

**MODELOS PARA LA PLANEACION DE TRANSPORTE TERRESTRE EFICIENTE
PARA EL SECTOR DE HIDROCARBUROS**

GIOVANI ALFONSO GARCIA SOLER

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN LOGISTICA INTEGRAL
Bogotá, 2014**

RESUMEN

El presente artículo incluye el estudio cualitativo de los diferentes modelos de transporte eficiente aplicables a las operaciones de las compañías del sector de hidrocarburos en Colombia con sus principales características, ventajas y desventajas, teniendo en cuenta la problemática de la planeación y programación asociados, se analizan los factores de decisión requeridos y su importancia para la aplicación de los modelos y adicionalmente se presenta una manera práctica para el modelamiento según Taha (2004). Existen varios modelos provenientes de la investigación de operaciones y otros modelos basados en ponderaciones y métodos empíricos, en total se analizan ocho modelos de los cuales cuatro son aplicables a la situación planteada: modelo del problema de transporte, modelo multiproducto, los métodos heurísticos y el método simplex para transporte.

ABSTRACT

This article includes a qualitative study of the different models of efficient transport applicable to the operations of companies in the hydrocarbon sector in Colombia with its main features, advantages and disadvantages, taking into account the problems related with the planning and programming, analyzing the required decision factors and their importance for the application of models and additionally present a practical way for modeling according Taha (2004). Today exist many models from operations research and other models based on weights and empirical methods, a total of eight models which analyze, four of them are applicable to the situation: The transport problem model, multi product model and heuristics and simplex method of transport.

INTRODUCCIÓN

De los recursos naturales no renovables el petróleo es reconocido como el recurso energético más importante; este contribuye con un 40%, del total de la energía que el mundo necesita. Marín, S.,(2013), lo que permite comprender la gran dependencia económica que la economía mundial tiene de este mercado, las empresas dedicadas a la extracción y producción de hidrocarburos realizan grandes inversiones en nuevos procesos y tecnologías para mejorar sus procesos de producción en búsqueda de mejores resultados y eficiencias, además del creciente interés de mantener el reconocimiento empresarial, para esto ha enfocado su vista sobre los

procesos considerados como secundarios dentro de sus operaciones como el tema de abastecimiento y transporte que de no ser controlados de manera adecuada pueden generar sobre costos no esperados al precio de extracción por barril de crudo fundamento de la estructura de costos del negocio. Según Liatis, R. & Sanchez, J., (2011) desde que se relacionó el término de logística a las operaciones de transporte se aumentó el interés en la optimización en los procesos.

Según el estudio de demanda y oferta de bienes y servicios del sector de hidrocarburos 2009 - 2020 realizado por la ANDI, Asociación Nacional de Empresarios ANDI, CRU Strategies, (2009) el transporte terrestre ocupa el puesto 15 dentro de las contrataciones críticas del sector de hidrocarburos en nuestro país; las empresas generalmente no manejan directamente sus procesos logísticos de transporte por encontrar un mercado nacional con alta oferta de equipos aunque no con las mejores tarifas para este sector y por considerar esta actividad fuera del corazón del negocio, por lo cual es generalmente tercerizada, solamente buscando el menor costo en las tarifas acompañado con el cumplimiento de estándares y requisitos corporativos, estrategia muy diferente a la encontrada en las mismas por las compañías en otros países que integran sus estrategias globales.

OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL

Proveer de un análisis de los diferentes modelos de transporte eficiente aplicables a las compañías de hidrocarburos en Colombia basados en las variables de decisión más representativas en la actualidad

OBJETIVOS SECUNDARIOS

1. Identificar y enumerar los modelos para la planeación de transporte eficiente y sus relaciones con las variables de decisión
2. Comparar los modelos para la planeación de transporte eficiente envueltos en el análisis y su aplicabilidad para el sector de hidrocarburos
3. Realizar recomendaciones para la aplicación de los diferentes modelos para la planeación de transporte eficiente para las empresas del sector de hidrocarburos en nuestro país

MARCO TEORICO

El área de logística es importante dentro de las estructuras empresariales, en el mercado actual existen muchas empresas no consideran la necesidad de implantar esta área ya sea por que manejan pocos volúmenes o por la falta de conocimiento de parte de la dirección de la importancia de disponer un área que controle, gestione esta área. “La logística controla hasta un 30% de los costes de la empresa.” Pau, Navascués (2001).

Según Brook citado por Ballou, R (2004 p 10) los componentes de un sistema típico de logística son: “servicios al cliente, pronóstico de la demanda, comunicaciones de distribución, control de inventarios, manejo de materiales, procesamiento de pedidos, apoyo de partes de servicio, selección de fábricas y almacenamiento, compras embalaje, manejo de bienes devueltos, eliminación de mercaderías aseguradas rescatadas (desechos) y desperdicios, tráfico y transporte, almacenamiento y provisión”, lo cual nos indica la importancia de conseguir la eficiencia en los procesos logísticos incluyendo los procesos de transporte.

En el tiempo algunas de las variables que afectan el transporte han aumentado, por ejemplo la congestión vehicular y el aumento de la contaminación (Ortúzar, Willumsen, 2008 p25), es por esto que la importancia de la toma de decisiones basados en los conceptos de la investigación de operaciones (generación de modelos) y en la planificación para los sistemas de transporte que día a día se convierten en una herramienta estratégica empresarial para lograr los objetivos, con la mayor utilización de los recursos disponibles y la optimización de los procesos.

Dentro de las actividades clave de del transporte según Ballou, R (2004 p 10) encontramos:

- Selección del modo y servicio del transporte
- Consolidación de flete, costos de transportar
- Rutas del Transportador
- Programación de los vehículos
- Selección de equipos
- Procesamiento de quejas
- Auditorias de tarifas

Adicionalmente para los sistemas de transporte terrestre debemos tener en cuenta la consolidación de la carga, el conocimiento de la demanda, las contrataciones y el relacionamiento y el desarrollo de los proveedores.

INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

En su blog Investigación de Operaciones García A. (2012) realiza una breve explicación del origen de este tema que se remonta a la época de la Segunda Guerra Mundial en donde surgió la necesidad urgente de asignar recursos escasos en el momento a las diferentes operaciones militares de la manera más eficiente. Se llamaron científicos especialistas de diferentes áreas para la búsqueda de soluciones a los problemas. Luego de terminar la guerra, el éxito de la Investigación de Operaciones en las actividades bélicas generó un gran interés en sus aplicaciones fuera del campo militar. Desde la década de 1950, se había introducido el uso de la Investigación de Operaciones en la industria, los negocios y el gobierno, desde entonces, esta disciplina se ha desarrollado con rapidez.

Según Churchman, Ackoff y Arnoff citados por Prawda (2004 p 20) la investigación de operaciones es la aplicación por grupos interdisciplinarios, del método científico a problemas relacionados con el control de las organizaciones o sistemas a fin de que se produzcan soluciones que mejor sirvan a los objetivos de toda la organización.

Según Eppen, G (2000 p 5) el papel de los modelos es diferente entre los niveles de las empresas donde en los niveles más altos aportan información en forma de resultados y conocimientos pero no necesariamente decisiones recomendables; son útiles como instrumentos de planificación estratégica, ayudan a crear pronósticos, explorar alternativas, desarrollar planes para contingencias, acrecentar la flexibilidad y abreviar el tiempo de reacción. En niveles inferiores, los modelos se usan con más frecuencia para obtener sediciones recomendables. A medida que se descende en los niveles de la organización las alternativas y los objetivos pueden volverse más claros, es más fácil especificar cuantitativamente las interacciones y el ambiente futuro lo cual implica menos incertidumbre.

FASES DEL MODELAMIENTO:

Teniendo en cuenta que no existe una manera única para la aplicación de los modelos para la solución de problemas de transporte por ser considerados como únicos por la variabilidad de las alternativas de decisión y las restricciones, a continuación se describirán las principales fases de la investigación de operaciones para modelos según Taha (2004):

- **Definición del Problema:** implica definir el alcance del problema que se investiga, la descripción de alternativas de decisión, la determinación del objetivo del estudio y la especificación de las limitaciones bajo las cuales funciona el modelado.
- **Construcción del Modelo:** es la transformación del problema a relaciones matemáticas para modelos normales para la aplicación de los mismos, si las relaciones son demasiadas complejas se pueden recurrir a los métodos heurísticos o simulaciones que aunque dan como resultado datos aproximados pueden ser útiles para la toma de decisiones.
- **La Solución del Modelo:** es considerada la parte más sencilla de la investigación por que supone el uso de algoritmos bien definidos de optimización, un aspecto importante de esta fase es el análisis de sensibilidad para la obtención de la solución óptima del modelo.
- **La Validación del Modelo:** la validación verifica si el modelo propuesto realiza lo que se busca, que la solución tenga sentido, que los resultados obtenidos sean aceptados, para esto generalmente se comparan los resultados con datos históricos.
- **La Implementación:** esta implica la traducción de los resultados a instrucciones de operación, presentadas de manera comprensible.

FACTORES DE DECISIÓN

Según Campistany, Campos, Robusté, Urarte & Quintana (2002) la agrupación de las variables logísticas utilizadas para la toma de decisiones componen los factores de decisión. Dentro de las variables a analizar para la aplicación de nuestros modelos encontramos:

Estructura de Costos de Transportar

El componente tarifario es vital para la estructura de costos según Samuelson (1977) citado por Castro (2003) las conclusiones sobre la formación de precios del transporte por lo general siguen las siguientes reglas:

- A. Las tarifas de transporte aumentan con el valor unitario de la mercancía transportada;
- B. Las mercancías que presentan una elasticidad mayor de oferta o de demanda tiende a pagar menores tarifas de transporte;
- C. Las estructuras de mercado de la oferta y de la demanda del bien transportado tienen efecto sobre las tarifas de transporte pagadas; y
- D. Las tarifas de transporte, cuanto más próximas de una estructura de mercado de concurrencia perfecta, más se aproximarán los costos marginales de producción.

Según Cantillo, V. (1998) no existe un método único para el cálculo y estimación de costos, esto dependerá de cada empresa, sus estrategias y objetivos.

Conocimiento de Demanda interna

Cascetta, E (2001), considera que los pasajeros y los materiales a trasladar en un área determinada son los que generan la demanda de transporte de dicha área y que debe ser satisfecha por los sistemas de transporte, esta demanda juega un rol importante en el análisis y modelación de los sistemas. El flujo de demanda puede ser definido por el número de viajes requeridos en un lapso de tiempo determinado.

Para García, J., & Maheut, J. (2012) la demanda está compuesta por eventos inciertos, lo que nos muestra que aunque existen métodos para pronosticarla posiblemente logremos acercarnos a los resultados esperados pero nunca seremos exactos, según Becker, S., (2005) se debe conocer el estado actual y el inventario de las necesidades para generar un pronóstico, lo cual es indispensable para la planeación racional de los sistemas de transporte.

Consolidación de carga

Según López, E., Gastón, M (2011) la gestión en la consolidación de carga en las empresas de transporte colabora para el crecimiento sostenible y aumenta la competitividad, esta consiste en integrar dos o más embarques con el propósito de reducir los costos de transporte, se enfoca en agilizar y optimizar la distribución de mercancías y dar un mejor uso a los recursos económicos, logísticos y humanos. Este concepto es importante para el manejo de la carga en las empresas en el sector de hidrocarburos ya que es una gran oportunidad para aumentar la eficiencia de los procesos de transporte y reducir los costos, generalmente se intenta aplicar el concepto pero este se restringe por la falta de planeación en las áreas usuarias del área de Logística y Transporte, no se conoce cuantos movimientos de transporte terrestre de carga requiere las campañas exploratorias y de desarrollo por ejemplo, los sitios para salvaguardar los materiales no son definidos hasta unos días antes de realizar las operaciones, la planeación se concentra en el área de perforación por ser la de mayor costo desaprovechando oportunidades de ahorro en el transporte .

Contrataciones y Proveedores

Teniendo en cuenta que el transporte de carga contratado por las empresas en la industria petrolera en la mayoría de los casos es una actividad tercerizada o subcontratada, según Soto, B (2011) las empresas recurren a la subcontratación de servicios en busca de reducción de costos, entregar el servicio a manos más especializadas, lograr enfocarse en el centro del negocio, reducir riesgos y liberar trabajo y recursos. Según Liatis, R. & Sanchez, J., (2011) para la contratación no se debe tener en cuenta únicamente el costo del flete sino también el cuidado de las mercancías, cumplimiento de tiempos, compromiso con el medio ambiente etc.

Es muy importante mantener un buen relacionamiento con los proveedores de este servicio; según Corona, J. & Hernández C (2000) el relacionamiento estrecho entre usuario y contratista trae beneficios tales el conocimiento mutuo de las necesidades técnicas, los contratistas evidencian mejor las oportunidades de mejora, se genera un intercambio de conocimiento empresarial y de experiencias en busca de la optimización de recursos y simplificación de actividades lo que conlleva al aumento de la eficiencia empresarial en este aspecto.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para la aplicación de los diferentes modelos debemos conocer las operaciones inherentes al transporte en las empresas de hidrocarburos en Colombia, por ejemplo para una empresa típica de mensajería la logística está compuesta por una serie de servicios de transporte con orígenes y servicios que aseguran el nivel de servicio solicitado con el cumplimiento de requisitos específicos, la utilización de programación de frecuencias, la utilización de vehículos con capacidad estándar y los plazos de entrega predefinidos son partes integrales del sistema y no son considerados como variables y su principal misión es consolidar la carga en sus zonas de influencia, Barcos, Rodríguez, Álvarez (2002) , en cambio para el sector de transporte de carga contratado por el sector de hidrocarburos es algo diferente, cada empresa está encargada de la consolidación de su carga realizada en sus instalaciones según sus necesidades, el área de actuación será según la ubicación de sus bodegas y sus campos de producción y exploración, esto teniendo en cuenta que la ejecución de un pozo exploratorio que dependiendo de los bloques adquiridos pueden estar en zonas de difícil acceso en todo el territorio nacional. Según lo anterior las necesidades de transporte de estas compañías están sujetas a la programación de las operaciones tales como desarrollo de campos de producción, mantenimiento de pozos productores y exploración de nuevos pozos. La integración clara y oportuna de las necesidades otorgarán información para conocer la demanda a corto y largo plazo de las necesidades de transporte como fundamento en la aplicación de los modelos.

MODELOS APLICABLES

Modelo del Problema de Transporte

Según Hillier, F. & Lieberman G., (2010) este modelo se refiere a la distribución de cualquier mercancía y material enviados desde un número de orígenes a otros puntos conocidos como destinos buscando una minimización de los costos total de distribución.

Para Garcia, J., & Maheut, J. (2012) el modelo de transporte tiene como finalidad definir una red de suministro, las cantidades a producir y su destino y los centros de producción teniendo en cuenta las restricciones de recursos y los costos de almacenamiento y transporte.

Según Serra, D., (2002) para el desarrollo de este modelo es necesario inicialmente definir los parámetros y las variables que se necesitan para realizar la formulación, luego definir las restricciones, de esto dependerá la eficiencia de los resultados.

Para Hillier, F. & Lieberman G., (2010) se deben tener en cuenta los siguientes supuestos:

Supuesto de Requerimientos: cada origen debe tener un número definido de materiales a distribuir en los diferentes destinos.

Propiedad de Soluciones Factibles: se tiene soluciones factibles si y sólo si la sumatoria de los bienes en los orígenes es igual a la sumatoria de la demanda en los destinos, cuando este supuesto no es cumplido se puede realizar una modificación al problema incluyendo orígenes o destinos ficticios para equilibrar y cumplir con el supuesto.

Supuesto del costo: el costo de distribuir debe ser igual a la multiplicación del número de unidades a distribuir por el costo de distribución por unidad

Propiedad de soluciones enteras: todas las variables deben ser dadas en valores enteros para que la solución óptima también sea dada en valores enteros

Según lo anterior para este modelo es indispensable conocer las cantidades de materiales en los orígenes suministros, las demandas en los destinos y el costo de distribuir, su objetivo es minimizar el costo total de distribución.

Para Hillier, F. & Lieberman G., (2010) para la formulación de cualquier problema de transporte es necesario generar una tabla con la siguiente información:

Tabla de parámetros del problema de transporte

	Costo por unidad distribuida				Recursos
	Destino				
	1	2	...	<i>n</i>	
1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1n}	s_1
2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2n}	s_2
⋮	⋮
<i>m</i>	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}	s_m
Demanda	d_1	d_2	...	d_n	

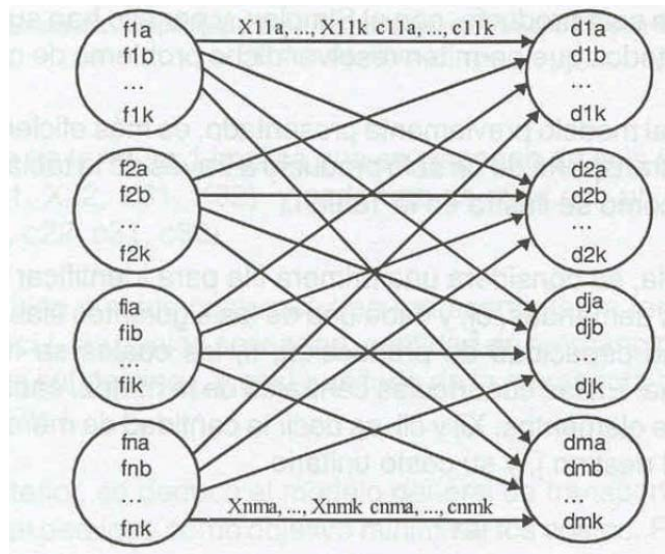
Hillier, F. & Lieberman G., (2010), p 287

Para Hillier, F. & Lieberman G., (2010) todo problema que se ajuste a esta tabla puede considerarse como problema de transporte sin tener en cuenta su contexto físico real, esto le otorga a este método ser uno de los más importantes en la regresión lineal lo cual aplica para el transporte en el sector de hidrocarburos.

Modelo Multiproducto

En la investigación realizada por Hernández, J., García, M., (2003) habla de que en general en la literatura existente se encuentran desarrollos de modelos de transporte únicamente para un solo producto obligando a los interesados en la aplicación a realizar simplificaciones, en esta investigación se intenta hallar un modelo que resuelva el transporte de productos múltiples para casos no especiales y de aplicabilidad en cualquier momento de la cadena y teniendo en cuenta la presencia de diferentes variables y la aplicación de la técnica multiproducto.

Según la figura 1 es el ejemplo utilizado por Hernández, J., García, M., (2003) p 48, para su análisis, en este caso se contempla un sistema de varias fuentes que para el caso de la industria de hidrocarburos pueden ser los espacios de almacenamiento de materiales ubicados en los diferentes campos de producción y de exploración o las bodegas de los proveedores de material y los d son los destinos que pueden ser otros campos, o islas dentro de un mismo campo, y las líneas de flujo muestran las necesidades de transporte programados entre estos (basados en el conocimiento de la demanda interna y los pronósticos de demanda) .



Esquema simplificado para el problema de transporte de múltiples productos. Hernández, J., García, M., (2003) p 48,

El objetivo de este método es minimizar los costos de transporte totales, para esto se deben conocer previamente el costo de transportar y su respectiva estructura así como la aplicación de la consolidación de carga en cada una de las fuentes para aumentar la eficiencia del sistema y determinar las cantidades a transportar y el costo unitario del material.

Este método puede ser resuelto utilizando las formulas del método simplex pero no es eficiente por la generación de una matriz esparcida densa en ceros, para esto se pueden aplicar el método multiatributo con factores multiplicativos aplicado al transporte conocido como el Modelo multiatributo del problema de transporte múltiple.

Modelo multiatributo del problema de transporte múltiple

Según por Hernández, J., García, M., (2003) este método se basa en la aplicación de ponderaciones a cada uno de los atributos, para la construcción de este tipo de modelo es importante tener en cuenta los criterios y las restricciones y asignarle pesos y valores de acuerdo al análisis de la situación, a la definición del problema y los factores de decisión que se quieran evaluar. Se debe tener en cuenta que las sumas totales de los pesos debe ser uno y se debe preestablecerla escala de medida de las variables.

Para Garza, R., & González, C., (2004), este método posee la flexibilidad necesaria para cumplir con las necesidades de los clientes con eficiencia y dentro de los recursos disponibles.

Según Hernandez, J., & Garcia, M., (2006), este modelo es de gran versatilidad y sencillez por lo que su campo de aplicación puede estar más allá del tema del transporte pero esto mismo compone su debilidad ya que no es posible realizar ponderaciones a criterios que pertenezcan a diferentes escalas de influencia dentro de las organizaciones. En la aplicación puede obtener una tabla de la siguiente manera:

Modelo multiatributo para el transporte de múltiples productos Hernández, J., García, M., (2003) p 55.

Criterio	Peso	Atributos	Peso	X _{ij}
Producto	0,23	Peso	0,26	4
		Peso que soporta	0,28	2
		Volumen que ocupa	0,24	4
		Beneficio que genera	0,22	4
Importancia	(f ₁₁)		0,90	
Fuente	0,19	Capacidad global	0,25	3
		Capacidad para producir el producto	0,75	4
Interesante	(f ₂₁)		1,00	
Almacén	0,16	Capacidad global	0,20	4
		Capacidad para el producto	0,80	5
Condiciones	(f ₃₁)		1,00	
Destino	0,27	Demanda para el producto	0,35	5
		Demanda global del cliente	0,10	3
		Importancia global del cliente	0,55	3
No demanda	(f ₄₁)		1,00	
Costo 0,15		De producción	0,30	4
		De almacenaje	0,20	4
		De transporte de i a j	0,50	5
Total	(f ₅₁)		1,00	
No producto	(f ₉₁)		1,00	
Exigencia	(f ₉₂)		1,00	
			Pts =	3,867

Según por Hernández, J., García, M., (2003) p 55 “La solución del problema se tendrá cuando no se tengan variables a asignar, o no existan productos en las fuentes, o cuando todos los destinos tengan satisfechas sus demandas, que en el caso del problema ser balanceado, ocurrirá simultáneamente.”, adicionalmente se obtendrá un puntaje Pts que es el objetivo del método, y una jerarquización de las variables con lo cual es más fácil asignar los materiales a las fuentes según los destinos programados.

Modelo de Asignación

Para Hillier, F. & Lieberman G., (2010) el modelo de asignación es aplicable a sistemas de transporte si se toman los orígenes como los asignados y los destinos son las asignaciones o tareas, para lograr la aplicación para sistemas de transporte es necesario levantar la restricción binaria de asignación de tareas. Este método puede ser resuelto por el Método Simplex o por el Método Húngaro.

Para Hillier, F. & Lieberman G., (2010) el problema de asignación debe cumplir los siguientes supuestos:

- El número de asignados debe ser el mismo número de tareas
- A cada asignado debe adjudicársele solamente una tarea
- Cada tarea debe ser realizada por un solo asignado
- Debe existir un costo relacionado con el asignado que realiza la tarea
- El objetivo es determinar cómo deben realizarse las asignaciones para minimizar los costos totales

Problema de Costo Mínimo

El objetivo principal de este método según Ayil, E., Cauich, R., Moo, A & Urcid, A. (2010) es realizar el transporte de los materiales por la ruta menos costosa.

Este método no es aplicable en la industria de hidrocarburos por que se van a presentar casos que se necesiten mover materiales entre los sitios más apartados o de mayor costo por no tener stock en ninguna de las bodegas más cercanas. Este método se puede resolver utilizando el método simplex.

Métodos Heurísticos

Basados en la heurística que según González, M., Lores, J & Pascual A. (2001) es la búsqueda a la solución a problemas utilizando métodos no rigurosos como el tanteo y las reglas empíricas.

Para Canales, S., (2004) con el desarrollo de los métodos heurísticos se puede producir una solución o no, si se obtiene no quiere decir que sea la más óptima, si es óptima se considera como suerte. Algunos de los métodos heurísticos son los paralelos, los probabilísticos

(compuestos por los numéricos, Monte Carlo, primalidad, de las vegas), los algoritmos voraces o de Greedy, los iterativos y exactos.

Una de sus debilidades según Duran G, (2006) es que con su aplicación no se puede estar seguro de que se encontró la mejor solución.

Método de la Esquina Noroeste

Este método es utilizado para resolver la matriz de transporte; según Sarabia, A., (1996) se asigna las unidades a transportar desde la esquina noroeste de la matriz de transporte desde las bodegas hasta los destinos, este es el método más conocido pero no es aplicable para las necesidades de la industria petrolera ya que no tiene en cuenta las necesidades de transportar unidades a puntos específicos. El objetivo es realizar el transporte más económico posible.

Modelo Simplex Para Solucionar Problemas de Transporte

Este es un método algebraico basado en fundamentos geométricos que hace parte de la programación lineal, se basa en el manejo de fronteras, puntos de intersección y áreas y soluciones factibles, según Hillier, F. & Lieberman G., (2010).

Según lo anterior para este modelo es indispensable conocer las cantidades de materiales en los orígenes suministros, las demandas y los costos unitarios, su objetivo es minimizar el costo total de distribución.

	Destino				Recursos	u_i
	1	2	...	n		
Origen	1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1n}	s_1
	2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2n}	s_2
	i	i
	m	c_{m1}	c_{m2}	...	c_{mn}	s_m
Demanda	d_1	d_2	...	d_n	$Z =$	
v_j						

Información adicional que se agrega en cada celda:

Si x_{ij} es una variable básica

Si x_{ij} es una variable no básica

c_{ij}	c_{ij}
x_{ij}	$c_{ij} - u_i - v_j$

Formato de la tabla simplex de transporte. Hillier, F. & Lieberman G., (2010), p 298

Para la obtención de la solución pueden utilizarse varias alternativas, existe una general pero pueden utilizarse otras como la esquina noroeste, el método de aproximación de Vogel según Balakrishnan, N., (1990) considerado el método más común usado para solucionar este problema, el método de aproximación de Russel que se considera el más fácil para la aplicación en computadora Russel, E (1969)

Seguidamente se realiza una prueba de optimalidad donde se evalúa si la solución obtenida es óptima, si no lo es indispensable realizar una iteración para realizar la identificación de una nueva solución hasta que los coeficientes del origen sean cero según García Cabañes, J., Fdez. Martínez, L. y Tejera del Pozo (1990)

Método Húngaro

Según Lozano J, (2010) el método o algoritmo húngaro ofrece otra solución basado en la asignación de la mayor cantidad al sitio más cercano según la matriz desarrollada la matriz, este entrega otro resultado de los costos totales; teniendo en cuenta lo anterior no es conveniente la aplicación de este método debido a que las cargas a movilizar en el sector de hidrocarburos no siempre son transportadas a los sitios más cercanos, estas son transportadas según las necesidades operativas.

Según Leyva, H, Carrillo F & Díaz J (2005) el desarrollo Método Húngaro consta de tres pasos y se puede encontrar una solución óptima en el paso número dos, si no es así se deberán aplicar algunos algoritmos auxiliares como la bipartita asociada, acoplamiento auxiliar y acoplamiento máximo.

METODOLOGIA Y MATERIALES

Este estudio no pretende enseñar cómo aplicar cada uno de los modelos analizados si no presentar un análisis descriptivo y cualitativo de su posible aplicación en el transporte del sector de hidrocarburos. Según Taylor S., & Bogdam, R., (1987) el método de investigación cualitativa es inductiva, donde se desarrollan conceptos, las comprensiones surgen de los datos mas no de su recolección, es considerada como flexible y con una visión holística de los temas y nos permite estar junto al mundo empírico.

Teniendo en cuenta que los análisis y los modelamientos de los problemas de transporte buscan soportar de una manera teórica la toma de decisiones para la solución de problemas y el aumento en la eficiencia de procesos, se encontró una rama de la matemática llamada la investigación de operaciones como área encargada de la investigación y desarrollo de este tipo de situaciones, esta viene evolucionando desde la segunda guerra mundial.

Respecto a este punto se encontró que los autores más citados en los diferentes libros y documentos consultados referentes a la investigación de operaciones son Prawda, J., (Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones); Taha, H., (Investigación de Operaciones), Hillier, F., & Lieberman, G, (Introducción a la Investigación de Operaciones) y Ortúzar, J.; Willumsen, L., (Modelos de Transporte) todos incluidos en la referencia bibliográfica de este documento, los cuales suministran fundamentos teóricos y prácticos importantes.

Adicionalmente es importante verificar la existencia de otros modelos fuera de la investigación de operaciones para nuestro caso se encontraron el modelo multiproducto basado en el análisis cualitativo y los métodos heurísticos basados en métodos empíricos y de tanteo.

Otro punto importante en la metodología fue distinguir las necesidades preliminares o los factores de decisión para la aplicación de cada uno de los modelos, se encontró que estos requieren generalmente el número de unidades en los orígenes y las demandas en los destinos y los costos totales de transportar o distribuir.

Una vez identificados todos los aspectos anteriores se generó una matriz comparativa entre los modelos para mejorar la comprensión del tema y ayudar a la identificación de los aspectos importantes tal como los requisitos de cada uno de los modelos su uso y sus restricciones.

Por ultimo basados en el análisis realizado se generaron las respectivas conclusiones y recomendaciones.

Resumen de la metodología utilizada:

1. Información suministrada por la Investigación de Operaciones
2. Identificación de los factores de decisión requeridos para el análisis de los modelos y los considerados importantes en la región.
3. Análisis de los diferentes modelos propuestos., aplicabilidad de cada modelo según necesidades en el sector requerido basados en la descripción del problema y los factores de decisión.
4. Análisis de otros modelos que puedan obtener resultados aparte de la Investigación de Operaciones
5. Creación de la matriz de comparación de los modelos
6. Generación de resultados, análisis y conclusiones

Dentro de los temas puntuales analizados encontramos los criterios de decisión, estructura de costos, demanda interna, consolidación de carga y contrataciones y proveedores, sin tener en cuenta los conceptos de logística.

Las palabras clave:

- Transporte
- Investigación de operaciones
- Modelos de transporte eficiente
- Modelos de transporte
- Demanda
- Métodos heurísticos
- Método simplex
- Método húngaro
- Método de asignación
- Administración de operaciones

En conclusión el criterio de clasificación de la información estuvo dado por las áreas de conocimiento que han estudiado el desarrollo de los problemas de transporte y han sugerido diferentes métodos para la obtención de resultados como apoyo en la toma de decisiones.

RESULTADOS

Dentro de la investigación se encontró que los modelos de transporte más reconocidos en la literatura analizada son el Problema de Transporte, el Modelo Multiproducto, el Modelo de

Asignación, el Problema de Flujo Mínimo y los Métodos Heurísticos, adicionalmente se encontraron tres métodos, el Simplex, el de la esquina Noroeste, el método de Costo Mínimo y el Húngaro que colaboran para la solución de las matrices de transporte provenientes del análisis de las necesidades.

A continuación se observa la matriz de comparación de los diferentes modelos donde se pueden apreciar sus requisitos básicos sus usos y restricciones más importantes:

#	Modelo	Requisitos	Desarrollo basado en	Uso	Restricción	Aplica
1	Modelo del Problema de Transporte	No de unidades en los	Regresión Lineal	Minimiza costos totales de transporte	No aplica para modelos donde se tengan destinos intermedios, para su desarrollo debe cumplir supuestos	X
		Demandas en los destinos				
		Costo de distribuir				
2	Modelo Multiproducto	Identificación de Factores de decisión a evaluar y su importancia	Análisis cualitativo por ponderaciones	Obtener la utilidad de alternativas a través de los atributos valiosos, que deben ser evaluados como componentes de los criterios	Densidad de información, desarrollo por Modelo Simplex no aplicable Atributos en diferentes escalas	X
3	Modelo de Asignación en Transporte	No de unidades en los orígenes	Regresión Lineal	El objetivo es determinar como deben realizarse las asignaciones para minimizar los costos totales	El número de asignados debe ser el mismo número de tareas. A cada asignado debe adjudicarse solamente una tarea. Cada tarea debe ser realizada por un solo asignado. Debe existir un costo relacionado con el asignado que realiza la tarea	
		Demandas en los destinos				
		Costo de distribuir				
4	Problema de Costo Mínimo	No de unidades en los orígenes	Flujos de Redes	Aplica para modelos donde se tengan destinos intermedios	Capacidades limitadas, el número de bodegas debe ser el mismo que el de destinos	
		Demandas en los destinos				
		Costo de distribuir				
5	Métodos Heurísticos	Información del problema	Tanteo, métodos empíricos	Solución de problemas que los demás métodos generalmente no pueden solucionar	Por lo general no se obtienen resultados óptimos	X
6	Método Simplex	No de unidades en los orígenes	Regresión Lineal	Resuelve versiones grandes de problemas de transporte utilizando la iteración, usa la simplificación de un algoritmo para aprovechar la estructura especial del problema que se tiene que resolver	Generalmente se deben estandarizar las restricciones ya que trabaja únicamente con restricciones menor o igual	X
		Demandas en los destinos				
		Costo de distribuir				
7	Método de la Esquina Noroeste	No de unidades en los	Análisis Numéricos	Desarrollo de problemas de transporte	Inicia la asignación de unidades desde la esquina noroeste de la matriz no contempla las necesidades multidestino	
		Demandas en los destinos				
		Costo de distribuir				
8	Método Húngaro	No de unidades en los	Fundamentos Matemáticos	Para resolver de manera muy eficiente sólo problemas de asignación.	Se basa en la asignación de la mercancía a transportar inicialmente a los sitios más cercanos, no aplicable al sector hidrocarburos	
		Demandas en los destinos				
		Costo de distribuir				

Dentro de los resultados también encontramos que no siempre el resultado de aplicar los modelos será el más óptimo, puede variar en la aplicación en cada uno de los modelos, su selección dependerá de las necesidades de las áreas de transporte y de los requisitos de las estrategias empresariales.

ANALISIS

Se estudiaron ocho modelos para la programación del transporte eficiente de posible aplicación al sector de hidrocarburos en Colombia de los cuales cuatro aplican para el desarrollo de problemas de transporte multiproducto y multidespacho; el modelo del problema de transporte aplica pero no cuando existen despachos intermedios, buscando el menor costo de transportar; el modelo multiproducto nos presenta otra óptica para la solución de estos problemas realizando un análisis cualitativo al darle valor a los atributos relacionados, los resultados estarán sujetos a las ponderaciones dadas, se puede enfocar a los factores relevantes como costos, demandas y unidades a transportar., este método aplica.

El modelo de asignación depende de la manera como se asignan las unidades a transportar, este es útil cuando tenemos una bodega única que alimenta de materiales donde se presentan las necesidades basándose en los costos de transportar, es aplicable en estas situaciones específicamente y no para el problema de la industria de hidrocarburos expuesto; otro modelo que no aplica es el problema de costo mínimo ya que para su desarrollo el número de bodegas debe ser el mismo número de despachos lo cual no sucede en la realidad, en cambio los métodos heurísticos proporcionan diferentes soluciones basados en tanteos y métodos empíricos, el inconveniente de los resultados obtenidos es que generalmente no son óptimos con lo que se debe tener bastante cuidado, la aplicación de estos métodos es viable bajo las restricciones comentadas.

El método simplex también es aplicable para solucionar el problema expuesto, y aunque posee una solución general pueden aplicarse varios algoritmos como el de Vogel o el de Russel para obtener diferentes resultados lo cual aumenta la versatilidad..

El Método Húngaro no puede ser aplicado para el aumento de la eficiencia de los sistemas de transporte de la industria petrolera debido a su restricción de transportar la mayor cantidad de carga a los sitios más cercanos contrario a las necesidades operativas al igual el de la esquina noroeste por distribuir las unidades a transportar a los despachos desde la esquina noroeste de la matriz.

CONCLUSIONES

1. Los modelos de transporte más reconocidos en la literatura revisada son los revisados en el análisis anterior.
2. Para obtener los resultados esperados utilizando cualquier de los métodos descritos lo más importante es realizar una adecuada descripción del problema y una identificación completa de las restricciones asociadas.
3. Las soluciones para problemas de transporte de multiproductos son muy complejas, la identificación de las variables y las expectativas de los resultados de cada sistema son de suma importancia para definir el método a utilizar.
4. Los modelos de transporte utilizados en el sector de hidrocarburos no son diferentes a los utilizados en otras industrias, se tratan de modelos de múltiples fuentes con múltiples destinos, para Colombia el tema se simplifica debido a la falta de infraestructura de transporte multimodal del país.
5. El problema de la eficiencia de transporte no tiene una única solución, los modelos analizados proveen soluciones desde diferentes temas y ciencias, algunos están basados en la regresión lineal, otros en fundamentos matemáticos, otros en ponderaciones y hasta en métodos empíricos, esto para dar diferentes opciones de solución y poder elegir la más óptima o la que más genere valor frente a las necesidades.
6. Se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos de los modelos aplicables nos enseñan cual es la mejor manera de realizar la programación del transporte y sus costos asociados.

Recomendaciones para la aplicación de los modelos

- Realizar y mantener el control el costo de transportar, mantener una base de datos de tarifas actualizada ayudará a las empresas a tomar mejores decisiones en el momento de contratar el servicio de transporte, el manejo de datos históricos también es importante para este punto.
- Estandarizar dentro de las compañías las políticas para la planeación del transporte (necesidades básicas por pozos exploratorios y desarrollo), que voy a necesitar y cuando

como soporte para los pronósticos de demanda de servicios de carga y la consolidación de carga.

- Realizar la gestión frente a la consolidación de la carga a transportar siempre aplicar este enfoque en las operaciones, esto ayudará a disminuir los costos de transportar anticipadamente.
- Realizar la gestión de contratación con las tarifas más competitivas posibles y mantener buen relacionamiento con los proveedores de este servicio para generar interrelaciones que generen beneficios para ambas partes desde lo económico, lo técnico y lo operativo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) Marín, S.,(2013, 13 de febrero) La Influencia Del Petróleo En La Economía Mundial (Web Log Post) Recuperado de <http://petroleosmq.blogspot.com/>
- 2) Asociación Nacional de Empresarios ANDI, CRU Strategies, 2009, Bogotá Colombia, Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH, Estudio De Demanda Y Oferta De Bienes Y Servicios Del Sector De Hidrocarburos 2009 – 2020, recuperado <http://portugalcolombia.com/media/hidrocarburos-2010.pdf>, Página 17
- 3) Pau, J., & De Navascues, R. 2001. Manual de Logística Integral, Recuperado de http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dxTImJ4ipCMC&oi=fnd&pg=PR21&dq=red+logistica+empresas&ots=5ndLXfaCdR&sig=HH_j7r2xNEBxk4OoHhsEMqEXexM#v=onepage&q=red%20logistica%20empresas&f=false
- 4) Ortúzar, J.; Willumsen, L., 2008. Modelos de Transporte. Recuperado de <http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=T5ghp12eCGQC&oi=fnd&pg=PA15&dq=modelos+de+transporte+eficiente+de+carga&ots=GOCnLqGFCH&sig=tC683LY9YXxFWTrfONACHAhYxaI#v=onepage&q=modelos%20de%20transporte%20eficiente%20de%20carga&f=false>
- 5) Barcos, L., Rodríguez, V., & Álvarez, J. (2002) Algoritmo basado en la optimización mediante colonias de hormigas para la resolución del problema del transporte de carga desde varios orígenes a varios destinos. Presentado en V Congreso de Ingeniería del Transporte Modelos de Transporte. Santander. Recuperado de <http://www-cenit.upc.es/robuste/papers/colonia%20hormigas.pdf>
- 6) Ballou, R. (2004) Logística. Administración de la cadena de Suministro. Recuperado de <http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ii5xqLQ5VLgC&oi=fnd&pg=PA1&dq=logistica&ots=u17CplKkch&sig=hKGd0WMiCPPmQCu8G57yGz1yvmE#v=onepage&q=logistica&f=false>

- 7) Campistany, S., Campos J., Robusté, F., Urarte, J., & Quintana, E. (2002). Competitividad logística de La Rioja: Modelo para la determinación del nivel de implantación de la logística en sectores industriales y viabilidad de un centro de transporte. Presentado en V Congreso de Ingeniería del Transporte Modelos de Transporte. Santander. Recuperado de <http://www.cenit.upc.es/robuste/papers/compet%20rioja.pdf>
- 8) Castro, N. (2003). Formação de preços no transporte de carga. Recuperado de <http://ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/article/viewFile/89/64>
- 9) Prawda, J., (2004). Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones. Recuperado de http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=HnT_F3MCST4C&oi=fnd&pg=PA19&dq=investigacion+de+operaciones&ots=dC4a75iy_D&sig=4Nb5JG9HOAGsvajYR6UKkW CeD54#v=onepage&q=investigacion%20de%20operaciones&f=false
- 10) Taha, H., (2004). Investigación de Operaciones. Recuperado de http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3oHztjMSuL8C&oi=fnd&pg=PR15&dq=investigacion+de+operaciones&ots=nLHG0b0WCK&sig=8v_3t91TECdKVpnjxs_gVhJWec#v=onepage&q=investigacion%20de%20operaciones&f=false
- 11) Eppen, G. Investigación de operaciones en la ciencia administrativa. Recuperado de <http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=DWvtFYqh0YC&oi=fnd&pg=PR21&dq=investigacion+de+operaciones&ots=VjpkVRfbb6&sig=62SMuvc4EpHfVAHUKRLVcgy ml4#v=onepage&q=investigacion%20de%20operaciones&f=false>
- 12) García A. (2012, 18 de octubre). Investigación de operaciones. Recuperado de <http://garciaescalona1.blogspot.com/2012/10/origen-de-la-investigacion-de.html>
- 13) Cantillo, V. (1998). Modelo para el cálculo de la tarifa en equipos de transporte. Recuperado de <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2208/1430>
- 14) Cascetta, E., (2001). Transportation Systems Engineering: Theory and Methods. Recuperado de http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=LPNDwgamn08C&oi=fnd&pg=PR13&dq=Transportation+Systems+Engineering:+Theory+and+Methods&ots=ChQB_KKJ7G&sig=weGqrdfxTtBLxhkmWSrxo0yWbXo#v=onepage&q=Transportation%20Systems%20Engineering%3A%20Theory%20and%20Methods&f=false
- 15) Lopez, E., Gastón, M., (2011, 12 de septiembre). Consolidación de carga: palanca para la competitividad. Revista Énfasis. Recuperado de <http://www.logisticamx.enfasis.com/notas/20373-consolidacion-carga-palanca-la-competitividad>

- 16) Hernández, J., García, M., (2003). Modelo de solución al problema de transporte de múltiples productos con multiatributo. Recuperado de dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4003827.pdf
- 17) Hillier, F., & Lieberman, G., (2010). Introducción a la Investigación de Operaciones. Recuperado de <https://www.dropbox.com/s/xtlNulxtayqh2si/Introduccion%20a%20la%20investigacion%20de%20opera%20-%20Frederick%20S.%20Hillier.pdf>
- 18) Balakrishnan, N., (1990) Modified Vogel's Aproximation Method for the Unbalanced Transportation Problem. Recuperado de http://ac.els-cdn.com/089396599090003T/1s2.0-089396599090003T-main.pdf?_tid=65143362-b362-11e380ef00000aab0f27&acdnat=1395672273_537a055e960e14d16e3385c1b52f75f3
- 19) Russell, E., (1969). "Extension of Dantzig's Algorithm to Finding an Initial Near-Optimal Basis for the Transportation Problem", en Operations Research, 17: 187-191.
- 20) García Cabañes, J., Fdez. Martínez, L. y Tejera del Pozo (1990). Técnicas de investigación operativa". Tomo II. Ed. Paraninfo. Madrid
- 21) Serra, D., (2002). Metodos Cuantitativos para la Toma de Desiciones. Recuperado de <http://exa2.unne.edu.ar/informatica/evalua/Sitio%20Oficial%20ESPD-Temas%20Adicionales/metodos%20cuatitativo.pdf>
- 22) Garcia, J., & Maheut, J. (2012) Modelos y Métodos de Investigación de Operaciones. Procedimientos para Pensar. Recuperado de <http://personales.upv.es/jpgarcia/LinkedDocuments/modeladomatematico.pdf>
- 23) Duran G., (2006). Investigación de operaciones, Modelos Matemáticos y Optimización. Recuperado de http://mate.dm.uba.ar/~gduran/docs/charlas/junaeb_willy_8.pdf
- 24) Taylor S., & Bogdam, R., (1987) Introducción a los métodos cualitativos de investigación. Recuperado de <http://201.147.150.252:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1216/bogdan1988.pdf?sequence=1>
- 25) Garza, R., & Gonzalez, C., (2004), Meroute: Un Método Multiatributo Para El Ruteo De Vehículos. REVISTA INVESTIGACIÓN OPERACIONAL Vol. 25, No. 3, Recuperado de <http://revistas.mes.edu.cu/greenstone/collect/repo/archives/D0257430/6253270.dir/02574306253270.pdf>
- 26) Hernandez, J., & Garcia, M., (2006), Conceptos: Los factores Multiplicativos en los Modelos Multiatributos. Recuperado de [Dialnet-ConceptosKos FactoresMultiplicativosEnLosModelosMul-3996741-1.pdf](http://dialnet-conceptoskos.com/FactoresMultiplicativosEnLosModelosMul-3996741-1.pdf)

- 27) Becker, S., (2005), Efeitos da Dependencia Espacial Em Modelos de Previsao de Demanda por Transporte. Recuperado de <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-12042005-111306/en.php>
- 28) Corona, J. & Hernández C, (2000) Relación Proveedor-usuario y Flujos de Información Tecnológica en la Industria Mexicana. Recuperado de <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/44/1/coro0900.pdf>
- 29) Soto, B., (2011, 10 de junio). ¿Por qué las empresas recurren a la subcontratación?. Revista Empresarial Gestion.Org. Recuperado de <http://www.gestion.org/recursos-humanos/3751/por-que-las-empresas-recurren-a-la-subcontratacion/>
- 30) Lozano J., (2010). Comparación de Métodos de Distribución en Planta para Centros de Trabajo. Aplicado en Empresa del Sector Metalmeccánico. Recuperado de http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TI_ST_113_742_17155.pdf
- 31) Leyva, H, Carrillo F & Diaz J., (2005). Memorias De La Xv Semana Regional De Investigación Y Docencia En Matemáticas. Recuperado de <http://semana.mat.uson.mx/MemoriasXVII/Archivos/XV/MemoriasXV.pdf#page=69>
- 32) Canales, S., (2004) Métodos Heurísticos en Problemas Geométricos Visibilidad, Iluminación y Vigilancia. (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid).
- 33) González, M., Lores, J & Pascual A. (2001). Evaluación heurística. Introducción a la Interacción Persona-Ordenador. AIPO: Asociación Interacción Persona-Ordenador.
- 34) Sarabi, A., (1996). La Investigación Operativa. Recuperado de http://books.google.com.co/books?id=sA1dSQko3PAC&printsec=frontcover&hl=es&vq=%22Investigaci%C3%B3n+operativa%22&source=gbs_citations_module_r&cad=3#v=onepage&q=%22Investigaci%C3%B3n%20operativa%22&f=false
- 35) Ayil, E., Cauich, R., Moo, A & Urcid, A., (2010). Investigación De Operaciones II. Recuperado de <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r66942.PDF>
- 36) Liatis, R. & Sanchez, J., (2011, 01 de Octubre) Transporte carretero de cargas. Situación actual y agenda pública necesaria. Revista Voces en el Fenix. Recuperado de <http://www.vocesenelfenix.com/content/transporte-carretero-de-cargas-situaci%C3%B3n-actual-y-agenda-p%C3%BAblica-necesaria>