucradas, será posible trabajar con ellas de manera simultánea. Este proceso puede ser entendido como una transformación lineal $R^n \rightarrow R$ (Herstein & Winter, 1988).

3.2.2.1 Características de las rutas

Los criterios usados para ranquear las rutas utilizando el proceso Z-Score fueron elegidos tomando como eje, las utilidades de la empresa, de tal manera que las características elegidas son aquellas que cobran relevancia cuando se busca aumentar el número de viajes, la utilidad o disminuir los costos.

Los criterios de ranqueo de las rutas son los siguientes:

- a) **Margen de utilidad:** es el beneficio monetario obtenido al realizar el viaje. Se elige este criterio porque es alrededor de ese beneficio, que toda la operación funciona. Es el objetivo principal del trabajo que aquí se desarrolla.
- b) **Tiempo de demora:** las demoras en un viaje pueden ocurrir en diversos puntos de esta sección de la cadena de suministro (Blat & Moreno, 2018), durante el proceso de carga en la planta, en ruta o en el lugar de descarga del cliente. Los motivos son varios: errores humanos en algún documento, bloqueos carreteros, accidentes, exceso de flujo en las vías que llegan al punto de descarga del cliente.

Esta característica es interesante, por lo que vale la pena escribir un poco más al respecto. Comencemos con un ejemplo.

Para llegar a la Planta de Bardahl en Toluca; una empresa dedicada a la venta de lubricantes para automóvil y cliente de Transbalco, es necesario ingresar a un parque industrial cuyo único acceso, es una avenida de dos carriles de algunos kilómetros de longitud.

Un lunes cualquiera a las 8:00 am, la planta de Bardahl tiene una fila de veinte o treinta fulles esperando ser descargados. La planta puede descargar dos fulles al mismo tiempo, cada descarga dura entre dos y seis horas. Todos los transportistas saben que, si se es de los primeros, es posible ser descargado y no se presentarán demoras, en caso contrario, la descarga ocurrirá hasta el día siguiente, originando al menos, un día de demora, en consecuencia, los costos asociados a viáticos para el operador empiezan a crecer. Estas demoras no son pagadas por Bardahl.

Es aquí donde la comunicación entre el cliente y los transportistas cobra importancia, donde esta relación destaca por ser totalmente ausente o en su defecto, deficiente. Bardahl no notifica de la larga fila o de la imposibilidad de descargar una unidad, por lo que no permite reducir los costos derivados por demoras.

Claramente hay problemas de infraestructura, pero más importante aún, hay deficiencias severas en la logística del auto transporte mexicano, en consecuencia, tenemos un mercado deficiente donde los clientes fijan los precios que están dispuestos a pagar. Akron; un gran exponente del comercio de aceites lubricantes en el país y cliente de Transbalco, es el ejemplo por excelencia de esta situación. Akron es una entidad que fija sus precios por debajo de una utilidad del 10% para el transportista, esto orilla a los proveedores; en busca de ser rentables, a reducir sus costos ofreciendo servicios de mala calidad.

Un ecosistema logístico integral es necesario; un sistema integral (Blat & Moreno, 2018; McKinnon, 2017; Sussman Joseph, 2017) donde sean partícipes clientes y proveedores para trabajar de la mano en aras de construir un mercado donde cada entidad responda por sus propias deficiencias y se busque una mayor cooperación.

Las demoras por bloqueos carreteros, accidentes en la ruta o mal clima son impredecibles, por eso no ahondamos en ellos. De manera similar, dado que las demoras originadas en la planta de carga suceden bajo la supervisión de una administración ajena al cliente o al transportista, en este caso, en otro país, tampoco hablaremos de ellas.

Para fines del proyecto, el tiempo de demora se define para cada posible ruta, tomando como valor, el promedio de las duraciones de las demoras históricas en dicha ruta. Naturalmente, se prefieren rutas donde las demoras duren poco o mejor aún, nada.

- c) **Tiempo de pago:** una vez terminada la descarga en el lugar del cliente, la factura asociada al pago del viaje es emitida. Esta factura puede ser pagada en quince días, en treinta días o en sesenta días. ¿ De qué va a depender este periodo de espera entre la prestación del servicio y el pago?, ¿hay acaso alguna entidad reguladora que imparta reglas en la parte burocrática del auto transporte?

La respuesta es no, no hay ninguna entidad que regule esta parte. El cliente es quien decide en qué periodo va a pagar la prestación del servicio. Característica que contribuye en gran medida a la mala salud del mercado. Los proveedores del servicio deben cargar hasta por dos meses con los costos de un viaje antes de poder percibir utilidad, en este sentido, para tener una operación sana de auto transporte, muchas veces es necesario un fondo sustancial para dar soporte a las semanas de espera antes de que llegue el pago.

De esta manera, es entendible que el tiempo de pago sea una característica fundamental al momento de ranquear las rutas. Son preferibles aquellas rutas donde el pago es a quince días que aquellas donde el pago es a sesenta días, es decir, buscamos tener una operación que goce de flujo de ingresos.

Probabilidad de demora: este criterio es la probabilidad de que una demora ocurra. Este valor es obtenido de los datos históricos de la ruta. Casos favorables sobre casos posibles. Se va a tener preferencia por rutas donde la probabilidad de ocurrencia ha mostrado ser baja.

3.2.2.2 Observaciones sobre el ranqueo de rutas

¿Por qué estamos ranqueando sobre rutas y no sobre clientes? Hay algunos clientes con más de una ruta y pese a ser la misma entidad, muchas veces alguno de los puntos de descarga del mismo cliente, es más eficiente que el resto. De esta forma, cuando se define una ruta, se hace en función del destino y del cliente.

¿Cuál es la diferencia entre el tiempo de demora y la probabilidad de demora? Algunos clientes tienen una probabilidad de ocurrencia de demora muy alta, pero estas demoras pueden tener una duración corta, como es el caso de Bardahl, sin embargo, hay otro tipo de clientes, como Lowin; una empresa dedicada a la manufactura de productos derivados del petróleo como son combustibles y lubricantes, con presencia en todo el país, además de ser clientes de Transbalco, cuya probabilidad de demora es muy baja, pero cuando llega a ocurrir, los tiempos de demora son prolongados. La diferencia entre ambos criterios radica en este punto; un criterio está asociado a la duración de la demora en caso de que ocurra, y el otro criterio nos indica como tal, la probabilidad de que la demora ocurra.

3.2.3 Programa de asignación de unidades

Este programa tiene como objetivo asignar un operador a una unidad de tal forma que este proceso, da origen a la entidad Hombre – Camión (Reyes Trejo, 2017).

Se busca obtener como resultado el rendimiento más alto posible para cada entidad. Resolvemos esta asignación maximizando el rendimiento de toda la flota, con base en los operadores y unidades disponibles.

La asignación de operadores a las distintas unidades se realiza usando el programa de asignación descrito a continuación:

Sean n unidades y n operadores. Sean $I = \{1, \dots, n\}$ y $J = \{1, \dots, n\}$ dos índices que trabajan sobre los operadores y las unidades respectivamente.

Sea r_i el rendimiento del i -ésimo operador y r_j el rendimiento de la j -ésima unidad. Estos rendimientos están en función de distintos criterios que a continuación se detallan.

Rendimiento de la j -ésima unidad.

El rendimiento de las unidades está definido por su rendimiento histórico

Rendimiento histórico: el rendimiento de una unidad se define usando sus datos históricos respecto a los kilómetros que ha recorrido sobre los litros que ha consumido.

$$r_j = \frac{km}{lts}$$

Ecuación 2 Rendimiento histórico de la j-ésima unidad

Para obtener el rendimiento de la unidad, dividimos los kilómetros históricos que la unidad ha recorrido sobre los litros históricos que ha consumido.

Rendimiento del *i*-ésimo operador

El rendimiento de un operador es evaluado a partir de varios criterios, cada uno de ellos se detalla en los siguientes renglones.

- a) **Rendimiento histórico:** el rendimiento de un operador se define usando sus datos históricos respecto a los kilómetros que ha recorrido sobre los litros que ha consumido, en todas las unidades que ha trabajado.

$$r_i = \frac{km}{lts}$$

Ecuación 3 Rendimiento histórico del i-ésimo operador

Para obtener el rendimiento del operador, dividimos los kilómetros históricos que ha recorrido sobre los litros históricos que ha consumido.

- b) **Conducta del operador:** este criterio lo podemos entender como una evaluación sobre las malas prácticas del operador y sobre su comportamiento respecto al trabajo. Esta evaluación trabaja con base en la diferencia entre el rendimiento dado y el rendimiento esperado.

Todas las unidades, dependiendo de su año de fabricación y de sus mantenimientos correctivos, tienen un rendimiento mínimo esperado, los operadores que trabajan las unidades, en algunos casos, no pueden alcanzar ese rendimiento mínimo. En esta situación, la diferencia entre el rendimiento logrado y el rendimiento mínimo esperado se cuantifica para poder evaluar al operador.

Si la diferencia es positiva, ayuda a mejorar su evaluación general de conducta, si la diferencia es negativa, perjudica su evaluación de conducta. Los valores más comunes que esta evaluación suele tomar están comprendidos entre -0.5 y 0.15.

- c) **Conducción:** este criterio corresponde a la destreza que un operador tiene al volante. Se evalúa usando tres subcriterios: *Safety Score*, *Fuel Score* y *Mechanical Score*, su descripción se presenta más adelante. Los valores de estos criterios están dados por alguna de las diferentes plataformas de localización que funcionan mediante un GPS (Sistema de Posicionamiento Global), conectado a la computadora de cada tractocamión que sirven de apoyo a la operación. Dentro de los límites de este trabajo, los datos fueron obtenidos de la plataforma OnCommand y de las computadoras de las unidades.

La plataforma OnCommand es un software proporcionado por el fabricante de las unidades, está conectado a la computadora de la unidad y funciona como un almacenamiento de datos tipo caja negra, su información es confiable puesto que, ante cualquier manipulación, la plataforma reporta el lugar y el momento de la posible manipulación. Presenta los kilómetros recorridos por la unidad, los hábitos de conducción del operador, los litros de combustible consumidos etcétera. En su página de Internet; <https://www.traffilog.com>, es posible encontrar toda la información del servicio.

Los valores de los criterios mencionados en los incisos anteriores están medidos entre 0 y 1. Para poder operarlos y compararlos con el rendimiento, a cada uno de los valores obtenidos de la plataforma, le sumaremos 1, obteniendo de esta manera, un valor similar a los rendimientos.

A continuación, se detallan los subcriterios antes mencionados:

- *Safety Score*: este subcriterio ofrece una perspectiva objetiva respecto a los hábitos de conducción de un operador. Abarca la cantidad de veces que frenó o aceleró de emergencia, la velocidad y la cantidad de revoluciones por minuto.

Fuel Score: es un indicador sobre el potencial ahorro de combustible derivado de un buen manejo de la unidad. Este criterio evalúa características como el viaje con bajo rendimiento por unidad de tiempo, la cantidad de tiempo que se conduce en neutral y la cantidad de tiempo que la unidad esta encendida pero detenida.

- *Mechanical Score*: este criterio nos ayuda a determinar el trato que el operador está dando a la unidad con su conducción, dicho de otra manera, nos ayuda a conocer el grado en que la conducción de un operador está dañando el motor o la caja de velocidades. Este criterio está conformado por la manera en que un operador enciende o apaga la unidad y el desgaste sobre el embrague.

La evaluación final de conducción se obtiene con el promedio de los valores de cada subcriterio. Los valores que suele tomar están en el intervalo 1 a 2 y lo vamos a denotar como

r_{o_i} .

Una vez obtenidos los valores de cada uno de los criterios de evaluación de los operadores, es decir, su rendimiento, su conducta y su conducción, el nivel de desempeño final de cada conductor, se obtiene con el promedio de los criterios anteriormente descritos.

Una observación importante en este punto es la justificación del uso de una escala entre 1 y 2 para la presentación de la evaluación de los operadores y las unidades. Los rendimientos de las unidades suelen estar dentro del intervalo 1 a 2, el monitoreo de los rendimientos es una pieza clave para mantener sana y rentable la operación, por tal motivo, todos los actores

dentro del sistema conocen qué es un rendimiento y cuáles son los valores que deben tomar. Usar esta escala para presentar la evaluación de un operador, obedece al hecho de que todos dentro de la operación pueden entender si el valor final de la evaluación es bueno o es malo.

Una vez obtenidos las evaluaciones finales de los operadores y las unidades, obtenemos el valor final de las potenciales entidades hombre-camión. Este valor será el promedio de las evaluaciones finales del operador i y la unidad j .

$$r_{ij} = f(r_{o_i}, r_{u_j})$$

$$r_{ij} = \frac{1}{2}(r_{o_i} + r_{u_j})$$

Ecuación 4 Rendimiento de la entidad hombre-camión formada por el operador i -ésimo operador y la j -ésima unidad

Una vez construimos estos elementos, podemos presentar la función objetivo del programa de asignación.

$$z = \sum_i^n \sum_j^n \frac{x_{ij} r_{ij}}{n}$$

Ecuación 5 Función objetivo del Programa de asignación

Donde r_{ij} es el promedio de los rendimientos del operador i en la unidad j , x_{ij} son variables binarias que nos ayudan a analizar todas las posibles combinaciones entre operadores y unidades, tomará el valor 1 cuando la dupla del operador i en la unidad j , pertenezca a la solución y 0 en caso contrario, estas son nuestras variables de decisión. La variable n es la cantidad de unidades, de operadores y de entidades hombre- camión que lograremos formar.

Nuestra meta es maximizar la función objetivo. Dicho de otra forma, estamos maximizando el rendimiento promedio de la flota, iterando sobre las posibles combinaciones entre operadores y unidades.

Nuestras restricciones; como en todo problema de asignación serán las siguientes.

A cada operador, le corresponde solo una unidad:

$$\sum_j x_{ij} = 1$$

Ecuación 6 Restricción de Programa de asignación sobre unidades

A cada unidad le corresponde solo un operador:

$$\sum_i x_{ij} = 1$$

Ecuación 7 Restricción de Programa de asignación sobre operadores

Una restricción más es necesaria, esta tercera restricción busca sesgar el conjunto de unidades a las que un operador puede acceder. Un operador que tiene una evaluación baja no podrá acceder a una unidad de rendimiento alto; usualmente, las unidades con un rendimiento alto son unidades nuevas, más llamativas y cómodas de operar en relación con unidades de años pasados. De esta forma se premia a los operadores de alto rendimiento abriéndoles la posibilidad de acceder a las mejores unidades.

Sea $\{R_{u_j}\}$ el conjunto de rendimientos mínimos esperados de las unidades. Sea $r_{ij} = f(r_{o_i}, r_{u_j})$ el valor final de la evaluación de la entidad formada por operador i en la unidad j .

Si $r_{o_i} < R_{u_j} \Rightarrow x_{ij} = 0 \quad \forall j$ tal que $R_{u_j} > R_{u_j}$

Otra forma de verlo es, si el valor de la evaluación de un operador es menor que el rendimiento mínimo de una unidad, el operador no puede acceder a esa unidad.

De esta manera, el programa de asignación queda de la siguiente forma:

$$Max \quad z = \sum_i \sum_j \frac{x_{ij} r_{ij}}{n}$$

Sujeto a:

$$\sum_j x_{ij} = 1$$

$$\sum_i x_{ij} = 1$$

si $r_{o_i} < R_{u_j} \Rightarrow x_{ij} = 0 \quad \forall j$ tal que $R_{u_j} > R_{u_j}$

Ecuación 8 Programa de Asignación de unidades

3.3 PROGRAMAS Y RUTINAS DE SEGUNDA ETAPA

Uno de los objetivos tácitos de la operación es tener todos los vehículos en movimiento para poder generar más ganancia. Mantener la operación conlleva una serie de costos cuyo cálculo puede llegar a complicarse dependiendo de las características de la flota (Jiménez Sánchez & Gonzali Trujillo, 2019) Para fines de este trabajo y del propio caso de estudio, vamos a considerar una flota homogénea.

Como en todo negocio, dependiendo de los costos asociados a la prestación del servicio, a las condiciones del mercado y la utilidad esperada, se define una tarifa de servicio. Como se menciona en Jiménez Sánchez y Gonzali Trujillo (2019), es común que los clientes impongan sus tarifas de trabajo, mermando la utilidad del transportista y dañando su propio mercado.

Debido a esta situación, el cálculo de los costos asociados al auto transporte es una parte fundamental de la operación. En Márquez Díaz y Castillo Maza (2011), se presentan una serie de costos sociales y ambientales asociados al autotransporte; estos costos son tiempo por congestión, costos por accidentes, costos ambientales, costo por uso de la infraestructura. Sin demeritar estos costos ni menospreciar su importancia, dado el objetivo buscado, los costos a considerar en el desarrollo de este trabajo serán solo aquellos que están implícitos dentro de la propia operación de autotransporte.

En Jiménez Sánchez y Gonzali Trujillo (2019) se propone una fórmula para definir una tarifa con base en los costos fijos y costos variables por tonelada transportada, tomando en cuenta la utilidad esperada. En Márquez Díaz & Castillo Maza (2011) se presenta un método para definir la tarifa con base en la longitud de las rutas, las condiciones topográficas de las mismas y del volumen transportado.

La manera de calcular las tarifas por prestación de servicio dentro de la operación es similar a la propuesta en Jiménez Sánchez & Gonzali Trujillo (2019), la única diferencia radica en que el tonelaje transportado se considera una constante; esto debido a la homogeneidad de la flota.

Finalmente, la utilidad será la diferencia entre la tarifa de venta del servicio y los costos asociados a la prestación de este. Siguiendo el objetivo de tener la mayor cantidad de ganancias posibles, vamos a analizar el conjunto de costos, su impacto en las ganancias y su valoración dentro de la ruta en cuestión. Con los resultados de este análisis, en capítulos posteriores, se presentará una propuesta que busca mejorar la forma en que se procesan los datos asociados a los costos, y más que nada, la relación con los clientes, buscando presentar una manera de generar mejoras continuas.

3.3.1 Costos

En Zatarain Sordo (1993) se propone una clasificación robusta de los costos asociados al auto transporte de carga. Dentro de las clasificaciones propuestas encontramos periodicidad, área

funcional, variabilidad, nivel de control, nivel de agregación, repercusión social, nivel de proyección a futuro, por su subjetividad y por su horizonte de planeación.

De entre los criterios explorados en Zatarain Sordo (1993), para el desarrollo de este trabajo, etiquetamos los costos según su variabilidad dentro de las clases: costos fijos, costos variables y costos sin control:

a) **Costos fijos:** costos que, para cada ruta, no dependen de las características previas de la unidad, del cliente, o de la ruta. Los costos fijos son: sueldo fijo del operador y costos administrativos.

- **Costos administrativos:** en este conjunto encontramos una gran variedad de rubros, todos ellos dentro de la esfera política del sistema de transporte. Son costos logísticos de la operación. En esta categoría se consideran: salarios administrativos, rentas de oficina y patio, mantenimiento de oficina y patio, papelería, telefonía y seguros.
- **Sueldo fijo del operador:** los operadores activos tienen un sueldo fijo semanal sin importar si realizan viajes en esa semana o no. Se considera un costo fijo porque se mantiene constante sin importar la ruta a recorrer, las condiciones de la unidad o la evaluación del operador.

b) **Costos variables:** costos que, para cada ruta, dependen de las características previas de la unidad. Los costos variables son: mantenimiento preventivo, sueldo variable del operador, diésel, casetas, puente, pasador y transfer.

Sueldo variable de operador: dependiendo de la longitud de la ruta, el operador percibe una cantidad fijada por km recorrido. Cada ruta implica un sueldo variable para el operador, adicional a su sueldo fijo.

- **El mantenimiento preventivo** de una unidad trabaja en función de los kilómetros recorridos; cada cierto kilometraje una unidad necesita cierto tipo de reparaciones, estas reparaciones generan un costo, para cubrirlo se considera un monto por kilómetro recorrido.
- **Diésel:** este rubro es sin duda el más importante de todos los costos. Representa por sí solo, el 35% de los costos operativos. Depende de los kilómetros y del rendimiento de la unidad involucrada. Más adelante, tomando como punto de partida este costo, se propone un programa de asignación de unidades y operadores en las distintas rutas.
- **Casetas:** es el servicio de peaje que paga la empresa para que las distintas unidades puedan utilizar las vías públicas y concesionadas. El uso de tarjetas tipo TAG facilita mucho el procesamiento de esta información mediante las plataformas de los proveedores de las tarjetas.
- **Viáticos:** son los costos asociados a comidas y hospedaje del operador en la ruta. Dependen del itinerario de la unidad y varían según la ruta.

- El **punteo** es la caseta fronteriza para cruzar de México a Estados Unidos y a la inversa.
 - **Pasador:** el pasador es un segundo operador con los documentos necesarios para poder cruzar legalmente la frontera, además de contar con un permiso especial para cruzar rápidamente el puente.
 - **Transfer:** el transfer es un segundo tracto camión responsable de transportar uno de los dos tanques que conforman el full. El motivo: en territorio estadounidense las unidades tipo full están prohibidas, por esta razón es necesario transportar ambos tanques usando dos tracto camiones, el de la empresa y el transfer. La unidad transfer cuenta con un operador adicional.
- c) **Costos sin control:** costos que para cada ruta están fuera de nuestro control y suceden de manera aleatoria como resultado de diversos factores ajenos a la operación como tal. Los costos sin control son: demoras y mantenimiento correctivo.

Demoras: como se detalló en secciones anteriores, las demoras pueden suceder por diversos motivos, su ocurrencia implica costos que no pueden ser cuantificados con exactitud. Sin embargo, contamos con datos históricos que nos permiten dar una probabilidad de demora. De manera paralela, cada cliente tiene un contrato donde se estipula el cobro (bajo ciertas condiciones), de las demoras. Con esta información, podemos asignar un valor aproximado del costo generado por demoras.

Mantenimiento correctivo: estos se pueden originar como consecuencia de malas prácticas del operador, mal estado de la ruta, delincuencia o un mal mantenimiento preventivo. De manera similar a las demoras, la ocurrencia de un mantenimiento correctivo no se puede predecir. La manera de obtener recursos y estar preparados ante la ocurrencia de este tipo de fallas, es contemplar dentro de las cotizaciones, un monto por kilómetro recorrido, adicional al monto asignado por mantenimiento preventivo. El monto asociado al mantenimiento correctivo es menor que el monto asociado al mantenimiento preventivo.

Un costo importante es la **depreciación de los vehículos** de transporte. Este costo es descrito en Jiménez Sánchez & Gonzali Trujillo (2019) como un costo que impacta en gran medida en las utilidades. Este costo no se considera dentro de ninguno de las clases descritas anteriormente, porque existe un método contable - fiscal para poder incorporarlo de otra manera (Jiménez Sánchez & Gonzali Trujillo, 2019; Jiménez Castillo & Jiménez Sánchez, 2016) Este proceso recae en el área fiscal de la esfera política y obedece a otros riesgos e intereses. Su propósito y complejidad es ajeno al objetivo de este trabajo. Por tanto, no se considera.

Dentro de las rutinas de segunda etapa, vamos a encontrar dos procesos. Uno es la asignación de entidades hombre- camión para cubrir la demanda de los clientes. Otro es el desarrollo y cálculo de los costos asociados a las rutas demandadas.

3.3.2 Programa de asignación de entidades hombre-camión para cubrir la demanda.

En algún punto del tiempo los clientes generan la demanda y los transportistas la deben cubrir. En este trabajo, la asignación de viajes y el cumplimiento de estos tendrá un horizonte temporal de una semana.

Determinar qué unidad va a realizar qué ruta suele ser un proceso carente de orden o criterios que ayuden a tomar la decisión que más beneficie a la empresa. Esta asignación se realiza de manera aleatoria. Esto tiene como consecuencia, pérdidas monetarias debido a la diferencia de combustible que cada unidad consume, a las distintas formas que tienen los operadores de trabajar y las distancias de cada ruta (Jiménez Sánchez & Gonzali Trujillo, 2019).

En este trabajo se presenta un programa que asigna las diferentes entidades hombres-camión definidas como resultado del Programa de asignación, a las diferentes rutas demandadas por los clientes.

El propósito de este programa es determinar cuál es la asignación más económica con respecto al consumo de combustible. Se toma como punto de partida este costo debido a su importancia para los sistemas de auto transporte de carga.

La solución de este problema de programación matemática nos indica cuál es la asignación más económica entre las entidades hombre-camión y las rutas dentro de la demanda. Pese a que el resultado lo estamos entendiendo como una asignación de viajes, el programa está planteado como un problema de programación matemática que busca minimizar los costos.

Sean nuestro conjunto de entidades hombres-camión, donde cada entidad posee una etiqueta corriendo sobre el índice $J = \{1, \dots, n\}$ y sea nuestro conjunto de rutas demandadas, cada una etiquetada sobre el índice $K = \{1, \dots, m\}$.

La función objetivo de este programa la definimos de la siguiente manera.

$$z = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n x_{kj} \cdot c_{kj}$$

Ecuación 9 Función objetivo del Programa de asignación de entidades hombre-camión para cubrir la demanda

Donde c_{kj} es el costo asociado a diésel, por asignar la j -ésima entidad a la k -ésima ruta. Puntualizando un poco, el costo de diésel es distinto para cada unidad, pues como se menciona en Jiménez Sánchez y Gonzali Trujillo (2019), este consumo depende de la unidad

y del operador que conformen la entidad. El valor se obtiene con el rendimiento de la entidad, los kilómetros a recorrer y el costo por litro de combustible.

Nuevamente, x_{ij} son variables binarias de decisión que nos ayudan a analizar la asignación de rutas y entidades, tomará el valor 1 cuando la asignación de la entidad j a la ruta k , pertenezca a la solución y 0 en caso contrario.

Respecto a nuestras restricciones, como en todo problema de transporte, tenemos nuestras restricciones de oferta y demanda. En este problema, la oferta son las entidades disponibles que posee la empresa, la demanda son las rutas que se deben cubrir. Una observación, es posible que los clientes soliciten alguna cantidad de fletes para una misma ruta, es decir, no hay un solo viaje para cada ruta; cada ruta puede tener una demanda de varios viajes.

Restricción sobre la oferta

$$\sum_j x_{kj} = O_k \quad \forall k \in K$$

Ecuación 10 Restricción de oferta de Programa de Asignación de unidades para cubrir la demanda

Restricción sobre la demanda

$$\sum_k x_{kj} = D_j \quad \forall j \in J$$

Ecuación 11 Restricción de demanda de Programa de Asignación de unidades para cubrir la demanda

De esta manera el programa de transporte para asignar los viajes a las distintas entidades se expresa de la siguiente forma.

$$\min z = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n x_{kj} c_{kj}$$

Sujeto a:

$$\sum_j x_{kj} = O_k \quad \forall k \in K$$

$$\sum_k x_{kj} = D_j \quad \forall j \in J$$

Ecuación 12 Programa de Asignación de unidades para cubrir la demanda

La reducción potencial en el costo respecto al combustible se debe a dos motivos:

1. la rutina de asignación entre operadores y unidades que logra maximizar el rendimiento de la flota, dando origen al conjunto de entidades hombre-camión;

2. la rutina de asignación de las entidades hombre- camión.

3.4 PROGRAMAS Y RUTINAS DE TERCERA ETAPA

Las rutinas de tercera etapa están pensadas para dar solución a problemas que surgen dentro de la operación durante la elección de rutas y durante el transporte de mercancías. Su objetivo es buscar procesos que contribuyan a mejorar el desempeño del sistema y aumentar el margen de ganancias. En este sentido, como resultado de nuestras observaciones del modelo de hiper gráficas y los resultados obtenidos de las rutinas y programas de segunda etapa, se proponen las siguientes rutinas posteriores al traslado de mercancías.

3.4.1 Reemplazo de unidades

En general, dentro de las organizaciones, las políticas de reemplazo de activos cobran importancia en el sentido de optimizar el rendimiento de los bienes, prolongar la retención de estos y asumir costos de mantenimiento. Es una decisión de naturaleza estratégica y táctica. En la medida que los equipos son operados, estos se desgastan y pueden dar origen a ciertas fallas de tal forma que, a los costos operativos, deben sumarse los costos de mantenimiento, disminuyendo el margen de beneficios (González, Rodríguez, & Viveros, 2004).

Pensando en términos de maquinaria, los activos de una empresa pueden reemplazarse por uno similar que mejore en algún sentido el rendimiento de la operación, o bien, por uno igual. Existen diferentes métodos para determinar la mejor manera de tomar la decisión de reemplazar un activo, entre los métodos más comunes podemos encontrar el enfoque de teoría de grafos que plantea la solución de un problema de ruta más corta, los modelos de límite que buscan determinar el instante de tiempo donde se alcanza el momento de reemplazo usando parámetros previamente definidos; estos modelos se apoyan en programación dinámica. Dentro de estos modelos, es común considerar una función de productividad con base en parámetros de tiempo, costos y beneficios (Bosch & Varas, 2001).

Las políticas de reemplazo en el mercado del auto transporte están en términos de los kilómetros recorridos, la edad del vehículo, sus costos de mantenimiento, sus costos generales también llamados de posesión u ocupacionales, y el margen de ganancias generadas por vehículo.

Las ventajas potenciales de reemplazar unidades radican en el ahorro por concepto de gastos en mantenimiento durante los primeros años, el mayor tiempo de disponibilidad de la unidad y un ahorro considerable en el consumo de combustible (Morales Rafael, 2004).

Los métodos más usados para decidir el periodo óptimo de reemplazo en términos de auto transporte los podemos encontrar en la Tabla 5, Métodos de reemplazo en auto transporte, elaboración propia con base en Bosch & Varas (2001).

Para los fines de este trabajo, podríamos considerar dos parámetros para determinar el conjunto de unidades que deben ser reemplazadas. Estos parámetros son el rendimiento de la unidad y su costo de mantenimiento.

En cuanto al rendimiento, si bien la flota es homogénea, el rendimiento varía de un full a otro. Si bien, el rendimiento depende mucho del operador y el mantenimiento, otro factor importante es la antigüedad de la unidad, en este sentido, para mantener un rendimiento alto y mejorar los ingresos, lo ideal sería cambiar las unidades viejas por unidades nuevas. Esta solución es muy costosa, como consecuencia, no es viable en la mayoría de los casos.

Respecto a los costos de mantenimiento, dentro del mercado de auto transporte, los prestadores del servicio están firmemente convencidos que mejorar el mantenimiento preventivo, disminuiría el desgaste por kilómetro recorrido, dando como consecuencia, un aumento en el tiempo potencial de trabajo, en su margen de ganancias y en su vida útil.

Para este proyecto, consideraremos un ranqueo simple usando el método de posesión presentado en la Tabla 3, dando especial importancia a los costos de mantenimiento. Fijaremos el valor máximo de costo de posesión como el indicador de reemplazo de unidad.

Método	Descripción	Ventajas	Desventajas
Métodos contables	Se considera la unidad como un activo que se deprecia en el tiempo. Considerando los costos de mantenimiento, se define un valor de rescate, cuando el valor de rescate supera el costo de una unidad nueva, es el momento de reemplazar la unidad.	Son de fácil implementación.	No consideran las utilidades potenciales de las unidades, pueden no incorporar todos los costos asociados a las unidades. Se suelen tomar estándares en términos de kilometraje o mantenimiento que no son uniformes en el tiempo.
Método de margen de utilidad	Clasifica los vehículos en orden decreciente por su margen de utilidad anual y descarta aquellos que están por debajo del promedio anual.	No plantea ninguna edad límite de cambio, permitiendo a unidades viejas y funcionales, permanecer en el parque vehicular.	Pueden no incorporar todos los costos asociados a las unidades. Se suelen tomar estándares en términos de kilometraje o mantenimiento que no son uniformes en el tiempo.

Método del costo de posesión	Define un costo de posesión para cada unidad, este costo es la suma de los costos de mantenimiento, depreciación e inmovilización. Se definen el mínimo y máximo que funcionan como indicadores para el cambio de vehículos.	Es el método con base en costos más completo que existe hasta el momento. Ofrece la opción de brindar varios periodos de cambio, dando margen a la empresa para tener varios momentos de potencial renovación.	Requiere un estricto control y registro de los gastos, movimientos de mantenimiento y un adecuado cálculo del costo por inmovilización.
------------------------------	--	--	---

Tabla 3 Métodos de reemplazo en auto transporte, elaboración propia con base en Bosch & Varas (2001)

3.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se propone llevar a cabo un análisis de sensibilidad respecto a la conexidad y los valores observados en el modelo de hiper gráficas, esto con el objeto de identificar la robustez de la gráfica y determinar la importancia de un elemento dentro del sistema.

Vamos a entender el concepto de **robustez** como la medida en que una red mantiene su funcionalidad pese al fallo de algunos de sus elementos.

El objetivo de este análisis es contribuir a la detección de áreas de oportunidad para brindar opciones respecto a la reducción de costos en las diferentes áreas del sistema.

El análisis de sensibilidad respecto a la robustez de las hiper gráficas se llevará a cabo usando una generalización del método connectivity robustness function (Salazar Isaza, 2019), que trabaja sobre la eliminación de vértices o aristas en un grafo simple hasta que este pierde funcionalidad. En Gholam Hasan y Ameneh (2020), se presenta un método para calcular la robustez de una hiper gráfica, cuya premisa encaja a la perfección en los métodos de eliminación presentados en Salazar Isaza (2019).

Para el análisis de sensibilidad, tomaremos como base la premisa de robustez y fallos presentada en Gholam Hasan y Ameneh (2020):

“ Teorema 3.1. El número mínimo de fallas que conducen a un error total en el sistema es igual al número mínimo de vértices cuyas eliminaciones rompen todos los ciclos del modelo de hiper gráficas.”

CAPÍTULO 4 CASO DE ESTUDIO: TRANSBALCO

4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se expondrá el caso de estudio donde se aplican de manera teórica los métodos propuestos en este trabajo.

Transbalco es una empresa pequeña de auto transporte de carga basado en fulles, tiene más de 35 años en el mercado. Su objetivo dentro del rubro es el transporte de aceites básicos lubricantes; producto usado principalmente por la industria automotriz, para la protección y buen funcionamiento de automóviles o equipo mecánico. En su página de Internet; <https://transbalco.com/>, es posible encontrar su visión empresarial, además de medios de contacto e información de interés.



Figura 11 Logotipo Transbalco

Dentro de los clientes de Transbalco podemos encontrar a empresas como Bardahl, Akron y Löwin, quienes tienen presencia a nivel nacional.



Figura 12 Clientes de Transbalco

Al momento de aplicar los métodos ya descritos, se cuenta con una flota de 10 unidades homogéneas respecto a la capacidad de carga, pero con fechas de fabricación que van desde el año 1998 hasta el año 2020.



Figura 13 Unidad Full; un tractocamión y dos tanques

Se cuenta con 10 operadores, uno por cada unidad más un operador que sustituye a aquel que, por su tiempo de trabajo, le corresponda descanso. El resto del equipo se conforma por 4 mecánicos y 4 agentes administrativos.

Dentro del catálogo de rutas que se realizan se encuentran 16 rutas activas que se trabajan para 8 clientes, las cuales pueden verse en la Tabla 4. En la Figura 14, podemos ver un mapa con los destinos y las rutas activas.



Figura 14 Mapa de Destinos y Rutas activas

Estatus de ruta	Cliente	Destino
Activa	Aceimex	Tultitlán
Activa	Akron	Lagos
Activa	Akron	Tultitlán
Activa	Bardahl	Toluca
Activa	Energéticos	Cadereyta
Activa	Lowin	Saltillo
Activa	Lowin	Chihuahua
Activa	Lowin	Cadereyta
Activa	Lubral	Tultitlán
Activa	Sgs	Arandas
Activa	Sgs	Hidalgo
Activa	Sgs	Querétaro
Activa	Sgs	Reyes
Activa	Super Básicos	Salinas
Activa	Super Básicos	Santa Catarina
Activa	Super Básicos	Hgo. Nuevo León

Tabla 4 Rutas activas de Transbalco

Los datos usados para este proyecto están presentes en una base de datos construida entre diciembre de 2019 y octubre de 2020. La base consta de 716 entradas con 50 datos cada una, donde cada entrada representa un viaje. Tras una depuración de la base original, se conservaron 608 entradas. Con base en este registro, se obtuvieron los datos históricos necesarios para evaluar el desempeño de los operadores, de las unidades, se determinaron los costos de las rutas y la rentabilidad respecto a cada cliente. En la Tabla 5, Cantidad de Viajes por cliente y destino, se presenta de manera breve la información respecto a las entradas de la base de datos.

Cliente	Destino	Cantidad de viajes
Aceimex	Tultitlán	38
Akron	Lagos	72
Akron	Tultitlán	24
Bardahl	Toluca	244
Energéticos	Cadereyta	7
Lowin	Saltillo	69
Lowin	Chihuahua	4
Lowin	Cadereyta	45
Lubral	Tultitlán	1
Sgs	Arandas	4
Sgs	Hidalgo	24
Sgs	Querétaro	2
Sgs	Reyes	5
Super Básicos	Salinas	5
Super Básicos	Santa Catarina	10
Super Básicos	Hgo. Nuevo León	1
Ipisa	Querétaro	2
Lowin	Tlajomulco	11
Mgo Industrial	Tilapa	1
Olinala	Querétaro	4
Quimicaob	Guadalajara	6
Quimicaob	Salamanca	3
Quimicaob	Monterrey	3
Quimicaob	Querétaro	2
Quimicaob	Mitras	1
Super Básicos	Monterrey	20

Tabla 5 Cantidad de Viajes por cliente y destino

4.2 PROGRAMAS Y RUTINAS DE PRIMERA ETAPA, CASO DE ESTUDIO

4.2.1 Ranqueo de rutas

Usando el proceso Z-Score, se ponderan y ordenan las rutas con base en el margen de utilidad, el tiempo de demora, el tiempo de pago y la probabilidad de demora. Los valores iniciales de estos criterios se toman directamente de la base de datos histórica.

Estatus de ruta	Cliente	Destino	Margen de utilidad	Tiempo de demora planta	Tiempo de pago	Probabilidad de demora
Activa	Aceimex	Tultitlan	✔ 29%	⚠ - 0.3	⚠ -30	✔ - 0.50
Activa	Akron	Lagos	⚠ 23%	✔ -	⚠ -30	✔ - 0.31
Activa	Akron	Tultitlan	✔ 30%	⚠ - 0.5	⚠ -30	✔ - 0.46
Activa	Bardahl	Toluca	⚠ 18%	✔ -	✔ -15	✔ - 0.40
Activa	Energéticos	Cadereyta	⚠ 22%	✘ - 1.6	✔ -15	⚠ - 0.71
Activa	Lowin	Saltillo	✘ 7%	✔ -	✔ -15	✔ - 0.25
Activa	Lowin	Chihuahua	✔ 34%	✔ -	✔ -15	✔ - 0.50
Activa	Lowin	Cadereyta	✘ 14%	⚠ - 0.4	✔ -15	✔ - 0.38
Activa	Lubral	Tultitlan	✔ 26%	✔ -	✘ -60	✔ -
Activa	Sgs	Arandas	✔ 32%	✔ -	✔ -15	✔ -
Activa	Sgs	Hidalgo	✔ 33%	✔ -	✔ -15	✔ - 0.29
Activa	Sgs	Querétaro	✔ 29%	✔ -	✔ -15	✔ - 0.50
Activa	Sgs	Reyes	✔ 36%	⚠ - 0.1	✔ -15	✔ - 0.40
Activa	Super Básicos	Salinas	⚠ 20%	✔ -	✔ -15	✔ -
Activa	Super Básicos	Santa Catarina	✘ 16%	✘ - 0.6	✔ -15	✔ - 0.30
Activa	Super Básicos	Hgo. Nuevo León	⚠ 24%	✘ - 1.0	✔ -15	✘ - 1.00

Tabla 6 Ranqueo de rutas de Transbalco

En la Tabla 6, Ranqueo de rutas de Transbalco, se presentan los datos usados en el proceso Z-Score. En esta tabla la iconografía  representa un apoyo visual determinar la ubicación del valor de cada criterio entre los demás valores.

Con base en estos datos, se definen la media y la desviación estándar para cada criterio.

Dato	Margen de utilidad	Tiempo de demora en planta	Tiempo de pago	Probabilidad de demora
Media	21%	-0.39	-20.19	-0.41
Desviación estándar	0.12	0.58	10.34	0.33

Tabla 7 Cálculo de parámetros para los criterios analizados

De esta manera se obtiene el valor Z-Score final para cada ruta y se establece el ranqueo antes mencionado. Esta ponderación puede ser encontrada en la Tabla 8, El valor Z-Score para cada ruta.

Estatus de ruta	Cliente	Destino	Margen de utilidad	Tiempo de demora planta	Tiempo de pago	Probabilidad de demora	Suma
Activa	Sgs	Arandas	0.86	0.67	0.50	1.25	3.28
Activa	Sgs	Hidalgo	0.92	0.67	0.50	0.35	2.44
Activa	Super Básicos	Salinas	- 0.08	0.67	0.50	1.25	2.34
Activa	Sgs	Reyes	1.16	0.50	0.50	0.02	2.18
Activa	Lowin	Chihuahua	1.06	0.67	0.50	- 0.29	1.94
Activa	Sgs	Querétaro	0.59	0.67	0.50	- 0.29	1.47
Activa	Bardahl	Toluca	- 0.28	0.67	0.50	0.02	0.92
Activa	Lowin	Saltillo	- 1.12	0.67	0.50	0.49	0.54
Activa	Akron	Lagos	0.18	0.67	- 0.95	0.31	0.21
Activa	Lowin	Cadereyta	- 0.58	0.06	0.50	0.09	0.07
Activa	Super Básicos	Santa Catarina	- 0.45	- 0.37	0.50	0.32	0.01
Activa	Aceimex	Tultitlan	0.60	0.17	- 0.95	- 0.29	- 0.46
Activa	Akron	Tultitlan	0.67	- 0.12	- 0.95	- 0.16	- 0.56
Activa	Lubral	Tultitlan	0.41	0.67	- 3.85	1.25	- 1.52
Activa	Super Básicos	Hgo. Nuevo Le	0.25	- 1.06	0.50	- 1.83	- 2.13
Activa	Energéticos	Cadereyta	0.05	- 2.05	0.50	- 0.95	- 2.45

Tabla 8 El valor Z-Score final para cada ruta

4.2.2 Asignación de unidades

Las unidades y los operadores llegan a este punto del análisis con los valores presentados en la Tabla 9 ,Rendimientos actuales de los Operadores y Tabla 10, Rendimientos actuales de las Unidades.

Operador	Safety Score	Fuel score	Mechanical Score	Déficit de rendimiento	Rendimiento	Conducción	Final
Fernando Becerril	1.60	1.60	1.60	0.08	1.60	1.60	1.68
Ulises Maya	1.49	1.49	1.49	-0.11	1.49	1.49	1.39
Luis Rojas	1.80	1.80	1.80	0.10	1.80	1.80	1.90
José Godínez	1.44	1.62	1.50	-0.27	1.63	1.52	1.30
Miguel Celaya	1.53	1.65	1.63	-0.29	1.61	1.60	1.31
Samuel Maturano	1.70	1.63	1.72	0.11	2.01	1.68	1.96
Ruben Gómez	1.76	1.64	1.42	0.16	2.06	1.60	1.99
Fernando Rivera	1.63	1.93	1.62	0.06	1.96	1.72	1.90
Miguel Haro	1.62	1.94	1.60	0.05	1.95	1.72	1.89

Tabla 9 Rendimientos actuales de los Operadores

Unidad	Final
TB-01	1.45
TB-02	1.45
TB-03	1.63
TB-04	1.74
TB-05	1.58
TB-06	1.77
TB-08	1.63
TB-10	1.86
TB-15	1.84
TB-20	1.88

Tabla 10 Rendimientos actuales de las Unidades

El programa de asignación propuesto en secciones anteriores para determinar la mejor repartición de unidades entre los operadores fue desarrollado en GAMS; software especializado que usó CPLEX para resolver el problema.

El detalle del reporte arrojado por el programa puede ser encontrado en el Anexo, y los resultados pueden ser encontrados en la Tabla 11 Comparación de estados. Una observación, la unidad TB01, no se incorporó al programa debido a que es la unidad comodín usada como reemplazo en caso de presentarse una avería en otra unidad.

En términos generales, el rendimiento en conjunto no presenta ninguna mejora, sin embargo, establecer un protocolo para la asignación de unidades donde, los operadores más capacitados respecto a su conducción son asignados a mejores unidades puede ser ventajoso desde una perspectiva administrativa en el sentido de, condicionar la asignación de unidades sobre el comportamiento al volante o las malas prácticas de los operadores.

En la Tabla 11 Comparación de Estados, podemos notar las diferencias de la nueva asignación respecto a la asignación actual.

Operador	Actual		Nueva asignación		Resultado
	Unidad	Rendimiento	Unidad	Rendimiento	Cambio
Fernando Becerril	2	1.56	20	1.78	0.22
Ulises Maya	3	1.51	4	1.56	0.05
Luis Rojas	4	1.82	15	1.87	0.05
José Godínez	5	1.44	3	1.47	0.03
Miguel Celaya	6	1.54	6	1.54	0.00
Samuel Maturano	8	1.80	5	1.77	-0.03
Ruben Gómez	10	1.93	10	1.93	0.00

Fernando Rivera	15	1.87	8	1.77	-0.10
Miguel Haro	20	1.89	2	1.67	-0.22
Promedio		1.71		1.71	0.00

Tabla 11 Comparación de Estados

No tener un cambio respecto al rendimiento promedio, señala que la mejora no necesariamente debe originarse como consecuencia de una correcta asignación de las unidades sobre los operadores; asumiendo una adecuada capacitación del personal, una mejora consistente puede provenir de un correcto mantenimiento preventivo que permita a una unidad, diferenciarse claramente del resto, cuando su rendimiento es anómalo, es decir, hacen falta herramientas de control durante el mantenimiento, que permitan evaluar mejor el desempeño de las unidades para, de esta forma, poder tener más detalle y una visión más amplia del estado de los tractocamiones.

De manera similar y en caso de ser posible, el reemplazo de unidades viejas por unidades nuevas, también puede ser un factor de peso para obtener resultados más consistentes durante la ejecución de este programa, sin embargo, como se mencionó al inicio de este trabajo, el mercado del auto transporte se encuentra duramente golpeado, en consecuencia, la compra de nuevos activos para las pequeñas empresas es una meta complicada.

Otro motivo que puede explicar el nulo cambio en el rendimiento promedio es, la dificultad de no poder evaluar de forma precisa las malas prácticas de los operadores y su impacto en el rendimiento real de las unidades. Nos estamos refiriendo a malas prácticas como el robo o la adulteración del combustible, estas faltas por parte de los conductores no pueden ser parametrizadas fácilmente, más adelante en el capítulo final, se aborda con más detalle esta parte.

4.3 PORGRAMAS Y RUTINAS DE SEGUNDA ETAPA, CASO DE ESTUDIO.

4.3.1 Asignación de unidades hombre - camión para cubrir la demanda

Una vez definidas las entidades hombre camión, con el objetivo de maximizar las utilidades, en esta etapa, buscamos determinar cuál es la asignación más económica respecto al consumo de combustible, entre las entidades hombre camión y la demanda de viajes. Se toma como punto de partida este costo debido a su importancia para los sistemas de auto transporte de carga, para Transbalco, este costo oscila alrededor del 40%.

Para fines del trabajo, se consideró la situación donde la demanda es la máxima posible respecto a los clientes y las rutas activas, de esta manera, la demanda a satisfacer la podemos encontrar en la Tabla 12.

Ruta	Viajes
Sgs-Arandas	2
Lowin-Cadereyta	3
Energéticos-Cadereyta	3
Lowin-Chihuahua	1
Sgs-Hidalgo	2
Akron-Lagos	2
Sgs-Querétaro	2
Sgs-Reyes	2
Lowin-Salttillo	2
Bardahl-Toluca	2
Aceimex-Tultitlan	2
Akron-Tultitlan	2
Lubral-Tultitlan	2

Tabla 12 Demanda por Ruta

El análisis respecto a la asignación más económica se hizo con dos enfoques:

- a) Un enfoque donde solo se considera el rendimiento de la entidad hombre-camión.
- b) Un enfoque donde se considera, además del rendimiento de la entidad, las habilidades de conducción del operador.

En el segundo enfoque, las habilidades de conducción se construyen como se describió en secciones anteriores. Estos datos se obtuvieron directamente de las computadoras de las unidades; un reporte de esta naturaleza es obtenido a través de la plataforma que facilita el proveedor del tractocamión o bien, por el proveedor del GPS.

Ejemplos de estos reportes pueden ser encontrados en la Figura 15 Ejemplo de Reportes de conducción.

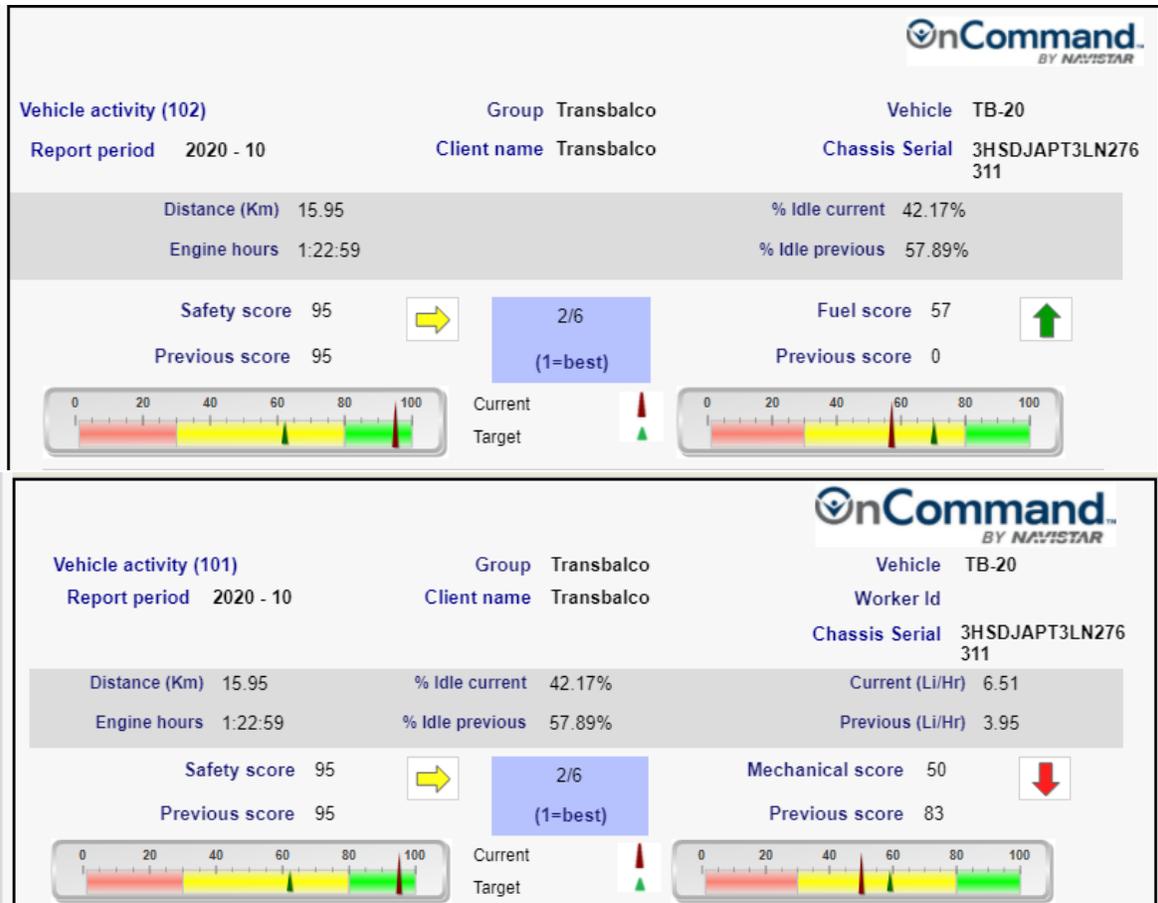


Figura 15 Ejemplo de Reportes de conducción

Para desarrollar el análisis, se usó el programa de minimización explorado en secciones anteriores. Se implementó en GAMS para su fácil manipulación al cambiar de un enfoque a otro. De manera similar al programa de Asignación de Unidades, en el Anexo podemos encontrar el reporte arrojado por el programa donde se especifican los algoritmos usados por el software para resolver el problema. Para determinar los costos asociados al combustible, se consideró un precio de \$20.00 MXN por litro de diésel.

4.3.1.1 Utilidad con base solo en el rendimiento

Usando el programa, la asignación de unidades resultante es como en la Tabla, 13 Cobertura de la demanda 1.

Unidad	Ruta	Rendimiento	KM	Cantidad
TB2	Akron-Lagos	1.70	1,743	1
TB2	Sgs-Querétaro	1.70	1,904	2
TB3	Energéticos-Cadereyta	1.63	651	3
TB4	Lowin-Cadereyta	1.62	651	3
TB5	Sgs-Reyes	1.80	2,141	1
TB5	Aceimex-Tultitlan	1.80	2,169	2
TB6	Akron-Lagos	1.69	1,743	1
TB6	Lowin-Salttillo	1.69	975	2
TB8	Akron-Tultitlan	1.80	2,169	1
TB8	Lubral-Tultitlan	1.80	2,169	2
TB10	Lowin-Chihuahua	1.96	2,735	1
TB10	Sgs-Hidalgo	1.96	2,313	2
TB15	Bardahl-Toluca	1.82	2,226	2
TB15	Akron-Tultitlan	1.82	2,169	1
TB20	Sgs-Arandas	1.74	2,014	2
TB20	Sgs-Reyes	1.74	2,141	1

Tabla 13 Cobertura de la demanda 1

En esta asignación podemos ver que las unidades con menor rendimiento fueron asignadas a los viajes más cortos, y de manera similar, las unidades mejor posicionadas fueron asignadas a las rutas más largas.

Usando este enfoque, encontramos un ahorro de combustible del 0.25%, monto que a la semana representa un aproximado de \$5,486 MXN (aunque depende del precio del combustible). Estos valores pueden ser encontrados en la Tabla 14 Ahorro por combustible 1.

Datos de asignación			Antes totales		Después totales	
Unidad	Ruta	Cantidad	Costo	Diésel	Costo	Diésel
TB2	Akron-Lagos	1	50,382	20,502	50,381	20,500
TB2	Sgs-Querétaro	2	103,398	43,148	105,041	44,791
TB3	Energéticos-Cadereyta	3	85,996	17,366	92,609	23,979
TB4	Lowin-Cadereyta	3	85,996	17,366	92,783	24,153
TB5	Sgs-Reyes	1	58,384	25,191	57,050	23,856
TB5	Aceimex-Tultitlan	2	113,701	51,030	110,998	48,326
TB6	Akron-Lagos	1	50,382	20,502	50,530	20,649
TB6	Lowin-Salttillo	2	74,146	17,347	79,910	23,111
TB8	Akron-Tultitlan	1	56,851	25,515	55,496	24,160
TB8	Lubral-Tultitlan	2	113,701	51,030	110,992	48,320
TB10	Lowin-Chihuahua	1	80,666	32,174	76,397	27,905
TB10	Sgs-Hidalgo	2	119,644	54,422	112,424	47,201

Datos de asignación			Antes totales		Después totales	
Unidad	Ruta	Cantidad	Costo	Diésel	Costo	Diésel
TB15	Bardahl-Toluca	2	115,634	52,376	112,197	48,940
TB15	Akron-Tultitlan	1	56,851	25,515	55,176	23,841
TB20	Sgs-Arandas	2	111,203	47,388	110,069	46,255
TB20	Sgs-Reyes	1	58,384	25,191	57,782	24,588
Totales			1,335,320	526,061	1,329,835	520,576
Diésel			% Diésel	39.40%	% Diésel	39.15%

Tabla 14 Ahorro por combustible 1

En términos de utilidad, los resultados pueden ser encontrados en la Tabla 15 , Utilidad con base en el rendimiento y en la conducción del operador. En ella, encontramos que usando este enfoque podemos dar un aumento de 0.34% semanal.

Unidad	Ruta	Costo inicial	Costo modificado	Precio total de venta	Utilidad	Utilidad modificada
TB2	Akron-Lagos	50,382	50,381	53,835	3,453	3,454
TB2	Sgs-Querétaro	103,398	105,041	127,000	23,602	21,959
TB3	Energéticos-Cadereyta	85,996	92,609	117,000	31,004	24,391
TB4	Lowin-Cadereyta	85,996	92,783	117,000	31,004	24,217
TB5	Sgs-Reyes	58,384	57,050	76,000	17,616	18,950
TB5	Aceimex-Tultitlan	113,701	110,998	130,000	16,299	19,002
TB6	Akron-Lagos	50,382	50,530	53,835	3,453	3,305
TB6	Lowin-Salttillo	74,146	79,910	91,000	16,854	11,090
TB8	Akron-Tultitlan	56,851	55,496	63,535	6,684	8,039
TB8	Lubral-Tultitlan	113,701	110,992	144,000	30,299	33,008
TB10	Lowin-Chihuahua	80,666	76,397	100,000	19,334	23,603
TB10	Sgs-Hidalgo	119,644	112,424	144,000	24,356	31,576
TB15	Bardahl-Toluca	115,634	112,197	130,000	14,366	17,803
TB15	Akron-Tultitlan	56,851	55,176	63,535	6,684	8,359
TB20	Sgs-Arandas	111,203	110,069	137,600	26,397	27,531
TB20	Sgs-Reyes	58,384	57,782	76,000	17,616	18,218
Totales		1,335,320	1,329,835	1,624,340	289,020	294,505
Utilidad					17.79%	18.13%

Tabla 15 Utilidad con base en el rendimiento y en la conducción del operador

De manera similar al caso anterior, desarrollando el programa en GAMS se llega a una asignación entre las entidades y la demanda. Esta asignación se presenta en la Tabla 16, Cobertura de la demanda 2.

Unidad	Ruta	KM	Rendimiento	Cantidad
TB2	Akron-Lagos	1,743	1.67	1
TB2	Sgs-Querétaro	1,904	1.67	2
TB3	Lowin-Cadereyta	651	1.47	3
TB4	Akron-Lagos	1,743	1.56	1
TB4	Lowin-Salttillo	975	1.56	2
TB5	Sgs-Reyes	2,141	1.77	2
TB5	Aceimex-Tultitlan	2,169	1.77	1
TB6	Energéticos-Cadereyta	651	1.54	3
TB8	Sgs-Arandas	2,014	1.77	2
TB8	Lubral-Tultitlan	2,169	1.77	1
TB10	Lowin-Chihuahua	2,735	1.93	1
TB10	Sgs-Hidalgo	2,313	1.93	2
TB15	Bardahl-Toluca	2,226	1.87	2
TB15	Akron-Tultitlan	2,169	1.87	1
TB20	Aceimex-Tultitlan	2,169	1.78	1
TB20	Akron-Tultitlan	2,169	1.78	1
TB20	Lubral-Tultitlan	2,169	1.78	1

Tabla 16 Cobertura de la demanda 2

Se presentan algunas variaciones, por ejemplo, en este caso, la unidad TB20 tiene una asignación totalmente distinta. Una cualidad que se conserva es la asignación de las rutas más cortas a las unidades de menor rendimiento.

Datos de asignación			Antes totales		Despues totales	
Unidad	Ruta	Cantidad	Costo	Diésel	Costo	Diésel
TB2	Akron-Lagos	1	50,382	20,502	50,773	20,892
TB2	Sgs-Querétaro	2	103,398	43,148	105,897	45,647
TB3	Lowin-Cadereyta	3	85,996	17,366	95,279	26,649
TB4	Akron-Lagos	1	50,382	20,502	52,166	22,285
TB4	Lowin-Salttillo	2	74,146	17,347	81,741	24,942
TB5	Sgs-Reyes	2	116,769	50,381	114,816	48,428
TB5	Aceimex-Tultitlan	1	56,851	25,515	55,862	24,526
TB6	Energéticos-Cadereyta	3	85,996	17,366	93,992	25,361
TB8	Sgs-Arandas	2	111,203	47,388	109,441	45,626
TB8	Lubral-Tultitlan	1	56,851	25,515	55,902	24,566
TB10	Lowin-Chihuahua	1	80,666	32,174	76,902	28,410
TB10	Sgs-Hidalgo	2	119,644	54,422	113,278	48,055
TB15	Bardahl-Toluca	2	115,634	52,376	110,888	47,631
TB15	Akron-Tultitlan	1	56,851	25,515	54,539	23,203
TB20	Aceimex-Tultitlan	1	56,851	25,515	55,683	24,347
TB20	Akron-Tultitlan	1	56,851	25,515	55,683	24,347

Datos de asignación			Antes totales		Despues totales	
Unidad	Ruta	Cantidad	Costo	Diésel	Costo	Diésel
TB20	Lubral-Tultitlan	1	56,851	25,515	55,683	24,347
		Totales	1,335,320	526,061	1,338,522	529,263
		Diésel	% Diésel	39.40%	% Diésel	39.54%

Tabla 17 Ahorro por combustible 2

Bajo este enfoque nos encontramos que, considerar las habilidades de conducción de los operadores; características que se reflejan en la calidad de vida de las unidades y en el ahorro de combustible, implica una disminución del rendimiento. Esta disminución es de 0.14%. Este valor puede ser encontrado en la Tabla 17, Ahorro por combustible 2.

En este caso, un mantenimiento adecuado a las unidades puede ser insuficiente; es necesario cuidar los hábitos de conducción de los operadores, su correcto desempeño es la diferencia en términos de ahorro de combustible, sin embargo, nuevamente nos encontramos con la limitante de no poder parametrizar fácilmente el impredecible comportamiento humano, como se verá más adelante, es posible proponer nuevas estrategias de control basadas en los indicadores de desempeño aquí propuestos y en el uso de nuevas tecnologías. El objetivo de estas propuestas será buscar tener un mayor control del personal operativo.

Bajo este enfoque, al considerar las habilidades de conducción, la utilidad semanal puede verse perjudicada en un 0.19%, esto representa alrededor de \$3,202 MXN. los resultados pueden ser encontrados en la Tabla 18 Utilidad 2.

Unidad	Ruta	Costo inicial	Costo modificado	Precio total de venta	Utilidad	Utilidad modificada
TB2	Akron-Lagos	50,382	50,773	53,835	3,453	3,062
TB2	Sgs-Querétaro	103,398	105,897	127,000	23,602	21,103
TB3	Lowin-Cadereyta	85,996	95,279	117,000	31,004	21,721
TB4	Akron-Lagos	50,382	52,166	53,835	3,453	1,669
TB4	Lowin-Salttillo	74,146	81,741	91,000	16,854	9,259
TB5	Sgs-Reyes	116,769	114,816	152,000	35,231	37,184
TB5	Aceimex-Tultitlan	56,851	55,862	65,000	8,149	9,138
TB6	Energéticos-Cadereyta	85,996	93,992	117,000	31,004	23,008
TB8	Sgs-Arandas	111,203	109,441	137,600	26,397	28,159
TB8	Lubral-Tultitlan	56,851	55,902	72,000	15,149	16,098
TB10	Lowin-Chihuahua	80,666	76,902	100,000	19,334	23,098
TB10	Sgs-Hidalgo	119,644	113,278	144,000	24,356	30,722
TB15	Bardahl-Toluca	115,634	110,888	130,000	14,366	19,112
TB15	Akron-Tultitlan	56,851	54,539	63,535	6,684	8,996
TB20	Aceimex-Tultitlan	56,851	55,683	65,000	8,149	9,317

Unidad	Ruta	Costo inicial	Costo modificado	Precio total de venta	Utilidad	Utilidad modificada
TB20	Akron-Tultitlan	56,851	55,683	63,535	6,684	7,852
TB20	Lubral-Tultitlan	56,851	55,683	72,000	15,149	16,317
	Totales	1,335,320	1,338,522	1,624,340	289,020	285,818
	Utilidad				17.79%	17.60%

Tabla 18 Utilidad 2

4.3.1.2 Observaciones sobre utilidad y asignación

En un escenario simple, asignar las entidades a las diferentes rutas, tomando como referencia solo los rendimientos pudiera parecer correcto e incluso rentable, sin embargo, es importante tomar en cuenta los hábitos de conducción de los operadores para determinar qué entidad debe hacer cada ruta.

Dentro de este sistema donde los principales activos son las unidades, un adecuado mantenimiento preventivo es importante, pero no es suficiente. Los hábitos de conducción de los operadores deben pulirse y estar bajo constante observación. Los operadores son la columna vertebral de este mercado; son su principal fuerza y debilidad, una pequeña variación en sus hábitos de conducción puede afectar de manera importante las ganancias de una empresa.

En términos operativos, observar y monitorear los hábitos de conducción, es un área de oportunidad que, en términos administrativos cada empresa puede manejar como mejor le parezca. Un resultado importante en este punto es el valor del impacto que los hábitos de conducción de un operador pueden tener en el combustible y en la utilidad.

4.3.1.3 Margen de utilidad por cliente

Como se mencionó en secciones anteriores de este documento, gran parte de la responsabilidad con respecto a la mala salud del mercado del auto transporte recae sobre los clientes; quienes muchas veces fijan tarifas bajas, orillando al transportista a ofrecer una mala paga al operador y en general, un mal servicio.

Con los datos presentados en este trabajo, se obtuvieron los márgenes de utilidad de los diferentes clientes del catálogo de Transbalco. Si bien, muchas veces los altos costos son consecuencia de las rutas complicadas como puede ser el caso de las rutas a Altamira, Tamaulipas, en otros casos, los costos elevados se deben al alto nivel de competencia; pocos viajes y muchos transportistas tratando de competir por ellos, como es el caso de los viajes al centro y norte del país; esto lo vemos reflejado en clientes como Lowin-Saltillo o Bardahl-Toluca. En estos casos, poco puede hacer el transportista.

También existen casos donde el cliente se aprovecha de la necesidad del transportista y fija tarifas por debajo del 10% de utilidad. Esta situación se deriva de la reputación del cliente y de su marca, orillando al transportista a aceptar tarifas bajas solo por lucir dentro de la cadena de suministro de clientes reconocidos. En la Tabla 19 Margen de utilidad por clientes, se presenta un resumen de los márgenes de utilidad de los clientes de Transbalco.

Cliente	Utilidad
Akron-Lagos	4.39%
Sgs-Querétaro	16.62%
Lowin-Cadereyta	18.56%
Lowin-Salttillo	10.18%
Sgs-Reyes	24.46%
Aceimex-Tultitlán	14.20%
Energéticos-Cadereyta	19.67%
Sgs-Arandas	20.46%
Lubral-Tultitlán	22.51%
Lowin-Chihuahua	23.10%
Sgs-Hidalgo	21.33%
Bardahl-Toluca	14.70%
Akron-Tultitlán	13.26%

Tabla 19 Margen de utilidad por clientes

4.4 TRANSBALCO COMO UN MODELO DE HÍPER GRÁFICAS

Para describir la operación como un sistema de hiper gráficas, se determinaron los vértices y los diferentes subconjuntos del conjunto potencia que definen a las aristas del sistema. Dado el tamaño de la hiper gráfica, para el correcto análisis de las componentes del sistema, la información se condensó en tablas para poder presentar los datos del análisis.

El conjunto de vértices junto con los diferentes rubros que pueden evaluarse en cada tipo de elemento, son plasmados en su totalidad en la Tabla 24 Vértices de la hiper gráfica.

Algunas observaciones respecto a los valores de los vértices son los siguientes:

- El rendimiento de los operadores es el mismo que fue presentado en la sección anterior. Es el promedio histórico de los kilómetros recorridos sobre la cantidad de litros usados, considerando la conducción del operador.
- Los rendimientos de las unidades son los mismos que fueron presentados en la sección anterior, son el promedio histórico de los kilómetros recorridos sobre la cantidad de litros usados.
- Los rendimientos de los trabajadores son el resultado de una evaluación interna basada en KPIs; donde se evalúa al trabajador en cada uno de sus respectivos rubros

con valores 1 o 2, donde 1 representa un mal desempeño y 2 un buen desempeño. Al final, todas las evaluaciones se promedian, obteniendo de esta manera, un valor entre 1 y 2 que fácilmente, puede ser entendido como un rendimiento.

El motivo de elegir de esta manera los límites de la evaluación de desempeño, encuentra su origen en las personas responsables de llevarla a cabo. Se propone de esta forma por simplicidad, pensando en personal no especializado que puede evaluar y entender el desempeño de los trabajadores. Si se propusiera un tercer valor; 1.5 por ejemplo, que represente un desempeño regular, se corre el riesgo de caer constantemente en ese punto, esto es contrario a lo que se busca, en este trabajo se trató de tener contraste en los resultados de las evaluaciones.

- El rendimiento de cada cliente esta dado por la Ecuación 13:

$$IndCliente = \frac{rend + (\%Utilidad + 1)}{2} - ProbDemora$$

Ecuación 13 Rendimiento de cliente

Donde *rend* es el rendimiento de las entidades con esos clientes, *%Utilidad* es el margen porcentual de utilidad con cada cliente y *ProbDemora* es la probabilidad de demora con cada cliente. El indicador se presenta de esta forma para que, de manera similar al resto de los indicadores, tengamos valores lo más similares al rango de los rendimientos.

- Los rendimientos de las diferentes rutas fueron obtenidos a partir del valor Z-Score, descrito en secciones anteriores. Los segmentos dados por el intervalo de los rendimientos; 1 a 2, y el intervalo dado por los valores Z-Score; -2.44 a 3.27, fueron puestos en bisección a razón de 1/16, de tal forma que a la ruta con la puntuación Z-Score más baja se le asigno el rendimiento 1.0625 y a la más alta el valor 2.

El resto de los valores, como costos, número de viajes o facturación, fueron obtenidos a partir de la base de datos histórica.

El detalle de los valores de las diferentes aristas se presenta a continuación.

En la Tabla 20 Arista de operación de las entidades encontramos las E_i aristas que representan a las entidades hombre-camión. En cada una de ellas podemos encontrar diferentes valores de interés para distintas áreas, por ejemplo, el rendimiento, la utilidad o la cantidad de viajes. El indicador final de esta arista está dado por el rendimiento promedio de las entidades y por el promedio de los indicadores de las rutas.

Datos de las aristas			Operación de entidades				
Arista	Operador	Unidad	Rendimiento	Costo	Facturación	Utilidad	Viajes
E2	Fernando Becerril	TB02	1.56	244,501	353,000	108,499	5
E3	Ulises Maya	TB03	1.51	247,905	319,247	71,342	5
E4	Luis Rojas	TB04	1.82	298,700	377,693	78,994	6
E5	José Godínez	TB05	1.44	401,867	515,440	113,573	8
E6	Miguel Celaya	TB06	1.54	50,622	53,835	3,213	1
E8	Samuel Maturano	TB08	1.80	646,395	864,788	218,392	15
E10	Ruben Gómez	TB10	1.93	1,132,208	1,491,695	359,487	25
E15	Fernando Rivera	TB15	1.87	818,185	1,131,819	313,633	19
E20	Miguel Haro	TB20	1.89	612,197	880,475	268,278	13
Indicador Entidades	1.71						
Indicador Rutas	1.53						
Indicador Final	1.62						

Tabla 20 Arista de operación de las entidades

En la Tabla 21 Operación, se detalla el condensado de todos los viajes hechos en el periodo de tiempo antes mencionado. Se presentan los márgenes de utilidad, así como los operadores y unidades activos. El valor final del indicador es el mismo que el del conjunto de las entidades hombre-camión, pues salvo los muchos viajes y operadores que ya no están activos, el valor dado por las entidades es el que representa a la operación al momento del análisis.

Operación	
Operadores	9
Unidades	9
Costo	29,434,213
Facturación	34,690,326
Utilidad	5,256,113
Utilidad %	15.15%
Viajes medidos	608
Rendimiento promedio	1.62

Tabla 21 Operación

En la Tabla 22 Clientes, se detalla la cantidad de clientes activos dentro de la cartera, el rendimiento dado en sus rutas, la utilidad y los viajes hechos para estos clientes. Podemos ver que representan casi la totalidad de la muestra. El valor del indicador final es el promedio de los valores obtenidos a partir de la biyección entre los intervalos de rendimiento y Z-Score.

Cientes	
Cientes	8
Rendimiento	1.61
Costo viajes	28,260,634
Facturación	33,314,171
Utilidad	5,053,537
Viajes	585
Demoras	211
Evaluación Final	1.06

Tabla 22 Clientes

En la Tabla 23 y la Tabla 25, se presentan los principales gastos; estos incluyen compra de material, renta de espacios y sueldos de trabajadores. Se hace énfasis en la diferencia entre los costos teóricos usados para las cotizaciones y los costos reales derivados de la operación. Los indicadores finales fueron obtenidos mediante el uso de KPI de desempeño individual con base en las responsabilidades de cada trabajador. Para esta evaluación se usaron valores 1 o 2, según el desempeño en cada KPI.

Mantenimiento	
Trabajadores	4
Costo nomina	534,886
Costo material (Pagados)	1,460,607
Costo teórico material	1,922,472
Ahorro	461,866
Evaluación Final	1.70

Tabla 23 Mantenimiento

Elemento	Rendimiento	Costo	Facturación	Utilidad	Viajes	Demoras	Z-score
Fernando Becerril	1.68	48,600	615,445		9		
Ulises Maya	1.39	38,850	486,482		8		
Luis Rojas	1.90	86,400	1,208,773		20		
José Godínez	1.30	88,100	1,258,201		21		
Miguel Celaya	1.31	95,250	1,169,103		20		
Samuel Maturano	1.96	109,750	1,419,288		25		
Ruben Gómez	1.99	257,097	2,613,595		48		
Fernando Rivera	1.90	148,865	1,769,319		30		
Miguel Haro	1.89	299,400	3,038,075		56		
TB01	1.45	290,061	2,633,515		41		
TB02	1.45	584,185	5,718,433		101		
TB03	1.63	700,554	4,762,897		88		
TB04	1.74	558,027	5,146,399		87		
TB05	1.58	487,958	4,006,150		73		
TB06	1.77	452,111	3,738,485		67		
TB08	1.63	351,500	3,328,223		60		
TB10	1.86	345,537	3,013,895		53		
TB15	1.84	152,707	1,267,354		22		
TB20	1.88	111,516	1,074,975		16		
A1	1.82	217,580					
A2	1.86	220,000					
A3	1.85	132,000					
A4	2.00	220,000					
M1	1.43	213,686					
M2	1.80	101,200					
M3	1.83	110,000					
M4	1.75	110,000					
Aceimex	0.91	1,886,070	2,474,000	587,930	38	19	
Akron	1.09	4,230,145	5,507,610	1,277,465	96	33	
Bardahl	0.95	13,735,579	15,351,861	1,616,282	243	97	
Energéticos	0.81	201,616	252,000	50,384	7	5	
Lowin	1.04	5,153,815	5,806,300	652,485	129	43	
Lubral	1.35	56,571	72,000	15,429	1	0	
SGS	1.17	1,693,278	2,522,400	829,122	35	10	
Super básicos	1.15	1,303,558	1,328,000	24,442	36	4	
Sgs-Arandas	2.00	183,846	276,000	842,625	4		3.28
Sgs-Hidalgo	1.94	1,164,725	1,740,000	37,486	24		2.44
Super Básicos-Salinas	1.88	161,032	195,000	50,384	5		2.34
Sgs-Reyes	1.81	255,192	379,400	218,004	5		2.18
Lowin-Chihuahua	1.75	262,735	400,000	124,208	4		1.94
Sgs-Querétaro	1.69	89,514	127,000	587,930	2		1.47
Bardahl-Toluca	1.63	13,735,579	15,351,861	842,625	243		0.92
Lowin-Salttillo	1.56	2,853,370	2,928,400	75,030	69		0.54
Akron-Lagos	1.50	3,112,635	3,955,260	434,840	72		0.21
Lowin-Cadereyta	1.44	1,518,896	1,736,900	15,429	45		0.07
Super Básicos-Santa Cat	1.38	333,923	390,000	137,265	10		0.01
Aceimex-Tultitlan	1.31	1,886,070	2,474,000	575,275	38		-0.46
Akron-Tultitlan	1.25	1,117,510	1,552,350	1,616,282	24		-0.56
Lubral-Tultitlan	1.19	56,571	72,000	434,840	1		-1.52
Super Básicos-Hgo. Nue	1.13	33,585	43,000	92,154	1		-2.13
Energéticos-Cadereyta	1.06	201,616	252,000	124,208	7		-2.45

Tabla 24 Vértices de la hiper gráfica

Administración	
Trabajadores	4
Costo nomina	789,580.00
Costo Admin pagado	725,483.10
Costo Admin teórico	2,825,723.64
Ahorro	2,100,241
Evaluación Final	1.88

Tabla 25 Administración

En este punto, podemos usar el isomorfismo de grafos planteado en secciones anteriores, de esta forma se condensa toda la información revisada en cuatro vértices: Operación, Administración, Mantenimiento y Clientes. En este nuevo grafo, las aristas entre los vértices representan el nivel de comunicación que existe entre las diferentes áreas. Para determinar este nivel de comunicación, se consideraron dos criterios, las intersecciones de los subsistemas vistos como aristas y una breve encuesta entre los diferentes trabajadores, quienes con base en sus perspectivas y en el día a día de la operación, determinaron si una relación entre áreas era débil o fuerte.

Los resultados de la encuesta que fue realizada entre julio y octubre de 2020, se plasman en la Tabla 26, Resultados de encuesta de relación. El formato usado para recabar la información puede ser encontrado en el Anexo. Esta encuesta de opción múltiple ofrecía las respuestas “Buena”, “Regular” y “Mala”. Para obtener un valor que representara el nivel de la relación entre áreas, se consideró 0 como “Mala”, 1 como “Regular” y 2 como “Buena”. De esta forma se sumaron los resultados para cada área y se dividieron entre el máximo posible de puntos para obtener un porcentaje.

Operación	Clientes	Admin	Mtto	Operación
Ope1	0	2	2	2
Ope2	0	2	1	2
Ope3	0	2	1	2
Ope4	0	2	0	2
Ope5	1	2	0	2
Ope6	0	2	0	2
Ope7	0	2	1	2
Ope8	0	2	0	2
Ope9	0	2	0	2
Ope10	0	2	0	2
Subtotal	1	20	5	20
Total	5%	100%	25%	100%

Mtto	Clientes	Admin	Mtto	Operación
Mec1	0	0	0	1
Mec2	0	0	0	0
Mec3	0	1	1	1
Mec4	0	1	0	0
Subtotal	0	2	1	2
Total	0%	25%	13%	25%

Admin	Clientes	Admin	Mtto	Operación
Adm1	2	2	0	2
Adm2	2	2	0	2
Adm3	2	2	2	2
Adm4	2	2	1	2
Subtotal	8	8	3	8
Total	100%	100%	38%	100%

Tabla 26 Resultados de encuesta de relación

La Figura 16, Grafo condensado, representa toda la información del modelo de hiper gráficas de una manera más simple.

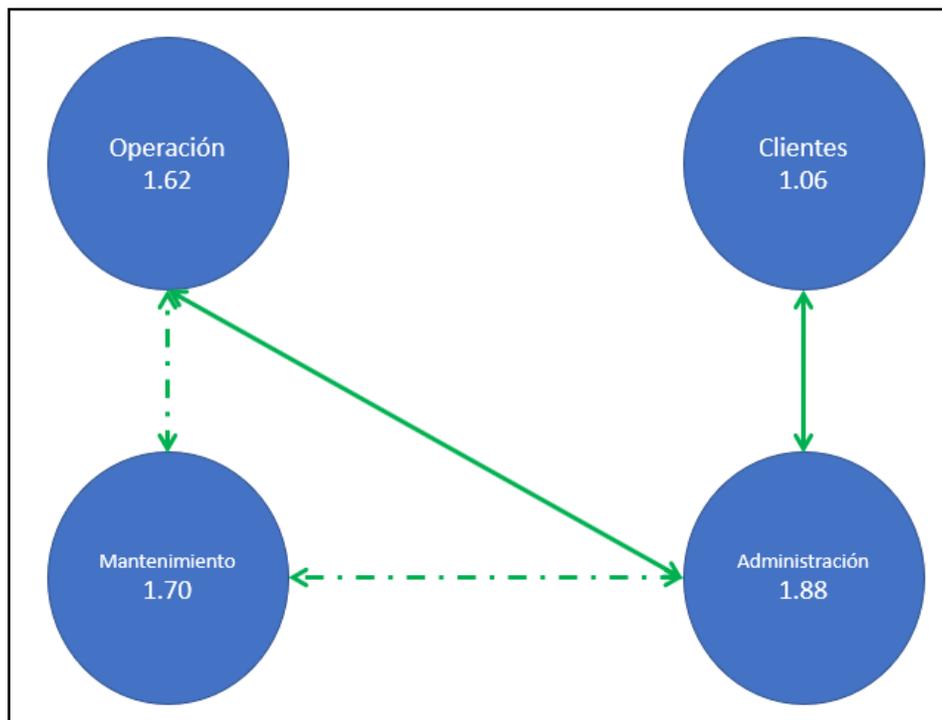


Figura 16 Grafo condensado

En este grafo, las flechas punteadas representan relaciones débiles y las flechas continuas relaciones fuertes. Con la información condensada en un grafo sencillo, el decisor final podrá determinar dónde es necesario realizar acciones que busquen una mejora. En este punto, podemos notar que es necesario fortalecer la cartera de clientes; una meta complicada en un mercado tan castigado, donde el transportista se doblega ante las tarifas y exigencias de los clientes. Finalmente, un valor que represente el desempeño del sistema es el promedio de las evaluaciones de cada área, en este caso, tenemos un valor final de: 1.56, un valor bajo que puede ser mejorado a partir de la cartera de clientes o del rendimiento de la operación.

Desde el punto de vista del transportista, éstas son las entidades que una empresa como Transbalco contempla, pues son las entidades con quienes interactúa, sin embargo, desde la perspectiva del mercado y la cadena de suministro, existe otra entidad involucrada en el traslado de los productos: el punto de carga.

En términos del mercado donde Transbalco trabaja, las terminales juegan un papel importante en los tiempos de carga y la posibilidad de demora de los viajes. El contacto entre la terminal y el transportista es muy escaso, el contacto principal es entre el cliente y la terminal, de esta manera, para obtener información sobre el itinerario de cargas, el transportista debe recurrir al cliente, éste a su vez, puede usar la información a su conveniencia de tal manera que el transportista no conoce el estado real de las cargas, pudiendo estar pagando demoras

innecesarias. Sin duda, en esta triangulación de información, los más perjudicados son los transportistas.

4.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad sobre la híper gráfica se realizó eliminando elementos. Las unidades y en consecuencia los operadores, no pueden ser eliminados pues dicha acción implicaría una reducción de la facturación. Una situación similar ocurre con los clientes; eliminarlos disminuye la demanda a cubrir, como consecuencia se tendría una reducción en los ingresos.

Se continuó con la eliminación gradual de los vértices que representan a los trabajadores. Se retiró un elemento administrativo y uno mecánico. Ambos los de peor desempeño con base en su evaluación de KPIs. La operación continúa en funcionamiento óptimo con estas modificaciones, retirar un elemento más complica la relación con los clientes, con la frontera o bien, prolonga los tiempos de reparación de las unidades. Los cambios obtenidos con esta perturbación se plasman en la Tabla 27 Aristas perturbadas. Los cambios se consideran dentro del horizonte de tiempo ya mencionado.

Rubro	Original	Perturbada	Cambio
Indicador mantenimiento	1.70	1.79	0.09
Indicador administración	1.88	1.90	0.02
Costo nómina mantenimiento	534,886	321,200	- 213,686.00
Costo nómina administración	789,580.00	572,000.00	- 217,580.00
Indicador de sistema	1.56	1.59	0.03

Tabla 27 Aristas perturbadas

Estas modificaciones mejoran el desempeño de las áreas y en consecuencia del sistema. Es posible no dejar las vacantes vacías, una alternativa es optar por contratar personal más capacitado y económico.

De manera similar, se modificó la unidad con el rendimiento más bajo; TB03. Se cambió por una unidad nueva con un rendimiento teórico de 1.90, emulando el remplazo de una unidad vieja. Con esta modificación, se ejecutó nuevamente el programa de asignación de unidades. Los resultados se presentan en la Tabla 27, Asignación modificada.

Operador	Unidad 1er Asignación	1er Rendimiento	Unidad 2da Asignación	2do Rendimiento	Cambio unidad	Cambio rendimiento	Ahorro por cada 100km
Fernando Becerril	20	1.78	20	1.78	No	0.00	-
Ulises Maya	4	1.56	4	1.56	No	0.00	-
Luis Rojas	15	1.87	10	1.88	Si	0.01	5.69
José Godínez	3	1.47	2	1.60	Si	0.13	110.54
Miguel Celaya	6	1.54	6	1.54	No	0.00	-
Samuel Maturano	5	1.77	5	1.77	No	0.00	-
Ruben Gómez	10	1.93	15	1.91	Si	-0.02	10.85
Fernando Rivera	8	1.77	8	1.77	No	0.00	-
Miguel Haro	2	1.67	3 Bis	1.76	Si	0.09	61.24
Totales		1.71		1.73		0.21	166.62

Tabla 28 Asignación modificada

En la Tabla 28 podemos notar que la asignación tuvo algunos cambios, además de que el rendimiento promedio subió de 1.71 a 1.73 y, entidad a entidad, los cambios en los rendimientos representan un ahorro de \$166.62 MXN por cada 100 kilómetros que recorran todas las unidades.

4.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES SOBRE EL CASO DE ESTUDIO

En este caso de estudio, cobra relevancia la necesidad de analizar un gran cúmulo de información para después ser condensada en un grafo que pueda ser comprendido fácilmente. Resalta la importancia de mantener relaciones de comunicación fuertes entre las distintas áreas, y resalta también la necesidad de incorporar nuevas tecnologías que contribuyan a mejorar la comunicación entre los distintos actores del sistema.

La falta de comunicación entre el área de mantenimiento y el resto de las áreas no solo afecta el flujo de información respecto a las necesidades de los operadores, los viajes o las propias unidades, afecta de manera consistente la operación al no ser un engrane que funciona a la par de los demás, por tal motivo se sugiere implementar políticas que aseguren el adecuado funcionamiento del área, así como incentivar una participación más activa dentro de la operación.

Se propone la incorporación de un Ecosistema Logístico Integral donde; los clientes, las terminales de carga y Transbalco puedan compartir información en aras de mejorar su participación en la cadena de suministro. Concretamente, se puede pensar en plataformas virtuales donde se comparta el estatus del producto en todo momento.

De manera similar, la implementación de este tipo de tecnologías puede realizarse de manera interna en la propia empresa. Lograr un Ecosistema Virtual donde las distintas áreas puedan subir y compartir información. De esta manera se puede ahorrar trabajo de escritorio, lograr un ahorro por concepto de nómina administrativa y mejorar la comunicación entre áreas; un punto que demanda atención dentro de esta operación.

Naturalmente, optar por la compra de unidades nuevas que sustituyan a las antiguas traería beneficios considerables; no solo al rendimiento, si no al control del consumo de combustible de los operadores, pues las nuevas unidades poseen una computadora que permite llevar un control preciso sobre el consumo de diésel; esta información es muy valiosa para detectar las malas prácticas de los operadores y poder, según sea el caso, tomar acciones para evitar el perjuicio a la operación.

Desde el enfoque sistémico, la aplicación de las rutinas de primera y segunda etapa, determinaron que, de seguir por esa misma línea, sin considerar la conducción de los operadores o mejorar la cartera de clientes, la operación como negocio no podrá aumentar sus utilidades.

Evaluar las rutas y los clientes con base en su rentabilidad y la probabilidad de demora asociada a cada uno, ayuda a determinar cuando un cliente es adecuado para la operación. Se es consciente de que es complicado elegir dentro de este mercado a los clientes, sin embargo, una conclusión que vale la pena destacar sobre las demás, es puntualizar la participación de los clientes en la mala salud del mercado.

Si bien, el programa de asignación de unidades a operadores no arrojó una mejora, si es necesario puntualizar que es importante considerar dentro de los parámetros de evaluación de los conductores la calidad de su conducción, y monitorearla constantemente. Como se detallará en el siguiente y último capítulo, analizar y cuantificar de manera precisa el comportamiento de los operadores y sus malas prácticas, no es una tarea fácil, es necesario un estudio mucho más amplio, así como una herramienta especializada que pueda interpretar el impredecible factor humano que tanto peso tiene en este sistema.

Realizar una correcta asignación de viajes con base en el rendimiento de las entidades hombre-camión sobre las distintas rutas, puede representar un ahorro que, al menos en este caso de estudio representa unos pocos miles de pesos a la semana, y algunos varios miles de pesos al año. Sin embargo, debe recalcarse que, la mala conducción de los operadores perjudica el rendimiento y en consecuencia puede disminuir las ganancias.

Finalmente, y con base en el análisis de sensibilidad, se sugiere optar por personal más capacitado y potencialmente más barato. De manera similar, se podría sugerir la incorporación de unidades nuevas que sustituyan a las viejas, esto mejoraría las utilidades como consecuencia de conducir con un mejor rendimiento, sin embargo, la salud del mercado puede complicar la ejecución de esta sugerencia.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES GENERALES, LIMITANTES Y TRABAJO FUTURO

Hay oferta, hay demanda, en consecuencia, hay mercado, sin embargo, el mercado del auto transporte de carga de básicos lubricantes está duramente dañado por la mala participación de los clientes de los transportistas quienes, con la intención de sacar adelante su operación, deben reducir sus costos en detrimento de la calidad.

Cada año, surgen nuevas pequeñas empresas de auto transporte de carga, aumentando la oferta sin conocer el daño que le hacen al mercado. Al ser el transporte de carga una actividad tan importante en el país es fácil encontrar un espacio dentro de la oferta del servicio, el único precio es aceptar todas las condiciones que fijan los clientes, incluyendo sus tarifas y sus periodos de pago.

En la búsqueda de reducir sus gastos, las empresas deben innovar con nuevas técnicas de análisis para encontrar sus áreas de oportunidad. Este proyecto, que funcionó a modo de diagnóstico sobre un caso de estudio, puede ser un buen punto de partida para que los propietarios de las flotas se den cuenta del amplio abanico de herramientas que está a su disposición para mejorar su operación. De manera similar y luchando un poco contra las normas y las directrices de trabajo arraigadas en el mercado del auto transporte, cobra valor empezar a pensar en hacer las cosas con fundamento teórico apegado al método científico, y utilizar el conocimiento empírico como un apoyo valioso. Hablamos de herramientas, software, personal y conocimiento que no solo las grandes empresas pueden tener a su alcance.

Una primera gran acción que puede mejorar de manera considerable la salud de un mercado tan golpeado como este es la incorporación de un Ecosistema Logístico Integral donde; aprovechando las nuevas tecnologías, clientes, terminales de carga y transportistas, puedan compartir información con el objetivo de reducir los costos asociados a cada etapa de la cadena de suministro, y cada participante pueda administrar mejor sus tiempos y recursos. Esta idea puede ser representada con el grafo de la Figura 17 , Representación ideal del mercado de auto transporte.

El uso de hiper gráficas para modelar el sistema es una alternativa al enfoque sistémico de esfera política y esfera operativa usado por ejemplo en Sussman (2000), las hiper gráficas tienen la gran ventaja de poder plasmar elementos de diferentes naturalezas y poder operarlos desde un enfoque más duro que el enfoque ya mencionado; es una buena alternativa que permite parametrizar este y otros sistemas, para poder dotarlo de una estructura cuantificable y, por tanto, mejorable.

El manejo de la información a manera de aristas permite analizar y comprender mejor cada componente maximal de la hiper gráfica como un área específica del sistema. La técnica

usada para analizar arista por arista fue útil para identificar un indicador que nos ayude a controlar el desempeño de cada área, esta es una gran ventaja porque esta misma técnica puede ser adaptada a diferentes sistemas que exijan una evaluación de sus componentes y más aún, con la detección de este conjunto de indicadores es posible mejorar el desempeño de cada área.

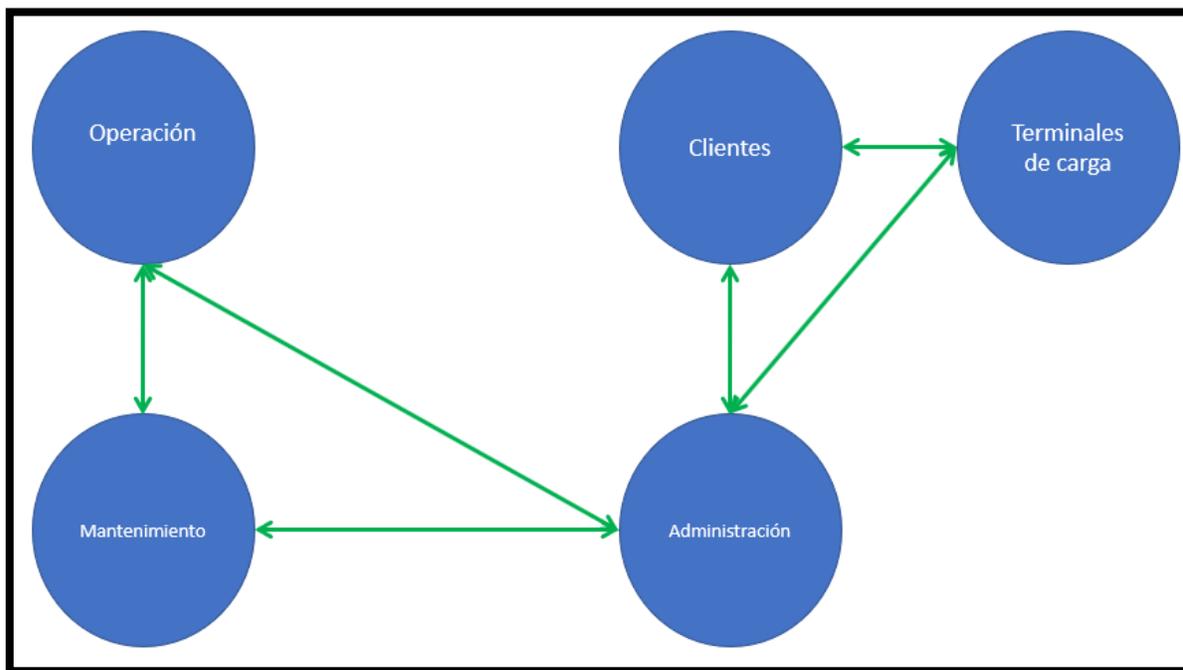


Figura 17 Representación ideal del mercado de auto transporte

Si bien, las hiper gráficas, los programas y las rutinas cumplieron su propósito; analizar y cuantificar el sistema, para poder presentar indicadores que contribuyan a mejorar cada una de las áreas, hay elementos y procesos de la operación que demandan herramientas y estudios más profundos para poder hablar de una mejora importante.

Tal es el caso del comportamiento de los operadores, factor humano que tiene mucho peso dentro de la operación y difícilmente puede ser monitoreado tiempo completo. Si, se tienen plataformas de rendimiento de combustible, cámaras y GPS, sin embargo, pocas cosas tienden a romper todos los límites impuestos como lo es el ingenio humano. Como si de un reto se tratase, los operadores; además de cumplir cabalmente con su trabajo y ser el sustento de este vasto mercado, encuentran formas para engañar a la computadora de los tractocamiones sin siquiera tocarla o saber dónde está. Dentro de las malas prácticas identificadas, está la extracción de diésel en su recorrido del tanque de combustible al motor y, la adulteración con aceite para aumentar el rendimiento del propio diésel.

Este importante factor y la dificultad para controlarlo, parametrizarlo y cuantificarlo de manera satisfactoria fue una limitante dentro de este trabajo. Una consecuencia de ello; en conjunto con la falta de una herramienta más precisa para evaluar el desempeño de las

unidades, fue el no haber obtenido resultados concluyentes durante la ejecución del programa de asignación de unidades y operadores.

Dentro de los trabajos futuros, un rubro importante por atacar es sin duda la necesidad de explorar o desarrollar herramientas y procesos, que contribuyan a evaluar y considerar de manera eficiente dentro de los propios KPI's propuestos en este proyecto, el factor humano derivado del comportamiento y las malas prácticas de los operadores.

Si bien, es posible imponer estrategias de penalización más severas a aquellos operadores que incurran en malas prácticas, se cae en el mismo patrón y se reta nuevamente al ingenio humano a encontrar la forma de ir más allá de las normas impuestas.

Otra área de oportunidad importante es la necesidad de contar con nuevas y mejores formas para conocer y evaluar el desempeño real de los tractocamiones. Esta es una meta que requiere un equipo más basto y especializado; ingenieros automotrices, técnicos, mecánicos, programadores, etcétera. Contar con una herramienta que reporte el estatus real de las unidades puede mejorar considerablemente las utilidades de las empresas transportistas, reduciendo el área gris donde los operadores realizan sus malas prácticas, facilitando la ejecución de los mantenimientos preventivos y naturalmente, mejorando el rendimiento de la flota.

Un trabajo futuro alcanzable es la elaboración e implementación de un Ecosistema Logístico. Primero, a nivel empresa, buscando que la labor administrativa sea menor, y todos los participantes de la operación puedan alimentar una gran base de datos que funcione como punto de partida para, programas de optimización, reporte y toma de decisiones en general. En una etapa posterior, hacer partícipe a un cliente de esta gran base de datos; a través de un usuario podría ser la opción, y eventualmente, con todo el catálogo de usuarios del servicio de transporte.

La meta de esta propuesta es poder incorporar al Ecosistema Logístico a las terminales de carga. Esta es una propuesta que, con el apoyo de un programador y la apertura de las empresas transportistas a las nuevas tecnologías, es fácilmente alcanzable.

BIBLIOGRAFÍA

- Benzécri, J.-P. (1976). *L'Analyse Des Données*. Paris.
- Berge, C. (1973). *Graps And Hypergrpahs*. New York: North Holland.
- Berge, C. (1989). *Hypergraphes: Combinatorics Of Finite Sets*. Amsterdam: North Holland.
- Blat, J., & Moreno, M. (2018). *Mapa De Ruta Nacional De Logística*. México: PROMÉXICO.
- Bosch, M., & Varas, S. (2001). Reemplazo De Equipos En Un Sistema Productivo Complejo. *Revista ingeniería de sistemas, volumen XV numero 1*.
- Bretto, A. (2013). *Hypergraph Theory: An Introduction*. Switzertland: Springer.
- CANACAR. (2019). *Agenda Economica Del Auto Transporte De Carga*. México.
- Choudhury, C. A. (2019). Champs: Cardiac Health Hypergraph Analysis Using Multimodal Physiological Signals. *41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*.
- Daniele, P. (1998). *A Direct Hypergraph Model For Random Time Depennt Shorthes Path*. Italia: Departamento de Física de la Universidad de Camerino.
- Gholam Hasan, S., & Ameneh, M. (2020). Determining The Robustness Of An Interdependent Network With A Hypergraph Model. *Electronic Journal of Graph Theory and Applications* 8 , 113–122, 113-122.
- Gil Agudelo, D. V. (2011). *Indicadores claves de rendimiento (KPI) CUMMINS de los Andes S.a*. Antioquia Caldas: Corporacion Universitaria Lasallista.
- González, G., Rodríguez, ., R., & Viveros, A. (2004). Aproximación Al Reemplazo De Equipo Industrial. *Scientia Et Technica, X(25),163-168*.
- Haus Utz-Uwe, T. F. (12 de Octubre de 2009). *Hyper Graph And Cellular Networks*. Obtenido de National Library Of Medicine: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19478865/>
- Herstein, I. N., & Winter, F. (1988). *Matrix Theory and Linear Algebra*. Macmillan.
- Jiménez Castillo, J., & Jiménez Sánchez, J. E. (2016). *Logística Del Autotransporte: Estrategias de gestión*. Queretaro. Mexico,: SCT. Publicacion tecnica 483.
- Jiménez Sánchez, J. E., & Gonzali Trujillo, A. E. (2019). *Planeación Estratégica Y Logística Del Autotransporte De Carga*. Querétaro. México,: SCT. Publicación técnica 565.
- Junjie Zhu, X. Z. (2019). Emotion Recognition From Physiological Signals Using Multi-Hypergraph Neural Networks. *IWWW International Conference on multimedia and Expo*.

- Márquez Díaz, L. G., & Cantillo Maza, V. M. (2011). Evaluación De Los Parámetros De Las Funciones De Costo En La Red Estratégica De Transporte De Carga Para Colombia. *Ingeniería y desarrollo Volumen 29, n". 2.*
- McKinnon, A. (2017). *Logistics Competencies, Skills, And Training.*
- Morales Rafael, M. Y. (2004). *Métodos Para La Renovación De Vehículos De Autotransporte De Servicio Pesado.* Querétaro, México: Publicación Técnica No. 260.
- Reyes Trejo, R. (2017). *Sueños Sobre Ruedas. Transporte De Carga En México, ¿Problema De Todos?* México: Tesis de grado, Facultad de Ciencias políticas y Sociales.
- Salazar Isaza, H. (2019). *Presentación Del Estudio Para El Diseño De Indicadores De Seguimiento Y Evaluación De La Integración De La Autogeneración Y La Generación Distribuida En El SIN.* Bogotá: Universidad Tecnológica de Pereira.
- SCT. (2017). *Norma Oficial Mexicana Nom-012.* México.
- Srinivasan, A. A. (2017). Finding The Most Reliable Strategy On Stochastic And Time-Dependent Transportation Networks: A Hypergraph Based Formulation. *Networks and Spatial Economics.*
- Sussman Joseph, M. (2017). *The "Clios Proces", A User'S Guide.* Massachusetts: MIT.
- Sussman, J. M. (2000). *Introduction to Transportation Systems, Artech House.* Springer.
- Torres, A. I., & Zimbron, D. A. (2017). Eficiencia del autotransporte de carga mexicano en el marco del comercio internacional: el caso del comercio de México con Canadá y Estados Unidos. *Ciencias Económicas, 27-43.*
- Wenyin Yang, L. M. (2018). Hypergraph Partitioning For Big Data Applications. *IEEE SmartWorld, Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced & Trusted Computing, Scalable Computing & Communications, Cloud & Big Data Computing, Internet of People and Smart City Innovations.*
- Zatarain Sordo, B. (1993). *La Ingeniería Industrial Y El Transporte De Carga En México: Caso Practico De Estudio De Ingeniería De Costos Al Auto Transporte Federela De Carga.* México: Tesis de grado, Facultad de Ingeniería UNAM.

Sistema de evaluación de desempeño

001	Oferta de servicios	Pagos a proveedores	Reporte diario de bienes	Reporte semanal de cobranza	Reporte semanal de pagos	Facturación	Itinerario de viajes	Trazo con clientes	Contratación de traslados									Disponibilidad	Ciudad de trabajo	Final	1,82
	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	Final	1,86
002	Historio de cobros	Historio de pagos	Contrataciones a clientes	Muestreo de probadores	Diferencia de productos Diesel	Diferencias por diferencias	Muestreo de control de viajes	Reporte semanal de rendimientos de Diesel	Estado contable de probadores	Seguros de unidades	GPS y reportes de ubicación	Muestreo de centros de costos						Disponibilidad	Ciudad de trabajo	Final	1,85
	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Final	1,85
003	Muestreo de personal operativo	Muestreo de personal mecánico	Limpeza de unidades	Limpeza de casa en frontera	Conato con punto de carga	Comprobación de pasadores	Comprobación de frenos	Reporte semanal de gastos	Calorero de unidades	Atención a emergencias en frontera	Supervisión de unidades capadas							Disponibilidad	Ciudad de trabajo	Final	2,00
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Final	1,85
004	Evaluación y contratación de activos	Evaluación y compra de activos																Disponibilidad	Ciudad de trabajo	Final	2,00
	2	2																2	Ciudad de trabajo	Final	1,43
005	Mantenimiento preventivo de unidades	Mantenimiento correctivo de unidades	Apoyo en descomposturas en ruta	Compra de activos	Compra de llantas													Disponibilidad	Ciudad de trabajo	Final	1,80
	1	1	1	2	2													1	Ciudad de trabajo	Final	1,80
006	Mantenimiento preventivo de unidades	Mantenimiento correctivo de unidades	Apoyo en descomposturas en ruta															Disponibilidad	Ciudad de trabajo	Final	1,83
	2	2	2															2	Ciudad de trabajo	Final	1,83
007	Mantenimiento preventivo de unidades	Mantenimiento correctivo de unidades	Apoyo en descomposturas en ruta	Compra de activos														Disponibilidad	Ciudad de trabajo	Final	1,75
	2	2	2	2														2	Ciudad de trabajo	Final	1,75
008	Mantenimiento preventivo de unidades	Mantenimiento correctivo de unidades																Disponibilidad	Ciudad de trabajo	Final	1,75
	2	2																1	Ciudad de trabajo	Final	1,75

IBM ILOG CPLEX 32.2.0 rc62c018 Released Aug 26, 2020 WEI x86 64bit/MS Window
*** This solver runs with a demo license. No commercial use.
Cplex 12.10.0.0

Reading data...
Starting Cplex...
Space for names approximately 0.00 Mb
Use option 'names no' to turn use of names off
Version identifier: 12.10.0.0 | 2019-11-26 | 843d4de2ae
CPXPARAM_Advance 0
CPXPARAM_Simplex_Display 2
CPXPARAM_Threads 1
CPXPARAM_Parallel 1
Tried aggregator 1 time.
LP Presolve eliminated 2 rows and 1 columns.
Reduced LP has 17 rows, 81 columns, and 153 nonzeros.
Presolve time = 0.01 sec. (0.09 ticks)
Initializing dual steep norms . . .

Detalle de Reporte de Solución de Programa de Asignación

--- Executing CPLEX (SolveLink=2): elapsed 0:00:00.023

IBM ILOG CPLEX 32.2.0 rc62c018 Released Aug 26, 2020 WEI x86 64bit/MS Window
*** This solver runs with a demo license. No commercial use.
Cplex 12.10.0.0

Reading data...
Starting Cplex...
Space for names approximately 0.00 Mb
Use option 'names no' to turn use of names off
Version identifier: 12.10.0.0 | 2019-11-26 | 843d4de2ae
CPXPARAM_Advance 0
CPXPARAM_Simplex_Display 2
CPXPARAM_Threads 1
CPXPARAM_Parallel 1
Tried aggregator 1 time.
LP Presolve eliminated 1 rows and 1 columns.
Reduced LP has 22 rows, 117 columns, and 234 nonzeros.
Presolve time = 0.00 sec. (0.08 ticks)
Symmetry aggregator did 30 additional substitutions.

Detalle de Reporte de Solución de Programa de Asignación para cubrir al demanda

```

gamside: C:\Users\Dell\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\Dell\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_6.gms]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
[Icons] [a] [Icons]
Untitled_4.gms | Untitled_4.lst | Untitled_6.gms | Untitled_6.lst

Sets
1 unidades / u2, u3 , u4 , u5 , u6 , u8 , u10 , u15 ,u20 /
5 operadores / r1,r2,r3,r4,r5,r6,r7,r8,r9 /

Table
d(i,j)

      r1      r2      r3      r4      r5      r6      r7      r8      r9
u2    1.79    1.64    1.94    1.60    1.61    1.93    1.90    1.90    1.89
u3    1.66    1.51    1.81    1.47    1.47    1.79    1.77    1.76    1.76
u4    1.71    1.56    1.86    1.52    1.53    1.85    1.82    1.82    1.81
u5    1.63    1.48    1.78    1.44    1.45    1.77    1.74    1.74    1.73
u6    1.72     0     1.88     0     1.54     0     1.83    1.83     0
u8    1.66     0     1.81     0     0     0     1.77    1.77     0
u10   1.77     0     1.93     0     0     0     1.88    1.88     0
u15   1.76     0     1.91     0     0     0     1.87    1.87     0
u20   1.78     0     1.93     0     0     0     1.89    1.89     0

Parameters

b(j) demanda con cada cliente
/
r1 1
r2 1
r3 1
r4 1
r5 1
r6 1
r7 1
r8 1
r9 1
/

a(i) oferta de viajes por unidad
/
u2 1
u3 1
u4 1
u5 1
u6 1
u8 1
u10 1
u15 1
u20 1
/

```

53: 1 Modified Insert

Buscar cualquier cosa

[Icons]

```

gamside: C:\Users\Dell\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - [C:\Users\Dell\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_6.gms]
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
[Icons] [a] [Icons]
Untitled_4.gms | Untitled_4.lst | Untitled_6.gms | Untitled_6.lst

/

a(i) oferta de viajes por unidad
/
u2 1
u3 1
u4 1
u5 1
u6 1
u8 1
u10 1
u15 1
u20 1
/

c(i,j) rendimiento de entidad;
c(i,j)= d(i,j);

Variables
x(i,j)
z;
Positive Variable x;

Equations
costo funcion objetivo
oferta(i)
demanda(j):

costo .. z =e= sum((i,j), c(i,j)*x(i,j));
oferta(i) .. sum(j, x(i,j)) =e= a(i);
demanda(j) .. sum(i, x(i,j)) =e= b(j);

Model asignacion /all/;
Solve asignacion using lp maximizing z;
Display x.1;

```

Código de GAMS Rutina de asignación

```

File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
[Icons]
Untitled_4.gms  Untitled_4.lst  Untitled_6.gms  Untitled_6.lst

Sets
i unidades / u2, u3, u4, u5, u6, u8, u10, u15, u20 /
j rutas / r1, r2, r3, r4, r5, r6, r7, r8, r9, r10, r11, r12, r13 /

Table
d(i,j)

      r1      r2      r3      r4      r5      r6      r7      r8      r9      r10     r11     r12     r13
u2    24145    7803    7803    32787    27729    20892    22824    25670    11691    26687    26001    26001    26001
u3    27488    8883    8883    37326    31568    23785    25984    29224    13310    30382    29601    29601    29601
u4    25755    8323    8323    34973    29578    22285    24345    27382    12471    28466    27734    27734    27734
u5    22776    7360    7360    30927    26156    19707    21529    24214    11028    25173    24526    24526    24526
u6    26160    8454    8454    35522    30043    22635    24728    27812    12667    28914    28170    28170    28170
u8    22813    7372    7372    30978    26199    19739    21565    24254    11046    25215    24566    24566    24566
u10   20922    6761    6761    28410    24028    19103    19777    22244    10131    23125    22530    22530    22530
u15   21547    6963    6963    29259    24745    18644    20368    22908    10433    23815    23203    23203    23203
u20   22609    7306    7306    30701    25965    19563    21372    24037    10948    24989    24347    24347    24347

Parameters
b(j) demanda con cada cliente
/
r1  2
r2  3
r3  3
r4  2
r5  2
r6  2
r7  2
r8  2
r9  2
r10 2
r11 2
r12 2
r13 2
/

a(i) oferta de viajes por unidad
/
u2  3
u3  3
u4  3
u5  3
u6  3
u8  3
u10 3
u15 3
u20 3
/

```

```

gamsdir: C:\Users\Dell\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr - (C:\Users\Dell\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_4.gms)
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
[Icons]
Untitled_4.gms  Untitled_4.lst  Untitled_6.gms  Untitled_6.lst

r13 2
/
a(i) oferta de viajes por unidad
/
u2  3
u3  3
u4  3
u5  3
u6  3
u8  3
u10 3
u15 3
u20 3
/

c(i,j) precio por flete;
c(i,j) = d(i,j);

Variables
x(i,j)
z;
Positive Variable x;
Equations
costo funcion objetivo
oferta(i)
demanda(j) ;
.. z =e= sum((i,j), c(i,j)*x(i,j));
oferta(i) .. sum(j, x(i,j)) =g= a(i);
demanda(j) .. sum(i, x(i,j)) =l= b(j);

Model transport /all/;
Solve transport using lp minimizing z;
Display x.l;

```

Código de GAMS Rutina de cobertura de la demanda



Nombre de Trabajador _____

Responda marcando con una X la respuesta que represente mejor su opinión.

1. En su opinión, ¿Cómo es la comunicación con sus compañeros del área administrativa?

Buena

Regular

Mala

2. En su opinión, ¿Cómo es la comunicación con sus compañeros mecánicos?

Buena

Regular

Mala

3. En su opinión, ¿Cómo es la comunicación con sus compañeros operadores?

Buena

Regular

Mala

4. En caso de tener comunicación con los clientes, ¿Cómo considera que es esta comunicación?

Buena

Regular

Mala

Después de responder la encuesta, dejar su hoja en el taller con el jefe de Mecánicos y mandar foto a su grupo de Rendimientos de WhatsApp.