

**Universidad de Holguín**  
**“Oscar Lucero Moya”**  
**Facultad de Informática y Matemática**

**Propuesta de un algoritmo para optimizar la gestión  
de transporte de productos de la canasta básica**

**Tesis en opción al título de Máster en  
Matemática Aplicada e Informática para la Administración**

**Autor:** Ing. Yamina Aldana Romero  
**Tutor:** Dr. C. Luis Orlando Castellanos Pérez

**Holguín, Cuba**

**Abril, 2012**

## Resumen

La gestión de transporte de productos de la canasta básica, en tiempo y con la calidad requerida, es una de las tareas priorizadas por los gobiernos provinciales en la satisfacción de las necesidades de la población. Esta actividad no está exenta de insatisfacciones provocadas por el incumplimiento de los planes de transportación. En esto incide la ausencia de métodos de planificación ágiles y certeros que contribuyan a la integración de variables y parámetros definitorios en la gestión de transporte. La planificación, generalmente diaria, se hace compleja cuando los volúmenes de productos a transportar alcanzan niveles aproximados de 600 toneladas al día.

El objetivo de la presente investigación es diseñar un algoritmo, basado en modelos matemáticos, que soporte el flujo de información y parámetros asociados a la gestión de transporte de productos de la canasta básica desde varios orígenes hacia diferentes destinos para obtener, como resultado, propuestas de planes de viajes que ayuden a los gobiernos provinciales en la toma de decisiones.

El algoritmo propuesto utiliza el modelo de transporte de la programación lineal en la determinación de las rutas de distribución, y el caso especial de este modelo en la asignación de los medios de transporte a las rutas. Este algoritmo, organizado en pasos secuenciales, evalúa las restricciones que acompañan la problemática referida. Su implementación en un sistema informático permitió obtener los casos de pruebas analizados en la presente investigación.

## **Abstract**

The administration of transport of products of the basic basket, in time and with the required quality, it is one of the tasks prioritized by the provincial governments in the satisfaction of the population's necessities. This activity is not exempt of dissatisfactions caused by the nonfulfillment of the transportation plans. In this impacts the absence of agile and good methods of planning that contribute to the integration of variables and decisive parameters in the administration of transport. The planning, generally daily, becomes complex when the volumes of products to transport reach approximate levels of 600 tons a day.

The objective of the present investigation is to design an algorithm, based on mathematical models that supports the flow of information and parameters associated to the administration of transport of products of the basic basket from several origins toward different destinations to obtain, as a result, proposals of plans of trips that help the provincial governments in the taking of decisions.

The proposed algorithm uses the pattern of transport of the lineal programming in the determination of the distribution routes and the special case of this model in the assignment from the means of transport to the routes. This algorithm, organized in sequential steps, evaluates the restrictions that accompany the referred problem. Its implementation in a computer system allowed to obtain the cases of tests analyzed in the present investigation.

---

---

## Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1. Fundamentos teóricos acerca de la gestión de transporte de productos .....	8
1.1 Sistema logístico de distribución .....	8
1.2 Gestión de transporte.....	10
1.3 Caracterización de la gestión de transporte de productos de la canasta básica ..	16
1.4 Investigación de operaciones .....	24
1.5 Algoritmos .....	34
1.6 Desarrollo de aplicaciones informáticas.....	39
Conclusiones parciales.....	43
Capítulo 2. Algoritmo para la gestión de transporte de productos de la canasta básica	44
2.1 Descripción de los pasos del algoritmo.....	46
2.3 Algoritmo en pseudocódigo.....	54
2.3 Verificación y análisis del algoritmo para la gestión de transporte de productos de la canasta básica .....	65
2.3.1 Análisis de la complejidad temporal del algoritmo.....	65
2.3.2 Verificación y análisis de resultados del algoritmo .....	67
Conclusiones parciales.....	75
Conclusiones generales .....	76
Recomendaciones .....	77
Bibliografía .....	78
Anexos .....	1
Anexo 1. Inventario de medios de transporte de cargas.....	1
Anexo 2. Demanda de transportación.....	1
Anexo 3. Plan de operaciones por vehículos.....	2
Anexo 4. Plan de transportación de carga automotor.....	2
Anexo 5. Datos para casos de prueba del algoritmo para la gestión de transporte de productos de la canasta básica .....	3
Anexo 5.1 Ofertas y Demandas .....	3
Anexo 5.2 Distancias y tiempos complementarios entre Orígenes y Destinos.....	3
Anexo 5.3 Medios de transporte disponibles. Caso de prueba 1.....	4
Anexo 5.4 Distancias entre las Bases de transporte y los orígenes y destinos.....	5

Anexo 5.5 Tiempos en los orígenes y destinos.....	6
Anexo 5.6 Coeficientes de productos .....	6
Anexo 5.7 Brigadas de trabajo. Caso de prueba 1 .....	6
Anexo 5.8 Otros parámetros a configurar .....	7
Anexo 5.9 Medios de transporte disponibles. Caso de prueba 2.....	7
Anexo 5.10 Brigadas de trabajo. Caso de prueba 2 .....	7
Anexo 6. Resultados para casos de prueba del algoritmo para la gestión de transporte de productos de la canasta básica .....	8
Anexo 6.1. Caso de prueba 1 .....	8
Anexo 6.1.1 Rutas para transportar el producto Arroz Importado 25%Vietnamita	8
Anexo 6.1.2 Plan de viajes del producto Arroz Importado 25% Vietnamita .....	8
Anexo 6.1.3 Transporte después de la Corrida 1 .....	9
Anexo 6.1.4 Rutas a recorrer para el producto Frijol Negro .....	9
Anexo 6.1.5. Plan de viajes del producto Frijol Negro .....	9
Anexo 6.1.6 Transporte después de la Corrida 2 .....	10
Anexo 6.2. Caso de prueba 2.....	10
Anexo 6.2.1 Rutas a recorrer para el producto Arroz Importado 25% Vietnamita	10
Anexo 6.2.2 Plan de viajes del producto Arroz Importado 25% Vietnamita .....	11
Anexo 6.2.3 Transporte después de la Corrida 1 .....	11
Anexo 6.2.4 Rutas a recorrer para el producto Frijol Negro .....	12
Anexo 6.2.5 Plan de viajes del producto Frijol Negro .....	12

## Introducción

En la actualidad, la barrera sobre la información no radica en desconocer la importancia de la implementación de los sistemas de información, sino en cómo hacerlo, e incluso cuando se hace, en no aprovechar las ventajas que evidentemente daría organizar los procesos de manera tal que después puedan responder a los requerimientos de los sistemas organizativos de organismos y empresas. Un sistema de información está constituido por los procedimientos, personas y medios técnicos que permiten capturar, tratar y difundir la información para elevar en las entidades la capacidad de comunicación y la fuerza analítica necesarias para la toma de decisiones<sup>1</sup>.

En Cuba, el transporte ha sido uno de los sectores más descapitalizados durante la crisis económica iniciada en 1990. Entre los factores externos que influyeron en este deterioro se puede mencionar: el impacto del embargo económico por Estados Unidos, y el derrumbe de la Unión Soviética y del campo socialista en Europa del Este. Se sumaron otros factores de orden interno como: deficiencias organizativas, problemas en la actividad contable y financiera, la migración de fuerza de trabajo hacia otros sectores, el envejecimiento de los medios de transporte, la mala preparación del personal y las indisciplinas e ilegalidades, (Millán, 2009).

A partir del año 2009, el Ministerio de Transporte (MITRANS) realiza un proceso de redimensionamiento y reestructuración a partir de estrategias y objetivos perspectivas para todo el ámbito de la economía nacional, apoyado en importantes inversiones monetarias, para lograr una reanimación significativa en el sector y específicamente en la distribución de cargas hacia los medios y sistemas de transporte que resulten más racionales para la economía del país, a partir de su correcta utilización y aprovechamiento de los mismos.

La cadena de suministros cubana, denominada Operación Puerto Transporte Economía Interna (OPTEI), dirigida por el MITRANS y supervisada por el grupo auxiliar de las Fuerzas Armadas Revolucionarias, establece los procedimientos para la transportación de cargas en todo el país. Los gobiernos provinciales tienen entre sus misiones garantizar, en conjunto con varios organismos, la actividad de transportación de cargas

---

<sup>1</sup> MKF: Vanguardia en Gestión de la Información [[http://www.grupomkf.com/outsourcing\\_tic](http://www.grupomkf.com/outsourcing_tic)]

locales e intermunicipales que abarca municipios de las provincias vecinas. Dentro de esta actividad están las transportaciones de productos que forman parte de la denominada Canasta Básica.

Conceptualmente, en su expresión más general, la Canasta Básica de un país está determinada por lo que cada persona debe consumir diariamente, en términos de las cantidades de alimentos que satisfagan las necesidades nutricionales mínimas, vestir y contar con los bienes necesarios para el desarrollo de las actividades de descanso y esparcimiento que requiere el organismo para reproducir sus energías, además de los productos necesarios para su aseo y el de su hogar (Castiñeiras, 2006). En Cuba, se agrupan dentro de Canasta Básica los productos subsidiados y liberados que adquiere la población cubana para satisfacer sus necesidades mínimas de alimentos y de otra índole. La transportación de estos productos es de alta prioridad para cada Consejo de la Administración Provincial (CAP) que planifica, organiza y controla esta actividad.

Las agencias operacionales de ventas y cargas, también llamadas centros de carga y descarga (CCD), son las entidades pertenecientes a la Unión de Ferrocarriles de Cuba, ubicadas en las distintas provincias del país. En estas agencias se realizan los trasbordos de las mercancías recibidas en casillas ferroviarias, camiones, planchas portacontenedores y otros hacia medios de transporte automotores que trasladan los productos a sus destinos finales. Se hace necesario el trasbordo, pues las líneas ferroviarias no pueden llegar hasta donde llegan las carreteras.

A los CCD llegan casillas desde los puertos y otros puntos emisores, como centrales azucareros. La esencia del trabajo de los centros de carga es que todo lo que llega debe salir para mantener una estadía mínima de las mercancías. Evitar posibles plagamientos que afectan la calidad y la satisfacción de las demandas de los productos es uno de los propósitos de estas entidades que laboran con varios turnos y brigadas de trabajo.

El Gobierno Provincial de Holguín, en intercambios con la empresa Desoft radicada en esta provincia, solicita una investigación relacionada con el procedimiento que se utiliza para la gestión de transporte de productos de la canasta básica. Esta transportación, que se efectúa desde los CCD hacia varios establecimientos de la economía interna, tiene asociado un plan de extracción diario en las agencias operacionales de cargas y

descargas, que se incumple en los días de mayor distribución. El gobierno alega la necesidad de mejorar este proceso que se realiza a partir de los procedimientos establecidos por la OPTEI.

El CAP en Holguín, junto a varias entidades, participa en la gestión de transporte de productos de la canasta básica que se realiza principalmente desde dos CCD, uno ubicado en la ciudad de Holguín y el otro en el municipio de Cueto, hacia distintos puntos de recepción (almacenes y establecimientos de la economía interna, frigoríficos y otros) municipales y de provincias aledañas. En esta gestión intervienen representantes de la Empresa Mayorista de Productos Alimenticios (EMPA), la Empresa Productora de Alimentos y cualquier empresa que sea dueña de las mercancías transportadas. Participan las empresas transportistas (SERVICAR) y organismos (MINAZ, MINAGRI) que tengan medios de transporte disponibles y representantes del centro de carga y descarga.

El gobierno tiene establecido un sistema informativo que le permite obtener la “planificación diaria de viajes para el traslado de los productos de la canasta básica”. Este sistema, que es el utilizado en el país, consiste en la realización de una reunión diaria con los representantes involucrados, donde se conforma la planificación del próximo día con los posibles viajes que deben ejecutarse para cubrir la demanda de los destinos. En este plan se tiene en cuenta la prioridad de los productos, que se establece al evaluar la estadía y la calidad de los mismos; los turnos de trabajo de las brigadas y la cantidad de camiones que pueden estar disponibles al día siguiente.

El plan de viajes se confecciona con valores aproximados del tiempo que demoran las brigadas para descargar las casillas y depositar la carga en los medios de transporte, que deben estar parqueados en los centros de carga y descarga a partir de las 7:00 horas. Se utiliza la experiencia de los participantes para definir los tiempos de viaje de los camiones hasta un destino con regreso al punto de carga, esto facilita conocer aproximadamente si un mismo medio de transporte puede volver a cargar.

El Gobierno Provincial en Holguín muestra insatisfacción por los resultados que durante años les ha dado este mecanismo de planificación. Aunque es un método que resuelve las transportaciones de los productos, en ocasiones se incumplen los planes de la provincia asignados por la OPTEI. Esto sucede durante el mes en quecuando los CCD

tienen planes de extracción de 600 toneladas y más. En estos incumplimientos pueden incidir causas como insuficientes medios de transporte, condiciones climáticas desfavorables, ausencia de los dueños de las mercancías y otras de carácter organizativo que influyen en las largas colas de espera de los medios de transporte para ser cargados y el bajo ciclo de rotación de estos medios, pues se desconoce con certeza cuántos viajes pueden planificarse a un mismo equipo.

Este plan de viajes para la transportación de productos de la canasta básica, confeccionado de forma manual, no siempre se acerca a la realidad. Las personas participantes no evalúan todas las variables y parámetros que pueden influir en la elaboración de una planificación integrada y óptima. Los equipos se asignan sin tener en cuenta el posible rendimiento de los mismos en las rutas y hacen colas de espera, al desconocer la hora aproximada de carga que le corresponde. No se realiza un cálculo acertado del tiempo de viaje en cada ruta, porque no se valoran los tiempos perdidos por diversas causas, la distancia real a recorrer y los tiempos de descarga en los destinos, esto provoca el bajo índice de rotación de los medios. Cuando la disponibilidad de medios de transporte es elevada, la planificación del trabajo de las brigadas se hace engorrosa en los CCD.

Esta problemática permitió plantear el **problema científico**: ¿cómo elevar la efectividad de la gestión de transporte de los productos de la canasta básica para favorecer la toma de decisiones de los gobiernos provinciales?

Se precisó como **objeto de estudio**: procesos asociados a la gestión de transporte de productos.

Para solucionar el problema planteado, el presente trabajo tiene como **objetivo**: elaborar un algoritmo sobre la base de modelos matemáticos, que soporte el flujo de información y parámetros asociados a la gestión de transporte de productos de la canasta básica desde varios orígenes hacia diferentes destinos, para obtener como resultado propuestas de planes de viajes que ayuden a los gobiernos provinciales en la toma de decisiones.

En correspondencia con el objetivo, el **campo de acción** se concreta en: algoritmos de optimización, sobre la base de modelos matemáticos, aplicados a la gestión de transporte de productos de la canasta básica.

En la presente investigación se plantean las siguientes **preguntas científicas**:

1. ¿Qué elementos caracterizan el flujo informativo del sistema de transportación de cargas del país?
2. ¿Cuáles son los métodos y algoritmos relacionados con el problema de transportación de cargas encontrados en la literatura disponible?
3. ¿Qué métodos de optimización pueden escogerse para determinar las rutas óptimas que satisfagan las demandas en problemas de transporte con múltiples orígenes y destinos?
4. ¿Qué algoritmo puede proponerse, sobre la base de modelos matemáticos, que defina una planificación de viajes y tenga en cuenta diversas restricciones del proceso de carga en los orígenes y la transportación hacia los destinos?
5. ¿Cómo analizar la eficiencia computacional del algoritmo propuesto?
6. ¿Cómo verificar el algoritmo propuesto?

Para dar cumplimiento al objetivo y resolver el problema planteado se define la ejecución de las siguientes **tareas de investigación**:

1. Analizar los procesos asociados a la gestión de transporte como parte integrante de los sistemas logísticos de distribución.
2. Caracterizar el flujo informativo del sistema de transportación de cargas del país.
3. Investigar diferentes algoritmos y métodos relacionados con el problema de transportación de cargas a partir de la literatura disponible.
4. Definir los métodos de optimización a utilizar para determinar las rutas óptimas que satisfagan las demandas en problemas de transporte con múltiples orígenes y destinos.
5. Elaborar un algoritmo, sobre la base de modelos matemáticos, que defina una planificación de viajes y tenga en cuenta diversas restricciones del proceso de carga en los orígenes y la transportación hacia los destinos.
6. Realizar el análisis de la complejidad computacional del algoritmo propuesto.
7. Verificar el algoritmo diseñado mediante la implementación en una herramienta informática.

Para dar solución a las tareas planteadas se utilizó una combinación de métodos de trabajo científico, entre los que destacan los siguientes:

### **Métodos teóricos**

**Análisis y síntesis:** en el procesamiento de la información que caracteriza el problema, el objeto y el campo para elaborar las conclusiones parciales y generales de la investigación. Se aplica en la elaboración del algoritmo propuesto.

**Histórico lógico:** en el estudio de las regularidades que se cumplen durante el proceso de confección de los planes de transportación diarios y en la investigación acerca de la evolución de los algoritmos y métodos matemáticos para la optimización de la gestión de transporte.

**Modelación:** fundamental en el estudio y la elaboración de la propuesta del algoritmo y en el desarrollo de una herramienta informática para la verificación del mismo.

### **Métodos empíricos**

**Entrevista:** en la caracterización del flujo informativo del sistema de transportación de cargas del país.

**Observación científica:** para identificar el proceso de elaboración del plan de transportación de productos de la canasta básica.

En relación con los aportes de esta investigación, se destaca que desde el punto de vista **teórico** se propone un algoritmo, organizado en pasos con una secuencia lógica y basado en modelos matemáticos, que permite optimizar la gestión de transporte de productos de la canasta básica desde varios orígenes hacia diferentes destinos a partir de las restricciones propias de esta actividad y las relacionadas con el funcionamiento de los centros de carga y descarga del país. Sobre el aporte **práctico** se señala que la implementación del algoritmo en una herramienta informática proporciona la presentación de casos de prueba y permite verificar que el algoritmo diseñado es apropiado para sugerir planificaciones de transporte de productos de la canasta básica. Su aplicación facilita a los gobiernos provinciales la toma de decisiones operativas en relación con la satisfacción de las demandas de la población.

La estructura de esta memoria escrita está conformada por introducción, dos capítulos que recogen los principales temas expuestos en la investigación, conclusiones generales obtenidas, ~~y~~ recomendaciones para futuras investigaciones y bibliografía revisada. Otros elementos que enriquecen lo expuesto pueden ser consultados en la sección de anexos.

El Capítulo 1 contiene el marco teórico relacionado con los sistemas logísticos de distribución como una de las actividades esenciales que forma parte de las cadenas de suministro. Se abordan temas relacionados con uno de los subsistemas claves en un sistema logístico de distribución, la Gestión de Transporte, así como conceptos relacionados con la explotación y selección de medios de transporte. En este capítulo se caracteriza la transportación de cargas en el país, su evolución y los rasgos que la identifican dentro de un sistema logístico de distribución. Se describen aspectos relacionados con la planificación de la transportación de productos de la canasta básica en la provincia de Holguín. Se profundiza en los modelos matemáticos de la programación lineal que brindan una solución óptima a los problemas de transporte. Se exponen otros elementos relacionados con los algoritmos y la implementación de estos en sistemas informáticos. Los aspectos teóricos anteriormente mencionados favorecen la comprensión del siguiente capítulo y de la investigación.

En el Capítulo 2 se presenta el diseño del algoritmo para la gestión de transporte de productos de la canasta básica, como propuesta de solución al problema científico enunciado en la investigación. Se inicia con una exposición sobre el funcionamiento general del algoritmo y se enumeran los pasos principales que lo componen. Se describen los datos de entrada con su nomenclatura, los resultados parciales de cada paso y la reutilización de los mismos en el resultado final del algoritmo: “la planificación de viajes para productos de la canasta básica”. El algoritmo propuesto se expone en pseudocódigo, con y la nomenclatura previamente definida. Por último, se resalta el análisis de la complejidad temporal del algoritmo propuesto y la verificación del mismo con la presentación de casos de prueba obtenidos de la herramienta informática que lo implementa.

## **Capítulo 1. Fundamentos teóricos acerca de la gestión de transporte de productos**

### **1.1 Sistema logístico de distribución**

Logística es un término que frecuentemente se asocia con la distribución y transporte de productos terminados. En (Ballou, 1991) se define la logística empresarial como “Todas las actividades relacionadas con el traslado - almacenamiento de productos que tienen lugar entre los puntos de adquisición y los puntos de consumo”. Esta definición implica que la logística empresarial o Administración de la Cadena de Suministros debe contemplarse como un grupo de actividades relacionadas entre sí, que es necesario administrar coordinadamente.

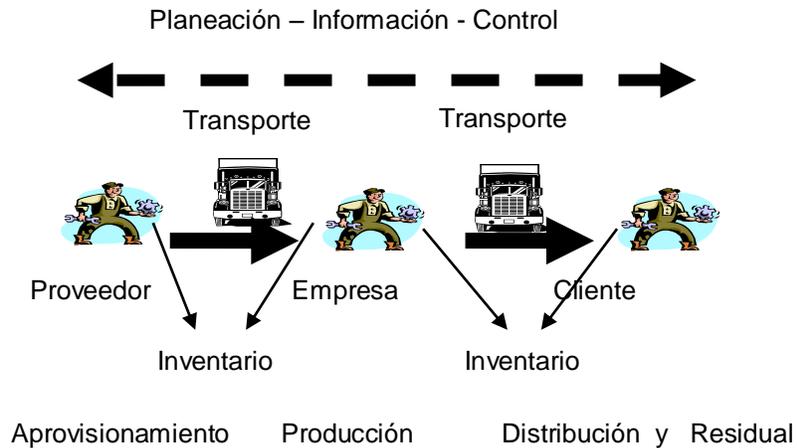
El Council Logistic Management<sup>2</sup>, en el año 2000 define la logística como: “Los procesos de la cadena de suministro (supply chain) que planean, instrumentan y controlan, en forma eficiente y efectiva, el flujo y almacenamiento de los bienes, los servicios y la información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo, para satisfacer los requerimientos de los clientes”.

En (Cespón y Auxiliadora, 2003) se señala: “Logística es el proceso de gestionar los flujos material e informativo de materias primas, inventario en proceso, productos acabados, servicios y residuales desde el suministrador hasta el cliente, transitando por las etapas de gestión de los aprovisionamientos, producción, distribución física y de los residuales”. En esta investigación se considera que tal definición es la que mejor resume los aspectos más comunes de las anteriormente citadas.

En la cadena de suministro se integran los procesos de diferentes entidades o negocios, por ello, proveedores, fabricantes y distribuidores persiguen el mismo objetivo: satisfacer el mercado final. La cadena de suministros, aun cuando debe ser administrada de manera integral, se puede realizar un estudio más detallado cuando se concibe como la unión de cuatro partes esenciales: Logística de Aprovisionamiento, de Producción / Operaciones, Distribución y Residual como aparece en la Figura 1. La Logística de Distribución es la parte de la cadena de suministros en la cual se enmarca la problemática planteada.

---

<sup>2</sup> [<http://www.clm.org>]



**Figura 1. Estructura de una cadena de suministro. Fuente: (Cespón y Auxiliadora, 2003)**

El problema de la distribución ha cobrado una gran importancia, reconociéndose cada vez más su influencia sobre la rentabilidad empresarial que se refleja en el nivel de servicio al cliente. En la estructura de las relaciones que se establecen en el canal logístico de distribución, según (González, 1997), estas relaciones se caracterizan atendiendo al contenido económico y sociopolítico que ellas encierran, dado por la interacción de dichos componentes: los participantes, conjuntamente con los recursos y a través de diferentes actividades.

La orientación a la satisfacción de las necesidades motiva a que todos los niveles de distribución se relacionen entre sí, de forma tal que se pueda cumplir con tal cometido. Por ello, las empresas en el canal de distribución buscarán la forma de hacerle frente, tanto a las necesidades del cliente como a la de los propios miembros que participan en el intercambio y, para ello, llevarán a cabo acciones conjuntas que le permitan tales fines; lo que conduce, de una forma u otra, a cierta interdependencia entre ellas.

Para lograr una armónica relación proveedor-cliente, plantea (Cespón y Auxiliadora, 2003), es necesario dotar a la logística de distribución con un enfoque en sistema, lo que permite identificar la existencia de cuatro subsistemas claves:

- Gestión de inventarios: toma como partida la política de distribución definida en los niveles táctico y estratégico de la toma de decisiones de la alta dirección, los elementos de este subsistema serán las cantidades a almacenar y el ciclo de reaprovisionamiento de los productos.
- Gestión de almacenaje: es el encargado de que el producto permanezca en el

almacén durante el tiempo previsto y en las condiciones deseadas.

- **Gestión de pedidos:** es el encargado de conformar los envíos en el momento previsto, con las indicaciones necesarias y la documentación establecida, además de la captación de nuevos pedidos, así como su promoción. También incluye la atención a reclamaciones.
- **Gestión de transporte:** es uno de los más importantes, ya que es donde con más posibilidades el producto puede ser dañado. Sus elementos son: rutas de distribución, necesidades de medios de transporte, capacidad de transportación y balance de transporte. El estudio de este subsistema representa una parte esencial en la presente investigación.

Estos cuatro subsistemas deberán estar representados dentro de la jerarquía directiva, de manera que se posibilite la definición de la política general de distribución, elemento este relacionado con los niveles táctico y estratégico de la jerarquía de las decisiones y a partir de la cual se ejecutará un proceso a nivel operativo que involucra a los subsistemas antes mencionados, que culminará con la entrega del producto al cliente. Dicho proceso está constituido por el *Sistema Logístico de Distribución*.

## **1.2 Gestión de transporte**

El transporte se define como: “La actividad de trasladar mercancías, objetos o bienes materiales de un lugar a otro en medios de transporte registrados y habilitados para tales fines, por vías terrestres o acuáticas. Incluye la operación de los contenedores que se utilizan en las transportaciones”, según Resolución 73/05 del MITRANS. Por otra parte, en (Cespón y Auxiliadora, 2003) se conceptualiza que el transporte es “Una actividad clave de la logística, cuya función es el traslado de materiales y mercancías hasta los puntos de consumo”. Tomando como punto de partida las definiciones anteriores, puede decirse que el transporte como actividad clave de la logística influye sobre dos aspectos esenciales: la utilidad de lugar y de tiempo, lo cual significa tener la mercancía en el lugar y el momento que se necesita.

El Sistema de Transporte es “El conjunto de modos, medios e instalaciones o infraestructura, que sirven de base material para la ejecución, por el hombre, de las actividades de transportación, a través de las relaciones económicas y jurídicas

establecidas en una organización social y un basamento geográfico determinados” (Torres, 2007).

El sistema de transporte puede clasificarse en dos grupos (Cruz, 2009):

- Base Material.
- Relaciones Económicas y Jurídicas.

La base material está compuesta por:

- Los Modos.
- Los Medios.
- La Infraestructura de Transporte.

Se denomina *modo de transporte* a la forma tecnológica de efectuar las transportaciones. Los principales modos de transporte son los siguientes: transporte acuático, transporte ferroviario, transporte automotor, transporte aéreo y transporte por tuberías.

Los *medios de transporte*, según la Resolución 224/01 del MITRANS, son “Los vehículos de motor, de tracción animal y de tracción humana, que se desplazan por las vías del país. Los vehículos de motor incluyen todo tipo de camiones, camionetas, paneles, ómnibus, microbús, autos, jeeps, motocicletas de cualquier tipo y los tractores autorizados a prestar servicios de transporte. Los camiones incluyen las cuñas de tracción con sus semirremolques”. Las características de los medios varían según los modos.

La *infraestructura* la componen las instalaciones fijas, para las operaciones de los medios de transporte y para su atención técnica y presentan características propias en cada modo de transporte, por ejemplo, en el transporte automotor: autopistas y carreteras, bases de operación, talleres, etc.

### **1.2.1 Selección de medios de transporte**

En la selección de un vehículo para transportar determinado tipo de carga se debe tener en cuenta el criterio de factibilidad técnica y el criterio de factibilidad económica. Para aplicar estos criterios deben conocerse características del vehículo como tipo de

vehículo, estado técnico (bien, regular y mal), tipo de combustible que utiliza y el consumo en kilómetros por litro. Existen otras características técnicas importantes en la selección del medio de transporte, relacionadas con las dimensiones, el peso y el volumen (Cespón y Auxiliadora, 2003; Pérez, Leyva y Marrero, 2002):

- Largo total: incide en la capacidad de carga.
- Ancho máximo: incide en la capacidad de carga y en el ancho vía.
- Altura máxima.
- Altura mínima: incide en las posibilidades de transitar por terreno quebrado.
- Capacidad nominal de carga ( $q$ ): es la carga máxima que admite el medio de transporte, con respecto al peso, en toneladas.
- Tasa o peso propio: es el peso del medio de transporte abastecido y equipado, pero sin carga comercial.
- Peso total o bruto: es la suma del peso propio más el peso de la carga comercial.
- Peso útil o neto: es el peso de carga comercial.
- Capacidad volumétrica ( $CW$ ): volumen máximo que es capaz de cargar el medio de transporte, en metros cúbicos. Se calcula como:

$$CW = \ell \times a \times h.$$

donde:

$\ell$ : es el largo.

$a$ : es el ancho.

$h$ : es la altura.

En el caso de medios sin techo o plataformas:

$$h = 4,8 - hc.$$

donde:

$hc$ : es la altura desde el suelo a la cama del medio de transporte.

El valor “4,8” se refiere a la altura máxima permitida de la carga, especificada generalmente en el Código del Tránsito de varios países, por lo que de diferir esta magnitud de la reglamentada, debe hacerse la rectificación pertinente.

- Capacidad volumétrica específica ( $C_{we}$ ): Son los metros cúbicos de volumen que admite el medio de transporte por tonelada de carga. Se calcula como:

$$C_{we} = CW/q$$

Un vehículo es factible técnicamente cuando cumple todos los requisitos desde el punto de vista técnico para transportar determinado tipo de carga. El criterio económico se tiene en cuenta cuando existen dos o más tipo de vehículos o alternativas de transportación que son factibles técnicamente y por tanto se desea escoger aquel que resulte más económico (mayor rendimiento, menor costo, etc.) (Pérez et al., 2002).

Al seleccionar las necesidades de medios de transporte es necesario conocer la composición de los productos que se planifica transportar, pues estos determinan los requisitos exigidos por el tráfico y la clase de vehículos apropiados para efectuar el transporte de los mismos. Algunos coeficientes relacionados con la composición de los productos son:

- Coeficiente de pérdida ( $k_c$ ): coeficiente que representa en una unidad de almacenamiento (por ejemplo, un saco de 50 Kilogramos), el porcentaje de pérdida de esta capacidad.
- Peso bruto ( $P_b$ ): peso de una unidad de embalaje (por ejemplo, el peso de un saco de 50 Kilogramos). Se expresa en toneladas.
- Volumen de una unidad de embalaje expresado en metros cúbicos ( $V_c$ ).

Los productos de alto peso específico y poco volumen deben transportarse en camiones que tengan mayor capacidad de carga en toneladas que volumétricas, mientras en las transportaciones de productos de bajo peso específico, pero voluminosos, se procede a la inversa.

La vinculación correcta equipo-producto crea las condiciones para elevar al máximo el coeficiente de aprovechamiento estático de las capacidades existentes, el rendimiento de los medios a utilizar y por ende la mayor eficiencia de la explotación del tráfico.

El criterio económico juega un papel importante cuando se debe seleccionar un medio de transporte, por lo tanto la entidad encargada de la transportación y de las exigencias del movimiento al llevar a cabo dicha actividad debe tener en cuenta dos criterios que son los más utilizados: Isorrendimiento e Isocosto.

Estos dos criterios están relacionados directamente con los resultados de determinado proceso de transportación, pero no tienen en cuenta los gastos asociados con las inversiones iniciales. Sin embargo, está demostrado que si los criterios antes mencionados se escogen convenientemente y en el momento oportuno, los resultados integrales de la empresa serán superiores.

Cuando se desee trasladar al menor tiempo posible, aprovechar al máximo la capacidad de los equipos y trasladar la mayor cantidad de productos en un periodo, se debe utilizar el Método de Isorrendimiento. El Método Isocosto es un criterio que no puede ser permanente, debido a que, aunque permite lograr un determinado nivel de servicio e ingresos, los costos asociados a los equipos de mayor rendimiento, por lo general, son los más altos. Por tanto, sin descuidar las exigencias del mercado y los objetivos de la empresa las transportaciones deben ser lo más eficientes posibles, donde la disminución de costos juega un papel fundamental (Pérez et al., 2002).

### **1.2.2 Determinación del ciclo de transportación**

El empleo racional de los medios de transporte y el logro de la satisfacción de los clientes son objetivos claves de cualquier organización. En tal sentido, el conocimiento de los diferentes ciclos que ocurren en el proceso de transportación de cargas permite una toma de decisiones más acertada y con ello una mayor sincronización dentro de toda cadena de suministros.

Según la norma ramal (NRMT) 223/86, se conoce como ciclo: “El período de tiempo que emplea un vehículo en el cumplimiento de una actividad asignada, medido desde que esta comienza hasta que termina”. El ciclo vehicular de un medio de transporte está constituido por cuatro ciclos: de viaje, de rotación, de disponibilidad y total, estos conceptos se definen según (Ruíz, 1999; NRMT, 223/86).

- Ciclo de viaje: tiempo transcurrido desde que un vehículo sale de viaje de un origen determinado, para trasladar una orden hasta que efectúa su última

operación de descarga. El ciclo de viaje permite caracterizar el recorrido de una carga en particular.

- Ciclo operativo o de rotación: comienza y termina en una base de operación, caracterizando así el tiempo que media desde que un vehículo sale a prestar un servicio hasta que regresa. Puede contener varios ciclos de viaje.
- Ciclo de disponibilidad técnica: comienza y termina en una base o taller de mantenimiento preventivo.
- Ciclo total: contempla la trayectoria del vehículo durante el año o período de análisis. Por esta razón, incluye al ciclo de disponibilidad técnica, al tiempo consumido para mantenimiento preventivo y al tiempo en que el vehículo está sin trabajar o inactivo.

El *ciclo de rotación* está conformado por varios tiempos de viaje: tiempo de ubicación a la carga, tiempo de viaje cargado, tiempo de carga y descarga, tiempo de viaje vacío, tiempo de servicio, tiempo detenido en estaciones, tiempo de procesamiento y holgura en horarios (Ruíz, 1999).

El *tiempo total de movimiento* es un componente muy importante del ciclo vehicular y es definido en (Cespón y Auxiliadora, 2003) como: “El tiempo durante el cual el vehículo efectúa un recorrido cargado o vacío”. El *tiempo de viaje total* es “La suma del tiempo de movimiento y el tiempo detenido temporalmente en una estación para carga, descarga o servicio”.

Del análisis de los conceptos anteriores es correcto concluir que a los efectos de la función del transporte, como parte de una cadena de suministro, los elementos de mayor importancia son el ciclo de viaje y el ciclo operativo o de rotación. El primero, por caracterizar el recorrido de cierta carga aun cuando no necesariamente comprenda toda la orden de compra o distribución. El segundo posee doble función. Por una parte, caracteriza el trabajo de cierto vehículo y permite determinar cuándo este se encuentra disponible para una nueva tarea y, por otra, facilita la estimación del plazo de entrega real de cierta orden, enmarcado dentro del lugar que en el mismo ocupa el traslado de mercancías (Ruíz, 1999).

El ciclo total tiene su mayor importancia cuando se analizan los indicadores de explotación de cada medio en un período de tiempo, lo cual da la idea del comportamiento del parque de equipos de una entidad transportista.

### **1.2.3 Rutas de distribución**

El problema de la distribución de uno o varios productos hacia varios puntos a través de múltiples rutas posibles a formar, que dependa de las distancias entre estos y la distancia desde cada uno de ellos a un centro de distribución, constituye un problema típico en el campo de la logística.

*Concepto de distribución:* “Conjunto de acciones que realizan los suministradores para colocar los productos en manos del cliente, en el momento y lugar oportuno, con los requerimientos y especificaciones de calidad establecidos y con el mínimo costo posible” (Pérez et al., 2002).

Para la planificación de la transportación de productos existen varios factores a tener en cuenta: características de los vehículos que incluye cantidad, tipos y capacidad de carga de medios de transporte disponibles; características de los destinos referentes a su localización, distancia a la que se encuentran y las demandas de productos; también se analizan las características del producto a transportar entre las que se encuentran dimensiones, peso y formas de embalar las cargas.

Otros factores a tener en cuenta en la planificación son los relacionados con las características del entorno que abarca el estado de las carreteras, obras ejecutadas en ellas, condiciones climatológicas y restricciones de peso. La planificación de rutas de distribución en presencia de una cantidad grande de alternativas a seleccionar, su solución en general, resulta compleja y en muchos casos, la evaluación de cada una de las posibles combinaciones, constituye una tarea extremadamente costosa en tiempo (Ramírez, 2007).

La creación de rutas de transporte implica servir a todos los clientes de manera óptima de acuerdo a un criterio preseleccionado (costo, tiempo, atención y servicio al cliente, entre otros) con unos recursos limitados.

## **1.3 Caracterización de la gestión de transporte de productos de la canasta básica**

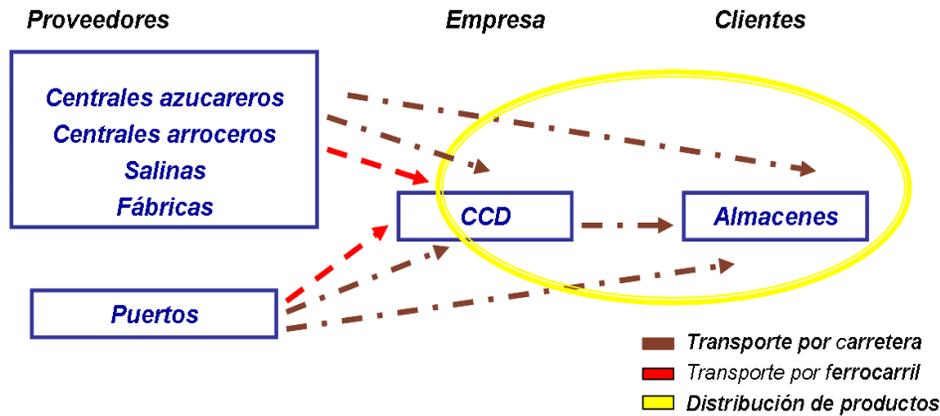
Los antecedentes y la actualidad de la transportación de cargas en el país son abordados por (Millán, 2009). En este epígrafe se muestra un resumen, basado en este autor, en las resoluciones del MITRANS y en conversaciones con especialistas del ministerio, relacionado con aspectos de interés para la presente investigación.

Después de la confiscación de las empresas privadas en 1960, el transporte de cargas se mantuvo con un alto grado de centralización hasta finales de dicha década, en que se inicia un proceso de especialización. A fines de los años 70 se implementa el Balance de Cargas y el control de la expedición, lo que se interrumpe en 1993 con el período especial. A partir de este momento se reducen las transportaciones en un 70 por ciento y se descentraliza el transporte. Cerca de 5000 camiones del sistema MITRANS se transfieren a los Organismos de Administración Central del Estado y a los Consejos de Administración Provinciales. Los suministradores desarrollan la práctica de entregar los productos en el origen, lo que obligó a los compradores a gestionar el transporte.

Con el período especial, la transportación de cargas, imprescindible para el funcionamiento de la economía, colapsó por dificultades de los medios de transporte, deterioro en la infraestructura portuaria, ferroviaria y automotor necesarios para ejecutar el movimiento de mercancías. Ante estas dificultades (que abarcaban también los almacenes, la pérdida de mercancías, robos, sustracciones y falta de organización), en el año 2005 se creó la Operación Emergente para la Cadena Puerto Transporte Economía Interna, que integró a todos los ministerios, bajo la dirección de las Fuerzas Armadas Revolucionarias, con el fin de reorganizar la transportación de carga.

La Operación Puerto Transporte Economía Interna es una cadena de suministro de todas las mercancías que entran y se producen en el país. La dirección de la misma busca nuevas actitudes hacia la toma de decisiones y la organización, para ello establece un control global diario de la cadena nacionalmente, a la vez que establece una gestión independiente en las provincias.

La Figura 2 muestra un esquema representativo de la cadena de suministro cubana. En ella se resalta, en amarillo, el marco que abarca la distribución de productos de la canasta básica, que constituye uno de los sistemas logísticos de la OPTEI.



**Figura 2. Operación Puerto Transporte Economía Interna. Fuente: Elaboración propia**

Por acuerdo del Consejo de Ministros del país respecto a las transportaciones de cargas en el país dirigidas por la OPTEI, el 19 de octubre del 2007 ~~con respecto a las transportaciones de cargas en el país dirigidas por la OPTEI~~ se dispone:

- La entrega de los productos en el destino por parte del suministrador.
- Centralizar el transporte en unidades profesionales, a nivel municipal y provincial.
- Implementar el Balance de Cargas para planificar y controlar el transporte, – a partir de índices de eficiencia.
- Asignación oportuna de los productos, considerando la ubicación geográfica productor/consumidor.

Le corresponde al MITRANS organizar el transporte desde el origen de las cargas y establecer regulaciones para que cada consumidor no vaya por su cuenta a buscar los productos al lugar de origen. Para ello se aplica el Balance de Cargas, específicamente el de transporte automotor, que es “Un método de dirección estatal para planificar, organizar, ejecutar y controlar las transportaciones de cargas, en función de satisfacer las demandas con el máximo aprovechamiento de las capacidades y recursos existentes. Se basa en la compatibilización y el análisis continuo de la relación demanda-capacidad de los diferentes medios y sistemas de transporte”(Millán, 2009).

Este balance de cargas, que se ha establecido en algunos municipios del país y ~~que se continuará su implementación~~ cuya implementación continuará progresivamente atendiendo al nivel de organización que presenten las provincias y los municipios, forma parte del proceso de reordenamiento del transporte de carga que nacionalmente está

rectorado por el MITRANS y tiene como objetivo: “Lograr el máximo aprovechamiento del combustible, capacidades y demás recursos destinados al transporte, a partir del Balance de Cargas y de la centralización de los medios en unidades organizativas especializadas a nivel municipal y provincial” (Millán, 2009). Los modelos asociados al balance de cargas aparecen en los Anexos: 1, 2, 3 y 4.

Con este nuevo sistema de reordenamiento se propone agrupar vehículos, destinar a cada operación el transporte automotor adecuado según su tonelaje y combinar intereses para aprovechar al máximo los recorridos. La aplicación en el país de nuevas fórmulas, como el balance de cargas y el reordenamiento de las transportaciones de cargas, basada en la concentración del potencial de medios de transporte automotor en municipios y provincias del país, sin dudas favorece el ahorro de combustible dándole un uso más racional al transporte<sup>3</sup>. Mejora las condiciones para la realización de los planes diarios de transportación de productos de la canasta básica, pero no tiene como objetivo su confección, porque no define cómo realizar estos planes ni qué criterios seguir para asignar el equipamiento automotor disponible entre todas las tareas de distribución de una provincia, que se realiza desde varios proveedores como son: puertos, fábricas, CCD.

En la presente investigación se centra la atención en la gestión de transporte de productos de la canasta básica desde los CCD provinciales hacia los almacenes de la economía interna municipales. En esta gestión, la comunicación es el medio de coordinación que une y vincula a todas las entidades y actividades que forman parte de ella, siempre rectorado por el CAP. Para caracterizar la gestión de transporte de productos de la canasta básica se realizaron entrevistas guiadas por los aspectos que se definen en el Anexo 7.

Para la transportación se emplea el parque de vehículos automotor que proporcionan las empresas transportistas de la provincia cada día. En los CCD, el inventario de productos y su almacenaje son gestiones muy ligadas, no existen almacenes, las mercancías permanecen en su embalaje dentro de las casillas ferroviarias y se controla la cantidad de productos en toneladas que aparece en la documentación que acompaña la carga.

---

<sup>3</sup> Reorganiza Cuba su transporte de carga [<http://www.granma.cubaweb.cu/>]

La OPTEI establece para cada provincia del país un plan de extracción diario de productos de los CCD, en toneladas. La confección diaria de la planificación de viajes para la transportación de productos de la canasta es un procedimiento establecido por la Cadena de Suministro Cubana y se realiza de una forma relativamente sencilla cuando las cantidades a transportar están por debajo de 600 toneladas y más que son los mayores planes de extracción. Se desea que los productos lleguen en tiempo a la población y con la calidad requerida, es en estos momentos cuando se hace compleja la gestión de transporte y se incumplen los planes.

Los CCD realizan la descarga de casillas directamente a los camiones que transportan los productos hacia los destinos, para ello cuentan con brigadas que laboran en varios turnos de trabajo. Los medios de transporte disponibles son proporcionados, con su documentación, por representantes de las distintas empresas transportistas. En esta caracterización se utilizó, además de las entrevistas, la observación científica a partir de la guía que se muestra en el Anexo 8. Los elementos que componen el plan de transportación diario son los siguientes:

- Origen y Destino.
- Tiempo de viaje.
- Producto.
- Cantidad a transportar.
- Brigada.
- Medio de transporte.

*Origen y Destino:* las empresas dueñas de las mercancías proporcionan los establecimientos y/o almacenes de la economía interna destinatarios de los productos, que serán transportados desde los CCD en su función de orígenes.

*Tiempo de viaje:* se calcula basado en la distancia entre origen y destino y la velocidad constante de 42 km/h, establecido para que viaje un medio de transporte cargado, y el tiempo aproximado de descarga en cada destino. Esta forma de cálculo no incluye los tiempos de espera para la carga y descarga, las tablas actualizadas de distancias entre orígenes y destinos y los tiempos de parada posibles, entre los cuales se encuentra el horario de almuerzo de los conductores y detenimiento por chequeos a la carga durante el trayecto.

*Producto:* al realizar los planes diarios se tiene en cuenta la prioridad de los productos a partir de dos factores: estadía y demanda diaria. Los productos propensos al ataque de plagas deben ser extraídos en el menor tiempo posible y también aquellos que son priorizados en el país, como la leche y la harina de trigo.

*Cantidad a transportar:* se determina a partir de las demandas de los destinos. Para cada viaje se registra una cantidad asociada con un equipo, de capacidad de 10 o más toneladas, contemplado en los disponibles para el día que se planifica. Se valoran las características técnicas referidas en, el Modelo BC-1 Inventario de medios de transporte de cargas, ver Anexo 1. Se utiliza la clasificación de los camiones de acuerdo a los productos a transportar: camiones para cargas generales, entre los que se encuentran: camiones plataforma (con o sin barandas) y furgonetas, así como camiones especializados: camión cisterna, camión volteo, camión jaula, camiones refrigerados. La forma manual y la urgencia con la cual se confeccionan estos planes diarios limitan la asignación de medios de transporte por otros criterios.

*Brigada:* se define en cada viaje, para cargar el medio de transporte. En los centros de carga y descarga se establecen los turnos de trabajo de acuerdo a la cantidad de toneladas a extraer. Los trabajadores, que hacen las funciones de carga y descarga, se agrupan en brigadas que laboran en turnos rotativos definidos por la experiencia de los planificadores y por las toneladas a transportar. La brigada que cargará cada viaje se asigna restándole a su tiempo de trabajo el de carga de un camión, pero no son del todo reales al descontar horarios de merienda, almuerzo y/o cena. Se confecciona un único plan de transportación, pues se hace difícil probar variantes por las complejidades que se presentan cuando las cantidades demandadas están alrededor de 600 toneladas. Esta situación limita el mejor aprovechamiento de las brigadas y los turnos de trabajo.

*Medio de transporte:* se asignan a las rutas, generalmente, por la capacidad de carga nominal del medio. La forma actual de realizar el plan no facilita la posibilidad de aplicar otros criterios en la asignación. De igual forma, los ciclos de rotación de los camiones en la provincia tienen valores muy bajos, ya que la forma de planificar, en ocasiones, no les permite prever los medios que pueden dar más de un viaje de acuerdo a las rutas asignadas.

La confección actual de los planes diarios de transportación de productos de la canasta básica, desde los centros de carga y descarga hacia los municipios y otras provincias tiene sus limitantes cuando las existencias de mercancías en los orígenes superan o se acercan al plan de extracción de 600 toneladas. El reordenamiento del transporte puede influir en el cumplimiento de los planes, porque se disponga de una gran cantidad de parque de equipos, pero no es la realidad. Existen otros puntos de distribución que requieren de transporte, como fábricas y puertos, a los cuales de igual forma deben asignárseles equipos automotores disponibles.

En la investigación realizada se identificaron problemas en la organización del trabajo de las brigadas, en ocasiones, por errores en los tiempos de viajes, regresan camiones a cargar en los CCD y no han encontrado los trabajadores. Estas entidades tienen establecido que si una brigada lleva mas de dos horas en espera sin cargar un equipo, puede abandonar el puesto de trabajo. La dificultad que presenta la forma actual de hacer la planificación de viajes no les permite expresar, con un acercamiento a la realidad, la hora a la cual debe regresar un medio de transporte.

En el presente estudio se visitó la Dirección Nacional de Ferrocarriles y los centros de cargas y descargas establecidos en Holguín, Ciudad de la Habana y Santiago de Cuba con el objetivo de conocer la implementación del sistema informativo para la transportación de cargas, en particular, el procedimiento utilizado para la gestión de transporte de productos de la canasta básica en las provincias referidas. Los resultados de las entrevistas muestran coincidencias en la forma de realizar la planificación de viajes. Participan personas, que basadas en la experiencia, confeccionan el plan de viajes; el lugar de ejecución y horarios para su realización, en ocasiones, depende del volumen de toneladas a transportar. La problemática planteada no se debe regularmente a una incorrecta aplicación del procedimiento actual, sino al incumplimiento de los planes de transportación de productos de la canasta básica desde los CCD en las provincias hacia diferentes destinos intermunicipales.

Se consultaron herramientas informáticas, existentes en el país, relacionadas con la transportación de cargas. Dentro del Ministerio de Transporte, algunas direcciones han desarrollado productos: SISCOMPA.Net que es un sistema para el control y gestión del parque automotor, enfocado en el mantenimiento y explotación de este parque y Control

de Vagones que controla los medios de tracción (casillas, planchas ferroviarias, portacontenedores) en su recorrido por el país con cargas para conocer la trazabilidad del medio y la carga. La implementación de estos sistemas no es de utilidad para la solución del problema planteado, porque los dos centran sus objetivos en controles aplicados a los medios de transporte.

Un estudio realizado en la Universidad Central de Las Villas propone un nuevo procedimiento para el diseño del sistema de planificación y control de las transportaciones de carga por camiones. Este procedimiento se basa en controles y análisis más precisos de los documentos cartas de porte y hojas de ruta, que acompañan los viajes de los camiones en el traslado de productos de la canasta básica desde una Terminal portuaria hacia diferentes puntos (González, 2009). Esta propuesta es un procedimiento organizativo para los medios de transporte y debe tener su influencia en el reordenamiento del transporte, pero no se ocupa del proceso de confección de la planificación de viajes asociada a la transportación de los productos.

Con respecto a la transportación de cargas en el mundo, se revisaron varias aplicaciones informáticas: SILOGTRAN<sup>4</sup>, Gestión Transportes 1.0<sup>5</sup>, TMS Módulo de transporte y preparación<sup>6</sup> y Transportes 3000 1.0<sup>7</sup> que son sistemas de gestión y operación para empresas de transporte de carga. Estas aplicaciones son propietarias, utilizan mapas digitales para el seguimiento vehicular y llevan el control de las flotas de medios de transporte en empresas que dan este servicio. Abordan el tema de las transportaciones, pero las planificaciones que realizan no se ajustan a la situación real que se tiene en Cuba, ni en infraestructura ni en procedimientos, de manera que no aportan elementos en la solución al problema planteado.

Para los modelos de transporte se encontraron soluciones en diferentes herramientas de software libre: LPSolve, PHPSimplex y WINQSB (Antero, 2007), mediante las cuales se pueden obtener las rutas de distribución dentro de la problemática planteada, pero no constituyen un algoritmo que resuelva totalmente las limitantes de los planes de transportación confeccionados actualmente. El LPSolve, al ser un código abierto, tiene

---

<sup>4</sup> Sistema Logístico de Transporte [<http://www.catalogodesoftware.com/default.aspx>]

<sup>5</sup> Gestión integrada de transporte por carretera

[<http://www.esbupa.com/Productos/SoftwareParaEmpresasdeTransportes/tabid/57/Default.aspx>]

<sup>6</sup> SGL Sistema de Gestión Logística [<http://www.sistema-logistico.com.ar/transporte.html>]

<sup>7</sup> Transportes 3000 1.0 [<http://transportes-3000.softonic.com/>]

un algoritmo que puede ser reutilizado dentro de una solución integrada. En (Sánchez del Toro, 2004) se expone una generalización del algoritmo de transporte que tiene en cuenta varios productos a transportar desde orígenes a destinos, pero no se consideran las limitaciones en el número de vehículos para realizar la transportación de productos. Por esta causa, no tiene los elementos suficientes para valorarlo como una solución.

Existen otras aplicaciones que no son de código abierto y generalmente se utilizan con fines docentes. Se basan en un lenguaje específico, cuyo uso no resulta sencillo, pero permiten obtener soluciones a problemas de transporte. Este tipo de soluciones puede emplearse para comprobar resultados parciales, pero no son integrables en una solución definitiva. Estas son: SOLVER SUITE, que incluye LINDO y LINGO; General Algebraic Modelling System (GAMS), LIPSOL (Zhang 1999; González, 2001; Linares, 2001).

No se encontró una solución integral libre y de código abierto que resuelva el problema de transporte y asignación de equipos, e integre la problemática del funcionamiento de los centros de cargas y descargas del país, en los aspectos referentes a la gestión de transporte de productos de la canasta básica. A partir de estos resultados se determina la elaboración de un algoritmo, basado en modelos matemáticos, como propuesta de solución a la problemática planteada.

#### **1.4 Investigación de operaciones**

El inicio de la actividad llamada Investigación de Operaciones, casi siempre, se atribuye a los servicios militares prestados a principios de la segunda guerra mundial. Debido a los esfuerzos bélicos, existía una necesidad urgente de asignar recursos escasos a las distintas operaciones militares y a las actividades dentro de cada operación, en la forma más efectiva. Por esto, las administraciones militares americana e inglesa hicieron un llamado a un gran número de científicos para que aplicaran el método científico a este y a otros problemas estratégicos y tácticos. De hecho, se les pidió que hicieran investigación sobre operaciones (militares).

Según (Hillier y Lieberman, 1998), como su nombre lo dice, la Investigación de Operaciones significa: "Hacer investigación sobre las operaciones". Entonces, la Investigación de Operaciones se aplica a problemas que se refieren a la conducción y

coordinación de operaciones (o actividades) dentro de una organización. Tomando como base estos autores y otros (Bronson y Naadimuthu, 1997; Bellini, 2004), la Investigación de Operaciones se define como: “La aplicación de la metodología científica a través de modelos matemáticos, primero para representar al problema y luego para resolverlo”.

#### **1.4.1 Metodología de la investigación de operaciones**

El objetivo global de la Investigación de Operaciones es el de apoyar al tomador de decisiones, en cuanto ayudarlo a cumplir con su función basado en estudios científicamente fundamentados. En tal sentido juega un papel fundamental la Investigación de Operaciones, como la aplicación del método científico para asignar los recursos o actividades de forma eficaz, en la gestión y organización de sistemas complejos.

Para dar solución, a través de la Investigación de Operaciones, a una problemática varios autores (Hillier y Lieberman, 1998; Bronson y Naadimuthu, 1997; Bellini, 2004) definen las etapas que conforman la metodología de la investigación de operaciones.

##### **Definición del problema y recolección de datos**

Las condiciones fundamentales para que exista un problema es que se establezca una diferencia entre lo que es (situación actual) y lo que debe ser (situación deseada u objetivo) y además exista cuando menos una forma de eliminar o disminuir esa diferencia. Los componentes de un problema son: a) el tomador de decisiones o ejecutivo; b) los objetivos de la organización; c) el sistema o ambiente en el que se sitúa el problema; d) los cursos de acción alternativos que se pueden tomar para resolverlo.

Para formular un problema se requiere: a) identificar las componentes y variables controlables y no controlables del sistema; b) identificar los posibles cursos de acción, determinados por las componentes controlables; c) definir el marco de referencia dado por las componentes no controlables; d) definir los objetivos que se busca alcanzar y clasificarlos por orden de importancia; e) identificar las interpelaciones importantes entre las diferentes partes del sistema y encontrar las restricciones que existen.

##### **Formulación de un modelo matemático**

Una vez definido el problema del tomador de decisiones, la siguiente etapa consiste en reformularlo de manera conveniente para su análisis construyendo un modelo matemático que represente la esencia del problema. Este modelo está constituido por relaciones matemáticas (ecuaciones y desigualdades) establecidas en términos de variables.

Para construir un modelo es necesario primero definir las variables en función de las cuales será establecido. Luego se procede a determinar matemáticamente cada una de las dos partes que constituyen un modelo: a) la medida de efectividad que permite conocer el nivel de logro de los objetivos y generalmente es una función (ecuación) llamada función objetivo; b) las limitantes del problema llamadas restricciones que son un conjunto de igualdades o desigualdades que constituyen las barreras y obstáculos para la consecución del objetivo.

### **Obtención de una solución a partir del modelo**

Resolver un modelo consiste en encontrar los valores de las variables dependientes, asociadas a las componentes controlables del sistema con el propósito de optimizar, si es posible, o cuando menos mejorar la eficiencia o la efectividad del sistema dentro del marco de referencia que fijan los objetivos y las restricciones del problema.

### **Prueba del modelo**

El proceso de prueba y mejoramiento de un modelo para incrementar su validez se conoce como validación del modelo, la misma se realiza examinando de nuevo la formulación del problema y comparándola con el modelo. También es útil asegurarse de que todas las expresiones matemáticas sean consistentes en las dimensiones de las unidades que emplean. Además, puede obtenerse un mejor conocimiento de la validez del modelo variando los valores de los parámetros de entrada y/o de las variables de decisión, y comprobando que los resultados del modelo se comporten de una manera factible.

### **Establecimiento de controles sobre la solución**

Una solución establecida como válida para un problema permanece como tal siempre y cuando las condiciones del problema tales como: las variables no controlables, los parámetros, las relaciones, etc., no cambien significativamente. Esta situación se vuelve

más factible cuando algunos de los parámetros fueron estimados aproximadamente. Por lo anterior, es necesario generar información adicional sobre el comportamiento de la solución debido a cambios en los parámetros del modelo, usualmente esto se conoce como análisis de sensibilidad.

### **Implantación de la solución**

El paso final se inicia con el proceso de "vender" los hallazgos que se hicieron a lo largo del proceso a los ejecutivos o tomadores de decisiones. Una vez superado este obstáculo, se debe traducir la solución encontrada a instrucciones y operaciones comprensibles para los individuos que intervienen en la operación y administración del sistema.

### **Preparación para la aplicación del modelo**

La etapa de implantación incluye varios pasos. Primero, se explica a la gerencia operativa sobre el nuevo sistema que se va a adoptar y su relación con la realidad operativa. Luego se desarrollan los procedimientos requeridos para poner este sistema en operación y se capacita al personal que participa. Se inicia entonces el nuevo curso de acción. A la culminación del estudio, el equipo de investigación de operaciones de documentar su metodología con suficiente claridad y detalle para que el trabajo sea reproducible.

#### **1.4.2 Estructura de los modelos empleados en la Investigación de Operaciones.**

Un modelo matemático comprende principalmente tres conjuntos básicos de elementos. Estos son: variables y parámetros de decisión, restricciones y función objetivo.

*Variables y parámetros de decisión:* Son las incógnitas (o decisiones) que deben determinarse resolviendo el modelo. Los parámetros son los valores conocidos que relacionan las variables de decisión con las restricciones y función objetivo.

*Restricciones:* Para tener en cuenta las limitaciones tecnológicas, económicas y otras del sistema, el modelo debe incluir restricciones (implícitas o explícitas) que restrinjan las variables de decisión a un rango de valores factibles.

*Función objetivo:* Define la medida de efectividad del sistema como una función matemática de las variables de decisión.

La solución óptima será aquella que produzca el mejor valor de la función objetivo, sujeta a las restricciones.

### 1.4.3 Programación lineal

Muchas personas clasifican el desarrollo de la programación lineal entre los avances científicos más importantes de mediados del siglo XX, su impacto desde 1950 ha sido extraordinario. El tipo más común de aplicación que abarca es el problema general de asignar recursos limitados entre actividades competitivas de la mejor manera posible (es decir, en forma óptima). Con más precisión, este problema incluye elegir el nivel de ciertas actividades que compiten por recursos escasos necesarios para realizarlas. Después, los niveles de actividad elegidos dictan la cantidad de cada recurso que consumirá cada una de ellas.

#### Modelo de programación lineal

En (Hillier y Lieberman, 1998) se plantea que en la programación lineal, los términos clave son recursos y actividades, en donde  $m$  denota el número de distintos tipos de recursos que se pueden usar y  $n$  denota el número de actividades bajo consideración. Algunos ejemplos de recursos son dinero y tipos especiales de maquinaria, equipo, vehículos y personal. El tipo más usual de aplicación de programación lineal involucra la asignación de recursos a ciertas actividades. La cantidad disponible de cada recurso está limitada, de forma que deben asignarse con todo cuidado. La determinación de esta asignación incluye elegir los niveles de las actividades que lograrán el mejor valor posible de la medida global de efectividad.

Ciertos símbolos se usan de manera convencional para denotar las distintas componentes de un modelo de programación lineal:

$Z$  = valor de la medida global de efectividad.

$x_j$  = nivel de la actividad para  $j = \overline{1, N}$ .

$c_j$  = incremento en  $Z$  que resulta al aumentar una unidad en el nivel de la actividad  $j$ .

$b_i$  = cantidad de recurso  $i$  disponible para asignar a las actividades (para  $i = \overline{1, M}$ ).

$a_{ij}$  = cantidad del recurso  $i$  consumido por cada unidad de la actividad  $j$ .

El modelo establece el problema en términos de tomar decisiones sobre los niveles de las actividades, por lo que  $x_1, x_2, \dots, x_n$  se llaman *variables de decisión*. Los valores de  $c_j$ ,  $b_i$  y  $a_{ij}$  (para  $i = \overline{1, M}$  y  $j = \overline{1, N}$ ) son las *constantes de entrada* al modelo. Las  $c_j$ ,  $b_i$  y  $a_{ij}$  también se conocen como *parámetros* del modelo.

### Forma estándar del modelo

El modelo matemático para este problema general de asignación de recursos a actividades según la formulación de (Hillier y Lieberman, 1998) se presenta a continuación. Este modelo consiste en elegir valores de  $x_1, x_2, \dots, x_n$  para:

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n.$$

Sujeta a las restricciones:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1.$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0, \quad \dots, \quad x_n \geq 0.$$

**Otras formas:** Existen situaciones en las cuales el modelo anterior no se ajusta a la forma natural de algunos problemas de programación lineal. Otras formas legítimas son las siguientes:

1. Minimizar en lugar de maximizar la función objetivo:

$$\text{Minimizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n.$$

2. Algunas restricciones funcionales con desigualdad en el sentido mayor o igual:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \geq b_i, \quad \text{para algunos valores de } i.$$

3. Algunas restricciones funcionales en forma de ecuación:

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n = b_i, \quad \text{para algunos valores de } i.$$

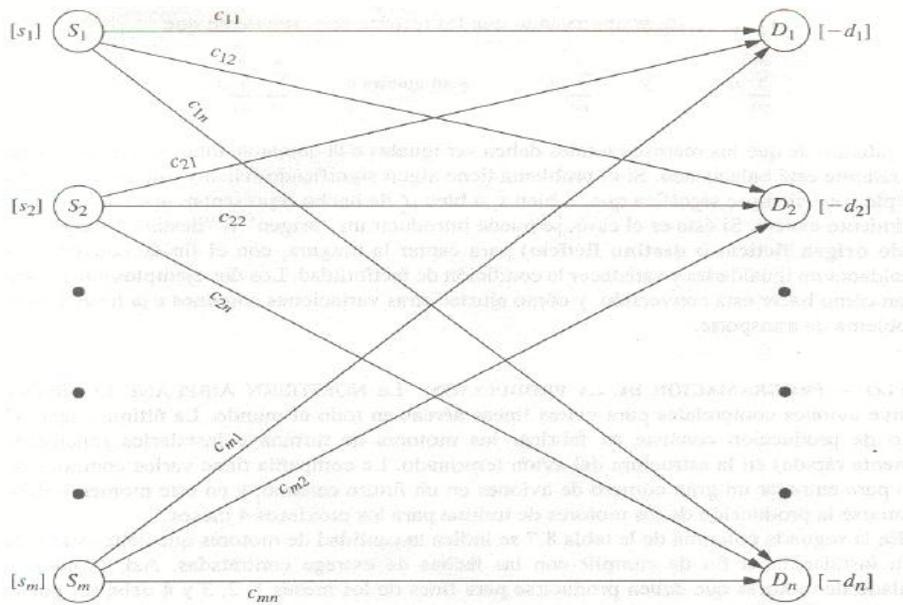
4. Las variables de decisión sin la restricción de no negatividad:

$x_j$ , no restringida en signo, para algunos valores de  $j$ .

#### 1.4.4 Problemas de transporte

El problema general de transporte se refiere (literal o en sentido figurado) a la distribución de cualquier bien desde cualquier grupo de centros de abastecimiento llamados orígenes, a cualquier grupo de centros de recepción, llamados destinos, de tal manera que se minimicen los costos totales de distribución (Hillier y Lieberman, 1998).

Así, por lo general, el origen  $i$  ( $i = \overline{1, M}$ ) dispone de  $s_i$ , unidades para distribuir a los destinos y el destino  $j$  ( $j = \overline{1, N}$ ) tiene una demanda de  $d_j$ , unidades que recibe desde los orígenes. Una suposición básica es que el costo de distribución de unidades desde el origen  $i$  al destino  $j$  es directamente proporcional al número distribuido, donde  $c_{ij}$ , denota el costo por unidad distribuida. La representación en red de este modelo aparece en la Figura 3.



**Figura 3: Esquema de red del problema del transporte. Fuente: (Hillier y Lieberman, 1998)**

Sea  $Z$  el costo total de distribución y  $x_{ij}$ , ( $i = \overline{1, M}$ ,  $j = \overline{1, N}$ ) el número de unidades que se distribuyen del origen  $i$  al destino  $j$ , la formulación de programación lineal para este problema es:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad Z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= s_i \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} &= d_j \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} &\geq 0, \quad \text{para toda } i \text{ y } j \end{aligned}$$

Cualquier problema de programación lineal que se ajuste a esta formulación especial es del tipo de problemas de transporte sin importar el contexto físico. Se han realizado numerosas aplicaciones no relacionadas con el transporte que se ajustan a esta estructura especial. Esta es una de las razones por las que **este** problema ~~de transporte~~ se suele considerar uno de los tipos especiales de problemas de programación lineal más importantes.

En muchas aplicaciones, las cantidades de abastecimiento o recursos y de demanda (las  $s_i$  y las  $d_j$ ) tienen valores enteros, y al trabajar con el modelo se requiere que las cantidades distribuidas (las  $x_{ij}$ ) tomen también valores enteros. Todos los problemas de este tipo tienen la siguiente propiedad.

- *Propiedad de soluciones enteras:* para los problemas de transporte en los que  $s_i$  y  $d_j$ , tienen un valor entero, todas las variables básicas (asignaciones), en toda solución básica factible (incluyendo la óptima), tienen también valores enteros.

Para que en los problemas de transporte se obtenga una solución óptima de cualquier tipo, un modelo de transporte debe tener soluciones factibles. La siguiente propiedad indica cuando ocurre esto.

- *Propiedad de soluciones factibles:* una condición necesaria y suficiente para que un problema de transporte tenga soluciones factibles es que:

$$\sum_{i=1}^m s_i = \sum_{j=1}^n d_j$$

Esta propiedad se puede verificar observando que las restricciones requieren que:

$$\sum_{i=1}^m s_i \quad y \quad \sum_{j=1}^n d_j \quad \text{sean iguales a} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}$$

Esta condición de que los recursos totales deben ser iguales a la demanda total en realidad exige que el sistema esté balanceado. Si el problema tiene algún significado físico y esta condición no se cumple, casi siempre significa que, o bien  $s_i$  o bien  $d_j$  de hecho representan una cota y no un requerimiento exacto. Si este es el caso, se puede introducir un “origen” o “destino” imaginario (llamado origen ficticio o destino ficticio) para captar la holgura, con el fin de convertir las desigualdades en igualdades y satisfacer la condición de factibilidad.

Aprovechando la estructura especial de los problemas de transporte en relación a la formulación general de un problema de programación lineal, se utiliza un procedimiento simplificado para su solución conocido como Método Simplex de Transporte (Bunday, 1989).

#### 1.4.5 Problemas de asignación

Un problema de asignación es un tipo especial de problema de programación lineal, en el que los asignados son recursos que se destinan a la realización de tareas; por ejemplo, los asignados pueden ser empleados a quienes se tiene que dar trabajo. La asignación de personas a trabajos es una aplicación común del problema de asignación. Sin embargo, los asignados no tienen que ser personas. También pueden ser máquinas, vehículos e incluso intervalos de tiempo a los que se asignan tareas. Según los autores (Hillier y Lieberman, 1998; Bronson y Naadimuthu, 1997), para que se ajuste a la definición de un problema de asignación es necesario que este tipo de aplicaciones se formule de manera tal que se cumplan las siguientes suposiciones:

1. El número de asignados es igual al número de tareas. (Este número se denota por  $n$ ).
2. Cada asignado se asigna a exactamente una tarea.
3. Cada tarea debe realizarla exactamente un asignado.

4. Existe un costo  $c_{ij}$  asociado con el asignado  $i$  ( $i = \overline{1, M}$ ) que realice la tarea  $j$  ( $j = \overline{1, N}$ ).
5. El objetivo es determinar cómo deben hacerse las  $n$  asignaciones, con el fin de minimizar los costos totales.

Las primeras tres suposiciones son bastante restrictivas. Muchas aplicaciones potenciales no las satisfacen por completo. Sin embargo, con frecuencia es posible reformular el problema para hacer que se ajuste. Por ejemplo, muchas veces se pueden usar asignados ficticios y tareas ficticias con este fin.

Continuando los planteamientos de (Hillier y Lieberman, 1998), el modelo matemático para el problema de asignación utiliza las variables de decisión  $x_{ij}$ , que asume el valor 1 si el asignado  $i$  realiza la asignación  $j$  y 0 en caso contrario, para  $i = \overline{1, M}$  y  $j = \overline{1, N}$ . Entonces, cada  $x_{ij}$  es una variable binaria (toma valores 0 ó 1). En este caso, las decisiones de si o no son: ¿debe el asignado  $i$  realizar la tarea  $j$  ?

Sea  $Z$  el costo total, el modelo del problema de asignación es:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij},$$

sujeta a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1 \quad \text{para } j = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \text{para toda } i \text{ y } j$$

$$x_{ij} \text{ binarias, } \quad \text{para toda } i \text{ y } j$$

El primer conjunto de restricciones funcionales especifica que cada asignado realiza exactamente una asignación, mientras que el segundo conjunto requiere que cada asignación sea realizada exactamente por un asignado. Si se elimina la restricción entre paréntesis de que  $x_{ij}$  sean binarias, resulta claro que el modelo es un tipo especial de problema de programación lineal, por lo que se puede resolver de inmediato. No

obstante, debido a las razones que se exponen a continuación, se puede eliminar esta restricción.

El problema de asignación es un caso especial de los problemas de transporte en donde los orígenes son ahora los asignados y los destinos son las asignaciones o tareas, y donde:

Número de orígenes ( $m$ ) = número de destinos ( $n$ ).

Cada recurso  $s_i = 1$ .

Cada demanda  $d_j = 1$ .

Como ahora toda  $s_i$  y  $d_j$ , son enteros (=1), esta propiedad significa que toda solución factible es (incluyendo la óptima) una solución entera para un problema de asignación. Las restricciones funcionales del modelo de asignación evitan que las variables sean mayores que 1, y las restricciones de no negatividad evitan valores menores que cero. Por lo tanto, al eliminar la restricción binaria para poder resolver el problema de asignación como un problema de programación lineal, las soluciones factibles que se obtienen (incluyendo la solución óptima final) automáticamente satisfarán la restricción binaria.

## 1.5 Algoritmos

Para darle solución a la problemática descrita se propone crear un algoritmo, sobre la base de la Investigación de Operaciones como metodología científica, que contenga un conjunto finito de pasos en un orden específico y lógico. El significado moderno de algoritmo es del todo similar a receta, proceso, método, técnica, procedimiento y rutina salvo que la palabra algoritmo denota precisamente algo un poco distinto. Además de ser, meramente, un conjunto finito de reglas que dan una secuencia de operaciones para resolver un tipo específico de problemas, un algoritmo cumple cinco importantes condiciones (Knuth, 1997):

*Finitud*: un algoritmo siempre debe terminar después de un número finito de pasos.

*Definibilidad*: cada paso de un algoritmo debe definirse de modo preciso; las acciones a realizar deben estar especificadas rigurosamente y sin ambigüedad.

*Entrada:* un algoritmo tiene cero o más entradas, cantidades dadas inicialmente antes de empezar el algoritmo. Estas entradas son tomadas de conjuntos específicos de objetos.

*Salida:* un algoritmo tiene una o más salidas, es decir, cantidades que tienen una relación específica con las entradas.

*Efectividad:* por lo general, se pretende que un algoritmo sea efectivo. Esto significa, que todas las operaciones a realizar en el mismo deben ser lo bastante básicas para poder, en principio, ser efectuadas de modo exacto y en un lapso de tiempo finito por un hombre usando lápiz y papel.

### 1.5.1 Seudocódigo

Para expresar claramente y sin ambigüedades un algoritmo se debe utilizar un pseudocódigo en lugar de un lenguaje completamente formal (Basic, Pascal, C, Java, y otros). Resulta ventajoso el uso de un pseudocódigo, pues no está sujeto a reglas de sintaxis tan estrictas y no hay que sacrificar la preferencia por un lenguaje u otro.

A continuación se muestran las instrucciones de un pseudocódigo que es cercano a la mayoría de los lenguajes de computación en uso, de manera que, no será difícil traducir los algoritmos al lenguaje deseado (Álvarez, Guerra y Lau, 1999).

*Operador de asignación:* se utilizará el signo  $:=$  para indicar que la expresión que aparezca a la derecha debe ser asignada a la variable que aparece a la izquierda. Por ejemplo,  $n := n - 1$  indica que a la variable llamada  $n$  debe asignársele el valor que tome la expresión  $n - 1$ . El símbolo  $:=$  indica una orden, no una relación de igualdad.

*Estructura alternativa:* se utiliza para indicar que, si se cumple una condición, se ejecute una secuencia de acciones y en caso contrario, se ejecute otra. Su estructura general es la siguiente:

```
if   condicion   then
      secuencia 1 de acciones
else
      secuencia 2 de acciones
end
```

A veces, la secuencia 2 de acciones no se necesita y, en ese caso se omite la palabra *else*.

*Estructuras repetitivas*: Sirven para que se ejecute repetidamente una secuencia de acciones. La secuencia se repite hasta que se satisface una cierta condición. Se emplearán dos tipos de estructuras repetitivas: *repeat – until* y *for*.

La estructura *repeat – until* tiene la forma:

```
repeat  
    secuencia de acciones  
until
```

Esta estructura permite entrar directamente en la secuencia de acciones correspondiente y, después de ejecutadas estas acciones, se analiza la validez de una condición para permitir o no repetir la secuencia de acciones.

La estructura repetitiva *for*, permite repetir una secuencia de acciones un número de veces que está previamente fijado, bajo el control de una variable que toma valores enteros consecutivos desde un número inicial hasta un número final, ambos prefijados.

La estructura *for* tiene la forma:

```
for   variable = valorInicial to valorFinal  
    secuencia de acciones  
end
```

Para expresar comentarios en el algoritmo se utilizarán las llaves (*{}*).

### 1.5.2 Análisis de la complejidad computacional

Una vez concluido el diseño de un algoritmo es necesario definir criterios para medir su rendimiento o comportamiento. Estos criterios se centran, principalmente, en el uso eficiente de los recursos. Respecto al análisis de la eficiencia de los algoritmos, este suele medirse en función de dos parámetros: el espacio, es decir, memoria que utiliza y el tiempo, lo que tarda en ejecutarse. Ambos representan los costos que supone encontrar la solución al problema planteado mediante un algoritmo.

El análisis de la eficiencia temporal y espacial se hace únicamente con base al algoritmo escrito en pseudocódigo. Como el pseudocódigo no se puede ejecutar para

medir la cantidad de tiempo que consume, la complejidad temporal, por ejemplo, no se expresa en unidades de tiempo, sino en términos de la cantidad de operaciones que realiza. Cada operación requiere cierta cantidad constante de tiempo para ser ejecutada, por esta razón si se cuenta el número de operaciones realizadas por el algoritmo se obtiene una estimación del tiempo que le tomará resolver el problema.

El comportamiento de un algoritmo puede cambiar notablemente para diferentes entradas. Por eso se estudian tres casos para un mismo algoritmo: caso peor, caso mejor y caso medio. El caso mejor corresponde a la traza (secuencia de sentencias) del algoritmo que realiza menos instrucciones. El caso peor corresponde a la traza del algoritmo que realiza más instrucciones. El caso medio, corresponde a la traza del algoritmo que realiza un número de instrucciones igual a la esperanza matemática de la variable aleatoria definida por todas las posibles trazas del algoritmo para un tamaño de la entrada dado, con las probabilidades de que estas ocurran para esa entrada.

La función complejidad  $f(n)$ ; donde  $n$  es el tamaño del problema, da una medida de la cantidad de recursos que un algoritmo necesitará al implantarse y ejecutarse en alguna computadora. Puesto que la cantidad de recursos que consume un algoritmo crece conforme el tamaño del problema se incrementa, la función complejidad es monótona creciente ( $f(n) > f(m) \Leftrightarrow n > m$ ) con respecto al tamaño del problema.

Dada una función  $f$ , se quiere estudiar aquellas funciones  $g$  que a lo sumo crecen tan deprisa como  $f$ . Al conjunto de tales funciones se le llama *cota superior* de  $f$  y se denota  $O(f)$ . Conociendo la cota superior de un algoritmo, se puede asegurar que, en ningún caso, el tiempo empleado será de un orden superior al de la cota.

Dada una función  $f$ , se quiere estudiar aquellas funciones  $g$  que a lo sumo crecen tan lentamente como  $f$ . Al conjunto de tales funciones se le llama *cota inferior* de  $f$  y se denota  $\Omega(f)$ . Conociendo la cota inferior de un algoritmo, el tiempo empleado en su ejecución será de un orden inferior al de la cota. Como última cota asintótica, se definen los conjuntos de funciones que crecen asintóticamente de la misma forma y se denota como  $\Theta(f)$ .

Entre los órdenes de funciones se establecen operaciones:

*Menor o Igual:* dados los órdenes de dos funciones  $O(f(n))$  y  $O(g(n))$

$O(f(n)) \leq O(g(n))$  si y solo si  $O(f(n)) \subseteq O(g(n))$

*Orden de una suma de funciones:*  $O(f(n) + g(n)) = O(\max(f(n), g(n)))$

Para un algoritmo dado se pueden obtener tres funciones que miden su tiempo de ejecución, que corresponden a sus casos mejor, medio y peor, y que se denominan respectivamente  $T_m(n)$ ,  $T_{1/2}(n)$  y  $T_p(n)$ . Para cada una de ellas se pueden dar tres cotas asintóticas de crecimiento. Con estos supuestos se puede decir que ~~para~~ un algoritmo ~~tiene su~~ orden de complejidad es  $O(f)$  si su tiempo de ejecución para el peor caso es de orden  $O$  de  $f$ , es decir,  $T_p(n)$  es de orden  $O(f)$ . De igual forma sucede con el caso medio y el mejor.

Gran parte de los algoritmos tienen una complejidad que cae en uno de los siguientes casos:  $O(1)$ , complejidad constante;  $O(\log n)$ , complejidad logarítmica;  $O(n)$ , complejidad lineal;  $O(n \log n)$ , complejidad cuasi-lineal;  $O(n^2)$ , complejidad cuadrática;  $O(n^k)$ , complejidad polinómica;  $O(c^n)$ ,  $c > 1$  complejidad exponencial;  $O(n!)$ , complejidad factorial (Castillo 2002; Knuth, 1997; Pérez y Mac, 2005). Es posible relacionar los algoritmos atendiendo a su orden de acuerdo a la expresión:

$$O(1) \subseteq O(\log n) \subseteq O(n) \subseteq O(n \log n) \subseteq O(n^2) \subseteq O(n^3) \subseteq O(2^n) \subseteq O(n!)$$

Algunos autores plantean que ~~analizar analizando~~ el caso peor de un algoritmo debe ser suficiente para definir su complejidad. ~~S~~sin embargo, existen algoritmos como el Método Simplex de la Programación Lineal, que tiene un orden de complejidad exponencial, ineficiente para solucionar problemas muy grandes, y eficiente para problemas medianos y pequeños (Griva y Stephen (2009); Hillier y Lieberman, 1998). Para evaluar el cálculo de la complejidad de un algoritmo es necesario evaluar la complejidad de las operaciones que lo conforman con las siguientes reglas:

- *Complejidad de asignaciones y expresiones simples:* el tiempo de ejecución de toda instrucción de asignación simple. La complejidad de una expresión formada por términos simples, o de toda constante, es  $O(1)$ .

- *Secuencia de instrucciones*: el tiempo de una secuencia de instrucciones es igual a la suma de sus tiempos de ejecución respectivos. Para una secuencia de dos instrucciones  $I_1$  e  $I_2$ , su tiempo de ejecución está dado por la suma de los tiempos de ejecución de  $I_1$  e  $I_2$ , es decir:

$$T(I_1; I_2) = T(I_1) + T(I_2)$$

Aplicando la regla de la suma, su orden es:

$$O(T(I_1; I_2)) = O(T(I_1) + T(I_2))$$

$$O(T(I_1; I_2)) = \max(O(T(I_1)), O(T(I_2)))$$

- *Instrucciones condicionales*: el tiempo de ejecución requerido por una instrucción condicional “if-then”, es el necesario para evaluar la condición, más el requerido para el conjunto de instrucciones que se ejecutan cuando se cumple la condición.

$$T(\text{if then}) = T(\text{condicion}) + T(\text{rama then})$$

El tiempo para una instrucción condicional del tipo “if-then-else” es el resultante de evaluar la condición, más el máximo entre los requeridos para ejecutar el conjunto de instrucciones de las ramas “then” y “else”.

$$T(\text{if then else}) = T(\text{condicion}) + \max(T(\text{rama then}), T(\text{rama else}))$$

Si ~~se aplica~~ aplicamos la regla de la suma, ~~se tienen~~ tenemos que:

$$O(T(\text{if then else})) = O(T(\text{condicion})) + \max(O(T(\text{rama then}), O(T(\text{rama else})))$$

- *Instrucciones de iteración*: la complejidad en tiempo de un ciclo “for” es el producto del número de iteraciones por la complejidad de las instrucciones del cuerpo del ciclo. Para ciclos “while”, “loop” y “repeat” se sigue la regla anterior, considerando la estimación del número de iteraciones para el peor caso posible.

- *Llamadas a procedimientos*: la evaluación de la complejidad de la llamada a un procedimiento esta dada por el tiempo requerido para ejecutar el cuerpo del procedimiento, no se tiene en cuenta el tiempo necesario para efectuar el paso de los argumentos.

## 1.6 Desarrollo de aplicaciones informáticas

La toma de decisiones es uno de los procesos fundamentales que se desarrollan en las organizaciones. Indica que un problema o situación es analizado y valorado con el objetivo de elegir el mejor camino a seguir, según las diferentes alternativas y operaciones. Estas decisiones deben contribuir a mantener la armonía, coherencia de la institución y por ende su eficiencia (Cohen Karen, 1999; Vercellis, 2009).

Un Sistema de Soporte a la Toma de Decisiones (DSS por sus siglas en inglés) es una aplicación informática que combina datos y modelos matemáticos para ayudar al personal encargado de la resolución de problemas que se presentan en la gestión de las empresas u organizaciones (Vercellis, 2009).

Este tipo de sistemas apoya la toma de decisiones mediante la generación y evaluación sistemática de diferentes alternativas o escenarios de decisión. Con este propósito, en la presente investigación se implementa el algoritmo propuesto en un sistema informático. No obstante, la responsabilidad de tomar una decisión, de adoptarla y de realizarla es de los usuarios del sistema.

Para desarrollar la aplicación informática se utiliza la metodología ICONIX, que es un proceso práctico de desarrollo de software. Esta metodología utiliza UML (Unified Modeling Language, por sus siglas en inglés) en sus etapas, manteniendo una rastreabilidad sostenida en el seguimiento de los requisitos, permitiéndole adaptarse con facilidad a nuevos cambios. (Rosenberg, 2005).

Se ha optado por el software libre como plataforma de trabajo para la implementación en un sistema informático de la solución que se propone. El concepto “libre” del software libre no está asociado al término gratuidad, sino a las libertades que posee<sup>8</sup>: la libertad de ejecutar el programa sea cual sea el propósito; la libertad para estudiar el funcionamiento del programa y adaptarlo a las necesidades; la libertad para redistribuir copias y ayudar a otros; la libertad para mejorar el programa y luego publicarlo para el bien de toda la comunidad.

En Cuba, desde octubre del 2002, existe una política de migración de productos informáticos desarrollados en software propietario hacia libre y el establecimiento del uso del software libre en los nuevos desarrollos de productos. Esta política general de

---

<sup>8</sup> Free Software Foundation: <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.es.html>

informatización es aplicada en la empresa Desoft que utiliza la combinación del servidor Web de aplicaciones, Apache; el lenguaje de programación, PHP y el MySQL Server, como sistema de gestión de bases de datos relacionales. Con estas tecnologías se elaboran aplicaciones informáticas rápidas y de menor costo a las de software propietario.

El servidor HTTP Apache es un servidor Web de código abierto para plataformas Unix, Windows, Macintosh y otras, que implementa el protocolo HTTP/1.1 y la noción de sitio virtual. Este servidor se desarrolla dentro del proyecto HTTP Server de la Apache Software Foundation<sup>9</sup>.

PHP, acrónimo de "PHP: Hypertext Preprocessor", es un lenguaje "Open Source" interpretado de alto nivel, especialmente pensado para desarrollos Web, el cual puede ser embebido en páginas HTML. La mayoría de su sintaxis es similar a C, Java y Perl y es fácil de aprender. PHP es extremadamente simple para el principiante, pero a su vez, ofrece muchas características avanzadas para los programadores profesionales y proporciona múltiples funciones para el tratamiento y ordenamiento de vectores y matrices<sup>10</sup>.

El lenguaje de programación PHP puede ser utilizado en cualquiera de los principales sistemas operativos del mercado, incluso Linux. Soporta la mayoría de servidores Web actuales, incluyendo Apache. De modo que, con PHP existe la libertad de elegir el sistema operativo y el servidor que se desee. También da la posibilidad de usar programación orientada a objetos y soporte para la conexión con una gran cantidad de bases de datos entre las que se encuentra MySQL.

Existen varios marcos de trabajo para el desarrollo de aplicaciones rápidas en PHP y orientadas a objetos. Prado (PHP Rapid Application Development Object-oriented) es uno de ellos, se basa en componentes y eventos. Entre las características que ofrece se encuentra la separación entre las capas de presentación y la lógica de negocios, una arquitectura modular configurable, componentes Web con AJAX incluido, internacionalización y localización, manejo de errores, logs, caché, y otras<sup>11</sup>.

---

<sup>9</sup> Apache Software Foundation: <http://www.apache.org/>

<sup>10</sup> PHP: <http://www.php.net>

<sup>11</sup> Marco de trabajo Prado: <http://www.pradosoft.com/>

MySQL Server, el sistema de gestión de bases de datos SQL Open Source más popular, lo desarrolla, distribuye y soporta MySQL AB que es una compañía comercial fundada por los desarrolladores de MySQL. Este sistema de gestión de bases de datos permite coleccionar datos de una forma estructurada. Puede ser, desde una simple lista de compra a un conjunto de alternativas o escenarios de decisión obtenidos de un Sistema de Soporte a la Toma de Decisiones o las más vastas cantidades de información en una red corporativa<sup>12</sup>.

Una base de datos relacional almacena datos en tablas separadas en lugar de poner todos los datos en un gran almacén. Esto añade velocidad y flexibilidad. MySQL software es Open Source hasta su versión 5.0, la cual se usa en este proyecto. Esto significa que se puede usar y modificar el software.

---

<sup>12</sup> MySQL Server: <http://www.mysql.com>

## Conclusiones parciales

Una de las direcciones para dar respuesta a la problemática planteada, a la luz de una revisión bibliográfica sobre el estado del arte en el área de la gestión de transportación de productos, indica un enfoque a través de la Investigación de Operaciones y la utilización de los modelos de transporte y asignación en la determinación de las rutas de distribución y la asignación de los medios de transporte a las rutas respectivamente. Todo esto integrado en un algoritmo, con una secuencia lógica de operaciones, que tenga en cuenta las restricciones que acompañan el problema expuesto en la presente investigación. Además, la implementación de los algoritmos en sistemas informáticos, cuyas herramientas de desarrollo fueron seleccionadas, ayuda a la verificación de los mismos.

## Capítulo 2. Algoritmo para la gestión de transporte de productos de la canasta básica

La gestión de transporte para los productos de la canasta básica, generalmente, tiene una frecuencia diaria. Se planifica la transportación de uno o varios productos a partir de la existencia de ofertas en los orígenes que satisfaga las demandas de los destinos. Para obtener propuestas de planes de viajes, que respondan a la transportación de un día, el algoritmo diseñado se ejecuta para cada producto una sola vez. El resultado de cada ejecución es una propuesta de plan de viajes para un único producto.

La primera ejecución del algoritmo dispone de todos los medios de transporte y brigadas definidos para el día que se planifica; las siguientes ejecuciones para otros productos se realizan a partir de las disponibilidades restantes de cada corrida anterior. Para definir las prioridades con respecto al orden de planificación de los productos, el especialista valora la conservación de la calidad de los mismos y las primeras necesidades de la población. El diseño del algoritmo está conformado por un conjunto de pasos sucesivos organizados en una secuencia lógica. Estos pasos se enuncian a continuación:

**Paso 1.** Lectura de los datos.

**Paso 2.** Transportación óptima a partir de distancias mínimas.

**Paso 3.** Generación de las rutas.

**Paso 4.** Rendimiento por rutas de cada medio de transporte.

**Paso 5.** Distribución de los medios de transporte que optimiza el rendimiento total.

**Paso 6.** Cálculo de la cantidad transportada por rutas.

**Paso 7.** Distribución de brigadas para cargar medios de transporte.

**Paso 8.** Cálculo de las disponibilidades de medios de transporte y de brigadas.

**Paso 9.** Obtención de los resultados de la iteración.

**Paso 10.** Selección de un nuevo producto e ir al **Paso 2**.

La Figura 4 muestra el diagrama de flujo general del algoritmo diseñado.

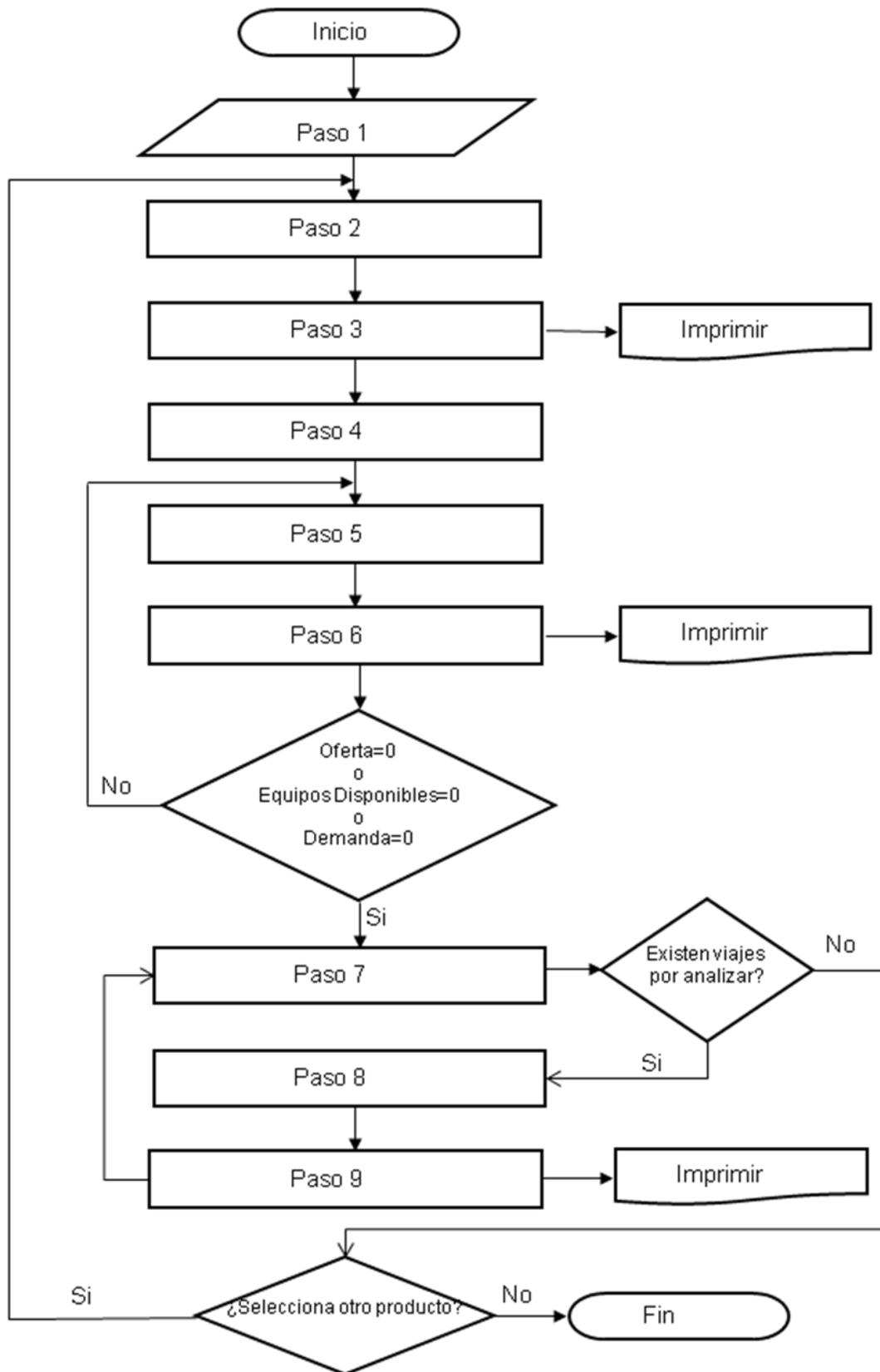


Figura 4. Diagrama de flujo del Algoritmo

## 2.1 Descripción de los pasos del algoritmo

### 2.1.1 Paso 1. Lectura de los datos

En este paso se definen los datos que conforman el problema y se consideran los parámetros e informaciones necesarios para la ejecución del algoritmo.

#### Datos generales

- Orígenes  $M$  : número de centros de carga.
- Destinos  $N$  : número de establecimientos o almacenes.
- Medios de transporte disponibles  $T$  .
- Producto a distribuir: en el algoritmo no se utiliza un subíndice para el producto, porque cada ejecución completa del mismo se realiza para uno específico.

#### Cantidades a transportar del producto

- Disponibilidad en los orígenes (en toneladas)  $A_i, i = \overline{1, M}$  .
- Necesidades en los destinos (en toneladas)  $B_j, j = \overline{1, N}$  .

#### Tiempos en los orígenes y destinos

Para cada origen y destino se definen los tiempos de demoras en el proceso de carga y descarga para el producto seleccionado.

- Tiempo de carga de una unidad de producto en los orígenes (en horas):  
 $Tuc_i, i = \overline{1, M}$  .
- Tiempo de descarga de una unidad de producto en los destinos (en horas):  
 $Tud_j, j = \overline{1, N}$  .
- Tiempo de espera para cargar en los orígenes (en horas):  
 $Tec_i, i = \overline{1, M}$  .
- Tiempo de espera para descargar en cada destino (en horas):  
 $Ted_j, j = \overline{1, N}$  .

#### Coeficientes de productos

Para el producto seleccionado se especifican determinados coeficientes que lo relacionan con unidades de almacenamiento.

- Coeficiente de pérdida  $kc$ : El valor definido debe estar entre 0,7 y 1.

- Peso bruto  $Pb$ : El valor definido debe estar entre 0,04 y 0,07 toneladas.
- Volumen de una unidad de embalaje  $Vc$  (en  $m^3$ ).

### Distancias y tiempos complementarios entre Orígenes y Destinos

- Distancia entre un origen y un destino (en kilómetros (km)):

$$D_{i,j}, \quad i = \overline{1, M}, \quad j = \overline{1, N}.$$

- Tiempo de parada promedio (en horas y minutos (HH:mm))  $Tp$ : tiempo de pérdida eventual en un viaje. Este tiempo se considera constante (o sea, es independiente de la ruta y no incluye horario de almuerzo). Por defecto, se asume un tiempo de 30 minutos.
- Tiempo extra de viaje (en HH:mm)  $TAfect_{ij}$ : tiempo extra que puede demorar un viaje de un origen a un destino por varios conceptos: camino montañoso, carretera defectuosa y otros que son propios de cada ruta.

### Disponibilidad de transporte

Para el día que se planifica se definen los medios de transporte que realizarán los viajes a los destinos. Las bases transportistas que los proporcionan facilitan las siguientes características:

- Volumen del medio de transporte  $CW_t$ ,  $t = \overline{1, T}$ : los valores deben estar entre 0,10 y 0,15  $m^3$ .
- Capacidad de carga nominal  $q_t$ ,  $t = \overline{1, T}$ .
- Velocidad técnica a la que viaja un equipo cargado (en (km/h)  $Vt_t$ ,  $t = \overline{1, T}$ .
- Tiempo de Trabajo (en horas)  $Tr_t$ ,  $t = \overline{1, T}$ : tiempo de trabajo que se planifica para el equipo. No incluye hora de almuerzo del conductor, o sea, que en ese tiempo el equipo para y se tiene en cuenta al correr la hora de inicio para un próximo viaje, pero no consume su tiempo de trabajo.
- Hora de Inicio de trabajo del medio de transporte (en HH:mm)  $hi_t$ .

### Distancias entre las bases transportistas y los orígenes y destinos

Los valores de la distancia entre cada base transportista que proporciona el parque de equipos disponibles y todos los posibles orígenes y destinos son datos esenciales en el cálculo del tiempo de viaje de los recorridos:

- Distancia entre la base de cada equipo y los orígenes (en km)

$$DBO_{it}, \quad i = \overline{1, M}, \quad \overline{1, T}.$$

- Distancia entre la base de cada equipo y los destinos (en km)

$$DDB_{jt}, \quad j = \overline{1, N}, \quad \overline{1, T}.$$

### Datos sobre las brigadas

Se necesita conocer en cada origen los datos de las brigadas de trabajo para el día que se planifica:

- Número de brigadas en los orígenes  $NBr_i, \quad i = \overline{1, M}$ .
- Hora de inicio de trabajo (en HH:mm)  $HiBr_{ib}, \quad i = \overline{1, M}, \quad b = \overline{1, NBr_i}$ .
- Tiempo de trabajo (en HH:mm)  $TtrBr_{i,b}, \quad i = \overline{1, M}, \quad b = \overline{1, NBr_i}$ .

### Otros parámetros a configurar

Son aquellos parámetros que pueden ser configurados y que por omisión el algoritmo asume valores por defecto en cada uno:

- Cubrir rutas largas  $RL$ : toma dos posibles valores: 1, significa que se satisfacen primero las rutas largas; 2, primero las rutas cortas. Por defecto, el valor es 1.
- Tiempo de almuerzo (en HH:mm)  $Ta$ : tiempo definido para que los conductores y las brigadas almuercen. Por defecto, se asume 1 hora.
- Hora de inicio de almuerzo (en HH:mm)  $Hia$ : por defecto, a las 12:00 horas.
- Tiempo de cena (en HH:mm)  $Tc$ : tiempo para cenar choferes y brigadas. Por defecto, se asume 1 hora.
- Hora de inicio de la cena (en HH:mm)  $Hic$ : por defecto, a las 18:00 horas.

#### 2.1.2 Paso 2. Transportación óptima a partir de distancias mínimas

Para el cálculo de la transportación óptima desde los orígenes hacia los destinos se utiliza el siguiente modelo de Programación Lineal:

$$\min \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij}, \text{ sujeto a las restricciones}$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = A_i > 0, \quad i = \overline{1, M}. \quad (\text{Ofertas})$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = B_j > 0, \quad j = \overline{1, N}. \quad (\text{Demandas})$$

Aquí  $x_{ij}$  representa la cantidad de toneladas a transportar desde el origen  $i$  hasta el destino  $j$  y  $C_{ij} = D_{ij}$ , donde  $D_{ij}$  es la distancia total a recorrer entre los orígenes y destinos y es usada en el algoritmo como criterio de optimización. Se considera el cumplimiento de la condición de equilibrio, o sea, que:

$$\sum_{i=1}^M A_i = \sum_{j=1}^N B_j$$

El total de ofertas de un producto en los orígenes es igual al total demandado en los destinos. En (Bunday, 1989) se describe, en lenguaje Basic, el algoritmo de transporte que fue utilizado para determinar las rutas óptimas. Luego de su ejecución, el resultado final se obtiene en las matrices  $IX_{ij}$  y  $X_{ij}$ , tales que: cuando  $IX_{ij} = 1$  se transportan  $X_{ij}$  toneladas del origen  $i$  al destino  $j$  y cuando  $IX_{ij} = 0$  entonces  $X_{ij} = 0$ .

### 2.1.3 Paso 3. Generación de las rutas

A partir de los resultados del paso 2, matrices  $IX_{ij}$  y  $X_{ij}$ , se generan las rutas  $r$ ,  $r = \overline{1, R}$ , a través de las cuales se va a efectuar la transportación del producto. Las rutas se conforman con las matrices de datos: orígenes  $IO_r$ , destinos  $ID_r$  y demandas a satisfacer  $DR_r$ . La siguiente tabla muestra el primer acercamiento a un plan de transportación.

**Tabla I. Plan de viajes. Rutas**

Ruta	Origen	Destino	Toneladas a transportar
------	--------	---------	-------------------------

### 2.1.4 Paso 4. Rendimiento por rutas de cada medio de transporte

Con las rutas obtenidas y los equipos disponibles, de los cuales se conocen determinadas características, se calcula el rendimiento promedio de cada medio en cada ruta. Este rendimiento se utiliza para satisfacer la demanda de los productos de la canasta básica en el menor tiempo posible. El llamado Método de Isorrendimiento,

descrito en ~~el Epígrafe~~ ~~la sección~~ 1.2.1, es uno de los métodos en que se apoya el algoritmo.

Desde el punto de vista analítico se dice que el rendimiento promedio horario por equipo  $t$  en un viaje determinado (o sea, para una ruta  $r$  específica) se calcula como (Pérez et al., 2002):

$$Wp^h = \frac{q \cdot \gamma_{st} \cdot \beta \cdot vt \cdot lm}{lm + tp \cdot vt \cdot \beta},$$

donde:

$Wp^h$ : coeficiente de isorrendimiento (en Toneladas-Km/h);

$q$ : capacidad nominal del equipo ( $t$ );

$\gamma_{st}$ : sigma estático del equipo;

$\beta$ : coeficiente de aprovechamiento del recorrido;

$vt$ : velocidad técnica del equipo;

$lm$ : longitud media del recorrido;

$tp$ : tiempo de parada promedio.

Aquí se omiten los subíndices  $t$  y  $r$  para simplificar la exposición. En esta fórmula,  $q$ ,  $vt$  y  $tp$  son datos. Para hallar el número de unidades  $v$  que carga el equipo, se determina la capacidad volumétrica específica del equipo  $Cwe = CW/q$  y el volumen específico de la carga por producto  $Vet = kc \cdot Vc / Pb$ ; de esta forma, denotando como  $[x]$  la parte entera del número  $x$ ,

$$v = \begin{cases} [q/Pb], & Vet \leq Cwe; \\ [CW/(Vet \cdot Pb)], & Vet > Cwe. \end{cases}$$

Luego se aprecia que:

$$q \cdot \gamma_{st} = v \cdot Pb = qr,$$

y

$$\beta = \frac{LcR}{LT} = \frac{LcR}{LcR + LsR + DBO + DDB},$$

donde:

$qr$ : peso de la carga sobre el equipo (en toneladas).

$LcR$ : distancia que recorre el equipo con carga (en Km).

$LsR$ : distancia que recorre el equipo sin carga (en Km).

$DBO$ : distancia de la base de transporte a los orígenes (en Km).

$DDB$ : distancia de los destinos a la base (en Km).

$LT$ : longitud total del recorrido (en Km).

Finalmente se considera que  $lm = LcR = D_{ij}$  para una determinada ruta  $r$  con origen  $i$  y destino  $j$ , lo que concluye la determinación del coeficiente de rendimiento  $Wp^h$  para cada ruta  $r$  y cada equipo  $t$ .

Ahora se nota que si  $Lcr = Lsr$ ,  $DBO \ll lm$  y  $DDB \ll lm$ , entonces:

$$\beta = \frac{LcR}{LT} = \frac{LcR}{LcR + LsR + DBO + DDB} \approx \frac{lm}{2 \cdot lm} = 0.5.$$

De aquí:

$$Wp^h \approx \frac{qr}{\frac{2}{vt} + \frac{tp}{lm}}.$$

Entonces, si la velocidad técnica  $vt$  y el tiempo de parada promedio  $tp$  permanecen constantes, minimizar  $Wp^h$  equivale a que sean atendidas primero las rutas cortas (mínimo  $lm$ ) y se escojan primero los equipos que llevan menor carga (mínimo  $qr$ ); lo contrario ocurre si se maximiza  $Wp^h$ . En este análisis se ha considerado que el equipo regresa vacío.

Como resultado de este paso se obtiene la matriz  $Wp_{tr}^h$  con el rendimiento de cada equipo  $t$  en cada ruta  $r$ .

### 2.1.5 Paso 5. Distribución de los medios de transporte que optimiza el rendimiento total

En este paso se asignan los medios de transporte en las rutas y se utiliza el mismo algoritmo de transporte del Paso 2, como un caso especial para resolver un problema

de asignación. En este Paso 5, antes de la llamada al mencionado algoritmo, se analiza la cantidad de equipos disponibles y rutas generadas, sino coinciden se introducen rutas ficticias o equipos ficticios para que se cumpla la condición de equilibrio. En este caso de asignación se utiliza  $Wp_{tr}^h$  como criterio de optimización y se cumple que:

$$c_{i,j} = Wp_{tr}^h, A_i = B_j = 1.$$

Ejecutado el algoritmo de transporte se obtiene, como resultado final, la matriz  $IY_{rt}$ , de manera que, cuando  $IY_{rt} = 1$  el medio  $t$  se asigna a la ruta  $r$ ; no se asigna cuando  $IY_{rt} = 0$ .

A partir de este resultado se ejecuta el Paso 6, explicado en el epígrafe siguiente, a continuación se calculan las variables que establecen la repetición del ciclo de asignación de medios de transporte a rutas como parte de este paso 5 y se repite nuevamente el Paso 6. Este ciclo termina cuando se asignen equipos en todos los orígenes o todos los destinos o se agoten los medios a asignar. Con la condición de parada del ciclo concluye el Paso 5.

### 2.2.6 Paso 6. Cálculo de la cantidad transportada por rutas

Continuando el algoritmo dentro del ciclo del Paso 5, se recorre la matriz  $IY_{rt}$  y para cada equipo asignado en cada ruta se calculan los diferentes tiempos que influyen en el tiempo de viaje, a partir de éstos y el tiempo de trabajo del equipo se obtiene la cantidad de viajes que puede dar en la misma ruta y con regreso nuevamente al origen. Para cada viaje se define la cantidad de toneladas del producto que puede transportar de acuerdo a la capacidad del equipo. Si la demanda de la ruta analizada no está satisfecha, se considera la posibilidad de que el mismo equipo realice un viaje de ida, en este caso no regresa al origen, pues su tiempo de trabajo no le alcanza para un viaje completo.

En este paso del algoritmo se trata de satisfacer la demanda de cada ruta con el equipo asignado, si la cantidad demandada y el tiempo de trabajo del equipo son suficientes. El resultado final de este paso consiste en obtener los datos de cada viaje, con los horarios de salida del origen y de llegada de retorno al origen, o a la base transportista

(en un viaje de ida) para el medio de transporte asignado. En la siguiente tabla se muestra la conformación de un viaje:

**Tabla II. Plan de viajes. Rutas, equipos, horario y tiempo de viaje**

No. Viaje	Equipo	Origen	Destino	Toneladas a transportar	Tiempo de viaje	Hora inicio	Hora fin
-----------	--------	--------	---------	-------------------------	-----------------	-------------	----------

Concluido el paso 6, se obtienen vectores con la información de los viajes: en el viaje  $k$  se cubre la ruta  $RU_k = r$ , donde el equipo  $EQ_k = t$  viaja desde el origen  $IO_r = i$  hasta el destino  $ID_r = r$ , transportando  $CT_k = X_{i,j}$  toneladas con un tiempo de viaje de  $Tv_{t,r}$  horas, se inicia a las  $HiV_k$  horas y termina a las  $HfV_k$  horas.

Hasta esta etapa del algoritmo se ha conformado una propuesta de un plan de viajes para distribuir un producto. Este plan no incluye el funcionamiento de los orígenes con respecto a la planificación de turnos y brigadas de trabajo disponibles para cargar los equipos asignados en cada ruta, aspecto este que se realiza en el Paso 7.

**2.2.7 Paso 7. Distribución de brigadas para cargar medios de transporte**

Para resolver cuál brigada carga qué viajes del plan de transportación definido en el Paso 6, utilizando los vectores  $RU$ ,  $EQ$ ,  $HiV$ ,  $HfV$  y  $CT$ , se ha diseñado un algoritmo que primero organiza estos vectores por el criterio de hora de inicio  $HiV$  de los viajes, en orden ascendente con el método de ordenamiento por inserción (Knuth, 1997). A continuación se aplica, para cada viaje, el ordenamiento por inserción al vector  $HiBr$  (hora de inicio de trabajo de las brigadas) en orden ascendente. Posteriormente, se busca la brigada con tiempo suficiente para cargar el viaje, si existe, se asigna y se procede a actualizar la hora de inicio del recorrido  $HiV_k$  por el criterio de  $\max \{HiV_k, HiBr_{i,b}\}$ . En esta asignación se evalúa el descuento por la demora en el proceso de carga y el horario de almuerzo y/o cena que tienen las brigadas, de acuerdo a su horario de trabajo.

Dependiendo de las disponibilidades de las brigadas ( $NBr$  y  $TtrBr$ ) se logra cubrir o no la asignación de las mismas a los viajes. Esto permite hacer determinados análisis sobre los horarios y turnos de trabajo que deben implementarse para completar los

datos que conforman el plan de transportación. De esta etapa se obtiene la matriz  $IZ_{t,r} = b$ , con el número de brigada asignado; el valor -1 significa que no se asignó en el viaje  $k$ . Si se descontó el tiempo de almuerzo y/o cena del tiempo de trabajo de la brigada asignada, en la columna Almuerzo / Cena se imprime la cantidad descontada en horas. La conformación final de un plan de viajes para un producto se muestra a continuación:

**Tabla III. Plan de viajes. Rutas, equipos, horario, tiempo de viaje y brigada**

No. Viaje	Equipo	Origen	Destino	Toneladas a transportar	Tiempo de viaje	Hora inicio	Hora fin	Almuerzo / Cena	Brigada
-----------	--------	--------	---------	-------------------------	-----------------	-------------	----------	-----------------	---------

### 2.2.8 Paso 8. Cálculo de las disponibilidades de medios de transporte y de brigadas

Se actualizan las matrices de tiempo y hora de inicio de trabajo de las brigadas en cada origen y el tiempo de trabajo de los equipos.

### 2.2.9 Paso 9. Obtención de los resultados de la iteración

Impresión de los resultados como se muestran en la Tabla III.

### 2.2.10 Paso 10. Selección de un nuevo producto e ir al Paso 2

Se selecciona el producto para el cual se ejecuta el algoritmo a partir del Paso 2, este nuevo plan de viajes se obtendrá a partir de las disponibilidades actualizadas en el paso anterior.

## 2.3 Algoritmo en pseudocódigo

El algoritmo diseñado se describe con las instrucciones de pseudocódigo descritas en el Capítulo 1. Los vectores y matrices definidos en [el Epígrafa Sección 2.2.1](#), para representar los datos, son utilizados en el algoritmo. Se emplean otras definiciones que aparecen en la descripción y que según corresponda se hace el comentario adecuado.

### Paso 1

Entrada de datos: escalares  $M, N, T, Tp, Pb, Vc, kc$ ; vectores  $A, B, CW, q, Vt, Ttr, hi$ ; matrices  $D, Tuc, Tud, Tec, Ted, TAfect, DBO, DDB, NBr, HiBr, TtrBr, RL, Tac, Hiac$ .

Inicializadas las variables con todos los datos a utilizar y previamente validados, se ejecuta el Paso 2.

### Paso 2

{Verificar condición de equilibrio}

{ $OT$  : Oferta total;  $DT$  : Demanda total}

$OT := 0$

$DT := 0$

For  $i = 1$  to  $M$

$OT := OT + A(i)$

end

For  $j = 1$  to  $N$

$DT := DT + B(j)$

end

{Orígenes ficticios}

If  $OT < DT$  then

For  $j = 1$  to  $N$

$O(M + 1, j) := 0$

end

$A(M + 1) := DT - OT$

$M := M + 1$

end

{Destinos ficticios}

If  $OT > DT$  then

For  $i = 1$  to  $M$

$D(N + 1, i) := 0$

end

$B(N + 1) := OT - DT;$

$N := N + 1;$

end

{Llamada al algoritmo de transporte}

Llamada  $Transporte(M, N, A, B, D, IX, X);$

{Cuando  $IX(i, j) = 1$  se transportan  $X(i, j)$  toneladas del origen  $i$  al destino  $j$ , actualizándose las matrices a utilizar en el siguiente paso}

### Paso 3

{  $IO$  Vector con los índices de los orígenes}

{  $ID$  Vector con los índices de los destinos}

{  $DR$  Vector con la demanda de la ruta (cantidad a transportar)}

```

R = 0
For i = 1 to M
  For j = 1 to N
    If IX(i, j) = 1 then
      R = R + 1
      IO(R) := i
      ID(R) := j
      DR(R) := X(i, j)
    end
    DB(j) := B(j)
  end
  DA(i) := A(i)
end

```

#### Paso 4

{ *Cwe(t)* Capacidad volumétrica específica del equipo *t*}

```

For t = 1 to T
  Cwe(t) := Cw(t) / q(t)
end

```

{ *Vet* Volumen específico de la carga del producto seleccionado}

$Vet := kc \cdot Vc / Pb$

{ *qr* Peso de la carga sobre el equipo *t*}

{ *sig* Sigma estático de cada equipo *t*}

```

For t = 1 to T
  If Vet ≤ Cwe(t) then
    {Pesado}
    nu(t) := round(q(t) / Pb)
  else
    {Ligero}
    nu(t) := round(Cw(t) / (Vet · Pb))
  end;
  qr(t) := nu(t) · Pb
  sig(t) := qr(t) / q(t)
end

```

{ *betaR* Coeficiente de aprovechamiento del recorrido}

{ *LcR* y *LsR* Recorrido con carga y sin carga}

{ *Lm* Longitud media del recorrido}

```

For   r = 1   to   R
      LcR(r) := D(IO(r), ID(r))
      LsR(r) := LcR(r)
end
{Recorrido total de cada medio de transporte}
For   t = 1   to   T
      qq(t) := q(t) · sig(t) · Vt(t)
      For   r = 1   to   R
            LT(t, r) := LcR(r) + LsR(r) + DBO(t, IO(r)) + DDB(t, ID(r))
            betaR(t, r) := LcR(r) / LT(t, r)
            Lm(t, r) := LcR(r)
            Wph(t, r) := qq(t) · betaR(t, r) · Lm(t, r) / (Lm(t, r) + tp.Vt(t) · betaR(t, r))
      end
end

```

### Paso 5

{ OS y DS Número de orígenes y destinos satisfechos}

{ RT(r) = 0 Si la ruta r está activa}

{ DTR(t, r) = 0 Si el medio t no puede cubrir la ruta r }

{ K Contador de viajes}

{ RL Con valor 1 se maximiza; 2 se minimiza}

OS := 0

DS := 0

K := 0

```
For   r = 1   to   R
```

```
      RT(r) := 0
```

```
      For   t = 1   to   T
```

```
            DTR(t, r) := 1
```

```
      end
```

```
end
```

{Preparar llamada al algoritmo de transporte}

in := R - T

T1 := 0

R1 := 0

{Existen in rutas sin cubrir}

```
if   in > 0   then
```

```
      T1 := T + in
```

```
end
```

{Existen *in* medios libres}

*if in* < 0 *then*  
      $R1 := R + \text{abs}(in)$

*end*;

$M1 := \max(T, T1)$

$N1 := \max(R, R1)$

*For i* = 1 *to*  $M1$

$A1(i) := 1$

*end*

*For j* = 1 *to*  $N1$

$B1(j) := 1$

*end*

{Inicio del ciclo}

{Se repite este ciclo hasta que se concluya con todos los orígenes o todos los destinos, o ya no existan equipos por asignar}

*repeat*

*For i* = 1 *to*  $M1$

*For j* = 1 *to*  $N1$

*if*  $i \leq T$  *y*  $j \leq R$  *y*  $RT(j) = 0$  *y*  $DTR(i, j) = 1$

$C(i, j) := Wph(i, j);$

*else*

*if*  $RL = 1$  *then*

$C(i, j) := 0;$

*else*

                    {Se garantiza que se escojan los  $C(i, j)$  menores, se minimice}

$C(i, j) := 9999;$

*end*

*end*

*end*

*end*

{Llamada al algoritmo de transporte}

*Llamada Transporte*( $M1, N1, R1, B1, C, IY, Y$ )

{Si  $IY(t, r) = 1$ , el medio  $t$  se asigna a la ruta  $r$ }

### Paso 6

{  $Tmc$  y  $Tmsc$  Tiempo en movimiento con carga y sin carga}

{  $Tv$  Tiempo de viaje}

{  $Tda$  Tiempo de ida con carga}

```

{ TAfect Tiempo extra de viaje}
{ K Cantidad de viajes planificados}
{ RU Ruta en el viaje k}
{ EQ Equipo en el viaje k}
{ HiV Hora inicio del viaje k}
{ HfV Hora fin del viaje k}
{ CT Cantidad transportada en el viaje k}
{ CV Cantidad de viajes del equipo t en la ruta r}

For t = 1 to T
  For r = 1 to R
    Fl := 1
     $Tmc(t, r) := LcR(r)/Vt(t) + TAfect(IO(r), ID(r))$ 
     $Tmsc(t, r) := Tmc(t, r)$ 
     $Tda(t, r) := Tec(IO(r)) + nu(t) \cdot Tuc(IO(r)) + Tmc(t, r)$ 
    if  $IY(t, r) = 1$  y  $Y(t, r) \neq 0$  then
       $Tv(t, r) := Tda(t, r) + Ted(ID(r)) + nu(t) \cdot Tud(ID(r)) + Tmsc(t, r)$ 
      {Número de viajes posibles origen-destino-origen}
       $Nvp(t, r) := round(Tw(t)/Tv(t, r))$ 
       $Nv(t, r) := 0$ 
      if  $Nvp(t, r) \geq 1$  then
        Fl := 0
        repeat
           $DR(r) := DR(r) - \min(DR(r), qr(t))$ 
           $Nv(t, r) := Nv(t, r) + 1$ 
           $Tw(t) := Tw(t) - Tv(t, r)$ 
           $hf(t) := hi(t) + Tv(t, r)$ 
           $CV(t, r) := Nv(t, r)$ 
          K := K + 1
           $RU(K) := r$ 
           $EQ(K) := t$ 
           $HiV(K) := hi(t)$ 
           $HfV(K) := hf(t)$ 
           $CT(K) := \min(DR(r), qr(t))$ 

```

{Plan de transportación para un viaje del equipo *t* en la ruta *r*, faltaría analizar la brigada que carga}

```

                (Viaje (K) Equipo(EQ(K)) Origen (IO(r))
                Imprimir Destino(ID(r)) Carga (CT(K))
                Inicio(HiV(K)) Fin(HfV(K))
                hi(t) := hf(t)
                until Nv(t,r) = Nvp(t,r) ó DR(r) ≤ 0
            end
        {Analizar si al equipo t le queda tiempo de trabajo para un
        viaje de ida, significa que regresa a la base y no al origen,
        si la demanda no ha sido satisfecha en la ruta r}
        if Tw(t) ≥ Tda(t,r) y DR(r) > 0 then
            Fl := 0
            Tw(t) := Tw(t) - Tda(t,r)
            DR(r) := DR(r) - min(DR(r), qr(t))
            hf(t) := hi(t) + Tda(t,r)
            CV(t,r) := Nv(t,r)
            K := K + 1
            RU(K) := r
            EQ(K) := t
            HiV(K) := hi(t)
            HfV(K) := hf(t)
            CT(K) := min(DR(r), qr(t))
            {Plan de transportación para un viaje de ida del equipo
            t en la ruta r, faltaría analizar la brigada que carga}
                (Viaje (K) Equipo(EQ(K)) Origen (IO(r))
                Imprimir Destino(ID(r)) Carga (CT(K))
                Inicio(HiV(K)) Fin(HfV(K))
                hi(t) := hf(t)
            else
                DTR(t,r) := 0
            end
            X(IO(r), ID(r)) := max(0, DR(r))
        end
        if Tw(t) < Tda(t,r) ó DR(r) ≤ 0 then
            DTR(t,r) := 0
        end
        if DR(r) ≤ 0 then
            RT(t,r) := 1
        end
    end
end
end

```

### Continuación Paso 5

```

For   i = 1   to  M
      s := 0
      For   j = 1   to  N
            s := s + X(i, j)
      end
      DA(i) := DA(i) - s
      if   DA(i) ≤ 0   then
            OS := OS + 1
      end
end
For   j = 1   to  N
      s := 0;
      For   i = 1   to  M
            s := s + X(i, j)
      end
      DB(j) := DB(j) - s
      if   DB(j) ≤ 0   then
            DS := DS + 1
      end
end
until  OS = M   ó   DS = N   ó   Fl = 1

```

### Paso 7

{RU Número de ruta del viaje  $k$ }

{EQ Medio de transporte del viaje  $k$ }

{HiV Hora de inicio del viaje  $k$ }

{HfV Hora a la que termina el viaje  $k$ }

{CT Cantidad a transportar en el viaje  $k$ }

{Obtener los vectores anteriores ordenados por menor hora de inicio}

```

For   k = 1   to  K
      ru := RU(k)
      eq := EQ(k)
      hiv := HiV(k)
      hfv := HfV(k)
      ct := CT(k)
      For   j = k - 1;   j ≥ 0   y   HiV(j) > hiv
            HiV(j + 1) := HiV(j)
            RU(j + 1) := RU(j)
            EQ(j + 1) := EQ(j)
      end

```

```

        HfV(j+1) := HfV(j)
        CT(j+1) := CT(j)
        HiV(j) := hiv
        RU(j) := ru
        EQ(j) := eq
        HfV(j) := hfv
        CT(j) := ct
        j := j - 1
    end
end
{ AIBr Matriz para conocer si se descontaron horarios de almuerzo y cena}
{ TtrBr Tiempo de trabajo de las brigadas}
For i = 1 to M
    For b = 1 to NBr(i)
        {Se inicializa como no descontado}
        AIBr(i,b) := -1
        {Obtener vectores a partir de las matrices}
        HiBrOr(b) := HiBr(i,b)
        TtrBrOr(b) := TtrBr(i,b)
    end
end
{Recorriendo los viajes por menor hora de inicio se asigna la brigada que debe cargar el
equipo en cada viaje}
For k = 1 to K
    r := RU(k)
    t := EQ(k)
    i := IO(r)
    {HiBrOr Matriz ordenada de menor a mayor con hora de inicio de las brigadas
en el origen i}
    {TtrBrOr Matriz ordenada en correspondencia con HiBrOr}
    {aux Variable para guardar temporalmente hora de inicio}
    {Obtener HiBrOr, TtrBrOr ordenadas por menor hora de inicio}
    For b = 1 to NBr(i)
        aux := HiBrOr(b)
        tpo := TtrOr(b)
        For j = b - 1; j ≥ 0 y HiBrOr(j) > aux
            HiBrOr(j+1) := HiBrOr(j)
        
```

```

    TtrBrOr(j + 1) := TtrBrOr(j)
    HiBrOr(j) := aux
    TtrBrOr(j) := tpo
    j := j - 1
end
end
{Retrasar hora de inicio de las brigadas, si se definió horario de almuerzo y/o
cena}

```

```

For   b = 1 : NBr(i)
for   p = 1 : 2
    if   HiBrOr(b) ≥ Hiac(p)   y   HiBrOr(b) ≥ Hfac(p)
        y   AlBr(i,b) = -1   y   Tac(p) > 0   then
            HiBrOr(b) := TtrBr(i,b) + Tac(p)
            TtrBr(i,b) := TtrBr(i,b) - Tac(p)
            AlBr(i,b) := -3
        end
    end
end
Tcarga := (CT(k)/Pb) * Tuc(i)
Treal := max(HiV(k), HiBrOr(b))
DifTpo := Treal - HiBrOr(b)
Tcargamin = 0.7

```

{La brigada  $b$  se asigna para cargar el viaje  $k$  si su tiempo de trabajo restante representa el 70% del tiempo de carga requerida, más lo que debe esperar para cargar el viaje  $k$ }

```

if   (TtrBrOr(b) - (DifTpo + (Tcargamin * Tcarga))) ≥ 0   then
    HiV(k) := Treal
    if   Treal ≠ HiV(k)   then
        Tw(t,r) := max(0, Tw(t,r) - (Treal - HiV(k)))
    end
    IZ(t,r) := b
    TtrBrOr(b) := max(0, TtrBrOr(b) - (DifTpo + Tcarga))
end

```

### Paso 8

```

TtrBr(i,b) := TtrBrOr(b)
HiBr(i,b) := HiBrOr(b)
Abortar   ciclo
end
hi(t) := HiV(k)
hf(t) := hi(t) + Tv(t,r)

```

### Paso 9

```
Imprimir
(Viaje( $K$ )   Equipo( $EQ(K)$ )   Origen( $IO(r)$ )
Destino( $ID(r)$ )  Carga( $CT(K)$ )
Inicio( $HiV(K)$ ) Fin( $HfV(K)$ )  DescuentoAlm/Cena( $AlBr(i,b)$ ) Brigada( $b$ )
end
end
```

## **2.3 Verificación del algoritmo para la gestión de transporte de productos de la canasta básica**

La calidad de un algoritmo puede ser avalada utilizando varios criterios. En este epígrafe se presenta un análisis de la eficiencia del algoritmo propuesto, basado en dos aspectos: el análisis teórico (a priori), que se realizó para medir el comportamiento del tiempo de ejecución del algoritmo y el análisis experimental o empírico (a posteriori), obtenido luego de la implementación del algoritmo en un programa computacional para verificar la efectividad del mismo.

### **2.3.1 Análisis de la complejidad temporal del algoritmo**

El tiempo que emplea un algoritmo en ejecutarse refleja la cantidad de trabajo realizado, así, la complejidad temporal brinda una medida de la cantidad de tiempo que requerirá la implantación de un algoritmo para resolver el problema. En general, la cantidad de recursos que consume un algoritmo para resolver un problema se incrementa conforme crece el tamaño del mismo. Dependiendo del problema en particular, uno o varios de sus parámetros se elige como tamaño del problema

Una técnica de aproximación del rendimiento de los algoritmos consiste en examinar el peor caso, sin tener en cuenta los factores constantes, con el fin de determinar la dependencia funcional del tiempo de ejecución del número de datos de entrada (Castillo, 2002; Knuth, 1997). El peor caso para problemas que se resuelven utilizando el Método Simplex de la programación lineal es para problemas grandes (más de 2000 restricciones) o muy grandes (más de 10 000 restricciones funcionales). En estos tipos de problemas, el Método Simplex es ineficiente por el tiempo de ejecución tan elevado que requiere (Castillo, 2002; Griva y Stephen, 2009; Hillier y Lieberman, 1998).

En la definición del orden de la complejidad temporal del algoritmo diseñado tiene un peso importante el uso de los modelos de transporte y asignación de la programación lineal. Las aplicaciones de estos modelos tienden a requerir un número muy grande de restricciones y variables, de manera que una aplicación informática del Método Simplex puede necesitar un esfuerzo computacional exorbitante. No obstante, se han podido desarrollar algoritmos simplificados especiales, que logran ahorros computacionales sorprendentes al explotar esta estructura especial del problema.

El Método Simplex para el peor de los casos tiene una complejidad computacional temporal exponencial ( $O(T_1)$ ). Resuelve los problemas grandes de forma ineficiente, sin embargo, el Método Simplex de Transporte, como una versión especial simplificada del Simplex, resuelve estos problemas con eficiencia. Se puede apreciar de manera global la gran diferencia en cuanto a la eficiencia y conveniencia entre ambos métodos si son aplicados al mismo problema pequeño, pero la diferencia es más importante en problemas mayores que tienen que resolverse en una computadora (Griva y Stephen, 2009; Hillier y Lieberman, 1998).

En problemas grandes, el tamaño de la tabla simplex y la tabla de transporte sugiere, de alguna manera, esta gran ganancia. Para un problema de transporte que tiene  $m$  orígenes y  $n$  destinos, la tabla simplex tiene  $m+n+1$  renglones (filas) y  $(m+1)(n+1)$  columnas, y la tabla simplex de transporte tendrá  $m$  renglones y  $n$  columnas. Al comparar las tablas de acuerdo a sus dimensiones se concluye que se reduce significativamente en  $m+n$  veces la tabla simplex de transporte y por lo tanto, el esfuerzo por actualizarla (Griva y Stephen, 2009; Hillier y Lieberman, 1998).

La complejidad temporal del algoritmo diseñado se determinó con un análisis asintótico simplificado, el cual emplea la complejidad de los bloques de instrucciones que más influyen en el tiempo de ejecución. Se utilizaron las reglas y planteamientos básicos establecidos por varios autores (Castillo, 2002; Griva y Stephen, 2009). En el algoritmo propuesto se analizan las instrucciones de los pasos 2 y 5, pues en ellos se hacen llamadas al Método Simplex de Transporte, cuyo orden de complejidad ( $O(T_2)$ ) tiene un peso importante.

En el Paso 2 se ejecuta el Método Simplex de Transporte una sola vez y define el orden de complejidad de este paso como  $O(T_2)$ . El segundo bloque de instrucciones que llama al Simplex de Transporte es el del Paso 5. En este paso se implementa un ciclo exterior con orden  $O(n)$ , que llama al Método Simplex de Transporte, el cual aporta un orden  $O(T_2)$ , y ejecuta varios bloques de instrucciones que incluyen además, los del Paso 6. En estos bloques se encuentran ciclos doblemente anidados con una complejidad  $O(n^2)$  que no contemplan llamadas al Método Simplex de Transporte.

En consecuencia, la complejidad del Paso 5 es  $O(n).[O(T_2) + O(n^2)]$ . Aplicando la regla de suma y máximo para el Paso 2 y 5, se obtiene el orden de complejidad temporal del algoritmo propuesto denotado por  $O(A)$  como:

$$O(A) = O(T_2) + O(n).[O(T_2) + O(n^2)]$$

$$O(A) = \max(O(T_2), O(n).\max(O(T_2), O(n^2)))$$

$$O(A) = O(n).O(T_2)$$

Entonces, considerando que el orden de complejidad del Método Simplex ( $O(T_1)$ ) es exponencial y que el Método Simplex de Transporte es más eficiente en la solución de problemas medianos y grandes, se puede concluir que  $O(n).O(T_2)$  es un subconjunto de  $O(T_1)$ , siendo  $O(n).O(T_2)$  el orden de complejidad del algoritmo diseñado, como fue mostrado anteriormente.

### 2.3.2 Verificación y análisis de resultados del algoritmo

La verificación y análisis de resultados del algoritmo para la gestión de transporte de productos de la canasta básica están enfocados a la revisión de los resultados que este provee y cómo los provee. Para ello, se ha expresado el algoritmo en términos del lenguaje de programación PHP versión 5.1.1, que utiliza el marco de trabajo Prado versión 1.25, para obtener una aplicación Web que utiliza como servidor de bases de datos el MySQL Server versión 5.0.16. Esta plataforma de trabajo, que incluye el servidor de aplicaciones Apache, se escoge a partir de las características de rapidez en su ejecución que puede aportar al algoritmo esta combinación de lenguaje y servidores. Se aprovecha además, la diversidad de funciones para tratamiento de vectores y matrices que tiene el PHP.

La implementación del algoritmo en un programa computacional constituye una herramienta de apoyo para verificar que su funcionamiento es correcto. En esta implementación, generalmente, se incurre en controles adicionales que están más allá de la naturaleza propia del algoritmo, pero que son necesarios. Estos controles se relacionan con mecanismos de seguridad para la validación de datos de entrada, control de recursos y acciones sobre excepciones. La adición de programación extra y

el propio algoritmo han sido comprobados mediante pruebas de ejecución a la herramienta obtenida. Estos resultados se puntualizan en este epígrafe.

La herramienta implementada, que es un sistema informático de apoyo a la toma de decisiones, le brinda al usuario la facilidad de obtener diferentes escenarios para un mismo día a partir de las mismas necesidades de transportación, pero con variaciones en los valores de parámetros específicos de la entrada de datos. Un escenario ofrece el plan de viajes para cada producto a transportar. En la herramienta se emplea el término de corrida: denominación utilizada para identificar la ejecución del algoritmo para un producto dentro de un escenario. Concluida una corrida se muestran las disponibilidades de equipos para la próxima si se desea realizar un plan de viajes para otro producto.

En la exposición se obvian detalles del funcionamiento completo de la herramienta, pues no es el objetivo de la presente investigación, solo se utiliza de soporte para la verificación del algoritmo propuesto y el análisis de los resultados obtenidos de sus ejecuciones. Los casos de prueba emplean varios datos con valores facilitados por los especialistas que realizan la planificación diaria.

Se presenta la simulación de la planificación de transportación de productos de la canasta básica para un día en la provincia de Holguín. Se muestran los casos de prueba para dos productos. Los datos de entrada del algoritmo se captan en ventanas de la herramienta, se guardan en la base de datos y se mantienen disponibles para todas las posibles ejecuciones que deseen realizarse. Generalmente, no cambian las informaciones de distancias y las definiciones de orígenes y destinos con los tiempos implicados en su funcionamiento, pero las referentes a necesidades de transportación y de disponibilidad de equipos y brigadas pueden variar con respecto al día anterior.

En el Anexo 5 se muestran las tablas con los datos utilizados en los casos de prueba. El análisis de estos casos tiene como objetivo obtener los planes de viajes para dos productos, que se transportan desde dos orígenes hacia varios destinos. Se describen los escenarios, las corridas correspondientes a cada plan y los posibles análisis que se deducen de los resultados expuestos en el Anexo 6

### **2.3.1 Caso de prueba 1**

Se tienen dos orígenes, el CCD-Holguín y el CCD-Cueto, con un total de ofertas de 600 toneladas: 380 son del producto Arroz Importado 25% Vietnamita, que tiene la prioridad uno en la transportación y 220 de Frijol Negro. El total demandado por varios almacenes de la economía interna es de 600 toneladas. Para el desglose de la demanda, por productos de cada almacén, ver Anexo 5.1.

El algoritmo fue ejecutado para el producto Arroz Importado 25% Vietnamita en la Corrida 1 del Escenario 1; los resultados se muestran en el Anexo 6.1. Como conclusión del Paso 2, que utiliza la tabla de distancias entre orígenes y destinos que se muestra en el Anexo 5.2, se obtuvieron las rutas a recorrer. Se observa que el CCD-Cueto es el origen de los viajes a los establecimientos de los municipios de Cueto, Mayarí, Sagua y parte de la demanda de Moa, esta última, completada por el CCD\_Holguín. Desde este origen, se envía al resto de los establecimientos ubicados en municipios más cercanos a él. El algoritmo de transporte ha utilizado como criterio de optimización: la distancia mínima entre orígenes y destinos, ver Anexo 6.1.1.

En los siguientes pasos del algoritmo se utilizaron 12 medios de transporte disponibles, de ellos, cinco con capacidad de carga de 20 toneladas, el resto con capacidad de 30, todos con un tiempo de trabajo de 12 horas. Se emplearon tres brigadas para la carga en los dos orígenes con tiempos de trabajo de ocho horas. Este conjunto de datos y otros parámetros se muestran en los anexos del 5.3 al 5.8.

La ejecución del algoritmo continúa y emplea los datos mostrados a partir del Anexo 5.3 hasta el 5.8 para obtener el plan de viajes del producto Arroz Importado 25% Vietnamita, en el cual, para cada viaje se define: equipo, origen, destino, municipio del destino, toneladas a transportar, tiempo de viaje, hora de inicio del viaje, hora de fin del viaje, tiempo de almuerzo de conductores y brigada que debe cargar el medio de transporte.

El análisis de resultados para el plan de viajes del producto Arroz Importado 25% Vietnamita, Anexo 6.1.2, se muestra a continuación:

- El plan de transportación de 380 toneladas del producto referido se incumple en 10 toneladas demandadas por el establecimiento del municipio de Moa. Los 12

medios de transporte disponibles fueron asignados y no les queda tiempo de trabajo suficiente para ese recorrido.

- Se emplearon los camiones de capacidad de 30 toneladas para cubrir las rutas mas largas, parámetro definido en los datos de entrada con el objetivo de maximizar el rendimiento de los equipos en las rutas. Los viajes desde el CCD-Holguín y el CCD-Cueto hacia los establecimientos, ubicados en sus propios municipios, fueron cubiertos con camiones de 20 toneladas,
- Los viajes con destino a Moa, en la columna de tiempo de viaje, tienen una marca con la nomenclatura (\*) viajes de ida, resaltada en rojo, esto indica que en esos viajes el medio de transporte no regresa al origen cuando termina en el destino. Se advierte que en dos viajes del CCD-Holguín al mismo establecimiento de Banes se calcularon tiempos de viaje diferentes, a pesar de ser la misma distancia; de haber considerado una hora de tiempo de almuerzo para los conductores, un tiempo de parada promedio de 0,5 horas y un tiempo extra de viaje de 0,5 horas; la diferencia está en la cantidad de toneladas transportadas: en un viaje son 20 toneladas y en el otro 30, demora más este último.
- En los cuatro viajes del CCD-Holguín al almacén del mismo municipio se emplean solamente dos camiones y cada uno de ellos cubre dos viajes en esa ruta. Con esto se logra aprovechar al máximo el tiempo de trabajo de los medios de transporte en la misma ruta e incluso en rutas diferentes también. Se intenta mejorar el coeficiente del ciclo de rotación de los medios de transporte que se aprecia en el plan, pues se proponen dos viajes con el mismo camión: primero carga en el CCD-Holguín y viaja a Gibara, luego hace un viaje de ida a Moa desde el CCD-Cueto. En este último viaje, específicamente, en la hora de inicio se descuenta el recorrido del camión desde el primer origen hasta el segundo.
- En el plan de viajes se refleja un recorrido que en la columna de brigada no tiene reflejado un número, pero se muestra un “No”. Esto indica que el tiempo de trabajo de las brigadas en el CCD-Holguín, definido en el Anexo 5.7, no alcanza para cubrir la carga en esta ruta.

Concluida la ejecución del algoritmo para la Corrida 1, referente al producto Arroz Importado 25% Vietnamita, se ejecuta el Paso 8 y las disponibilidades de medios de transporte actualizadas se muestran en el Anexo 6.1.3. Luego se selecciona el producto Frijol Negro que tiene una demanda total de 220 toneladas. El desglose de las demandas por destinos se muestra en el Anexo 5.2.

En el Escenario 1 del algoritmo se hizo la Corrida 2 para el Frijol Negro, en el Paso 2 se obtienen las rutas a recorrer reflejadas en el Anexo 6.1.4. Se utiliza el mismo criterio que en el producto anterior, de manera que las demandas de los establecimientos de los municipios de Cueto, Mayarí y Moa son cubiertas por el CCD-Cueto que dispone de ofertas suficientes del producto para distribuirlo hasta los destinos más cercanos a él. Continúa la ejecución de los demás pasos del algoritmo hasta obtener el plan de viaje para el producto Frijol Negro, como se muestra en el Anexo 6.1.5, del cual se comentan los siguientes aspectos:

- El plan de transportación de 220 toneladas del producto referido se incumple en 200 toneladas demandadas por varios establecimientos. Solamente, se propone transportar 20 toneladas a Cueto desde el CCD del mismo municipio, pues los camiones disponibles de la corrida anterior solo tienen tiempo de trabajo para cubrir este recorrido. Se aprecia que el único viaje programado no tiene brigada asignada para su carga. La disponibilidad de transporte, después de la Corrida 2 del escenario 1, se muestra en el Anexo 6.1.6

Terminado el análisis de los planes de viajes se concluye que en este caso de prueba el plan de extracción se incumple, las posibles causas pueden estar enmarcadas en la insuficiente cantidad de camiones disponibles y el tiempo de trabajo de las brigadas. En estos casos, descritos en el Caso de prueba 2, el planificador puede obtener un nuevo escenario al modificar los datos de entrada de disponibilidad de camiones y brigadas.

### **2.3.2 Caso de prueba 2**

Se desea satisfacer las mismas necesidades planteadas en el Caso de prueba 1, pero con una disponibilidad de 17 medios de transporte, de ellos, 12 tienen capacidad de 30 toneladas y cinco de 20. Con respecto a las brigadas, se aprecia un incremento en el tiempo de trabajo en los dos orígenes: en el CCD-Holguín trabajarían 14 horas y en el

CCD-Cueto 12 horas; en el Caso de prueba 1 trabajan 8 horas. Los datos de camiones y brigadas disponibles pueden ser consultados en los anexos 5.9 y 5.10, las restantes informaciones de entrada permanecen invariables.

El algoritmo fue ejecutado para el producto Arroz Importado 25% Vietnamita en la Corrida 1 del Escenario 2; los resultados de las rutas a recorrer se muestran en el Anexo 6.2.1 y coincide con las del Caso de prueba 1, ya que se ha aplicado el algoritmo de transporte a los mismos datos. Con la ejecución a partir del Paso 3 y hasta el 8 se obtiene un plan de viajes, mostrado en el Anexo 6.2.2, acerca del cual se comentan los siguientes aspectos:

- El plan de transportación de 380 toneladas del producto referido se cumple con 11 medios de transporte y dos viajes menos que en el mismo plan del Caso de prueba 1. Este resultado se favorece por la disponibilidad de 12 camiones de 30 toneladas, cinco más que en el caso de prueba anteriormente descrito.
- En el análisis de la columna de hora de terminación de los viajes se destacan dos recorridos que finalizan a las 00:24 horas de regreso a la base transportista, este horario, resulta inconveniente cuando el camión llega cargado al destino en horas de la madrugada del otro día, situación que debe evitarse según la Resolución 224/01 del MITRANS.
- Todos los viajes tienen una brigada para cargar el producto; la brigada de código 14, que pertenece al CCD-Cueto, solamente carga un viaje, pero aun no se tiene el plan de viajes del producto Frijol Negro. Algunas brigadas asignadas a los viajes tienen a continuación del código la nomenclatura (A), esto significa, que de sus horarios de trabajo se les descontó el de almuerzo.

Terminada la Corrida 1 del Escenario 2 quedan disponibles: 6 medios de transporte con 12 horas de tiempo de trabajo y otros con menos tiempo, los cuales, son utilizados en la próxima corrida del algoritmo.

En el Escenario 2 del algoritmo se hizo la Corrida 2 para el Frijol Negro, en el Paso 2, se obtienen las rutas a recorrer reflejadas en el Anexo 6.2.4 que coinciden con la Corrida 2 del Escenario 1. En el Anexo 6.2.5 se muestra el plan de viajes obtenido de la

ejecución del algoritmo hasta el Paso 8. A continuación se realizan algunos comentarios:

- El plan de transportación de 220 toneladas del producto Frijol Negro se cumple con siete medios de transporte en 10 viajes, a diferencia del Caso de prueba 1, en el cual se propuso un viaje. Se transportan 110 toneladas desde cada origen, bajo el criterio de distancia mínima entre orígenes y destinos.
- Se tienen dos recorridos críticos, que son viajes de ida por su hora de terminación: uno del CCD-Cueto al almacén de Moa, el cual finaliza a la 01:10 horas, y otro desde el CCD-Holguín hasta un almacén del mismo municipio, este concluye a las 02:46 horas. En ambos casos es inconveniente la hora de llegada al destino. Estos viajes son el segundo recorrido de dos camiones que, aunque estaban disponibles desde las 07:00 horas, son cargados en el primer viaje después de las 15:00 horas y en el segundo posterior a las 19:00 horas.

Esto se debe a la falta de disponibilidad de brigadas para cargar en horario de la mañana, en estos casos, el planificador puede coordinar con las brigadas el retraso de horarios de almuerzo, contratar otra brigada de carga, no realizar los dos últimos viajes. Con esta última solución se incumple el plan de extracción de la provincia de 600 toneladas.

- Todos los recorridos del referido plan de viaje tienen asignado una brigada, para ello, se definió a las brigadas del CCD-Holguín un tiempo de trabajo de 14 horas y a las del CCD-Cueto de 12 horas. La carga del producto Frijol Negro comienza a partir de las 13:00 horas, aunque los medios de transporte están disponibles a partir de las 07:00 horas, se hace una cola de espera para la disponibilidad de brigadas.

El planificador de esta actividad puede definir el tiempo de trabajo de las brigadas hasta ocho horas y contratar otras brigadas en estos días de máxima extracción; en la práctica el CCD-Holguín contrata trabajadores adicionales, generalmente reclusos, a horas tempranas de la mañana, de manera que, disminuye la cola de espera y los viajes concluyen en horarios menos tardíos del día. Con esto se benefician empresas transportistas, agencias de carga y

descarga y los establecimientos de la economía interna que reciben los productos.

## **Conclusiones parciales**

Los referentes teóricos planteados en el primer capítulo de la tesis sirven de fundamento al algoritmo para la gestión de transporte de productos de la canasta básica analizado en este capítulo. La transportación de la mayor cantidad de toneladas de los productos que satisfacen las necesidades de la población, independiente del costo en el que se incurre, fue el factor fundamental en el diseño de la investigación, mientras que la utilización del modelo de Programación Lineal, el Método Simplex de Transporte, constituye la base de la solución del problema planteado.

La planificación de viajes para los productos a distribuir es el resultado de cada iteración del algoritmo descrito, el cual constituye el principal aporte teórico de esta investigación que tiene un elemento esencial en el aprovechamiento del rendimiento de los medios de transporte en cada ruta y la disponibilidad de brigadas de trabajo en los orígenes, aspectos sin los cuales el plan de transportación quedaría incompleto.

El análisis de la complejidad temporal del algoritmo diseñado permitió conocer a priori que la utilización del Método Simplex de Transporte puede ser eficiente en la solución de problemas de transporte y asignación. Por consiguiente, la implementación del algoritmo en un programa computacional facilitó la verificación de la efectividad del mismo con la obtención de casos de prueba analizados en el capítulo.

## **Conclusiones generales**

Con el algoritmo propuesto se cumplió el objetivo de la investigación. A partir del estudio realizado y los resultados obtenidos se arriba a las siguientes conclusiones generales:

1. Los fundamentos teóricos acerca del problema de transportación y distribución de productos facilitaron la comprensión y búsqueda de una solución al problema planteado, que encontró en el modelo del Problema de Transporte de la Programación Lineal la base del algoritmo propuesto.
2. El sistema informático elaborado, que implementa el algoritmo propuesto, permite obtener diferentes escenarios con propuestas de planes de transportación de productos de la canasta básica, cuyos resultados son coherentes con la realidad.
3. La utilización del programa computacional combinado con la experiencia del planificador es lo que indudablemente conduce a un mejor aprovechamiento de los medios de transporte y las brigadas de carga. Esta combinación facilita a los gobiernos provinciales la toma de decisiones en la gestión de transporte de productos de la canasta básica.

## **Recomendaciones**

Por los resultados obtenidos en esta investigación y para continuar el desarrollo de este trabajo se recomienda:

1. Implantar el algoritmo propuesto como herramienta de apoyo a la gestión de transporte de productos de la canasta básica en la provincia de Holguín.
2. Implementar un algoritmo específico de asignación que eleve la eficiencia de este paso en la propuesta diseñada.
3. Evaluar la aplicación de los modelos de la teoría de colas para el servicio de las brigadas en el proceso de carga de los medios de transporte.
4. Aplicar el algoritmo propuesto en otros escenarios de la transportación de cargas.

## Bibliografía

1. Álvarez, B. M., Guerra A., Lau R. (1999). Matemática numérica. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba.
2. Antero J. (2007). Informe de pruebas de software tipo lp (linear programming). Disponible en: <<http://www.scribd.com/doc/18096/Linear-programming-Spanish>> [Consultado: 5 de marzo de 2009].
3. Ballou, R. H. (1991). Logística Empresarial. Control y planificación. Ed. Díaz de Santos, S.A., Madrid.
4. Bellini, M. (2004). Investigación de operaciones. Curso de la escuela de Administración y Contaduría. Universidad Santa María, Caracas, Venezuela. Disponible en: <<http://www.investigacion-operaciones.com/operaciones.htm>> [Consultado: 2 de marzo de 2009].
5. Bronson, R., Naadimuthu G. (1997). Operations Research. Second Edition. McGraw-Hill.
6. Bunday, B. D. (1989). Basic Linear Programming. Ed. Edward Arnold (en Ruso).
7. Castillo, E., Conejo, A. (2002). Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia. Ciudad Real, España.
8. Cespón, R. C., M. Auxiliadora (2003). Administración de la cadena de suministro. Manual para estudiantes de la especialidad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica Centroamericana de Honduras, UNITEC, Tegucigalpa.
9. Cohen Karen, D. 1999. Sistemas de información para la toma de decisiones. Segunda Edición. México: Ed. McGraw-Hill.
10. Council of Logistic Management. Logistic Definition. Disponible en: <<http://www.cml1.org>> [Consultado: 10 de mayo de 2009].
11. Christopher, Martin. (2001). Logistics in its Marketing Context, European Journal of Marketing, Vol. 6 No. 2.
12. Cruz, A., Cruz N. (2009). "Auditoría al Sistema de Transporte ¿Algo nuevo?". Contribuciones a la Economía. Disponible en: <<http://www.eumed.net/ce/2009a/>> [Consultado: 5 de marzo de 2009].

13. González, D. (2001). Una experiencia práctica de programación matemática con Lingo. Disponible en:  
<<http://eco-at.ccee.uma.es/asepuma/laspalmas2001/laspalmas/Doco04.pdf>>  
[Consultado: 28 de mayo de 2009].
14. González, K. (2009). Procedimiento para el diseño del sistema de planificación y control de las transportaciones de carga por camiones. Disponible en:  
<<http://www.gestiopolis.com/marketing/planificacion-y-control-de-la-logistica-de-carga.htm>> [Consultado: 5 de junio de 2009].
15. González, L. (1997). Gestión de transporte y análisis logístico. Artículo Rev. Logística Aplicada. No.1. Ciudad de la Habana, Cuba.
16. Griva, I., Stephen, G. (2009). Linear and Nonlinear Optimization. University Fairfax, Virginia. 2nd ed., USA.
17. Hillier, F., Lieberman, G. (1998). Introducción a la investigación de operaciones. Cuarta edición. Mc Graw Hill. México.
18. Knuth, D. E. (1997). The Art of Computer Programming. Volume 1: Fundamentals Algorithms. Addison-Wesley, 3rd Ed., USA. ISBN 0-201-89683-4.
19. Linares, P. (2001). Modelos matemáticos de optimización. Universidad Pontificia, Madrid. Disponible en:  
<[http://www.gams.com/docs/contributed/modelado\\_en\\_gams.pdf](http://www.gams.com/docs/contributed/modelado_en_gams.pdf) > [Consultado: 23 de mayo de 2009].
20. Manual de referencia del servidor Web Apache. Disponible en:  
<http://httpd.apache.org/docs/2.1/es/> [Consultado: 20 de noviembre de 2010].
21. Manual de referencia de MySQL Server 5. Disponible en:  
<http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/en/index.html> [Consultado: 23 de noviembre de 2010].
22. Manual de referencia de PHP 5. Disponible en:  
<http://php.net/manual/es/index.php> [Consultado: 20 de noviembre de 2010].
23. Manual de referencia de Prado 3.1. Disponible en:  
<http://www.pradosoft.com/docs/manual/> [Consultado: 20 de noviembre de 2010].
24. Millán, E. (2009). El Balance de Cargas. Curso de PREGER (Preparación Gerencial). MITRANS. Ciudad de la Habana.

25. Millán, E. (2009). Balance de Cargas. Guía Metodológica para el Transporte Automotor. MITRANS. Ciudad de la Habana.
26. NRMT223 del MITRANS (1986). Transportación de carga por camiones. Ciudad de la Habana, Cuba.
27. Pérez, E. Mac, R. (2005). Análisis de algoritmos. Universidad Autónoma Metropolitana, Chile.
28. Pérez, M., Leyva, M., Marrero C. (2002). Logística empresarial. Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya. Holguín.
29. Ramírez, G. (2007). Investigación de operaciones II. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Ciudad de la Habana.
30. Resolución 73 del MITRANS (2005). "Reglamento de la licencia de operación de transporte". Ciudad de la Habana.
31. Resolución 224/1 del MITRANS (2001). "Reglamento para el Uso de Medios de Transporte". Ciudad de la Habana.
32. Rosenberg, D. 2005. Use Agile Development with ICONIX process. S.I.: Apress.
33. Ruíz, L. A. (1999). El ciclo vehicular en la logística del transporte. Un análisis metodológico. Revista Logística Aplicada. Ciudad de la Habana.
34. Sánchez del Toro, P. (2004). Sistema Informático para problemas de distribución. TRANSOLVER", Tesis de Maestría. Universidad de Holguín. Holguín.
35. Torres, M. (2007). Fundamentos Generales de la Logística. Editorial Universitaria. Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca". Ciudad de la Habana.
36. Vercellis, C. 2009. Business Intelligence. Data Mining and Optimization for decision Making. s.l. : John Wiley & Sons.
37. Zhang, Y. (1999). User's Guide to LIPSOL Linear-programming Interior Point Solvers v0.4. Disponible en <http://www.caam.rice.edu/~zhang/lipsol/v0.4/UserGuide.pdf> [Consultado: 10 de junio de 2009].



### Anexo 3. Plan de operaciones por vehículos

#### Modelo BC-3. Plan de Operaciones por Vehículo

Empresa Transportista \_\_\_\_\_ Código REEUP \_\_\_\_\_ Mes/Año \_\_\_\_\_  
Organismo: \_\_\_\_\_

<u>No. de Chapa</u>	<u>Tipo de Vehículo</u>	<u>Capacidad</u>	<u>Norma Consumo</u>	<u>No. Viajes</u>	<u>Carga Transp. Posible</u>	<u>Carga. Aprobé. Capac.</u>	<u>Kilómetros Carga Total</u>	<u>Aprov. Recorrido</u>	<u>Rotación (Tkms)</u>	<u>Consumo Combustible</u>	<u>Índice L/Tkms.</u>
---------------------	-------------------------	------------------	----------------------	-------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------	------------------------	----------------------------	-----------------------

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

TOTAL

---

Presentado por: \_\_\_\_\_ Cargo \_\_\_\_\_ Firma \_\_\_\_\_ Fecha y Cuño \_\_\_\_\_

### Anexo 4. Plan de transportación de carga automotor

#### Modelo BC-4. Plan de Transportación de Carga Automotor

Empresa Transportista \_\_\_\_\_ Mes/Año \_\_\_\_\_  
Organismo \_\_\_\_\_

##### 1. CARGA A TRANSPORTAR POR ORIGEN Y DESTINO

<u>Org./Empresas Demandantes</u>	<u>Producto</u>	<u>Código</u>	<u>Embalaje</u>	<u>Municipios</u>		<u>Distancia</u>	<u>PLAN ESTE MES</u>	<u>Demanda No Cubierta</u>
				<u>Origen</u>	<u>Destino</u>			

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Total \_\_\_\_\_

---

## Anexo 5. Datos para casos de prueba del algoritmo para la gestión de transporte de productos de la canasta básica

### Anexo 5.1 Ofertas y Demandas

Producto: Arroz Importado 25% Vietnamita				
Total de ofertas=380		Total de demandas=380		
Orígenes	Toneladas	Destinos	Municipio	Toneladas
CCD-Holguín	240	Almacén 627	Holguín	80
CCD Cueto	140	Almacén 623	Banes	60
		Almacén 607	Calixto Garcia	30
		Almacén 629	Gibara	40
		Almacén 624	Moa	60
		Almacén 622	Cueto	20
		Almacén 618	Mayarí	60
		Almacén 625	Sagua de Tánamo	30

Producto: Frijol Negro				
Total de ofertas=220		Total de demandas=220		
Origen	Toneladas	Destino	Municipio	Toneladas
CCD-Holguín	110	Almacén 627	Holguín	60
CCD Cueto	110	Almacén 622	Cueto	20
		Almacén 623	Banes	50
		Almacén 618	Mayarí	30
		Almacén 607	Calixto Garcia	20
		Almacén 624	Moa	40

### Anexo 5.2 Distancias y tiempos complementarios entre Orígenes y Destinos

Origen: CCD-Holguín

Distancia entre el CCD-Holguín y almacenes de la Economía Interna (destinos)

Puntos receptores	Distancia (Km)	Tiempo extra de viaje (Horas)
Almacén 607 Calixto García	47	0.5
Almacén 618 Mayarí	83	0.7
Almacén 619 Antillas	83	0.5
Almacén 622 Cueto	60	0.4
Almacén 623 Banes	82	0.5
Almacén 624 Moa	179	1.5
Almacén 625 Sagua de Tánamo	143	1.2

Anexos.

Almacén 626 Urbano Noris	38	0.4
Almacén 627 Holguín	5	0.2
Almacén 628 Rafael Freyre	42	0.1
Almacén 629 Gibara	40	0.3
Almacén 631 Frank País	141	1
Almacén 632 Cacocum	19	0.3
Almacén 633 Gibara	35	0.4
Almacén 635 Báguanos	38	0.3

**Origen: CCD-Cueto**

**Distancia desde el CCD-Cueto hasta los almacenes de la Economía Interna (destinos)**

Puntos receptores	Distancia (Km)	Tiempo extra de viaje (Horas)
Almacén 607 Calixto García	98	0.4
Almacén 618 Mayarí	27	0.4
Almacén 619 Antillas	51	0.3
Almacén 622 Cueto	2	0.1
Almacén 623 Banes	81	0.4
Almacén 624 Moa	123	0.8
Almacén 625 Sagua de Tánamo	86	0.6
Almacén 626 Urbano Noris	28	0.6
Almacén 627 Holguín	66	0.4
Almacén 628 Rafael Freyre	110	0.3
Almacén 629 Gibara	95	0.5
Almacén 631 Frank País	81	0.5
Almacén 632 Cacocum	74	0.3
Almacén 633 Gibara	90	0.5
Almacén 635 Báguanos	35	0.3

**Anexo 5.3 Medios de transporte disponibles. Caso de prueba 1**

Chapa	Cap.(T)	Inicio (HH:mm)	Tiempo trabajo (HH:mm)	Pertenece A:
C2	20	07:00	12:00	Servicar
C9	30	07:00	12:00	Servicar
C5	30	07:00	12:00	Servicar
C15	30	07:00	12:00	Servicar
C8	30	07:00	12:00	Servicar
C4	20	07:00	12:00	Servicar
C14	30	07:00	12:00	Servicar

C7	30	07:00	12:00	Servicar
C3	20	07:00	12:00	Servicar
C16	20	07:00	12:00	MINAZ
C13	20	07:00	12:00	Servicar
C6	30	07:00	12:00	Servicar

#### Anexo 5.4 Distancias entre las Bases de transporte y los orígenes y destinos

Base Transportista	Orígenes y destinos	Municipio	Distancia (Km)
Servicar	CCD-Holguín	Holguín	4
Servicar	Almacén 627	Holguín	9
Servicar	Almacén 622	Cueto	64
Servicar	Almacén 635	Báguanos	42
Servicar	Almacén 623	Banes	86
Servicar	Almacén 618	Mayarí	87
Servicar	Almacén 625	Sagua de Tánamo	147
Servicar	Almacén 631	Frank País	145
Servicar	Almacén 607	Calixto García	51
Servicar	Almacén 633	Gibara	39
Servicar	Almacén 629	Gibara	44
Servicar	Almacén 628	Rafael Freyre	46
Servicar	Almacén 619	Antillas	87
Servicar	Almacén 624	Moa	183
Servicar	Almacén 632	Cacocum	23
Servicar	Almacén 626	Urbano Noris	42
Servicar	CCD Cueto	Cueto	64
MINAZ	CCD-Holguín	Holguín	63
MINAZ	Almacén 627	Holguín	69
MINAZ	Almacén 622	Cueto	2
MINAZ	Almacén 635	Báguanos	38
MINAZ	Almacén 623	Banes	84
MINAZ	Almacén 618	Mayarí	30
MINAZ	Almacén 625	Sagua de Tánamo	89
MINAZ	Almacén 631	Frank País	84
MINAZ	Almacén 607	Calixto García	101
MINAZ	Almacén 633	Gibara	93
MINAZ	Almacén 629	Gibara	98
MINAZ	Almacén 628	Rafael Freyre	113
MINAZ	Almacén 619	Antillas	54
MINAZ	Almacén 624	Moa	127
MINAZ	Almacén 632	Cacocum	77
MINAZ	Almacén 626	Urbano Noris	31

MINAZ	CCD Cueto	Cueto	4
-------	-----------	-------	---

### Anexo 5.5 Tiempos en los orígenes y destinos

Orígenes y Destinos	Municipio	Espera para cargar (horas)	Espera para descargar (Horas)	Carga (Horas/ Ton.)	Descarga (Horas/ Ton.)
CCD-Holguín	Holguín	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 627	Holguín	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 622	Cueto	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 635	Báguanos	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 623	Banes	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 618	Mayarí	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 625	Sagua de Tánamo	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 631	Frank País	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 607	Calixto García	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 633	Gibara	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 629	Gibara	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 628	Rafael Freyre	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 619	Antillas	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 624	Moa	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 632	Cacocum	0.30	0.20	0.1	0.1
Almacén 626	Urbano Noris	0.30	0.20	0.1	0.1
CCD Cueto	Cueto	0.30	0.20	0.1	0.1

### Anexo 5.6 Coeficientes de productos

Producto	Unidad	Coeficiente de pérdida	Peso bruto (Ton.)	Volumen (Metros cúbicos)
Arroz Importado 25% Vietnamita	saco	0.9	0.05	0.15
Chícharos	saco	1	0.05	0.13
Frijol Negro	saco	1	0.05	0.13

### Anexo 5.7 Brigadas de trabajo. Caso de prueba 1

#### CCD-Holguín

Código	Brigada	Inicio Trabajo (HH:mm)	Tiempo Trabajo (HH:mm)
1	Brigada 1	11:00	08:00
2	Brigada 2	07:00	08:00
3	Brigada 3	09:00	08:00

#### CCD-Cueto

Código	Brigada	Inicio Trabajo (HH:mm)	Tiempo Trabajo (HH:mm)
12	Brigada 1	07:00	08:00
13	Brigada 2	09:00	08:00
14	Brigada 3	11:00	08:00

## Anexo 5.8 Otros parámetros a configurar

Cubrir rutas largas:	✓
Tiempo de parada promedio:	00:30 (HH:mm)
Tiempo de almuerzo:	01:00 (HH:mm)
Hora de inicio de almuerzo:	12:00 (HH:mm)
Tiempo de cena:	01:00 (HH:mm)
Hora de inicio de cena:	18:00 (HH:mm)

## Anexo 5.9 Medios de transporte disponibles. Caso de prueba 2

Disponibilidad de Transporte				
Chapa	Capacidad (T)	Inicio (HH:mm)	Tiempo trabajo (HH:mm)	Pertenece A:
C15	30	07:00	12:00	Servicar
C14	30	07:00	12:00	Servicar
C17	30	07:00	12:00	MINAZ
C4	20	07:00	12:00	Servicar
C16	20	07:00	12:00	MINAZ
C3	20	07:00	12:00	Servicar
C19	30	07:00	12:00	MINAZ
C18	30	07:00	12:00	MINAZ
C13	20	07:00	12:00	Servicar
C8	30	07:00	12:00	Servicar
C7	30	07:00	12:00	Servicar
C5	30	07:00	12:00	Servicar
C9	30	07:00	12:00	Servicar
C20	30	07:00	12:00	MINAZ
C2	20	07:00	12:00	Servicar
C6	30	07:00	12:00	Servicar
C21	30	07:00	12:00	MINAZ

## Anexo 5.10 Brigadas de trabajo. Caso de prueba 2

### CCD-Holguín

Código	Brigada	Inicio del trabajo (HH:mm)	Tiempo de trabajo	Inicio almuerzo (HH:mm)
1	Brigada 1	11:00	14:00	14:00
2	Brigada 2	07:00	14:00	12:00
3	Brigada 3	09:00	14:00	14:00

### CCD-Cueto

Código	Brigada	Inicio del trabajo (HH:mm)	Tiempo de trabajo	Inicio almuerzo (HH:mm)
12	Brigada 1	07:00	12:00	12:00
13	Brigada 2	09:00	12:00	13:00
14	Brigada 3	11:00	12:00	14:00

## Anexo 6. Resultados para casos de prueba del algoritmo para la gestión de transporte de productos de la canasta básica

### Anexo 6.1. Caso de prueba 1

Fecha: 09/01/2012 Escenario: 1

#### Anexo 6.1.1 Rutas para transportar el producto Arroz Importado 25%Vietnamita

Rutas obtenidas por criterio de distancias mínimas. Satisfacción de demandas				
Origen	Destino	Municipio	Unidad	Toneladas ofertadas
CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	saco	80
CCD-Holguín	Almacén 623	Banes	saco	60
CCD-Holguín	Almacén 607	Calixto Garcia	saco	30
CCD-Holguín	Almacén 629	Gibara	saco	40
CCD-Holguín	Almacén 624	Moa	saco	30
CCD Cueto	Almacén 622	Cueto	saco	20
CCD Cueto	Almacén 618	Mayarí	saco	60
CCD Cueto	Almacén 625	Sagua de Tánamo	saco	30
CCD Cueto	Almacén 624	Moa	saco	30
				<b>Total=380</b>

#### Anexo 6.1.2 Plan de viajes del producto Arroz Importado 25% Vietnamita

Plan de viajes del producto Arroz Importado 25% Vietnamita. (*) Viajes de ida (A,C) Almuerzo/Cena									
Equipo	Origen	Destino	Municipio	Toneladas	Tpo viaje (HH:mm)	Hora inicio (HH:mm)	Hora fin (HH:mm)	Tiempo almuerzo (HH:mm)	Brig
C9	CCD Cueto	Almacén 618	Mayarí	30	08:26	07:00	16:26	01:00	12
C8	CCD Cueto	Almacén 618	Mayarí	30	08:26	09:00	18:26	01:00	13
C3	CCD Cueto	Almacén 622	Cueto	20	04:30	10:00	15:30	01:00	12
C14	CCD Cueto	Almacén 625	Sagua de Tánamo	30	11:36	11:00	23:36	01:00	14
C13	CCD Cueto	Almacén 624	Moa	20	05:44 (*)	14:27	20:11		13
C13	CCD-Holguín	Almacén 629	Gibara	10	05:00	07:00	13:00	01:00	2
C7	CCD-Holguín	Almacén 629	Gibara	30	09:00	08:00	18:00	01:00	2
C6	CCD-Holguín	Almacén 607	Calixto Garcia	30	09:45	09:00	19:45	01:00	3
C4	CCD-Holguín	Almacén 623	Banes	20	09:24	11:00	21:24	01:00	2

Anexos.

C5	CCD-Holguín	Almacén 623	Banes	30	11:24	11:00	23:24	01:00	1
C2	CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	20	05:09	13:00	18:09		3(A)
C16	CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	20	05:09	13:00	18:09		2
C15	CCD-Holguín	Almacén 624	Moa	30	09:04 (*)	14:00	23:04		1
C3	CCD-Holguín	Almacén 623	Banes	10	03:45 (*)	16:57	20:42		3
C2	CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	20	05:09	18:09	23:17		1
C16	CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	20	05:09	18:09	23:17		No
<b>Total de toneladas a transportar=370</b>									

### Anexo 6.1.3 Transporte después de la Corrida 1

Transporte después de la Corrida 1 del producto Arroz Importado 25% Vietnamita			
Chapa	Capacidad (T)	Inicio (HH:mm)	Tiempo trabajo (HH:mm)
C9	30	16:26	03:35
C7	30	18:00	03:00
C8	30	18:26	03:35
C6	30	19:45	02:16
C13	20	20:11	00:00
C3	20	20:42	00:00
C4	20	21:24	02:36
C15	30	23:04	00:00
C2	20	23:17	01:44
C16	20	23:17	01:44
C5	30	23:24	00:36
C14	30	23:36	00:24

### Anexo 6.1.4 Rutas a recorrer para el producto Frijol Negro

Rutas obtenidas por criterio de distancias mínimas. Satisfacción de demandas				
Origen	Destino	Municipio	Unidad	Toneladas ofertadas
CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	saco	60
CCD-Holguín	Almacén 623	Banes	saco	30
CCD-Holguín	Almacén 607	Calixto Garcia	saco	20
CCD Cueto	Almacén 622	Cueto	saco	20
CCD Cueto	Almacén 623	Banes	saco	20
CCD Cueto	Almacén 618	Mayarí	saco	30
CCD Cueto	Almacén 624	Moa	saco	40
<b>Total =</b>				<b>220</b>

### Anexo 6.1.5. Plan de viajes del producto Frijol Negro

Plan de viajes del producto Frijol Negro. (*) Viajes de ida (A,C) Almuerzo/Cena
---

Equipo	Origen	Destino	Municipio	Tone ladas	Tpo viaje (HH:mm)	Hora inicio (HH:mm)	Hora fin (HH:mm)	Tiempo almuerzo (HH:mm)	Brig
	CCD Cueto	Almacén 618	Mayarí	0	00:00				No
	CCD Cueto	Almacén 624	Moa	0	00:00				No
	CCD Cueto	Almacén 623	Banes	0	00:00				No
C4	CCD Cueto	Almacén 622	Cueto	20	02:09 (*)	22:51	01:00		No
	CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	0	00:00				No
	CCD-Holguín	Almacén 623	Banes	0	00:00				No
	CCD-Holguín	Almacén 607	Calixto García	0	00:00				No
<b>Total de toneladas a transportar=20</b>									

### Anexo 6.1.6 Transporte después de la Corrida 2

Disponibilidad de Transporte			
Chapa	Capacidad (T)	Hora inicio (HH:mm)	Tiempo trabajo (HH:mm)
C4	20	01:00	00:00
C9	30	16:26	03:35
C7	30	18:00	03:00
C8	30	18:26	03:35
C6	30	19:45	02:16
C13	20	20:11	00:00
C3	20	20:42	00:00
C15	30	23:04	00:00
C2	20	23:17	01:44
C16	20	23:17	01:44
C5	30	23:24	00:36
C14	30	23:36	00:24

### Anexo 6.2. Caso de prueba 2

Fecha: 09/01/2012 Escenario: 2

#### Anexo 6.2.1 Rutas a recorrer para el producto Arroz Importado 25% Vietnamita

Rutas obtenidas por criterio de distancias mínimas. Satisfacción de demandas				
Origen	Destino	Municipio	Unidad	Toneladas ofertadas
CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	saco	80
CCD-Holguín	Almacén 623	Banes	saco	60
CCD-Holguín	Almacén 607	Calixto Garcia	saco	30
CCD-Holguín	Almacén 629	Gibara	saco	40
CCD-Holguín	Almacén 624	Moa	saco	30
CCD Cueto	Almacén 622	Cueto	saco	20
CCD Cueto	Almacén 618	Mayarí	saco	60

Anexos.

CCD Cueto	Almacén 625	Sagua de Tánamo	saco	30
CCD Cueto	Almacén 624	Moa	saco	30
<b>Total=380</b>				

### Anexo 6.2.2 Plan de viajes del producto Arroz Importado 25% Vietnamita

Plan de viajes del producto Arroz Importado 25% Vietnamita. (*) Viajes de ida (A,C) Almuerzo/Cena									
Equipo	Origen	Destino	Municipio	Tone ladas	Tpo viaje (HH:mm)	Hora inicio (HH:mm)	Hora fin (HH:mm)	Tiempo almuerzo (HH:mm)	Brig.
C9	CCD Cueto	Almacén 622	Cueto	20	04:30	07:00	11:30		12
C7	CCD Cueto	Almacén 618	Mayarí	30	08:26	09:00	18:26	01:00	13
C8	CCD Cueto	Almacén 618	Mayarí	30	08:26	09:00	18:26	01:00	12
C6	CCD Cueto	Almacén 625	Sagua de Tánamo	30	11:36	11:00	23:36	01:00	14
C9	CCD Cueto	Almacén 624	Moa	30	06:44 (*)	13:00	19:44		13(A)
C13	CCD-Holguín	Almacén 629	Gibara	20	07:00	07:00	15:00	01:00	2
C20	CCD-Holguín	Almacén 607	Calixto Garcia	30	09:45	09:00	19:45	01:00	3
C5	CCD-Holguín	Almacén 624	Moa	30	09:04 (*)	09:00	19:04	01:00	2
C2	CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	20	05:09	11:00	17:09	01:00	1
C15	CCD-Holguín	Almacén 623	Banes	30	11:24	13:00	00:24		3(A)
C21	CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	30	07:09	13:00	20:09		2(A)
C14	CCD-Holguín	Almacén 623	Banes	30	11:24	13:00	00:24		1
C2	CCD-Holguín	Almacén 629	Gibara	20	03:33 (*)	17:09	20:42		3
C21	CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	30	03:38 (*)	20:09	23:46		2
<b>Total de toneladas a transportar=380</b>									

### Anexo 6.2.3 Transporte después de la Corrida 1

Disponibilidad de Transporte			
Chapa	Capacidad (T)	Inicio (HH:mm)	Tiempo trabajo (HH:mm)
C15	30	00:24	00:36
C14	30	00:24	00:36
C17	30	07:00	12:00
C4	20	07:00	12:00
C16	20	07:00	12:00
C3	20	07:00	12:00
C19	30	07:00	12:00
C18	30	07:00	12:00
C13	20	15:00	05:00
C8	30	18:26	03:35
C7	30	18:26	03:35
C5	30	19:04	00:00

C9	30	19:44	00:00
C20	30	19:45	02:16
C2	20	20:42	00:00
C6	30	23:36	00:24
C21	30	23:46	00:00

### Anexo 6.2.4 Rutas a recorrer para el producto Frijol Negro

Rutas obtenidas por criterio de distancias mínimas. Satisfacción de demandas				
Origen	Destino	Municipio	Unidad	Toneladas ofertadas
CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	saco	60
CCD-Holguín	Almacén 623	Banes	saco	30
CCD-Holguín	Almacén 607	Calixto Garcia	saco	20
CCD Cueto	Almacén 622	Cueto	saco	20
CCD Cueto	Almacén 623	Banes	saco	20
CCD Cueto	Almacén 618	Mayarí	saco	30
CCD Cueto	Almacén 624	Moa	saco	40
<b>Total = 220</b>				

### Anexo 6.2.5 Plan de viajes del producto Frijol Negro

Plan de viajes del producto Frijol Negro. (*) Viajes de ida									
Equipo	Origen	Destino	Municipio	Toneladas	Tpo viaje (HH:mm)	Hora inicio (HH:mm)	Hora fin (HH:mm)	Tiempo almuerzo (HH:mm)	Brig
C3	CCD Cueto	Almacén 622	Cueto	20	04:30	13:00	17:30		12
C4	CCD Cueto	Almacén 624	Moa	20	11:40	14:00	01:40		14
C16	CCD Cueto	Almacén 618	Mayarí	10	04:26	15:00	19:26		12
C17	CCD Cueto	Almacén 623	Banes	20	08:52	16:00	00:52		14
C3	CCD Cueto	Almacén 618	Mayarí	20	06:26	17:30	23:56		12
C16	CCD Cueto	Almacén 624	Moa	20	05:44 (*)	19:26	01:10		13
C19	CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	30	07:09	16:00	23:09		1
C18	CCD-Holguín	Almacén 623	Banes	30	11:24	19:00	06:24		1
C13	CCD-Holguín	Almacén 607	Calixto Garcia	20	03:56 (*)	19:09	23:05		3
C19	CCD-Holguín	Almacén 627	Holguín	30	03:38 (*)	23:09	02:46		1
<b>Total de toneladas a transportar=220</b>									

## **Anexo 7. Entrevista a especialistas que planifican la transportación de productos de la canasta básica**

Objetivo: Identificar los aspectos esenciales del proceso de elaboración de los planes de transportación de productos de la canasta básica.

- ¿Con qué frecuencia se elaboran los planes?
- ¿Cómo se definen los volúmenes de productos a transportar?
- ¿Quiénes participan en el proceso de elaboración de estos planes?
- ¿Cuáles son los pasos que realizan los participantes para conformar un plan de transportación?
- ¿Qué elementos definen un plan de viajes?
- ¿Qué técnicas utilizan para determinar o calcular los elementos del plan de viajes?
- ¿Si se apoyan en herramientas informáticas, qué ventajas o desventajas le atribuyen?
- ¿Qué limitaciones presenta el proceso actual de confección del plan de transportación de productos de la canasta básica?
- ¿Qué facilidades debe brindar un nuevo procedimiento que resuelva las limitantes actuales en la elaboración de estos planes?

## **Anexo 8. Observación científica al proceso de elaboración de los planes de transportación de productos de la canasta básica**

Objetivo: Constatar de forma práctica cómo se realiza el proceso de elaboración de los planes de transportación de productos de la canasta básica

- ¿Qué entidades están presentes en la planificación?
- ¿Qué sucede cuando uno de los implicados no participa?
- ¿Cómo se vinculan las cargas a transportar con los medios de transporte y las brigadas de trabajo?
- ¿Qué métodos utilizan para planificar los viajes?
- ¿Verifican que el método utilizado es el más efectivo?
- ¿Qué otros elementos son tratados en la reunión de planificación que inciden positiva o negativamente en los planes?
- ¿Qué facilidades debe brindar un nuevo procedimiento que resuelva las limitantes actuales en la elaboración de estos planes?