

**“MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA DEL
TRANSPORTE DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA EMPRESA CONTROL
AMBIENTAL DE COLOMBIA LTDA”**

ADRIANA IVETH BERMÚDEZ MÉNDEZ

MARTHA LILIANA QUECANO MORALES

UNIVERSIDAD LIBRE

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C.

2012

**“MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA DEL TRANSPORTE DE
RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA EMPRESA CONTROL AMBIENTAL DE COLOMBIA
LTDA”**

AUTORES

ADRIANA IVETH BERMÚDEZ MÉNDEZ

CODIGO 062052539

MARTHA LILIANA QUECANO MORALES

CODIGO 062051049

Proyecto de grado presentado para optar

Al título de Ingeniera Industrial

Director de Proyecto

Ing. JOHN NELSON GARCIA

UNIVERSIDAD LIBRE

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTA D.C

2012

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCION.....	5
JUSTIFICACIÓN	7
1. GENERALIDADES	9
1.1 TITULO.....	9
1.2 PROBLEMA	9
1.2.1 Descripción de la empresa Control Ambiental de Colombia	9
1.2.2 Descripción del problema	11
1.2.3. Diagnostico.....	12
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	29
1.4 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	29
1.5 HIPÓTESIS	29
1.6 OBJETIVOS	30
1.6.1 General.....	30
1.6.2 Específicos	30
1.7 DELIMITACIÓN	31
1.8 METODOLOGIA.....	31
1.8.1 Tipo de investigación	31
1.8.2 Técnicas de recolección de datos.....	32
1.8.3 Proceso metodológico	32

2. MARCO REFERENCIAL	33
2.1 ANTECEDENTES	33
2.2 MARCO CONCEPTUAL	40
2.3 MARCO TEORICO	42
2.4 MARCO LEGAL	54
3. DESARROLLO METODOLÓGICO DEL PROYECTO	56
3.1 SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	56
3.2 PROCEDIMIENTO - ALGORITMOS GENETICOS	57
3.3 MODELACION MATEMATICA Y SIMULACION	63
3.4 ANALISIS DE RESULTADOS.....	88
3.5 CONCLUSIONES	92
3.6 RECOMENDACIONES.....	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95
INFOGRAFIA	97
GIBERGRAFIA	97

INTRODUCCIÓN

Los residuos están asociados con las actividades de la población humana, con los procesos de transformación industrial y con los hábitos de consumo de cada individuo por lo cual deben recibir un tratamiento y una disposición final adecuada ya que podrían ser altamente contaminantes para el medio ambiente. Estos residuos son en su mayoría orgánicos y reutilizables lo que ha generado alternativas para su aprovechamiento permitiendo la disminución de impactos ambientales y sociales.

En Colombia una de las técnicas más usadas para el aprovechamiento de estos residuos es el compostaje el cuál se define como descomposición de residuos orgánicos por la acción microbiana, cambiando la estructura molecular de los mismos, para ello existen organizaciones encargadas de este tratamiento y aprovechamiento de recursos, pero algunas no cumple con la normatividad requerida para operar debido a la falta de planificación, fallas tanto en la obtención de materias primas, manufactura, llenado y distribución como en la recolección, transporte, transferencia y entierro en botaderos o rellenos sanitarios; por tal motivo es el problema de logística de recolección, transporte y transferencia de residuos orgánicos lo que compete a esta investigación buscando la optimización de la gestión logística en la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda.

La ingeniería industrial es una rama de la ingeniería que se ocupa del desarrollo, mejora, implantación y evaluación de sistemas integrados de gente, dinero, conocimientos, información, equipamiento, energía, materiales y procesos.

¹También trata con el diseño de nuevos prototipos para ahorrar dinero y hacerlos mejores. En la manufactura esbelta, los ingenieros industriales trabajan para eliminar desperdicios de todos los recursos; Por lo anterior, como aspirantes al título de ingeniera industrial, se busca la aplicación de los conocimientos adquiridos para mejorar la gestión logística del transporte de residuos orgánicos en la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda.

La sostenibilidad del medio ambiente es uno de los principales objetivos de la compañía y una adecuada gestión logística le permitirá ser una empresa que además de liderar procesos de reconstrucción ambiental brinde satisfacción a sus clientes y optimice sus procesos contribuyendo al cuidado de la belleza de la naturaleza.

¹ <http://ingenierosindustriales.jimdo.com/que-es-ingenier%C3%ADa-industrial/>

JUSTIFICACIÓN

La normatividad ambiental como conjunto de principios, criterios y orientaciones generales para la protección del medio ambiente ha tenido un importante desarrollo en las últimas tres décadas orientado al manejo y control de los residuos orgánicos, esto ha contribuido al crecimiento del mercado incrementando la contratación de los servicios del sistema de transporte y de recogida de residuos orgánicos en la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda., viéndose en la necesidad de mejorar la gestión logística con el fin de optimizar la planeación y programación de los diferentes recorridos, la capacidad de carga de los vehículos dependiendo de la clasificación de los residuos; así como mejorar el intercambio de información entre el coordinador de logística por parte de la empresa, el operador logístico contratado y sus clientes.

Para requerir de un sistema óptimo de desplazamiento de los residuos orgánicos desde los lugares de producción hasta el sitio central, se busca modelar matemáticamente y simular la gestión logística de transporte teniendo en cuenta los productos de mayor rotación además del diseñar los soportes (formatos, registros) necesarios para la gestión y control; buscando que la empresa tenga un crecimiento óptimo y que el proceso de gestión logística sea eficiente cumpliendo con los requisitos del cliente y las expectativas de la empresa, tales como: reducción de costos, tiempos de entrega y cumplimiento a los clientes, logrando un proceso de calidad aumentando las medidas de seguridad y requerimientos actuales de los clientes.

El desarrollo de esta investigación, también pretende que las estudiantes aspirantes al título de ingeniero industrial, apliquen los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de su formación académica, mediante la aplicación a situaciones reales de los modelos de programación estudiados.

1. GENERALIDADES

1.1 TITULO

“MODELACION MATEMATICA DE LA GESTIÓN LOGÍSTICA DEL TRANSPORTE DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA EMPRESA CONTROL AMBIENTAL DE COLOMBIA LTDA.”

1.2 PROBLEMA

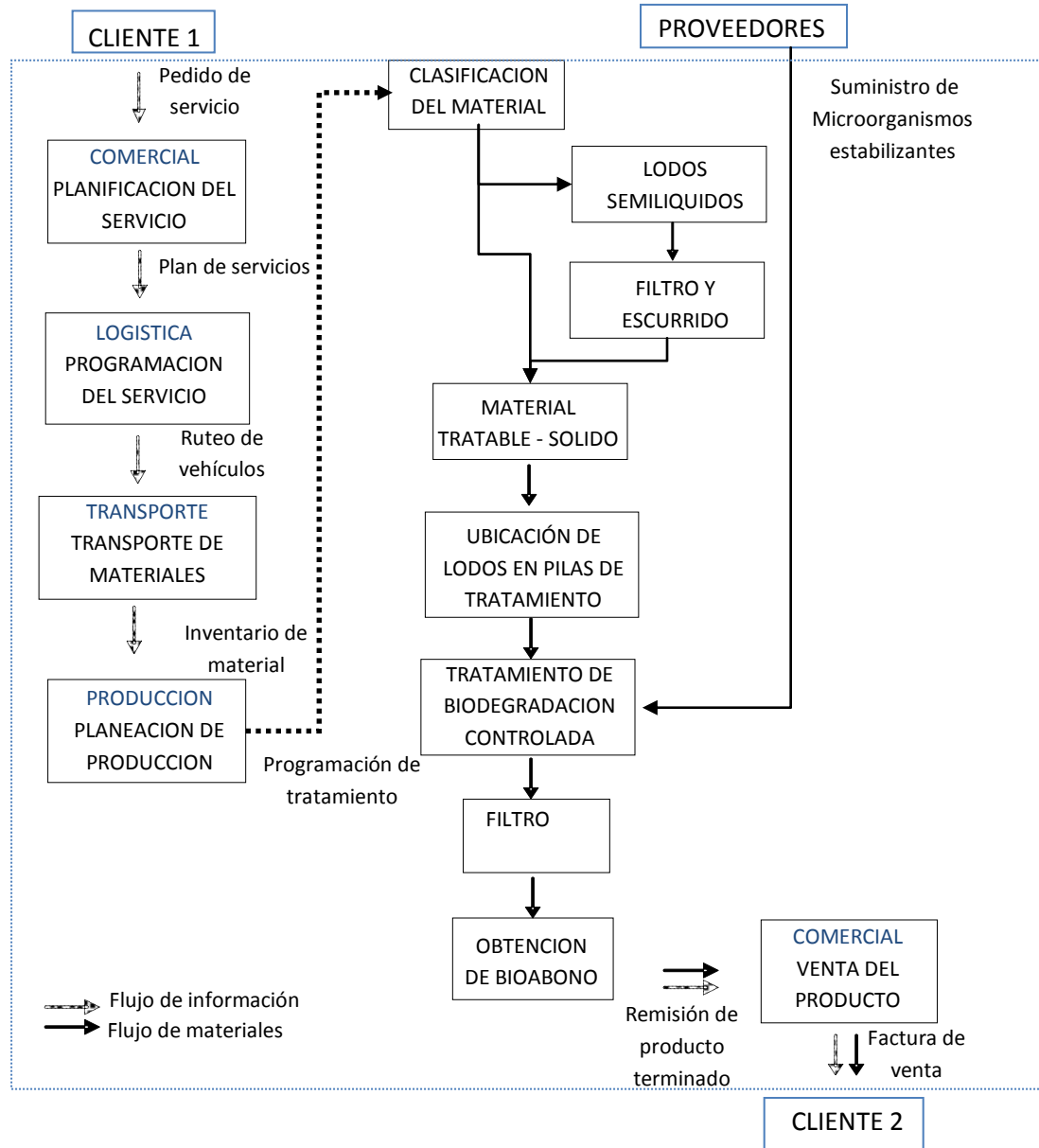
1.2.1 Descripción de la empresa Control Ambiental de Colombia

Control Ambiental de Colombia es una empresa de ingeniería dedicada al tratamiento y aprovechamiento de residuos y subproductos orgánicos biodegradables, fundada en 1995 y certificada según la NTC ISO 14001.

Con presencia en Colombia y Perú avanza con calidad y personal altamente calificado ofreciendo soluciones sostenibles para el tratamiento y el aprovechamiento de los residuos y subproductos orgánicos biodegradables; evitando afectaciones adversas al ambiente y a las personas.

Pionera en la innovación tecnológica para ofrecer las mejores soluciones sostenibles en el transporte, tratamiento y aprovechamiento de residuos y subproductos orgánicos biodegradables y consultoría ambiental.

Gráfica 1: Diagrama de flujo operaciones de Control Ambiental de Colombia Ltda.



Fuente: Los autores del proyecto y personal de Control Ambiental de Colombia Ltda.

La anterior es una descripción del proceso realizado por la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda., durante el desarrollo de su objeto social.

1.2.2 Descripción del problema

La empresa Control Ambiental de Colombia Ltda. es una empresa dedicada al área de ingeniería y ambiente; su objetivo principal es brindar soluciones que permitan prevenir, reducir y controlar los niveles de contaminación mediante el diseño, construcción y operación de sistemas para el tratamiento de residuos orgánicos tales como lodos, aguas residuales y otros materiales para los cuales oferta el servicio de transporte a empresas que los consideran desechos de sus procesos de producción; éstos son llevados a la planta de para que mediante un tratamiento de biodegradación controlada con la actividad especialmente de microorganismos mesófilos, termófilos y otros especializados en la estabilización de residuos orgánicos se obtenga como producto final un compost o bioabono, el cual se puede utilizar como enmienda orgánica en el sector forestal, cultivos de flores y recuperación de suelos erosionados.

El aumento en la generación de los residuos orgánicos asociados al crecimiento poblacional y al crecimiento industrial ha llevado a que las empresas y el sector industrial contraten empresas dedicadas al manejo y control de residuos orgánicos y de su adecuada disposición final, lo que ha incrementado a su vez el volumen de carga de residuos orgánicos para la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda., generando falencias en el servicio de transporte ofrecido, evidenciándose la falta de programación y control en la operación logística generando sobre costos, tiempos excesivos e incumplimiento a los clientes; por lo cual, con el desarrollo de la presente investigación se busca dar solución a los mismos, permitiendo a la compañía mejorar la calidad de servicio el aprovechamiento de los recursos y mejora los costos de operación.

1.2.3. Diagnostico

Este diagnóstico se realiza con base en la información del área de producción, la cual registra la cantidad de toneladas descargadas en planta durante los meses de Enero a Noviembre de 2010 (Ver Anexo 1), el vehículo que lo transporta y el tipo de material.

A continuación se encuentra la tabla de los datos de las capacidades de carga, placas y tipo de vehículo de los pertenecientes a TRANSAMBIENTE, empresa que hace parte del grupo empresarial Control Ambiental de Colombia:

Tabla 1: Capacidad de carga vehículos – TRANSAMBIENTE

VEHICULO	PLACAS	CAPACIDAD DE CARGA (Tn)
Ford Cargo 1721	SRN 819	10
Ford Cargo 815	THL 096	6
Ford Cargo 1721	SRO 781	12
Mercedes Benz Doble troque	SRP 023	19
Volkswagen Furgón tipo volqueta	SRP 695	9.5
Furgón JAC	SPN 626	5

Fuente: Personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

Nota: Se aclara que por seguridad de la información las empresas se encuentran identificadas por números.

Ilustración 1: Vehículos de TRANSAMBIENTE

1



2



3



4



5



6



Fuente: Materia fotográfico de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2011

A continuación se encuentra la relación de carga en toneladas transportada de los meses de Enero a Noviembre de 2010:

Tabla 2: Relación de carga de vehículos de TRANSAMBIENTE en toneladas durante los meses de Enero a Noviembre

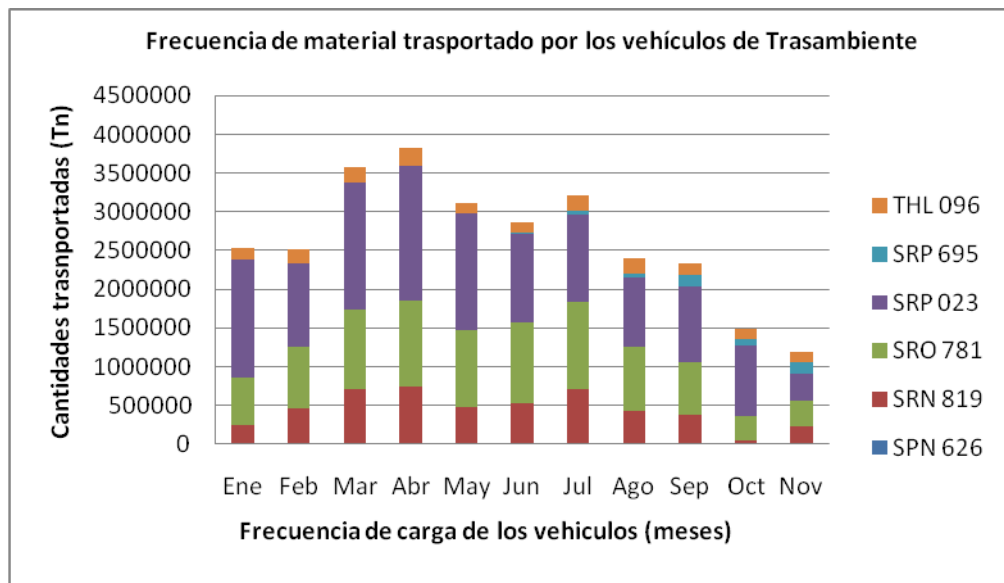
SUMA DE CANT (Kg)	PLACAS VEHICULO						TOTAL
	SRP 023	SRO 781	SRN 819	THL 096	SRP 695	SPN 626	
Fecha							
Enero	1.520.000	606.540	250.910	149.300			2.526.750
Febrero	1.083.000	801.185	453.665	181.920			2.519.770
Marzo	1.631.840	1.035.860	701.670	202.132			3.571.502
Abril	1.739.600	1.121.240	738.410	224.090			3.823.340
Mayo	1.520.820	987.820	477.140	130.566			3.116.346
Junio	1.149.670	1.046.340	525.950	144.640	1.320		2.867.920
Julio	1.128.870	1.139.760	701.630	192.070	47.080		3.209.410
Agosto	895.920	830.050	427.470	197.680	43.240		2.394.360
Septiembre	972.730	687.055	369.080	139.374	158.080		2.326.319
Octubre	912.000	322.853	29.730	133.846	78.830	10.054	1.487.312
Noviembre	341.360	334.148	213.260	144.331	145.707	16.847	1.195.653
Total general	12.895.810	8.912.851	4.888.915	1.839.948	474.257	26.901	29.038.682

Fuente: Personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. y autores del proyecto 2010

En la tabla No. 2 se observa que el vehículo de placas SPN 626 Furgón JAC con capacidad de 5 toneladas registra actividad desde el mes de Octubre, es decir que no se contaba con este recurso en los meses anterior de igual forma el furgón de placas SRP 695 con capacidad de 9.5 toneladas fue adquirido en el mes de Julio.

A continuación se encuentra la relación de carga de los vehículos de Trasambiente en toneladas de los meses de Enero a Noviembre de 2010:

Gráfica 2: Frecuencia de Materiales Transportado por los vehículos de TRANSAMBIENTE

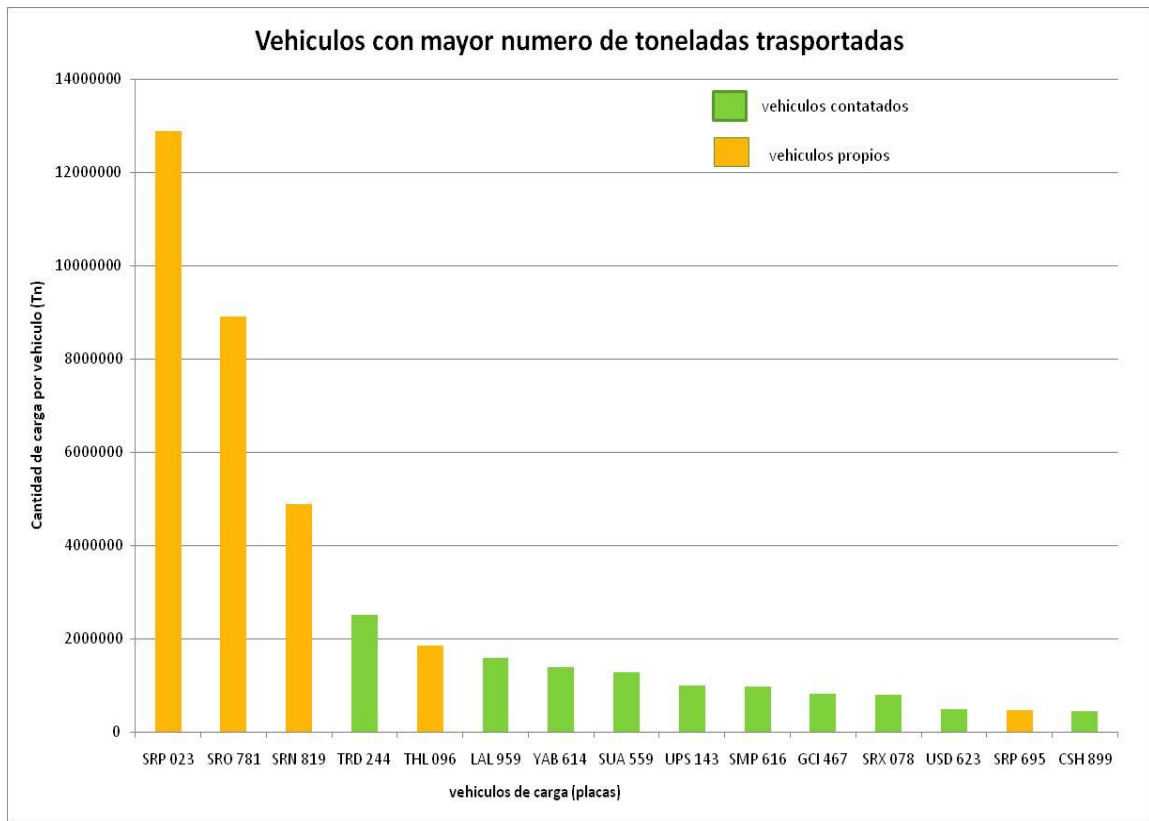


Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

En la gráfica No. 2 se observa que la mayor cantidad de carga la realiza el vehículo de placa SRP 023 doble troque con capacidad de 19 toneladas el cual transporta el 26,76% del material total llevado a la planta; el vehículo de placas SRO 781 Ford Cargo con capacidad de 12 toneladas transporta el 18,49%; el vehículo de placas SRN 819 Ford Cargo de 10 toneladas transporta el 10,14% y el vehículo de placas THL 096 Ford Cargo con capacidad de 6 toneladas transporta el 3,82% los vehículos de placas SPN 626 y SRP 695 en sus respectivos periodos han transportado el 1,58%; lo que quiere decir que el 60,79% de la carga total fue transportada en los vehículos propios.

A continuación se presenta según el material transportado a la planta; el movimiento en toneladas de carga de los vehículos que más cantidad transportan:

Gráfica 3: Vehículos con mayor número de toneladas transportadas

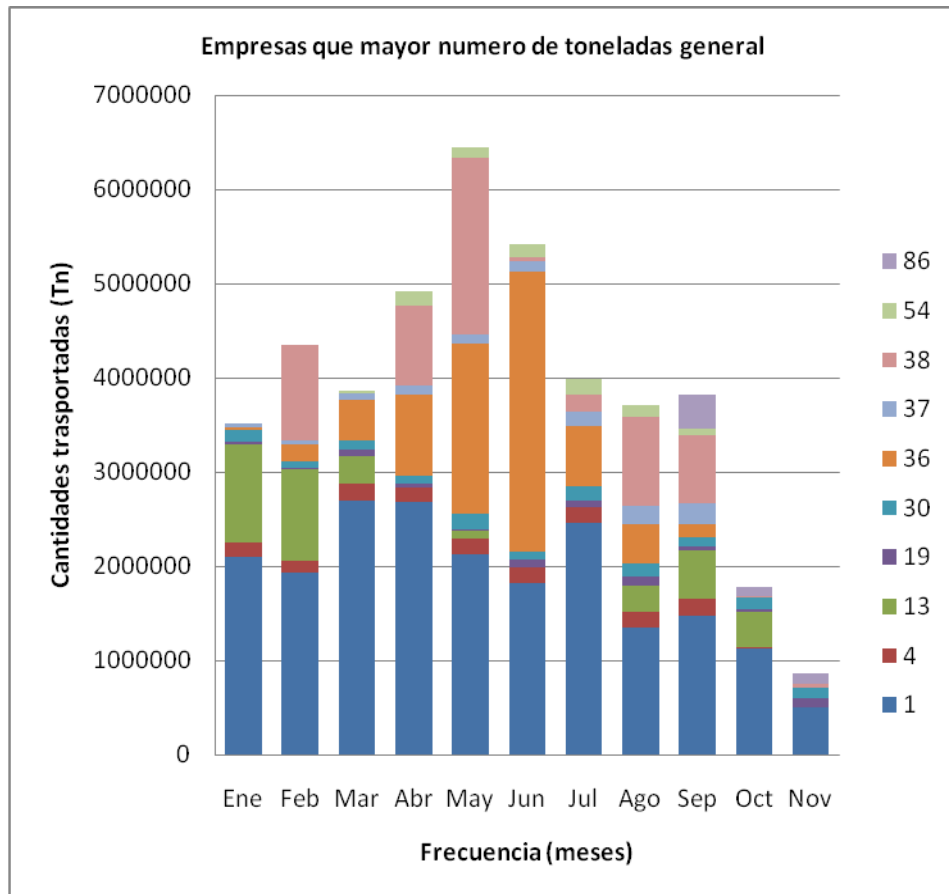


Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

En la grafica No. 3 se observa que los vehículos representados con color amarillo son propios y los representados con el color verde son subcontratados; entre los vehículos que más se transporta material están en primer lugar los tres de mayor capacidad de la empresa. Hay un vehículo que representa un gran número de toneladas y es el de placas TRD 244 el cual transporta el 5, 22 % del total de la carga al igual que el vehículo de placa LAL 959 que transporta el 3,27% los cuales son subcontratados

A continuación se presenta según las empresas que generan residuos, el movimiento de carga transportada de los meses de Enero a Noviembre:

Gráfica 4: Empresas con mayor número de toneladas transportadas



Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

En la gráfica No. 4 se observa que en los meses de Mayo y Junio se generó un gran número de toneladas transportadas a la planta d tratamiento mientras que en los meses de Octubre y Noviembre se disminuyo notoriamente; adicionalmente, la empresa número 1 genera un número significativo de toneladas a transportar.

Tabla 3: Empresas que más generaron transporte durante el periodo de Enero a Noviembre en toneladas

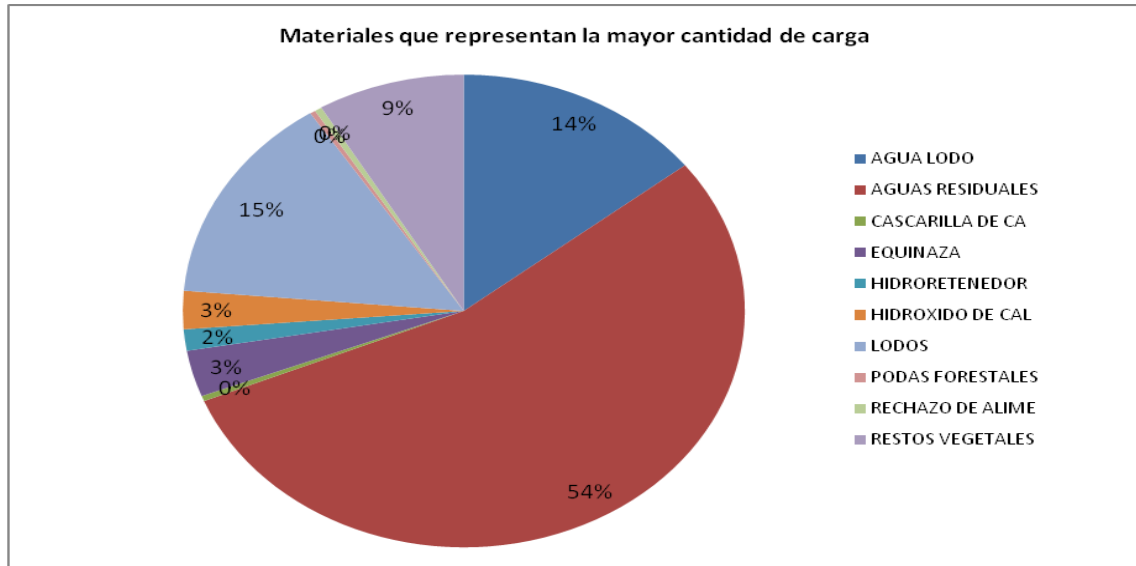
SUMA DE CANT (Kg)	EMPRESA											
	Fecha	1	4	13	19	30	36	37	38	54	86	Total general
Enero	2.095.800	163.050	1.039.763	23.030	130.870	21.230	48.000					3.521.743
Febrero	1.930.600	126.150	970.770	25.430	58.410	183.660	48.000	1.005.880				4.348.900
Marzo	2.703.400	173.900	297.700	66.200	92.690	439.782	60.000		30.150			3.863.822
Abril	2.683.610	158.970		38.670	85.550	852.710	108.000	838.530	155.240			4.921.280
Mayo	2.128.980	163.860	80.308	13.880	176.780	1.799.054	96.000	1.884.610	111.390			6.454.862
Junio	1.823.710	163.830		87.550	85.340	2.967.820	108.000	43.790	141.510			5.421.550
Julio	2.464.540	162.950		71.740	154.490	632.100	156.000	179.510	166.590			3.987.920
Agosto	1.354.700	164.290	272.144	97.200	139.400	423.340	192.000	945.430	117.890			3.706.394
Septiembre	1.481.830	175.800	509.350	46.280	96.720	136.730	223.890	720.610	77.330	357.890		3.826.430
Octubre	1.128.600	8.830	383.290	30.130	116.930			18.470		93.800		1.780.050
Noviembre	510.800			91.900	106.590			45.270		112.520		867.080
Total general	20.306.570	1.461.630	3.553.325	592.010	1.243.770	7.456.426	1.039.890	5.682.100	800.100	564.210		42.700.031

Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

La tabla No.3 se muestra las empresas con mayor cantidad de toneladas transportadas; del análisis de la tabla se concluye que las empresas que más toneladas generan son la empresa 1, 13, 19, 30, 36, 37, 38, 54 y 86.

A continuación se presenta según el material transportado, el movimiento de porcentaje de carga de los meses de Enero a Noviembre:

Gráfica 5: Materiales que más número de Toneladas se transportaron



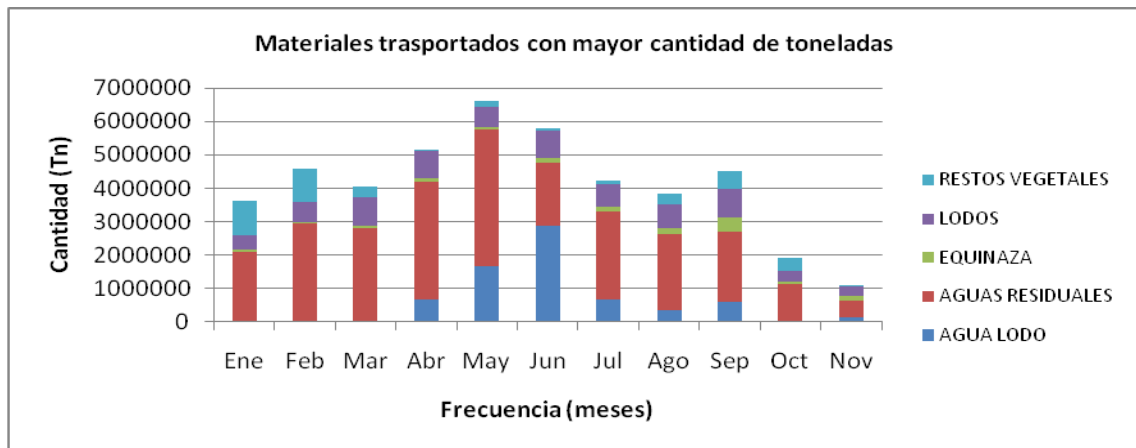
Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

En la grafica No. 5, se analiza las 6 materias primas más representativas de la empresa las aguas residuales representan el 54%, y el 42% lo representa lodos, restos vegetales hidroretenedores, hidroxido de calcio y agua lodos.

Según la gráfica 3, el vehiculo que mayor cantidad de carga trasporta es el vehiculo de placa SRP 023 de propiedad de trasambiente, el cual trasporta principalmente aguas residuales y agua lodo, materiales también que representan el mayor porcentaje de carga a transportar.

A continuación se presenta la relación de cantidad de carga transportada de los materiales más representativos:

Gráfica 6: Materiales que más número de Toneladas se transportaron durante el periodo Enero - Noviembre



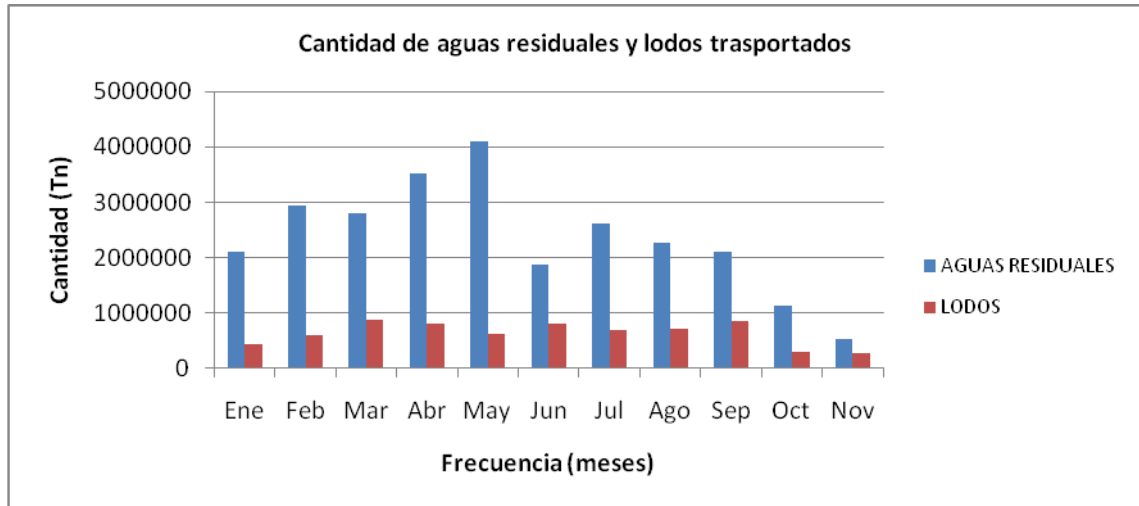
Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2011

La gráfica No. 6 muestra los tipos de material que más transporta la empresa y sus respectivas cantidades por mes; Se puede observar que el material representativo son las aguas residuales identificadas con rojo, y el material lodo representado con color morado; estos materiales tienen un incremento en su cantidad a transportar en los meses de Mayo y Junio y una disminución en los meses de Octubre y Noviembre.

Se evidencia que estos materiales representan gran parte de al actividad de la compañía.

A continuación se presenta la relación de cantidad de carga transportada de dos materiales más representativos:

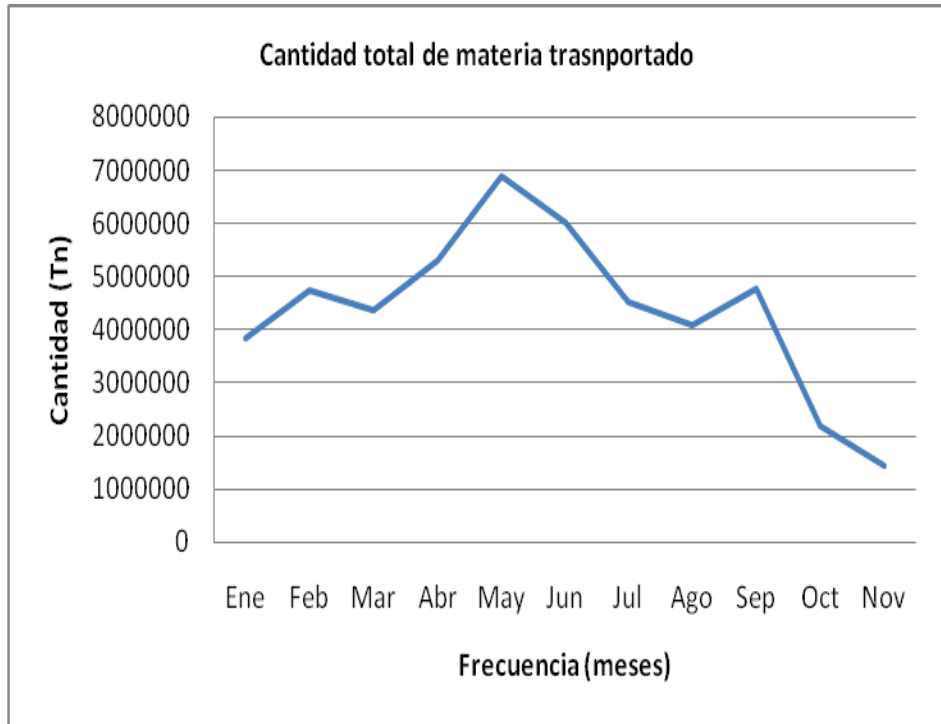
Gráfica 7: Cantidad de toneladas transportada de los materiales más representativos



Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

La gráfica No. 7 muestra el movimiento mensual y la cantidad de materias primas Aguas residuales y Lodos que transporta la empresa Control Ambiental en el año 2010; se puede observar que en el mes de mayo se ve reflejada la cantidad de agua residual que se transporta en comparación a los otros meses mostrando una variación máxima con tendencia a disminuir, los lodos muestran una variación mínima con tendencia a ser estable.

Gráfica 8: Cantidad de material total transportado



Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

La gráfica No. 8 muestra que la cantidad total de material transportado por Control Ambiental de Colombia no tiene un comportamiento estable en el año 2010, y que su variación depende de la demanda de los clientes.

Se analizara a continuación el recorrido de los vehículos de TRANSAMBIENTE en épocas diferentes del año, es decir una semana de enero, una semana de mayo y una semana de noviembre donde se verá actividad media, máxima y mínima de transporte de materiales.

Análisis de transporte de materiales por una semana en el mes de enero (medio) por los vehículos de TRANSAMBIENTE:

Tabla 4: Flujo de transporte de materiales de mayor rotación durante una semana del mes de Enero

Suma de CANT (Kg)			MatResumido			
fecha	PLACAS VEHICULO	HORA	AGUAS RESIDUALES	LODOS	RESTOS VEGETALES	Total general
03/01/2010	SRO 781	05:20:00 a.m.	11.400			11.400
		07:00:00 a.m.	11.400			11.400
		09:00:00 a.m.	11.400			11.400
	SRP 023	(en blanco)	19.000			19.000
04/01/2010	SRN 819	05:00:00 p.m.		8.040		8.040
	SRP 023	03:20:00 p.m.	19.000			19.000
		(en blanco)	57.000			57.000
	THL 096	11:44:00 a.m.			4.110	
05:40:00 p.m.					2.180	2.180
(en blanco)				7.850		7.850
05/01/2010	SRN 819	(en blanco)		6.980		6.980
	SRO 781	(en blanco)		15.090		15.090
	SRP 023	08:44:00 a.m.	19.000			19.000
		11:15:00 a.m.	19.000			19.000
		02:25:00 p.m.	19.000			19.000
		(en blanco)	19.000			19.000
THL 096	11:44:00 a.m.			5.200		5.200
	(en blanco)			3.980		3.980
06/01/2010	SRN 819	(en blanco)		14.730		14.730
	SRO 781	(en blanco)	22.800			22.800
	SRP 023	(en blanco)	38.000			38.000
	THL 096	(en blanco)		9.900		9.900
07/01/2010	SRN 819	(en blanco)		6.420		6.420
	SRO 781	(en blanco)		8.190		8.190
	SRP 023	(en blanco)	57.000			57.000
	THL 096	(en blanco)		4.720		4.720
08/01/2010	SRN 819	(en blanco)		9.230		9.230
	SRP 023	07:00:00 a.m.	19.000			19.000
		06:30:00 p.m.	19.000			19.000
		(en blanco)	57.000			57.000
THL 096	(en blanco)		9.980		9.980	
09/01/2010	SRP 023	(en blanco)	38.000			38.000
	THL 096	(en blanco)		4.100		4.100
Total general			456.000	118.520	2.180	576.700

Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

Análisis de transporte de materiales por una semana en el mes de Mayo (alto) por los vehículos de trasambiente:

Tabla 5: Flujo de transporte de materiales de mayor rotación durante una semana del mes de Mayo

Suma de CANT			MatResur					Total general
fecha	PLACAS VEHICUL	HORA	AGUA LODO	AGUAS RESIDUALES	HIDROXIDO DE CAL	LODOS	RESTOS VEGETALES	Total general
06/05/2010	SRN 819	10:30:00 p.m.				7.630		7.630
	SRO 781	(en blanco)		54.650				54.650
	SRP 023	07:30:00 a.m.		19.220				19.220
		12:50:00 p.m.		19.120				19.120
		04:00:00 p.m.		19.100				19.100
		06:30:00 p.m.		19.000				19.000
		08:35:00 p.m.		19.000				19.000
		10:32:00 p.m.		19.000				19.000
	THL 096	07:00:00 a.m.		5.830				5.830
		04:30:00 p.m.		5.860				5.860
07/05/2010	SRN 819	10:00:00 a.m.				5.610		5.610
		12:50:00 p.m.		10.000			10.000	
		10:20:00 p.m.		9.620			9.620	
	SRO 781	(en blanco)		40.460				40.460
	SRP 023	12:30:00 a.m.		19.000				19.000
		04:25:00 a.m.		19.000				19.000
		10:20:00 a.m.		19.000				19.000
		01:30:00 p.m.		19.000				19.000
		06:15:00 p.m.		19.000				19.000
	THL 096	06:15:00 a.m.		5.920				5.920
09:45:00 a.m.					5.230		5.230	
05:10:00 p.m.					6.110		6.110	
08/05/2010	SRN 819	02:15:00 a.m.				9.400		9.400
	SRP 023	08:45:00 a.m.		19.000				19.000
		11:15:00 a.m.		19.000				19.000
		02:00:00 p.m.		19.000				19.000
	THL 096	11:20:00 a.m.				710		710
		01:40:00 p.m.				-		-

Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

Tabla 5: (Continuación)

09/05/2010	SRN 819	09:40:00 a.m.		10.000			10.000	
		12:10:00 p.m.		10.000			10.000	
	SRO 781	08:30:00 a.m.		11.400			11.400	
		12:30:00 p.m.		11.400			11.400	
10/05/2010	SRN 819	09:10:00 a.m.	8.500				8.500	
		12:30:00 p.m.				5.140	5.140	
		06:00:00 p.m.			8.220		8.220	
	SRO 781	07:30:00 a.m.		11.480			11.480	
		10:45:00 a.m.		11.490			11.490	
		07:30:00 p.m.				7.210	7.210	
SRP 023	09:35:00 a.m.		19.000			19.000		
	01:00:00 p.m. (en blanco)		19.000			19.000		
					17.450	17.450		
THL 096	08:40:00 a.m.		1.750		580	2.330		
	12:40:00 p.m.				3.640	3.640		
	06:57:00 p.m.				3.570	3.570		
11/05/2010	SRN 819	08:20:00 a.m.				10.030	10.030	
		01:45:00 p.m.			11.500		11.500	
		08:10:00 p.m.				7.620	7.620	
	SRO 781	07:00:00 a.m.		11.540			11.540	
		09:00:00 a.m.		11.530			11.530	
		09:30:00 a.m.				11.250	11.250	
SRP 023	09:30:00 p.m. (en blanco)				19.010	19.010		
			38.000			38.000		
THL 096	12:08:00 p.m.				4.710	4.710		
12/05/2010	SRN 819	03:31:00 p.m.				3.150	3.150	
		03:32:00 p.m.				8.200	8.200	
		09:20:00 p.m.				7.350	7.350	
	SRO 781	07:20:00 a.m.		11.510			11.510	
		11:00:00 a.m. (en blanco)		11.470			11.470	
					8.880		8.880	
SRP 023	08:30:00 a.m.	19.030				19.030		
	10:30:00 a.m.		19.000			19.000		
	02:15:00 p.m.		19.000			19.000		
THL 096	10:53:00 a.m.				550	550		
	03:53:00 p.m.				4.410	4.410		
13/05/2010	SRN 819	12:15:00 p.m.				5.680	5.680	
		04:00:00 p.m.				5.060	5.060	
		08:30:00 p.m.				7.290	7.290	
	SRO 781	(en blanco)		23.020		11.500	34.520	
	SRP 023	09:10:00 a.m.		19.000			19.000	
01:01:00 p.m.			19.000			19.000		
09:30:00 p.m.					17.020	17.020		
THL 096	09:58:00 a.m.				4.630	4.630		
	01:47:00 p.m.				3.220	3.220		
Total general			27.530	687.370	28.600	188.540	14.420	946.460

Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

Análisis de transporte de materiales por una semana en el mes de Noviembre (bajo) por los vehículos de TRANSAMBIENTE:

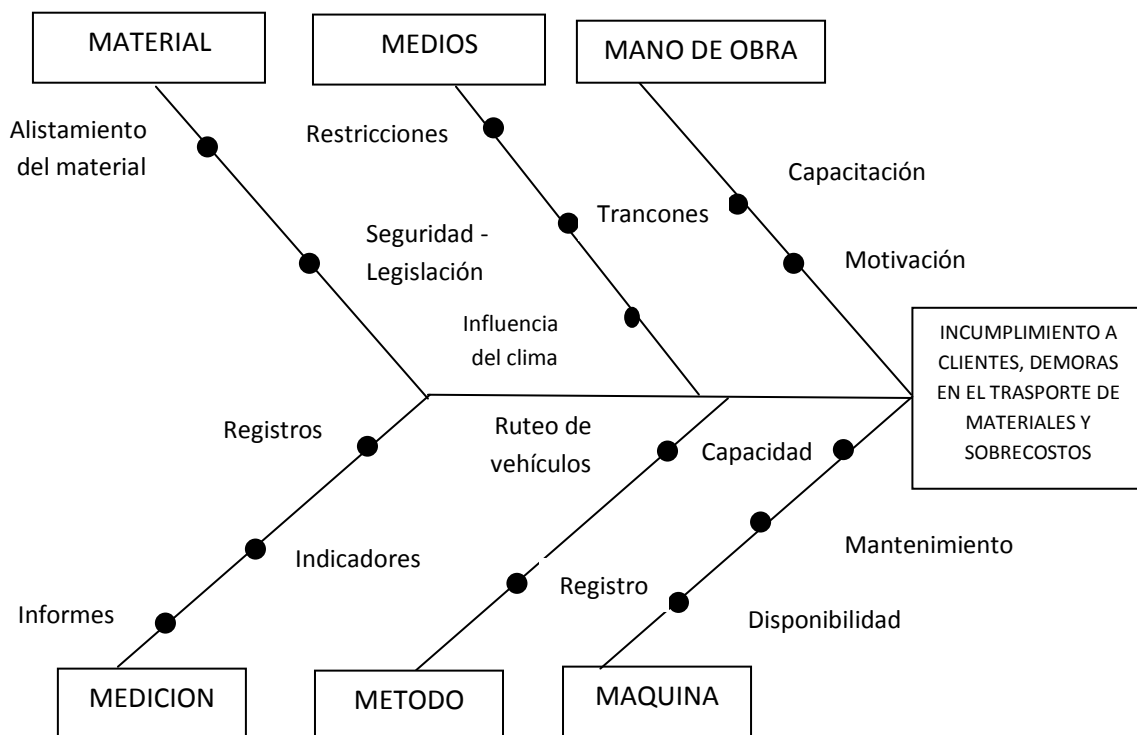
Tabla 6: Flujo de transporte de materiales de mayor rotación durante una semana del mes de Noviembre

Suma de CANT (Kg)			MatResumido					Total general	
fecha	PLACAS VEHICUL	HORA	AGUA LODO	AGUAS RESIDUALES	EQUINAZA	HIDROXIDO DE CAL	LODOS	Total general	
01/11/2010	SPN 626	(en blanco)							
	SRN 819	(en blanco)		20.000				20.000	
	SRO 781	(en blanco)		22.800				22.800	
02/11/2010	SPN 626	(en blanco)							
	SRN 819	(en blanco)				7.330	-	7.330	
	SRO 781	(en blanco)		22.800			6.120	28.920	
	SRP 023	(en blanco)		38.000				38.000	
	SRP 695	04:30:00 p.m.				10.970		10.970	
	THL 096	06:45:00 p.m. (en blanco)			3.120			830	3.950
03/11/2010	SPN 626	(en blanco)							
	SRN 819	(en blanco)		20.000				20.000	
	SRO 781	02:00:00 p.m.					10.180	10.180	
	SRP 695	(en blanco)			6.880			6.880	
	THL 096	(en blanco)					1.000	1.000	
04/11/2010	SPN 626	(en blanco)							
	SRN 819	05:56:00 a.m.	19.590					19.590	
		11:30:00 a.m.							
		10:00:00 p.m.	9.880					9.880	
	SRP 023	05:20:00 p.m.	18.490	38.000				56.490	
	SRP 695	(en blanco)			10.010			10.010	
THL 096	05:10:00 p.m.					3.970	3.970		
05/11/2010	SPN 626	(en blanco)							
	SRN 819	09:45:00 a.m.					7.500	7.500	
	SRO 781	(en blanco)	45.690					45.690	
	SRP 023	11:51:00 a.m.	18.870	38.000				56.870	
	SRP 695	(en blanco)							
	THL 096	05:18:00 a.m. 09:40:00 a.m.						650	650
06/11/2010	SRO 781	10:20:00 a.m.		22.800				22.800	
	SRP 695	(en blanco)							
	THL 096	09:00:00 a.m.				7.480		7.480	
Total general			112.520	225.520	27.860	14.810	30.250	410.960	

Fuente: Los autores del proyecto Fuente: Fuente: Los autores del proyecto basados en información suministrada por personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

Se observa en la comparación anterior que la variación en la cantidad de toneladas a transportar es bastante elevada en estos tres períodos del año, confirmando que el comportamiento es variable y los recorridos se han realizado de manera aleatoria y, evidenciándose los desperdicios ya mencionados en los recursos de la compañía.

Gráfica 9: Diagrama de espina de pescado situación actual de la logística de la empresa



Fuente: Los autores del proyecto y personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

Los vehículos propios y subcontratados de la empresa deben ser programados de la mejor manera para utilizar al máximo su capacidad; en la actualidad, no se tiene registro de los tiempos de mantenimiento y disponibilidad de cada vehículo.

En ocasiones, el material no se encuentra listo para su respectivo cargue en las empresas que contratan el servicio por lo cual, los conductores tienen que hacer doble recorrido entre la planta de tratamiento y los lugares de recepción de materiales. Adicionalmente, debido a que el material que se maneja puede ser contaminante las medidas de seguridad deben seguirse estrictamente de acuerdo a la política de gestión integral de residuos y aunque están

plenamente identificadas para su total cumplimiento puede presentar algunos otros imprevistos que generen otros costos como demoras y dobles recorridos.

Otros retrasos se pueden presentar debido a las restricciones en las vías ya que la mayoría de los recorridos se realizan en áreas de la sabana y estas en ocasiones debido a los viajeros tienen limitaciones de uso, además de los trancones y las condiciones climáticas que también pueden ser casusas de demoras inesperadas en el proceso.

Por otra parte, el personal está capacitado plenamente para su trabajo pero hace falta más control en sus procesos y motivarlo para tener un registro detallado de los costos, tiempos y distancias recorridas para así poder generar indicadores de control y con ellos encontrar los puntos de mayor atención a tratar para buscar la eficiencia de la gestión.

El proceso de transporte no está estandarizado y no se ejecuta una programación eficiente de logística lo que genera los incumplimientos, sobrecostos y demoras.

Ilustración 2: Izquierda: cargue de material; derecha: lodos – material orgánico



Fuente: Materia fotográfico de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo se puede llevar a cabo una gestión logística del transporte de residuos orgánicos eficiente para su tratamiento en la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda.?

1.4 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Modelar matemáticamente la gestión logística del transporte para los productos de mayor rotación puede ayudarnos a reducir los costos e incumplimiento a los clientes?
- ¿Simular la gestión logística del transporte de materiales para los productos de mayor rotación puede ayudarnos a reducir los costos e incumplimiento a los clientes?
- ¿Diseñar los soportes para la programación de rutas y tiempos por medio de formatos y documentos puede ayudarnos a reducir los costos e incumplimiento a los clientes?

1.5 HIPÓTESIS

Modelar matemáticamente, simular, documentar y hacer los registros pertinentes a la gestión logística del transporte de residuos orgánicos en la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda., permitirá reducir los sobrecostos, el incumplimiento a los clientes y las demoras que se están presentando en esta área de la compañía.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 General

Realizar modelación matemática de la gestión logística del transporte para los productos de mayor rotación en la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda.

1.6.2 Específicos

- Diagnosticar la situación actual de organización en cuanto a la gestión logística de transporte para los productos de mayor rotación.
- Modelar matemáticamente la gestión logística del transporte para los productos de mayor rotación.
- Simular la gestión logística del transporte de materiales durante un mes para los productos de mayor rotación.
- Diseñar los soportes para la programación de rutas y tiempos por medio de formatos y documentos.
- Evaluar los planes propuestos durante un mes mediante la comparación del proceso antes y después de las actividades realizadas en este proyecto, mediante un seguimiento continuo al proceso durante un tiempo determinado para los productos de mayor rotación.

Nota: Los productos de mayor rotación hacen referencia a los que mayor cantidad de toneladas a transportar generan.

1.7 DELIMITACIÓN

- Tiempo: Año 2.010 – 2012
- Espacio: Instalaciones de la empresa Control ambiental de Colombia Ltda.
- Temática: Modelación, Programación y simulación de la logística de transporte.

1.8 METODOLOGIA

1.8.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación que se utilizará en este proyecto es de enfoque Cuantitativo – experimental y enfoque Cualitativo – evaluativo. En el enfoque - cuantitativo experimental se tendrá en cuenta la información recolectada por el personal administrativo y empleados de CONTROL AMBIENTAL DE COLOMBIA LTDA., la información suministrada por el director de proyecto y libros relacionados con el tema. En el enfoque cualitativo - evaluativo se realizará un diagnóstico del funcionamiento de los procesos de la logística del transporte evaluándolos y realizando el respectivo análisis para la toma de decisiones.

1.8.2 Técnicas de recolección de datos

- La observación: Se realizará en las visitas a las instalaciones de CONTROL AMBIENTAL DE COLOMBIA LTDA., y en salidas de campo donde se evalué el transporte de los vehículos; para lo cual se diligenciará un formato especial en cada proceso.
- Documentos existentes: Toda la documentación administrativa encontrada en medio magnético, y que pueda servir como referente para comparar los procesos actuales con los futuros.
- Las entrevistas: Se evaluarán a las personas relacionadas con el proceso, con el fin de orientar las entrevistas a lo largo del proceso.

1.8.3 Proceso metodológico

Tabla 6: proceso Metodológico

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROCESO METODOLÓGICO
Diagnosticar la situación actual de la empresa en cuanto a la logística del transporte de residuos	Entrevistando al personal implicado en el proceso de la gestión logística del transporte de residuos y análisis de información suministrada por el personal de la empresa.
Establecer el modelo matemático que permita mejorar la gestión logística del transporte de residuos bajo algoritmos genéticos	Diseño experimental introducción – deducción
Simular el proceso para identificar como funcionaria el modelo	Diseño de experimentos – simulación
Medir los resultados obtenidos, comparando esta con la información del diagnóstico inicial.	Entrevistando al personal implicado en el proceso de la gestión logística del transporte de residuos y llenando el formato de diagnóstico. Presentando análisis resultados a la organización.

Fuente: Los autores del proyecto. 2010

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 ANTECEDENTES

- **DHL: Los beneficios de una red Global**²

En DHL tienen como objetivo principal crear sólidas relaciones de cooperación con sus clientes a largo plazo, poniendo al alcance servicios en su red global, que abarca más de 220 países en todo el mundo, en todas sus operaciones.

Para los clientes del área logística, que buscan externalizar el envío de mercancías, el almacenaje, la distribución, el transporte y la gestión de la cadena de suministro, el equipo de proyectos de soluciones de DHL se encarga de crear una red logística estratégica en cuanto a proyectos de transporte, simulación de almacenaje, mejoría operacional y soluciones proactivas.

Las operaciones logísticas de sus clientes se ven integradas a la red global de la empresa cuando les proporcionan, entre otros, soluciones de transporte de superficie y aéreo/marítimo y una difusión amplia de instalaciones de almacenaje.

LOGÍSTICA INVERSA Y RUTEO DE VEHÍCULOS: BÚSQUEDA DISPERSA APLICADA AL PROBLEMA DE RUTEO DE VEHÍCULOS CON COLECTA Y ENTREGA SIMULTÁNEA³

¹http://www.revistalogistec.com/index.php?option=com_content&view=article&id=428:enlamiraed54&catid=52:enlamira&Itemid=114

³ Primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro - Zaragoza, 12 y 13 de Septiembre de 2007

La importancia de la eficacia y de la eficiencia de los sistemas de distribución se torna evidente cuando se considera el impacto de costos asociados a las operaciones de las empresas. La vigorosa industrialización del mundo moderno y la incorporación de nuevos hábitos de consumo, en la sociedad, hicieron surgir cada vez más residuos urbanos que deben ser gerenciados. El gerenciamiento de la destinación de los residuos urbanos es un conjunto de acciones normativas, operacionales, financieras y de planeamiento utilizando tecnologías compatibles con la realidad local. Para alcanzar el objetivo, en general se adopta la filosofía comúnmente denominada 3R que significa *reducir, reutilizar y reciclar* determinados materiales.

Frecuentemente algunos o todos los materiales recuperados son transportados conjuntamente con pedidos de entregas, pues combinar colectas con las entregas resulta en costos más bajos de transporte de que considerar cada uno en rutas y en vehículos separados. La importancia del Problema de Ruteo de Vehículos (PRV) se refleja en la grande variedad de aplicaciones correspondientes en las áreas de investigación de operaciones, logística, distribución, transporte entre otros.

Teniendo en cuenta las diferentes aplicaciones del PRV en logística inversa, se integran las estrategias de colecta con las estrategias de la ruta de entrega. El problema de ruteo de vehículo con colecta y entrega simultánea (PRVCES) es una variante del PRV con cargas de retorno, en el cual la demanda de cada cliente es compuesta de pedidos de entrega y pedidos de colecta. Se consideran situaciones en que las entregas se inician a partir de un depósito y la colecta es conducida hasta el mismo depósito al final del trayecto. Una característica importante del problema es que la carga del vehículo en cualquier ruta es una mezcla de pedidos de entrega y de colecta, siendo siempre un trayecto mixto, independientemente del orden de visita a los clientes el objetivo es minimizar la distancia recorrida, con la restricción de que el vehículo debe tener suficiente capacidad para transportar los pedidos de entrega y colecta a lo largo de la ruta.

- **Antecedentes de aplicación de algoritmos genéticos a programación de rutas y horarios**

⁴Burke y Newall utilizaron algoritmos genéticos para diseñar los horarios de los exámenes universitarios. Se sabe que, en general, el problema del horario es NP-completo, lo que significa que no se conoce un método para hallar con garantías una solución óptima en un tiempo razonable. En un problema así, hay restricciones duras -no puede asignarse el mismo aula a dos exámenes a la vez- y restricciones suaves -si es posible, no deben asignarse varios exámenes en sucesión a un mismo estudiante, para minimizar la fatiga. Las restricciones duras deben satisfacerse, mientras que las restricciones suaves deben satisfacerse lo máximo posible. Los autores llaman "algoritmo memético" a su método híbrido para resolver este problema: un algoritmo evolutivo con selección por rango proporcional a la aptitud, combinado con un trepacolinas local para optimizar las soluciones halladas por el AE. El AE se utilizó en cuatro conjuntos de datos de universidades reales (la menor de las cuales tenía 25.000 alumnos), y sus resultados se compararon con los resultados producidos por un método heurístico de vuelta atrás, un algoritmo muy consolidado que se encuentra entre los mejores que se conocen para este problema y que se utiliza en varias universidades. Comparado con este método, el AE produjo un resultado con una reducción de la penalización bastante uniforme del 40%.

⁴ BURKE, E.K. y J.P. Newall. "A multistage evolutionary algorithm for the timetable problem." IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.3, no.1, p.63-74, Abril de 1999.

He y Mort⁵ aplicaron algoritmos genéticos al problema de hallar rutas óptimas en las redes de telecomunicaciones (como las redes de telefonía e Internet), que se usan para transmitir datos desde los remitentes hasta los destinatarios. Esto es un problema NP-difícil, un tipo de problema para el que los AGs son ``extremadamente aptos... y han encontrado una enorme variedad de aplicaciones exitosas en esos campos" (p. 42). Es además un problema multiobjetivo, en el que hay que equilibrar objetivos en conflicto como maximizar el caudal de datos, minimizar los retrasos en la transmisión y la pérdida de datos, encontrar caminos de bajo coste y distribuir la carga uniformemente entre los encaminadores o conmutadores de la red. Cualquier algoritmo real satisfactorio debe también ser capaz de redirigir el tráfico de las rutas principales que fallen o estén congestionadas.

En el AG híbrido de los autores se utilizó un algoritmo de tipo "primero el camino más corto", que minimiza el número de "saltos" que debe realizar un paquete de datos dado, para generar la semilla de la población inicial. Sin embargo, esta solución no tiene en cuenta la congestión o fallo de los enlaces, condiciones inevitables en redes reales, y es entonces cuando el AG toma el control, intercambiando secciones de rutas. Cuando se probó sobre un conjunto de datos derivado de una base de datos en red real de Oracle, se descubrió que el AG era capaz de redirigir enlaces rotos o congestionados, equilibrar la carga de tráfico y maximizar el caudal total de la red. Los autores afirman que estos resultados demuestran la ``efectividad y escalabilidad" del AG y que "se pueden conseguir soluciones óptimas o casi óptimas" (p. 49).

⁵ HE, L. y N. Mort. "Hybrid genetic algorithms for telecommunications network back-up routeing" BT Technology Journal, vol.18, no.4, p. 42-50 (octubre de 2000).

Esta técnica ha encontrado aplicaciones reales para propósitos similares, como informan Begley y Beals⁶. La compañía de telecomunicaciones U.S. West (ahora fusionada con Qwest) se enfrentó a la tarea de desplegar una red de fibra óptica. Hasta hace poco, el problema de diseñar la red para minimizar la longitud total de cable desplegado era resuelto por un ingeniero experimentado; ahora la compañía utiliza un algoritmo genético para realizar la tarea automáticamente. Los resultados: "El tiempo de diseño para las redes nuevas ha caído de dos meses a dos días, y le supone un ahorro a U.S. West de 1 millón a 10 millones de dólares cada una" (p. 70).

Jensen⁷ y Chryssolouris y Subramaniam⁸ aplicaron algoritmos genéticos a la tarea de generar programas para líneas de montaje (job shop scheduling). Éste es un problema de optimización NP-difícil con múltiples criterios: deben tomarse en cuenta factores como el coste, los retrasos y el rendimiento, y puede que se tenga que cambiar al vuelo el programa de la línea de montaje debido a averías en la maquinaria, ausencia de empleados, retrasos en la entrega de piezas, y otras complicaciones, lo que hace que la robustez del programa sea una consideración importante. Ambos artículos concluyen que los AGs son significativamente superiores a las reglas de despacho de prioridad utilizadas comúnmente, al producir programas eficientes que pueden tratar con más facilidad los retrasos y las averías. Estos resultados no son simplemente teóricos, sino que se han aplicado a situaciones reales:

⁶ BEGLEY, Sharon y Gregory Beals. "Software au naturel" Newsweek, 8 de mayo de 1995, p.70.

⁷ JENSEN, Mikkel. "Generating robust and flexible job shop schedules using genetic algorithms" IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.7, no.3, p.275-288 (junio de 2003).

⁸ CHRYSSOLOURIS, George y Velusamy Subramaniam. "Dynamic scheduling of manufacturing job shops using genetic algorithms" Journal of Intelligent Manufacturing, vol.12, no.3, p.281-293 (junio de 2001).

Como informa Naik ⁹, los organizadores de los Juegos Paraolímpicos de 1992 utilizaron un AG para diseñar los horarios de los eventos. Como informa Petzinger ¹⁰, John Deere & Co. ha utilizado AGs para generar los programas de montaje para una planta de Moline, Illinois, que fabrica plantadoras y otras maquinarias agrícolas pesadas. Al igual que los coches de lujo, éstas pueden construirse en una gran variedad de configuraciones con muchas partes y opciones distintas, y la enorme cantidad de maneras posibles de construirlas implica que el diseño eficiente de programas de montaje sea un problema aparentemente intratable. La productividad se veía mermada por cuellos de botella en el montaje, los equipos de trabajadores discutían, y se estaba perdiendo dinero. Finalmente, en 1993, Deere acudió a Bill Fulkerson, un analista e ingeniero de personal que concibió la utilización de un algoritmo genético para producir programas de montaje para la planta. Tras superar el escepticismo inicial, el AG demostró su valía rápidamente: la producción mensual aumentó un 50 por ciento, el tiempo extra casi desapareció y otras plantas de Deere están incorporando los AGs en sus propios diseños de programas de montaje.

Como informa Rao¹¹, Volvo ha utilizado un programa evolutivo llamado OptiFlex para diseñar el programa de montaje de su fábrica de Dublín, Virginia, de un millón de metros cuadrados, una tarea que requiere controlar cientos de restricciones y millones de permutaciones posibles para cada vehículo. Como todos los algoritmos genéticos, OptiFlex funciona combinando aleatoriamente distintos programas de montaje posibles, determinando su aptitud clasificándolos en base a sus costos, beneficios y restricciones, y luego

⁹ NAIK, Gautam. "Back to Darwin: In sunlight and cells, science seeks answers to high-tech puzzles" The Wall Street Journal, 16 de enero de 1996, p. A1.

¹⁰ PETZINGER, Thomas. "At Deere they know a mad scientist may be a firm's biggest asset" The Wall Street Journal, 14 de julio de 1995, p.B1.

¹¹ JENSEN, Mikkel. "Generating robust and flexible job shop schedules using genetic algorithms" IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.7, no.3, p.275-288 (junio de 2003).

haciendo que las mejores soluciones intercambien genes entre ellas y vuelvan a la población para otra prueba. Hasta hace poco, esta desalentadora tarea era responsabilidad de un ingeniero humano, al que le llevaba hasta cuatro días producir el programa para cada semana; ahora, gracias a los AGs, esta tarea se puede completar en un día con una mínima intervención humana.

Como informa Lemley¹², United Distillers and Vintners, una empresa escocesa que es el mayor y más rentable distribuidor de licores del mundo y es responsable de más de un tercio de la producción mundial de whisky de grano, utiliza un algoritmo genético para administrar su inventario y sus suministros. Esto es una tarea desalentadora que exige almacenar y distribuir eficientemente más de 7 millones de barriles, que contienen 60 recetas distintas, entre un enorme sistema de almacenes y destilerías, dependiendo de una multitud de factores como la edad, el número de malta, el tipo de madera y las condiciones del mercado. Anteriormente, coordinar este complejo flujo de suministro y demanda requería de cinco empleados a tiempo completo. Hoy, unas cuantas pulsaciones de teclado en un ordenador solicitan a un algoritmo genético que genere un programa cada semana, y la eficiencia de almacenamiento casi se ha duplicado.

Beasley, Sonander y Havelock¹³ utilizaron un AG para programar los aterrizajes del London Heathrow, el aeropuerto más transitado del Reino Unido. Esto es un problema multiobjetivo que implica, entre otras cosas, minimizar los retrasos y maximizar el número de vuelos mientras se mantiene la suficiente distancia de separación entre los aviones (los vórtices de aire que se forman en la estela de un avión pueden ser peligrosos para otro avión que vuele demasiado cerca). Comparado con los horarios reales de un periodo intensivo del aeropuerto, el AG fue capaz de reducir el tiempo de espera medio en un 2-5%, implicando dos o tres vuelos extra despegando y aterrizando por cada hora -una mejora

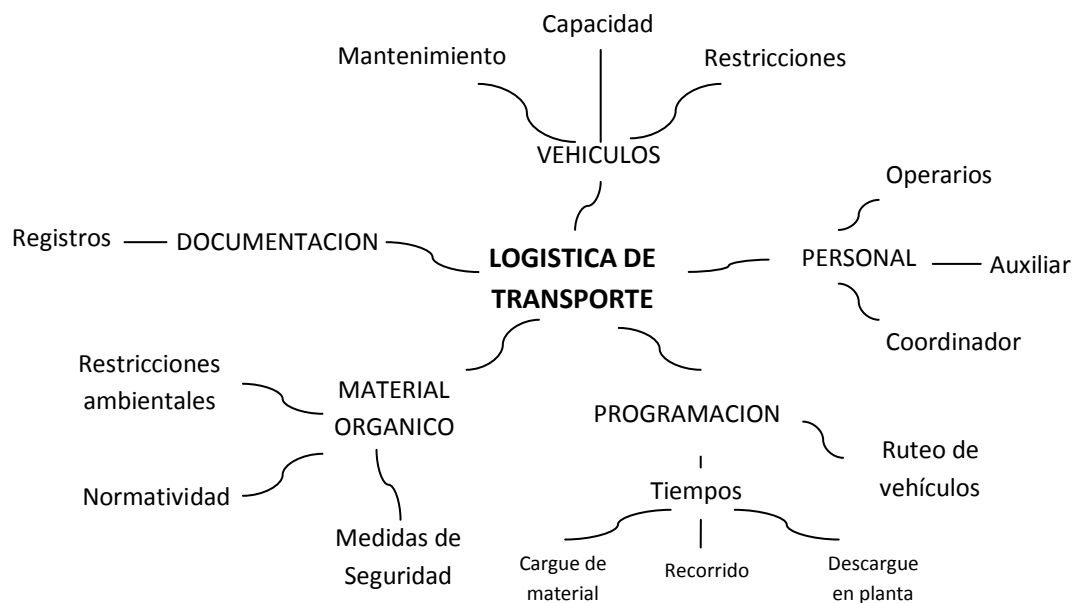
¹² LEMLEY, Brad. "Machines that think" Discover, enero de 2001, p.75-79.

¹³ BESLEY, J.E., J. Sonander y P. Havelock. "Scheduling aircraft landings at London Heathrow using a population heuristic" Journal of the Operational Research Society, vol.52, no.5, p.483-493 (mayo de 2001).

significativa. Sin embargo, se han logrado mejoras mayores: como se informa en Wired¹⁴, aeropuertos internacionales y líneas aéreas importantes como Heathrow, Toronto, Sydney, Las Vegas, San Francisco, America West Airlines, AeroMexico y Delta Airlines están utilizando algoritmos genéticos para programar los despegues, aterrizajes, mantenimiento y otras tareas, mediante el software del Ascent Technology's SmartAirport Operations Center (ver <http://www.ascent.com/faq.html>). Cruzando y mutando las soluciones en forma de horarios que incorporan miles de variables, "Ascent vence con comodidad a los humanos, aumentando la productividad hasta en un 30 por ciento en todos los aeropuertos en los que se ha implementado".

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Ilustración 3: Diagrama de Conceptos



Fuente: Los autores del proyecto y personal de Control Ambiental de Colombia Ltda. 2010

¹⁴Adaptive Learning: Fly the Brainy Skies." Wired", vol.10, no.3 (marzo de 2002).

La logística: Es una función operativa que comprende todas las actividades y procesos necesarios para la administración estratégica del flujo y almacenamiento de materias primas y componentes, existencias en proceso y productos terminados; de tal manera, que éstos estén en la cantidad adecuada, en el lugar correcto y en el momento apropiado¹⁵.

Transporte: Medio de traslado de personas o bienes desde un lugar hasta otro. El transporte comercial moderno está al servicio del interés público e incluye todos los medios e infraestructuras implicadas en el movimiento de las personas o bienes, así como los servicios de recepción, entrega y manipulación de tales bienes¹⁶.

Norma ambiental: considera la naturaleza no solo como un objeto de apropiación privada o social si no como un bien jurídicamente tutelable, con lo cual la relación normativa entre la sociedad y la naturaleza se transforma¹⁷.

Ruta: es el camino habitual que nos permite trasladar los productos desde un origen (fabrica, almacén central. hasta un cliente o destino.

Restricción vehicular: Es una medida de gestión vial usada para establecer prohibiciones a la circulación de diversas clases de vehículos, en cierto tiempo o en cierto lugar, y es utilizada principalmente dentro de las zonas urbanas o en situaciones de emergencia¹⁸.

Documento: Información y su medio de soporte.

¹⁵ FERREL O.C., Hirt Geoffrey, Ramos Leticia, Adriaenséns Marianela y Flores Miguel Angel, Introducción a los Negocios en un Mundo Cambiante, Cuarta Edición, de Mc Graw Hill, 2004, Pág. 282.

¹⁶ <http://www.monografias.com/trabajos/transporte/transporte.shtml>

¹⁷ Sentencia C-126/98

¹⁸ http://es.wikipedia.org/wiki/Restricci%C3%B3n_vehicular

Carga de material: es el material que se transporta.

Descargue de material: dejar el material en sitio específico.

Recorrido: transitar de un lugar a otro.

Coordinador: Es la persona que coordina u organiza algo, en este caso es el encargado de programar las rutas.

Operarios: persona en cargada de manejar el vehículo

2.3 MARCO TEORICO

Los problemas de rutas de vehículos (Vehicle Routing Problem - VRP) en realidad son un amplio conjunto de variantes y personalizaciones de problemas¹⁹. Desde los que son más sencillos hasta algunos que hoy en día siguen siendo materia de investigación.

En ellos en general, se trata de averiguar las rutas de una flota de transporte para dar servicio a unos clientes. Este tipo de problemas pertenece a los problemas de optimización combinatoria. En la literatura científica, Dantzig y Ramser fueron los primeros autores en 1959, cuando estudiaron la aplicación real en la distribución de gasolina para estaciones de carburante.

La función objetivo depende de la tipología y características del problema. Lo más habitual es intentar: minimizar el coste total de operación, minimizar el tiempo total de transporte, minimizar la distancia total recorrida, minimizar el

¹⁹ DANTZIG, G. B.; RAMSER, R. H.; (1959). **The Truck Dispatching Problem**. Management Science. 6. 80

tiempo de espera, maximizar el beneficio, maximizar el servicio al cliente, minimizar la utilización de vehículos, equilibrar la utilización de los recursos.

Ilustración 4: Vehículo de Carga



Fuente: DANTZIG, G. B.; RAMSER, R. H.; (1959). The Truck Dispatching Problem. Management Science. 6. 8

- **Métodos heurísticos**²⁰

Son algoritmos que entregan soluciones aproximadas para problemas de cálculo complejos, más utilizados para la determinación de la ruta óptima en procesos de distribución, son el método de ahorros y el método de barridos.

Método de ahorros

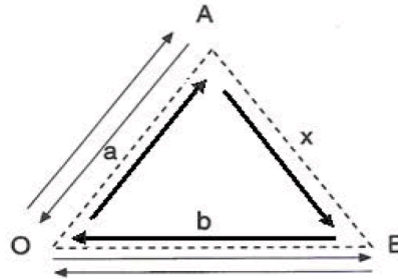
Este método ha sobresalido durante muchos años como un método suficientemente flexible para manejar un rango práctico de restricciones, siendo relativamente rápido para cálculo de problemas con un número moderado de paradas, y capaz de generar soluciones que están cerca del óptimo.

El objetivo de este método es minimizar la distancia total de viaje de todos los vehículos e indirectamente minimizar el número de vehículos necesarios para cumplir con todas las paradas.

²⁰ LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

Supóngase que se tiene que distribuir desde un punto 0 (cero) a los destinos A y B, cuya situación geográfica se muestra en Figura 1. De esta figura se puede observar que las posibilidades a seguir son la ruta 0-A-0-B-0 o bien la ruta 0-A-B-0

Figura 1: Esquema de rutas. Interiormente, ruta 0-A-B-0, externamente ruta 0-A-0-B-0. Adoptado de Anaya (2000)



Fuente: LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

Sí D es el recorrido total, luego para cada caso se tiene que:

$$D = \overline{0A} + \overline{A0} + \overline{0B} + \overline{B0}$$

$$D' = \overline{0A} + \overline{AB} + \overline{B0}$$

El ahorro en distancia (S) es $D - D'$, así

$$S = \overline{0A} + \overline{B0} - \overline{AB}$$

El método, por supuesto, se aplicará para procesos con más de 2 paradas, realizando un procedimiento similar. Por ejemplo, si un punto C es insertado entre los extremos A y B, el ahorro sería:²¹

²¹ BALLOU, Ronald H., Logística – Administración de la Cadena de Suministros, Pearson Educación, México, 2004.

$$S = \overline{OC} + \overline{CO} + \overline{AB} - \overline{AC} - \overline{CB}$$

Y así sucesivamente se repiten los cálculos de la iteración para continuar con la ampliación de la ruta. Una parada con un gran ahorro sugiere la inclusión de esta en la ruta. Si una parada no puede ser incluida debido a restricciones como capacidad, tiempos de entrega, etc., la siguiente parada que tiene el ahorro mayor se considera para su inclusión.

- Método de "barrido"²²

Este método de ruteo de vehículos es simple y permite manejar cálculos inclusive para problemas de gran tamaño

Este método es bien aplicado en problemas en que la cantidad de volumen en cada parada es tan solo una pequeña fracción de la capacidad del vehículo, cuando todos los vehículos tienen el mismo tamaño y cuando no hay restricciones de tiempo en las rutas.

El método se basa en la generación de un conjunto de lugares a donde se deben llevar las mercancías (clúster) y luego fija las distancias mínimas para el recorrido dentro de ese clúster. Este método puede ser explicado como:

Localizar todas las paradas, incluyendo el almacén en un mapa.

Extender una línea recta con origen en el almacén en cualquier dirección. Rotar la línea en el sentido de las manecillas del reloj, o en contra, hasta que se intercepte una parada. Preguntar: Si la intercepción es incluida en la ruta, ¿se

²² LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

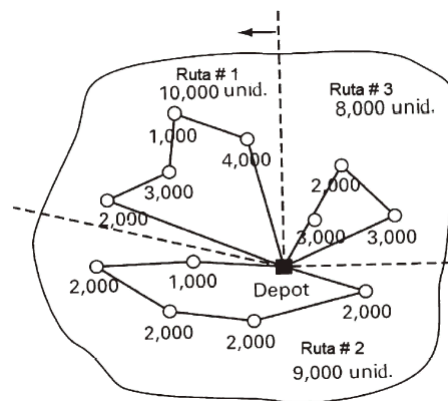
excede la capacidad del vehículo?, Si la respuesta es No, incluir este punto y seguir con la rotación hasta interceptar la próxima parada, en la cual se hace la misma pregunta

Si la respuesta a la pregunta anterior en una determinada parada es positiva, luego se debe excluir ese último punto y se define la ruta como el conjunto de paradas que no exceden el vehículo. Continuar con el barrido, comenzando una nueva ruta en el último punto que fue excluido. Los barridos terminan una vez han sido asignadas todas las paradas en las determinadas rutas.

Entre cada ruta, ordenar las paradas para minimizar la distancia. El ordenamiento puede ser logrado aplicando el método de la gota de lágrima o utilizando algún algoritmo que resuelva el problema del vendedor viajero.

La Figura 2 representa gráficamente el método de barrido.

Figura 2: Método de barrido. (Ballou, 2004)



Fuente: LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

Existen otros heurísticos que permiten determinar las distancias mínimas para la distribución de mercancías, dentro de los que se destacan: El modelo de transporte; el modelo de asignación, el método de la mochila.

- **Métodos metaheurísticos**²³

Los metaheurísticos son procesos que, partiendo de una solución ya existente, intentan encontrar una buena solución (eventualmente la óptima) aplicando a cada paso un heurístico que es diseñado para cada problema en particular. El nombre de los metaheurísticos está generalmente asociado por el tipo de búsqueda, y entre ellos se puede citar al recocido simulado, la búsqueda tabú, los algoritmos genéticos, etc.

Los metaheurísticos se pueden clasificar básicamente en 2 grupos dependiendo del tipo de solución que arroje. El primer grupo tiene por nombre grupo de optimización local, pues estos metaheurísticos entregan una solución local que asegura que no hay otra mejor que ella. EL otro grupo son los llamados Hill-Climbing, los cuales pueden escapar de los óptimos locales, mediante la adopción de soluciones que pueden ser peores que la preferible o la incúmbete.

Los metaheurísticos más utilizados para la determinación de rutas óptimas de ruteo son:

- **Recocido Simulado**²⁴

"El recocido simulado o SA (Simulated Annealing) es un método probabilístico que construye nuevas configuraciones aleatoriamente y las somete a reglas de probabilidad para su aceptación, evitando de esta manera la caída en óptimos locales. El proceso termina después de un cierto número de iteraciones y tiene

²³ [ROBUSTE](#), Anton Francesc – Logística del transporte, Temas de Transporte y Territorio 10, UPC 2005

²⁴ LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

como objetivo obtener soluciones cercanas al óptimo global en problemas de optimización combinatoria compleja".

Este es un método²⁵ Hill-Climbing y se basa en la analogía con el recocido de los metales y consiste en "calentar" a alta temperatura el sistema que se intenta optimizar, para luego disminuir la temperatura muy lentamente, hasta que ya no ocurren cambios en el sistema. La variación de temperatura en el proceso físico se produce de forma continua, mientras que en el SA solo puede hacerse escalonadamente.

Se consigna el procesamiento matemático del SA, el cual expresa en la Cuadro 1 para un programa de enfriamiento geométrico.

Cuadro 1: Recocido simulado para un problema de enfriamiento geométrico. Tomado de Robuste, (2005)

Paso	Descripción
1	Dadas una solución inicial x y una temperatura inicial t .
2	<p>Mientras no se verifique un cierto criterio de finalización,</p> <p style="padding-left: 40px;">Repetir el siguiente ciclo L veces</p> <p style="padding-left: 40px;">Seleccionar aleatoriamente una solución x' próxima a x;</p> <p style="padding-left: 40px;">Calcular $dc = Coste(x') - coste(x)$;</p> <p style="padding-left: 40px;">Si $dc \leq 0 \iff x = x'$;</p> <p style="padding-left: 40px;">Si $dc > 0 \iff x = x'$ con probab. $Exp(-dc/t)$</p> <p style="padding-left: 40px;">Escoger $t = r.t$ (siendo r el escalón de temperatura)</p>
3	<u>Retornar a la mejor solución encontrada</u>

Fuente: LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

²⁵ LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

- Búsqueda Tabú²⁶

"El procedimiento denominado búsqueda tabú TS (Tabú Search) es un método inicialmente determinista, que tiene la capacidad de escapar de los óptimos locales. Comparando la mejor vecina con la solución en curso y la primera sustituye a la segunda solo si es mejor. Para que no se detenga, lo que se hace es que la mejor sustituya a la solución en curso incondicionalmente, es decir, tanto si es mejor que la solución en curso como si no lo es.

El riesgo de esta es que se pueden replantear interacciones hechas anteriormente, llevando el algoritmo a un círculo entre los mismos cálculos. Sin embargo esto puede ser solucionado mediante un grupo de soluciones no posibles, en otras palabras lo que se hace es definir el vecindario de una forma restrictiva, consistente en suponer que una solución que sea tabú y no satisfaga el nivel de aspiración no pertenece a este.

Se dice que una solución es tabú si está incluida o posee alguna propiedad incluida en una lista (denominada tabú). Dicha lista generalmente contiene reglas tabú (propiedades o transformaciones) que corresponden a las soluciones que se desean evitar y no las soluciones mismas (consumirían mucha memoria, tiempo, y sería muy poco restrictiva).

Dos conceptos que son fundamentales en este método son los referentes a la intensificación y a la diversificación. El primero hace referencia a intensificar la búsqueda de soluciones con determinadas características, mientras que el segundo refiere a diversificar la búsqueda cuando se encuentra estancado en un grupo de soluciones. A este algoritmo le tiene que ser definido una

26 LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

consideración de finalización, tal como puede ser un número fijo de iteraciones, o el tiempo empleado en las iteraciones.

En el cuadro 2 se muestra un procesamiento matemático simple para la búsqueda tabú con estrategia de diversificación o intensificación, el cual fue tomado del libro del señor Robuste.

Cuadro 2: Búsqueda Tabú. Tomado de Robuste, (2005)

Paso	Descripción
1	Dada una solución inicial x
2	<p>Mientras no se verifique un cierto criterio de finalización,</p> <p>Seleccionar una solución x' próxima a x, no tabú o que satisfaga un cierto criterio de aspiración con mínimo coste en el vecindario de x.</p> <p>Hacer $x = x'$ y actualizar la lista tabú y criterio de aspiración.</p> <p>Ejecutar una estrategia de diversificación o intensificación y repetir.</p>
3	Retornar a la mejor solución encontrada

Fuente: LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

• Algoritmos Genéticos²⁷

En los algoritmos genéticos cada iteración permite obtener un conjunto de soluciones, o poblaciones en curso, y no una única solución en curso. Las soluciones posteriores son obtenidas a partir de parejas constituidas con los elementos de la población y no mediante la transformación de la solución en curso.

²⁷ LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

Robuste, menciona que el punto de partida de los AG es la teoría de evolución de las especies de Darwin. Si se adopta un procedimiento que dadas dos soluciones genere sucesoras que conserven las mejores características de las misma, la calidad de las soluciones se mantendrá en las generaciones posteriores.

El procesamiento matemático de un algoritmo genético simple se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3: Algoritmo genético. Tomado de Robuste - 2005.

Paso	Descripción
1	Dada una población inicial $P(0)$
2	Mientras no se verifique un cierto criterio de finalización, Evaluar la idoneidad de cada individuo en $P(t)$ Construir una nueva población $P(t+1)$ Seleccionar elementos de $P(t)$ Cruzar estos elementos Mutación de algunos elementos
3	Retornar a la mejor solución encontrada

Fuente: LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

Para seleccionar las soluciones del conjunto que tendrán descendencia, se puede utilizar el azar puro, la elección de los mejores, hacer intervenir cada individuo un cierto número de veces o bien el azar, pero con mayor probabilidad para las soluciones de buena calidad. Los procedimientos de cruce deben asegurar que las mejores características se mantengan en las soluciones sucesivas. También se suelen realizar mutaciones para fomentar la

diversidad. Luego de haber incrementado la población se debe reducir a un tamaño conveniente, eligiendo un cierto número de soluciones mediante procesos idénticos a los de selección (proceso de regeneración).

- Colonia De Hormigas²⁸

Tal como se expresa en Robuste, los algoritmos de colonias de hormiga ACO (Ant Colony Optimization) son modelos inspirados en el comportamiento de las colonias de hormigas reales. Estos animales, casi ciegos, son capaces de seguir la ruta más corta en su camino de ida y vuelta entre la colonia y una fuente de abastecimiento, debido a que pueden transmitirse información gracias a que cada una de ellas, al desplazarse, va dejando un rastro de feromona a lo largo del camino seguido.

En general, puede decirse que el proceso se caracteriza por una retroalimentación positiva, en la que la probabilidad con la que una hormiga escoge un camino aumenta con el número de hormigas que previamente hayan elegido el mismo camino.

Los algoritmos ACO son procesos iterativos donde en cada iteración se introduce una colonia de m hormigas y cada una de estas construye una solución al problema. Las soluciones construidas (por cada hormiga) se hacen mediante reglas probabilísticas, guiándose por un rastro de feromona artificial y una información calculada a priori de manera heurística.

Cuando todas las hormigas han construido una solución se debe actualizar la feromona en cada arco y, tras esta, puede comenzarse una nueva iteración. (Montemanni, et al, s.a.).

²⁸ LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

Además de los metaheurísticos ya mencionados, en la literatura se pueden encontrar otros metaheurísticos que pueden ser utilizados, entre ellos encontramos los algoritmos Greedy, las redes Neuronales, etc.

Otros métodos son:

- **El método de dos fases**²⁹

FASE 1. Formule un nuevo problema reemplazando la función objetivo por la suma de las variables artificiales. La nueva función objetivo se minimiza sujeta a las restricciones del problema original. Si el problema tiene un espacio factible el valor mínimo de la función objetivo óptimo será cero, lo cual indica que todas las variables artificiales son cero. En este momento pasamos a la fase 2. Si el valor mínimo de la función objetivo óptima es mayor que cero, el problema no tiene solución y termina anotándose que no existen soluciones factibles

FASE 2. Utilice la solución óptima de la fase 1 como solución de inicio para el problema original. En este caso, la función objetivo original se expresa en términos de las variables no básicas utilizando las eliminaciones usuales Gauss-Jordan.

- Heurístico de asignación generalizada.
- Heurístico basado en localización.
- Métodos de plano cortado.
- Método del mínimo árbol-K

²⁹ LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO - Revista Boletín Ciencias de la Tierra - Universidad Nacional de Colombia

2.4 MARCO LEGAL

Lo intrincado de la normativa ambiental colombiana ha hecho que el desarrollo de la gestión en el tema de los residuos haya tenido un avance supremamente lento.³⁰

Decreto 2811 de 1974

- Art. 36. Disposición final o procesamiento. Evitar el deterioro del ambiente, Reutilizar sus componentes, Producir nuevos bienes, Restaurar o mejorar los suelos.
- Art. 38. Obligación de quien los produce. Por razón del volumen o la calidad de los residuos, las basuras, desechos o desperdicios, se podrá imponer a quien los produce la obligación de recolectarlos, tratarlos o disponer de ellos, señalándole los medios para cada caso.

Ley 9 de 1979

- Art. 30. Las basuras o residuos sólidos con características infectocontagiosas deberán incinerarse en el establecimiento donde se originen.
- Art. 31. Quienes produzcan basuras con características especiales, en los términos que señale el Ministerio de Salud, serán responsables de su recolección, transporte y disposición final.
- Art. 32. Para los efectos de los artículos 29 y 31 se podrán contratar los servicios de un tercero el cual deberá cumplir las exigencias que para tal fin establezca el Ministerio de Salud o la entidad delegada.

³⁰

<http://www.eumed.net/tesis/2010/rdce/RESUMEN%20DE%20LA%20LEGISLACION%20AMBIENTAL%20COLOMBIANA%20SOBRE%20RESIDUOS.htm>

Constitución Política de Colombia de 1991

- Artículo 81. Queda prohibida la fabricación, importación, posesión y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, así como la introducción al territorio nacional de residuos nucleares y desechos tóxicos.
- Resolución 2309 de 1986: Reglamenta el manejo de residuos peligrosos, en cuanto al permiso de transporte y plan de contingencia y el almacenamiento, transporte y disposición de los mismos.

Ley 430 de 1998:

- Primera norma que habla de la gestión integral de residuos peligrosos.
- Prohíbe el tráfico ilícito de residuos peligrosos.
- Presenta las obligaciones de los generadores.
- Permite el uso de aceites usados para la generación de energía.

Decreto Reglamentario 1713 de 2002

- Prestación del servicio público domiciliario de aseo.
- Establece la obligación de todos los municipios de elaborar un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS.
- Otorga responsabilidades a todos los actores en la generación de residuos.

Decreto Reglamentario 1220 de 2005 Licencias Ambientales.

- Artículo 9, literal 9: La construcción, y operación de instalaciones cuyo objeto sea el almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, recuperación y/o disposición final de residuos o desechos peligrosos.

3. DESARROLLO METODOLÓGICO DEL PROYECTO

3.1 SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN

El objetivo de esta investigación es generar un modelo matemático que permita encontrar soluciones óptimas al problema de la gestión logística de transporte de residuos orgánicos de la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda.; En principio se pensó modelar solamente los materiales de mayor rotación y su asignación de recorridos según los vehículos propios de la empresa, pero luego de analizar la información se investigó varios tipos modelación y se encontró que la modelación basada en algoritmos genéticos tienen la ventaja de permitir encontrar múltiples soluciones estimadas en tiempos cortos de resolución del problema a través de una búsqueda amplia y eficiente, además conserva las diferentes alternativas cuando los datos son muchos y de manera sencilla se pueden generar opciones de optimización de todos los materiales a transportar.

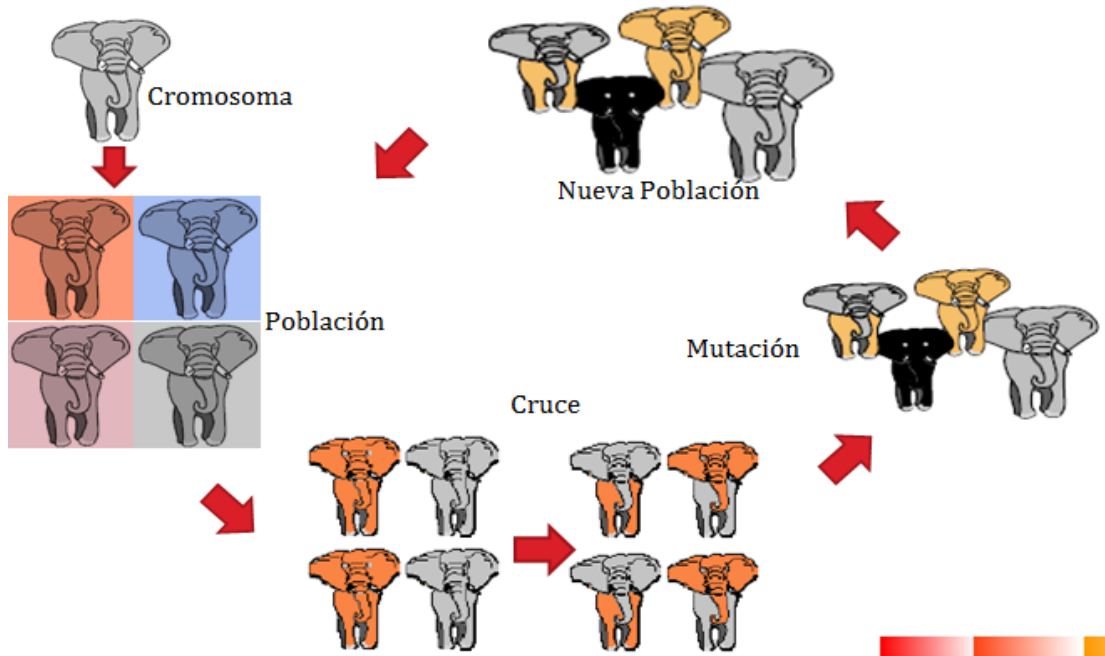
La mayoría de los otros algoritmos son en serie y sólo pueden explorar el espacio de soluciones hacia una solución en una dirección al mismo tiempo, y si la solución que descubren resulta subóptima, no se puede hacer otra cosa que abandonar todo el trabajo hecho y empezar de nuevo. Sin embargo, ya que los algoritmos genéticos tienen descendencia múltiple, pueden explorar el espacio de soluciones en múltiples direcciones a la vez. Si un camino resulta ser un callejón sin salida, pueden eliminarlo fácilmente y continuar el trabajo en avenidas más prometedoras, dándoles una mayor probabilidad en cada ejecución de encontrar la solución.

3.2 PROCEDIMIENTO - ALGORITMOS GENETICOS

³¹El algoritmo genético propuesto por Chu-Beasley en 1997 ha ganado mayor importancia en el sector académico en los últimos años debido a la calidad en las respuestas y en el alto desempeño computacional obtenido al adaptarse a nuevos problemas. La principal característica del Algoritmo Genético de Chu-Beasley consiste en mantener constante el tamaño de la población de alternativas de solución, de manera que en cada iteración se reemplaza una alternativa de la población usando un eficiente mecanismo de modificación de la misma. En cada iteración la población es reemplazada sistemáticamente por un único descendiente generado.

Esta estrategia tiene la ventaja de permitir encontrar múltiples soluciones y además conservar la diversidad del conjunto de alternativas.

Ilustración 5: Algoritmos Genéticos



Fuente: Ing. Semillero Kronos – Universidad Libr

³¹ Algoritmo genético modificado aplicado al problema de secuenciamiento de tareas en sistemas de producción lineal – flow shop. scientia et technica año xii, no 30, mayo de 2006 utp. issn 0122-1701

Representación del Cromosoma: La codificación utilizada para representar cada una de las alternativas de solución del problema de flow shop consiste en construir un vector de tamaño m (que corresponde al número de trabajos a ejecutar). Por lo tanto, la k -ésima posición del vector representa el trabajo que se hará en el k -ésimo lugar. La población de alternativas de solución se conforma por un número determinado de cromosomas como el mostrado en la figura 3. El cromosoma representa la secuencia natural en la que se programaran los trabajos requeridos.

Figura 3: Secuenciación de 8 tareas.

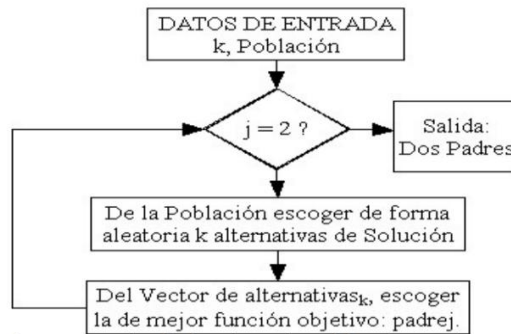
1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Fuente: Algoritmo genético modificado aplicado al problema de secuenciamiento de tareas en sistemas de producción lineal – flow shop. scientia et technica año xii, no 30, mayo de 2006 utp. issn 0122-1701

³²Selección: En el proceso de selección se definen el número de alternativas que serán escogidas de la población de manera aleatoria a fin de definir las alternativas padre, en este caso se utilizó la selección por torneo que consiste en escoger la mejor de las k alternativas elegidas en forma aleatoria, el proceso se repite dos veces para obtener los dos padres. Según diagrama de flujo de la figura 4.

³² Algoritmo genético modificado aplicado al problema de secuenciamiento de tareas en sistemas de producción lineal – flow shop. scientia et technica año xii, no 30, mayo de 2006 utp. issn 0122-1701

Figura 4: Diagrama de Flujo de selección de padres



Fuente: Algoritmo genético modificado aplicado al problema de secuenciamiento de tareas en sistemas de producción lineal – flow shop. scientia et technica año xii, no 30, mayo de 2006 utp. issn 0122-1701

Recombinación: Con los dos padres seleccionados, el paso a seguir es recombinarlos de tal forma que se generen dos descendientes. En el proceso de recombinación es necesario definir el número p de puntos de recombinación; estos se eligen de forma aleatoria sobre el cromosoma y luego se realiza un cruzamiento de porciones del cromosoma como se muestra en la figura 5.

Para conservar la legitimidad de las configuraciones obtenidas se aplicó una variación a este operador, llamada recombinación PMX (Partially Mapped Crossover), de manera que se garantice la legitimidad de las configuraciones obtenidas y que consiste en lo siguiente:

1. Elegir aleatoriamente dos puntos de cruce.
2. Intercambiar estos 2 segmentos en los hijos que se generan.
3. El resto de las cadenas se obtienen haciendo mapeos entre los 2 padres:
 - a. Si un valor no está contenido en el segmento intercambiado, permanece igual.

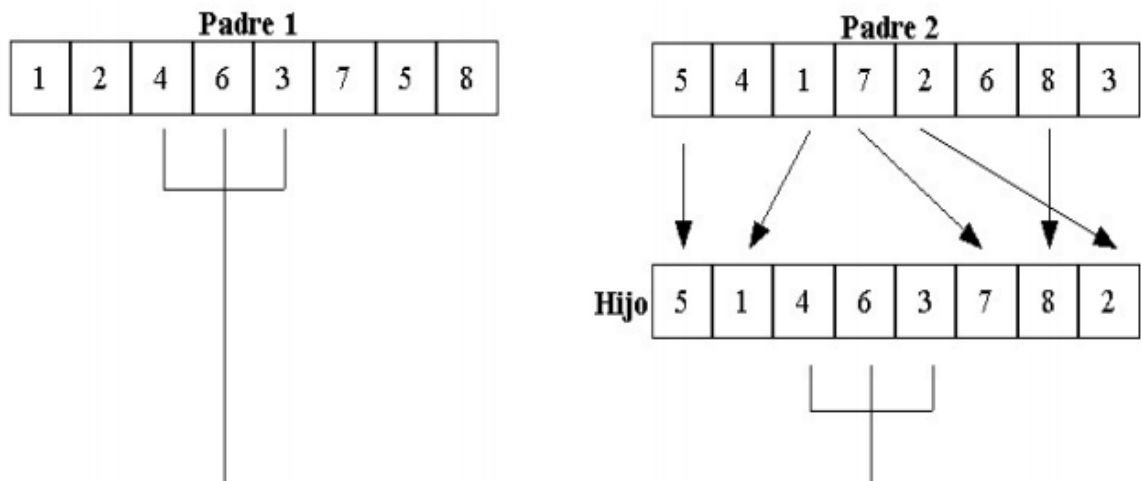
b. Si está contenido en el segmento intercambiado, entonces se sustituye por el valor que tenga dicho segmento en el otro padre.

Por ejemplo, si existen dos padres

$P1=\{1,2,4,6,3,7,5,8\}$ y $P2=\{5,4,1,7,2,6,8,3\}$ y el segmento seleccionado al azar de P1 para ser insertado en P2 es el $\{4,6,3\}$ esto establece una relación con el segmento $\{1,7,2\}$ que ocupa las mismas posiciones en P2. Entonces la secuencia de operaciones transformarían P2 en $\{5,4,4,6,3,6,8,3\}$, y luego, eliminando las repeticiones, quedaría $\{5,*,4,6,3,*,8,*\}$ donde los asteriscos corresponden a los elementos repetidos que deben retirarse de la configuración.

Reemplazando queda $\{5,1,4,6,3,*,8,*\}$ ya que el 4 había ocupado el lugar del 1 en el segmento, continuando se obtiene $\{5,1,4,6,3,7,8,2\}$.

Figura 5: Ejemplo de aplicación de operación PMX



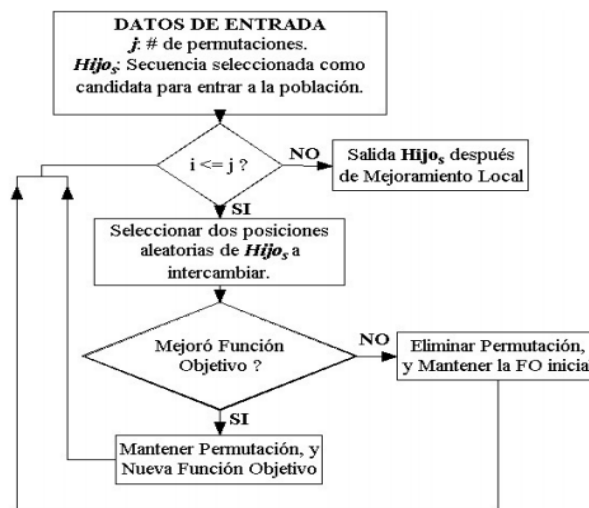
Fuente: Algoritmo genético modificado aplicado al problema de secuenciamiento de tareas en sistemas de producción lineal – flow shop. scientia et technica año xii, no 30, mayo de 2006 utp. issn 0122-1701

El resultado de la recombinación produce dos hijos de los cuales uno es eliminado de forma aleatoria. Otra estrategia es hacerlos competir por torneo o por ruleta.

Mutación: El algoritmo de mutación permite crear una amplia gama de propuestas, y su aceptación depende exclusivamente de si mejoran o no el valor de la función objetivo de la propuesta inicial. Este proceso está ligado fuertemente al concepto de vecindad.

En este trabajo, el cromosoma hijo obtenido en el proceso de recombinación es sometido al proceso de mutación. La mutación aplicada consiste en escoger, de manera aleatoria, dos trabajos e intercambiarlos en la secuencia de producción. En la figura 6, se muestra el algoritmo de mutación, donde el número de permutaciones o mutaciones j es una cantidad que el usuario puede escoger a voluntad. La cantidad recomendada de permutaciones oscila entre 10 y 20 para los problemas que son tratados en este artículo, una mayor cantidad puede hacer caer en redundancias al algoritmo, es decir que se llegue a un punto de saturación donde las permutaciones no aporten ninguna mejora a la secuencia evaluada.

Figura 6: Proceso de Mutación



Fuente: Algoritmo genético modificado aplicado al problema de secuenciamiento de tareas en sistemas de producción lineal – flow shop. scientia et technica año xii, no 30, mayo de 2006 utp. issn 0122-1701

Modificar la población actual: El algoritmo presentado en este trabajo tiene algunas características especiales asociadas a la población actual.

El algoritmo completo después de generada la población inicial consiste en repetir un número determinado de iteraciones los pasos descritos a continuación:

- Se obtiene dos alternativas padre por selección de la población actual.
- Se obtiene una alternativa hijo aplicando recombinación a los padres obtenidos en el paso anterior.
- Se obtiene una alternativa modificada aplicando mutación.
- Si la configuración es infactible se mejora la infactibilidad y se obtiene una alternativa menos infactible. De lo contrario ir al paso siguiente.
- Se mejora la optimalidad de la alternativa en estudio.
- Si la alternativa resultante de aplicar los pasos anteriores no se encuentra en la población, entonces aplicar estrategia de modificación de la población de lo contrario volver al paso 1.

Para modificar la población se propone la siguiente estrategia:

- Si la alternativa actual es infactible y a su vez es menos infactible que la peor infactible de la población, entonces reemplazar la peor infactible por la alternativa actual.
- Si la configuración es factible y existe por lo menos una infactible en la población actual, entonces reemplazar la peor infactible por la alternativa actual.
- Si la configuración es factible y todas las alternativas de la población actual son factibles, entonces reemplazar la alternativa con peor función objetivo por la alternativa actual. Lo anterior se realiza sólo si la alternativa actual es de mejor calidad que la peor de la población.

La estrategia de modificación de la población actual se realiza cambiando sólo una alternativa por iteración y teniendo en cuenta que no se admiten alternativas repetidas. Lo anterior evita convergencias prematuras y asegura una exploración detallada de la región de soluciones. Adicionalmente se pueden obtener múltiples soluciones de un mismo problema.

Esta estrategia busca preservar las mejores alternativas, asegurando factibilidad y optimalidad. Estas características constituyen la principal diferencia con respecto al algoritmo propuesto por Chu-Beasley, en el cual la alternativa más infactible es reemplazada. A diferencia de los algoritmos genéticos tradicionales, no se modifica la población de forma aleatoria

3.3 MODELACION MATEMATICA Y SIMULACION

Con base al marco teórico primero se revisará la posibilidad de resolver el problema con métodos heurísticos:

- **Modelo de Transporte:**

Si X_{ij} representa la cantidad transportada desde la fuente i al destino j , entonces, el modelo general de PL que representa el modelo de transporte es:

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

Sujeta a :

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq a_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \geq b_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ para todas las } i \text{ y } j$$

³³ <http://www.investigacion-operaciones.com/contenido.htm>

El modelo de transporte se plantea como una red con m fuentes y n destinos; La cantidad de la oferta en la fuente i es a_i , y la demanda en el destino j es b_j . El costo de transporte unitario entre la fuente i y el destino j es C_{ij} .

El primer conjunto de restricciones estipula que la suma de los envíos desde una fuente no puede ser mayor que su oferta; en forma análoga, el segundo conjunto requiere que la suma de los envíos a un destino satisfaga su demanda.

Aunque inicialmente es un modelo que permite conseguir el objetivo y poder optimizar el recorrido de los vehículos la variable del tiempo no puede ser usada por lo cual no es un modelo apto para el caso.

- **Modelo del agente viajero:**

³⁴El problema del agente viajero es clasificado como un problema de optimización combinatoria donde existe un conjunto de n ciudades y el costo de viajar a cada una de ellas tratando de encontrar el camino que minimice el costo de pasar por todas las ciudades n y regresando a la ciudad de partida.

En el caso con n clientes, aplicación a nuestro problema se define:

$X_{ij} = 1$, Si se llega a la ciudad i a la ciudad j
o en cualquier otro caso

Si d_{ij} es la distancia de i hasta la distancia j

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}, \quad d_{ij} = \infty \text{ para } i = j$$

• ³⁴ TAHA, Hamdy A, Investigación de operaciones, 7ª edición, Pearson Educación, México, 2004.

Sujeta:

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

Sujeta:

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

$$X_{ij} = (0,1)$$

A continuación se muestra la solución de un problema por el método de agente viajero, tomando como muestra 5 destinos:

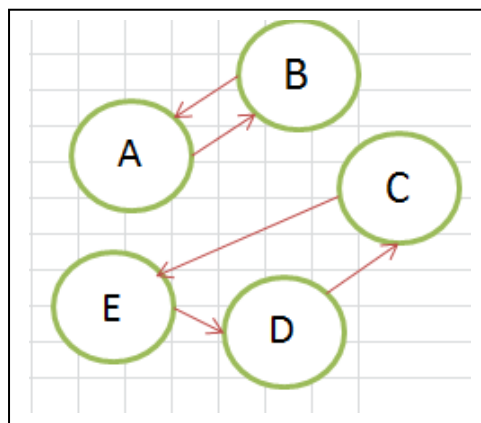
Gráfica 10: Escenario de modelación con problema de agente viajero

Cuidad Hasta \ Cuidad desde		Cuidad Hasta						
		A	B	C	D	E		
A	0	1	0	0	0	1	3	
B	1	0	0	0	0	1	1	
C	0	0	0	0	1	1	1	
D	0	0	1	0	0	1	1	
E	0	0	0	1	0	1	1	
	1	1	1	1	1	1	8	
	1	1	1	1	1			

Cuidad Hasta \ Cuidad desde		Cuidad Hasta						
		A	B	C	D	E		
A		1	4	7	5			
B	1		3	6	4			
C	4	3		3	1			
D	7	6	3		2			
E	5	4	1	2				

No en la misma 0

No devolverse 2



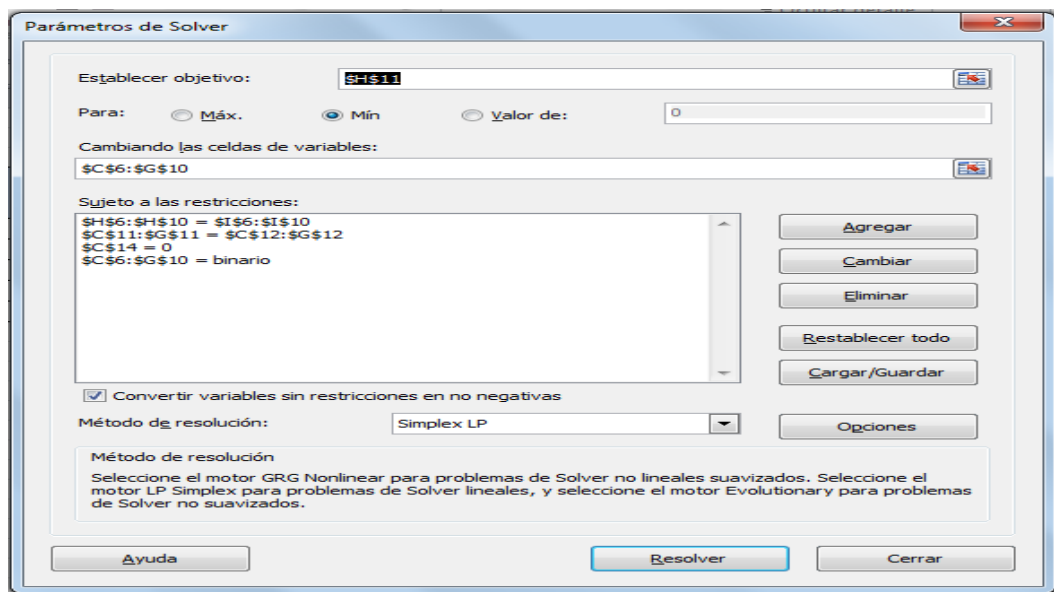
$$(X_{ab} = X_{ba} = X_{ce} = X_{dc} = X_{ed})$$

Fuente: Autores del proyecto

En el planteamiento de la gráfica 10, se observa el planteamiento del problema de logística de transporte de la empresa control ambiental, mediante el modelo del agente viajero; se analiza el traslado de materia de determinados puntos iniciales a determinados puntos de llegada, teniendo en cuenta las restricciones de tener que devolverse a la planta o no según la ocupación de los vehículos.

A continuación se presenta la solución obtenida al planteamiento anterior, mediante solver:

Gráfica 11: Solución mediante solver al problema del agente viajero planteado



Fuente: Autores del proyecto

Teniendo en cuenta la solución obtenida, de este modelo se concluye que no es factible modelar por este método ya que las restricciones forman un modelo de asignación; este se convierte en un problema de subcircuito más que de un circuito completo que abarque todos los n clientes (ver gráfica 11), por lo tanto se deben agregar mas restricciones y eliminar los subcircuitos de tal forma que se dé una solución óptima, al agregar más restricciones el problema se vuelve más complejo ya que cuenta con 6 camiones de diferentes toneladas y diferentes tiempos para 94 clientes.

- **Modelo de barrido:**

Este algoritmo pertenece al conjunto de heurísticos de dos fases “agrupar primero y diseñar las rutas luego” lo cual tiene una desventaja y es la manera en que se forman las rutas, el proceso tiene dos etapas: primero, las paradas se asignan a los vehículos, y luego se determina la secuencia de las paradas dentro de las rutas. Dado el proceso de estas dos etapas el tema de sincronización como el tiempo empleado y el permiso del momento oportuno no están bien manejados.

³⁵Aplicar este modelo al problema de la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda., no es viable ya que para obtener posibles soluciones buenas se requiere que cada volumen de parada sea una pequeña fracción de la capacidad del vehículo; que todos los vehículos tengan el mismo tamaño y que no haya restricciones de tiempo en las rutas.

- **Programación lineal:**

A raíz de la dificultad de encontrar un modelo matemático que permita dar solución a todas las variables intervinientes en el problema y tras analizar el artículo The Dance of the Thirty-Ton Trucks: Dispatching and scheduling in a Dynamic Environment escrito por Martin Durbin y Karla Hoffman; se decidió analizar el problema desde un planteamiento de programación lineal teniendo los siguientes escenarios:

³⁵ F.Ares (2003) Business plan de una empresa de transporte de mercancías

- Escenario 1:

En este escenario se requiere minimizar la función objetivo respecto a los costos que se genera de recoger materiales de un destino a otro, esta función basado en el tipo de material a transportar con cada vehículo (inicialmente tres), distancia entre los sitios a recorrer (inicialmente seis) y sujeto a las restricciones de capacidad de carga y necesidad de carga en dos tiempos para cada vehículo:

Gráfica 12: Restricciones de tipo de material y distancia a recorrer entre cada sitio

Carro/Material	1	2	3
1	1	1	
2		1	1
3			1

Distancia	1	2	3	4	5	6
1	-	13	14	9	10	11
2	13	-	12	18	9	12
3	14	12	-	18	12	14
4	9	18	18	-	17	6
5	10	9	12	17	-	20
6	11	12	14	6	20	-

Fuente: Autores del proyecto

A continuación se presenta la gráfica No. 13 con la imagen el modelo matemático planteado para este escenario; en el anexo 5 se encuentra el desarrollo del mismo.

Gráfica 13: Planteamiento del modelo en el escenario 1

Variables	C1L01M1H8	C1L1H9	C1L1H10	C1L1H11	C1L1H12	C1L12H8	C1L12H9	C2L1H10	C2L1H11	C2L1H12			Fexo
CDisP0H8	-1											0	-1
CDisP0H9		-1										0	0
CDisP0H10			-1									0	0
CDisP0H11				-1								0	0
CDisP0H12					-1							0	0
CDisp1H9	1					-1						0	0
CDisp1H10		1					-1					0	0
CDisp1H11			1					-1				0	0
CDisp1H12				1					-1			0	0
CDisp1H13					1					-1		0	0
CDisP2H9						1						0	0
CDisP2H10							1					0	0
CDisP2H11								1				0	0
CDisP2H12									1			0	0
CDisP2H13										1		0	-1
NecC1H8	1											0	8
NecC1H9		1										0	0
NecC1H10			1									0	0
NecC1H11				1								0	0
NecC1H12					1							0	0
NecC2H8												0	0
NecC2H9												0	0
NecC2H10												0	0
NecC2H11												0	0
NecC2H12												0	0
CapCarro	-8	-8	-8	-8	-8	-2	-2	-2	-2	-2		0	-10
Costo	5	5	5	5	5	8	8	8	8	8			

Fuente: Autores del proyecto

En este escenario no se encontró una solución óptima ya que la capacidad de carga de los vehículos disminuye cuando estos recogen material en algunos de los sitios visitados pero pueden tener una capacidad menor para recoger material en otro sitio pero según el planteamiento anterior, la capacidad sería 0 si recoge algún material lo que nos plantearía un solo recorrido por sitio y hace costosa la operación.

- Escenario 2:

La programación lineal da respuesta a situaciones en las que se exige maximizar o minimizar funciones, en este escenario se requiere minimizar la función objetivo respecto a los costos que se genera de recoger materiales de un destino a otro, esta función se encuentra sujeta a determinadas restricciones como: el tiempo, la disponibilidad del vehículo, la capacidad del vehículo y la necesidad del cliente.

A continuación se presenta la gráfica No. 14 con la imagen el modelo matemático planteado para este escenario; en el anexo 5 se encuentra el desarrollo del mismo.

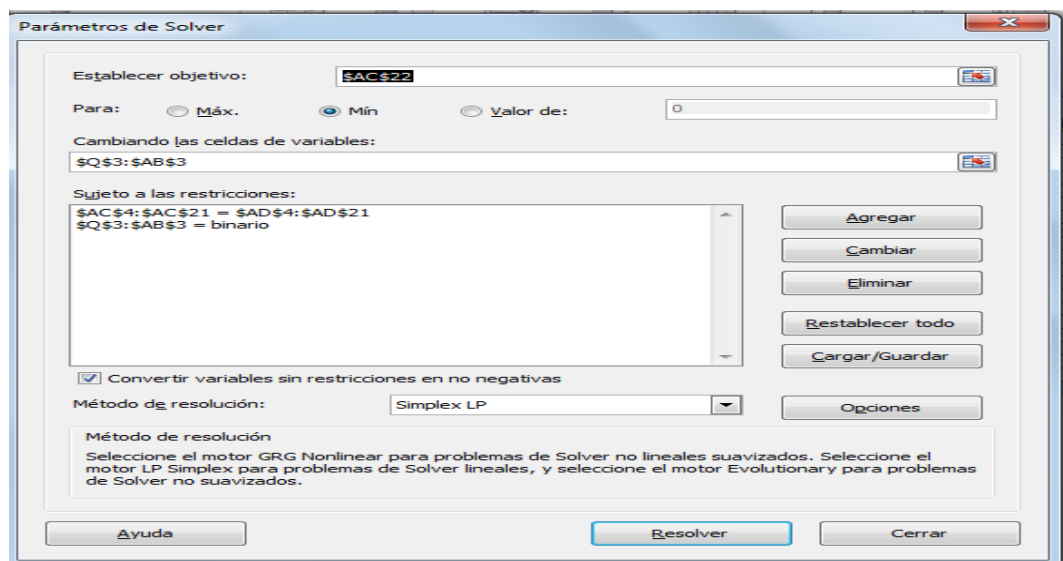
Gráfica 14: Planteamiento del modelo en el escenario 2

	L1H1	L2H1	L3H1	L4H1	L5H1	L1H2	L2H2	L3H2	L4H2	L5H2	L1H3	L2H3	L3H3	L4H3	L5H3	L1H4	L2H4	L3H4	L4H4	L5H4	L1H5	L2H5	L3H5	L4H5	L5H5	SP	FlujoExo				
	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0			
C2LH1	1	1	1	1	1																						0	3			
C2LH2						-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1												1	0			
C2LH3																-1	-1	-1	-1	-1							-3	-3			
C2LH2	-1					1																1					0	0			
C2LH3											-1					1											0	0			
C2L2H2		-1					1																				1	0			
C2L2H3																											0	0			
C2L3H2			-1					1																			1	0			
C2L3H3																											0	0			
C2L4H2				-1					1																		1	0			
C2L4H3																											0	0			
C2L5H2					-1					1																	1	0			
C2L5H3																											-1	0			
C1	8										8																0	8			
C2		7										7															0	7			
C3			6										6														0	6			
C4				9										9													0	9			
C5					4																						0	4			
Costo	4	3	5	7	6	4	3	5	7	6	4	3	5	7	6	4	3	5	7	6	4	3	5	7	6	1	1	1	1	1	1

Fuente: Autores del proyecto

A continuación se presenta la gráfica No. 15 con el planteamiento anterior, mediante solver:

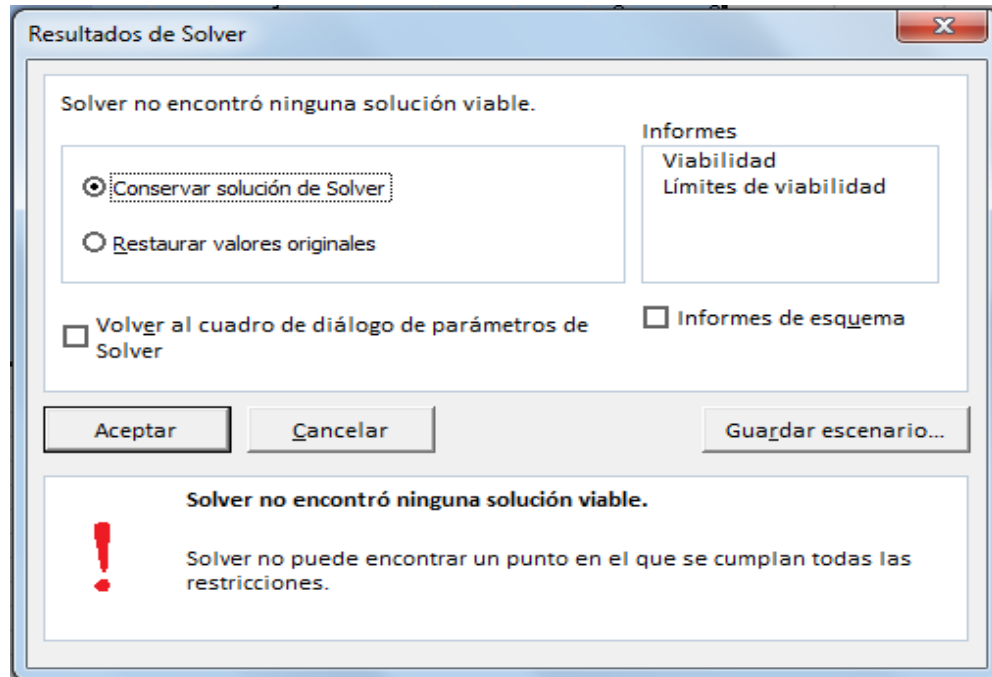
Gráfica 15: Restricciones planteadas en solver para la solución del modelo en el escenario 2



Fuente: Autores del proyecto

A continuación se presenta la gráfica No. 16 con la imagen el modelo matemático planteado para este escenario; en el anexo 5 se encuentra el desarrollo del mismo.

Gráfica 16: Solución encontrada por solver para el modelo en el escenario 2



Fuente: Autores del proyecto

En este escenario no se encontró una solución óptima ya que no se cumple con todas las restricciones involucradas en la función, incluso como lo muestra la gráfica No. 14 para realizar el planteamiento se tomaron en cuenta inicialmente 3 lugares, en tres horarios diferentes, teniendo en cuenta el regreso de cada uno de los vehículos a la planta para descargar el material; es decir solamente se tomó una pequeña muestra de los recorridos reales de la empresa y no es posible para solver dar una respuesta optima al planteamiento.

- Escenario 3:

En este escenario se plantea la programación de transporte en busca de minimizar los costos totales de transporte y que al mismo tiempo satisfaga los límites de oferta y demanda, se requiere enviar el vehículo n desde el sitio i al sitio j en el tiempo x con el material m , estas variables están sujetas a una serie de restricciones: tipo de material, necesidad del cliente, disponibilidad, capacidad del vehículo y tiempo estas se deben cumplir para así mismo encontrar una solución óptima al problema.

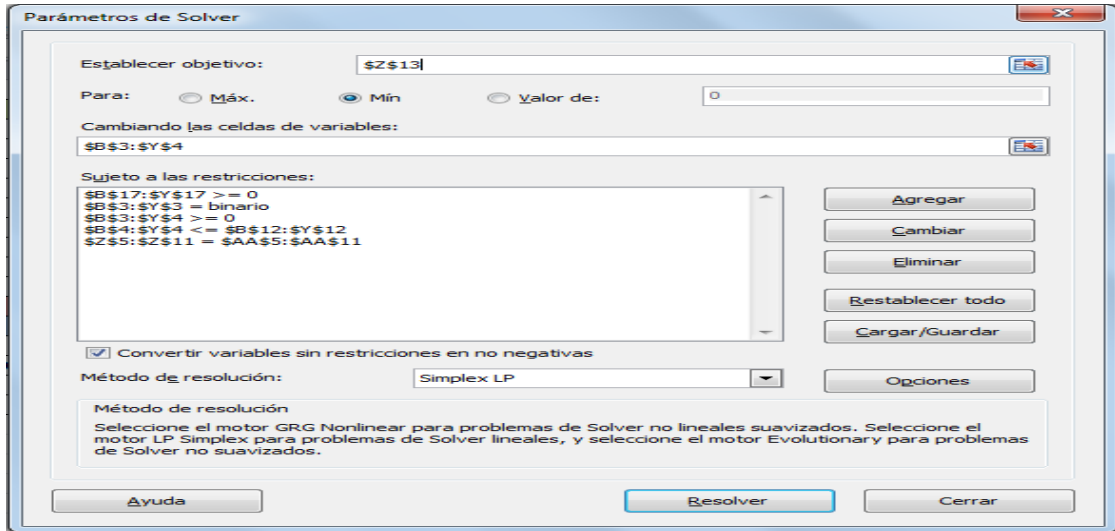
Gráfica 17: Planteamiento del modelo en el escenario 3

	X1111	X1121	X1211	X1221	X2111	X2121	X2211	X2221	X3111	X3121	X3211	X3221	X1112	X1122	X1212	X1222	X2112	X2122	X2212	X2222	X3112	X3122	X3212	X3222		
X	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0			
Y	0	10	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	10	0			
V11	-1	-1			-1	-1			-1	-1															-3	-3
V21			-1	-1		-1	-1			-1	-1														0	0
V12	1		1		1				1		1		-1	-1			-1	-1			-1	-1			0	0
V22		1		1		1			1		1				-1	-1			-1	-1			-1	-1	0	0
V13													1		1		1		1		1		1		3	3
V23														1		1		1		1		1		1	0	0
NC21		1				1				1							1					1			12	12
Cap	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
Costo	9	8	11	15	12	12	12	10	19	14	20	16	17	8	20	11	10	16	11	20	20	10	14	18	64	FunObj
M	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999	99999		
X*M	99999	99999	0	0	0	99999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99999	0	99999	0	0	0	0	99999	0	
X*M-y	99999	99989	0	0	0	99997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99999	0	99989	0	0	0	0	99989	0	

Fuente: Autores del proyecto

A continuación se presenta la gráfica No. 18 con el planteamiento anterior, mediante solver:

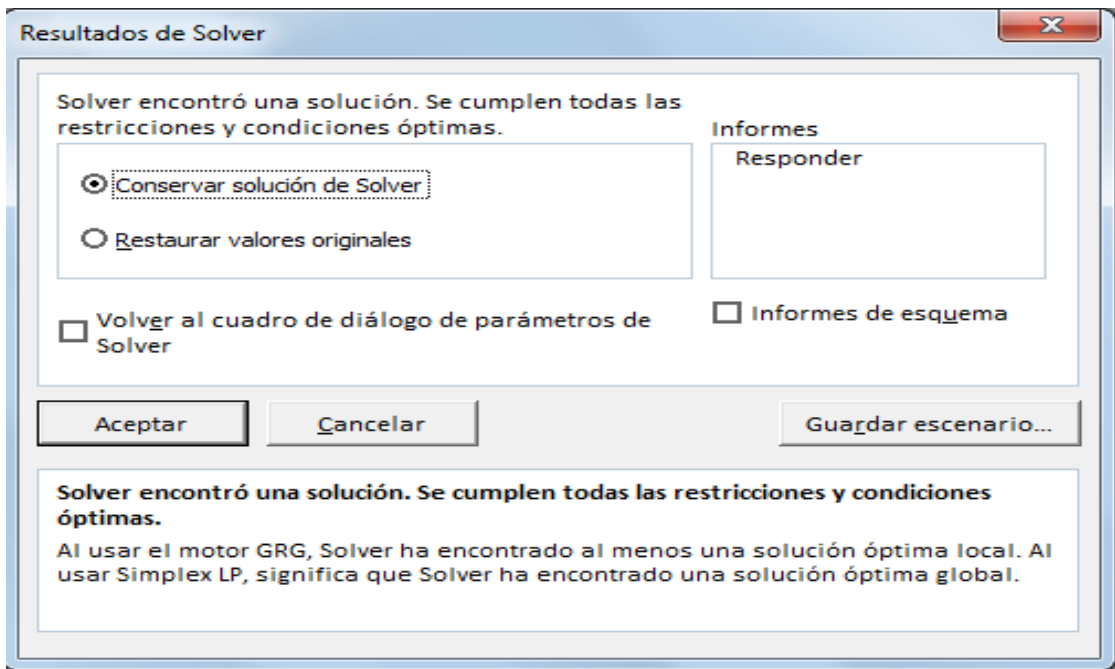
Gráfica 18: Restricciones planteadas en solver para la solución del modelo en el escenario 2



Fuente: Autores del proyecto

A continuación se presenta la gráfica No. 19 con la imagen el modelo matemático planteado para este escenario; en el anexo 5 se encuentra el desarrollo del mismo.

Gráfica 19: Solución encontrada por solver para el modelo en el escenario 3



Fuente: Autores del proyecto

Tras el análisis de los escenarios anteriormente mencionados y al no ser posible encontrar una modelación exacta, se llegó al análisis de los métodos metaheurísticos, los cuales son procesos que partiendo de una solución ya existente, intentan encontrar una buena solución (eventualmente la óptima) aplicando a cada paso un heurístico que es diseñado para cada problema en particular; para lo cual se toman los algoritmos genéticos como modelo ideal de aplicación así:

- **Modelo de Algoritmos genéticos:**

Teniendo en cuenta que el modelo de algoritmos genéticos tiene la ventaja de permitir encontrar múltiples soluciones y además conservar la diversidad del conjunto de alternativas; se incluyeron todas las restricciones y variables intervinientes en busca de encontrar la mejor opción para cumplir con la función objetivo planteada:

Función objetivo: Minimizar los costos de la gestión logística del transporte de residuos orgánicos en la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda.

Componentes de la función objetivo:

Minimizar costos de combustible

Minimizar tiempos de entrega

Maximizar espacio y utilización de los vehículos – Minimizar tiempos ociosos

Minimizar número de vehículos subcontratados

Minimizar número de viajes

Minimizar costos de mano de obra

Para modelar el problema se identificaron los actores involucrados en la gestión logística de transporte y se plantearon como datos de entrada para la modelación:

Datos de entrada:

D_{ijt} = Distancia de recorrido del sitio i al sitio j por el vehículo k en tiempo t

CG_{kmti} = Capacidad de carga de los vehículo k en el sitio i del material m en un tiempo t

$T_{C_{kim}}$ = Tiempo de cargue en el sitio i, al vehículo k tipo de material m

$T_{d_{kjm}}$ = Tiempo de descargue en el sitio j al vehículo k tipo de material m

$T_{r_{kijm}}$ = Tiempo recorriendo del vehículo k del sitio i al sitio j con el material m (esta variable se deriva de D_{ijkm}/v ya que $T = D / V$)

W = Costo de Mano de obra

A = Costos de ACPM – combustible

V = Velocidad promedio de los vehículos

D_k = Depreciación por hora del vehículo k

N_{it} = Numero de vehículos en el punto i en el tiempo t

NC_{jtm} = Necesidad de carga en el punto j del material m en el tiempo t

Después de la identificación de los datos de entrada se define la incógnita que debe ser determinada a partir de la solución del modelo:

Variable de decisión:

$$X_{ijkt}$$

Enviar el vehículo k del sitio i al sitio j en un tiempo t

Con la información anterior se determinó la longitud de los cromosomas o secuencia natural en la que se programaran los trabajos requeridos, determinado a través de la generación de números aleatorios entre 2 y 4 ya que el promedio de viajes actual de cada vehículo diario es de 3 con una desviación estándar de 1 y complementados con la respectiva alternativa aleatoria de recorrido inicial que representan la variable de decisión del problema.

Una vez generado el aleatorio de cromosomas para n individuos (padre), se procede a una evaluación del recorrido sujeto al costo del mismo el cual está determinado por la fórmula que aparece a continuación:

Costo total de recorrido = (Distancia de recorrido entre i y j con el vehículo k y el material m * A_{cpm}) + ((Tiempo de cargue del vehículo k con el material m en el sitio i + Tiempo de descargue del vehículo k en el sitio j con el material m + Tiempo recorrido del vehículo k del sitio i al sitio j con el material m) * Depreciación del vehículo) + ((Tiempo de cargue en el sitio i , al vehículo k tipo de material m + Tiempo de descargue del vehículo k en el sitio j con el material m + Tiempo recorrido del vehículo k del sitio i al sitio j con el material m) * Mano de obra)

Basado en los siguientes criterios:

Distancia entre i y j : Las distancias estimadas en Km de la planta a cada una de las empresas se encuentra en la información suministrada por la empresa en el Anexo 1; Adicionalmente y teniendo en cuenta que es probable que un vehículo tenga un punto de partida inicial no solamente en la empresa sino desde una de las empresas cliente; la distancia puede estar determinada por la matriz de distancias entre empresas a recorrer que encuentra en el Anexo 1.

Costo de gasolina por KM: Se toma la información promedio entregado por el personal de la empresa Control Ambiental de Colombia y es la siguiente:

Tabla 7: Costo de gasolina por KM de los vehículos de TRANSAMBIENTE

VEHICULO	PLACAS	\$ ACPM / KM
Ford Cargo 1721	SRN 819	667
Ford Cargo 815	THL 096	455
Ford Cargo 1721	SRO 781	678
Mercedes Benz Doble Troque	SRP 023	833
Volkswagen Furgón tipo volqueta	SRP 695	583
Furgón JAC	SPN 626	400

Fuente: Personal de Control Ambiental de Colombia Ltda.

Costo del combustible: Según información suministrada por personal de la empresa todos los vehículos usan ACPM. El promedio por galón de la ACPM en Colombia es de \$7.494 (para Agosto de 2011) según el ministerio de minas y energía.

Velocidad promedio: según el estudio sobre el control de la contaminación atmosférica en Bogotá, realizado por Manuel José Amaya Arias³⁶, subdirector de planeación, la velocidad promedio en la ciudad es de 20KM /hr; sin embargo la velocidad máxima permitida es de 60 km/hr en la ciudad y 80 km/hr en carretera. Teniendo en cuenta que la empresa Control Ambiental de Colombia está ubicada en la sabana y muchas de las empresas clientes también están ubicadas en la zona y según la experiencia de los trabajadores se tendrá en cuenta una velocidad promedio de 45Km/ hr.

³⁶ <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/2encuent/colomb1.pdf>

Costo de la mano de obra: Si el salario básico es de \$650.000 debe calcularse el total de costos total de la obligación de la empresa para con el empleado es decir: ³⁷Salud: equivale al 8.5% del salario bruto = \$ 55.250

Pensión: equivale al 12% del salario bruto = \$78.000

Cesantías: equivale el 8.33% del salario bruto = \$54.145

Parafiscales: equivale al 9% del salario bruto así: 3% ICBF; 2% SENA y 4% caja de compensación = \$58.500

Intereses: equivale al 1% del salario bruto \$6.500

Vacaciones: equivale al 4,17% del salario bruto = \$27.105

Prima legal: equivale al 8.33% del salario bruto = \$54.145

Dotación: equivale al 1% del salario bruto (si es menor a 2SMMLV) = \$6.500

Subsidio de transporte: \$63.600 (si el salario bruto es menor a 2SMMLV)

Siendo así el costo total de los empleados que ganas \$650.000 es de \$1.053.745 al mes por lo cual el costo real de la hora es de \$4.390.

Tiempo de cargue y descargue:

Según información suministrada por el personal de la empresa estos tiempos dependen de la empresa, el servicio y el volumen y oscila entre 1 hora y 3 horas.

Como este es el comportamiento típico, se tendrá el valor de 1.5 horas correspondiente a la media ya que es una medida de centralización aritmética de los valores de los distintos individuos que la componen.

³⁷http://www.aliadolaboral.com/personas/SE4/BancoConocimiento/C/calculadora_salarial/calculadora_salarial.aspx

Depreciación de los vehículos - ver anexo 2:

Tabla 8: Depreciación de los vehículos de TRANSAMBIENTE

VEHICULO	PLACA	MODELO	PRECIO DE COMPRA	DEPRECIACION	DEPRECIACION POR HORA
Ford Cargo 1721	SRN 819	2007	\$ 80.000.000	\$ 16.000.000	\$ 5.555
Ford Cargo 815	THL 096	2006	\$ 70.000.000	\$ 14.000.000	\$ 4.861
Ford Cargo 1721	SRO 781	2008	\$ 95.000.000	\$ 19.000.000	\$ 6.597
Mercedes Benz Doble Troque	SRP 023	2008	\$ 180.000.000	\$ 36.000.000	\$ 12.500
Volkswagen Furgón tipo volqueta	SRP 695	2010	\$ 80.000.000	\$ 16.000.000	\$ 5.555
Furgón JAC	SPN 626	2010	\$ 68.000.000	\$ 13.600.000	\$ 4.722

Fuente: Autores del proyecto con información suministrada por el personal de Control Ambiental de Colombia Ltda.

Teniendo como base la información de costos del recorrido seleccionado y el planteamiento de la función objetivo, se traduce la función objetivo a:

$$\text{Min CT } \sum \sum \sum \sum X_{ijtk} * ((D_{ijkm} * A) + ((TC_{kim} + Td_{kjm} + Tr_{kijm}) * D_K) + ((TC_{kim} + Td_{kjm} + Tr_{kijm}) * W)$$

Se evalúa los n individuos iniciales según el costo que genere la alternativa aleatoria; mediante las restricciones que se presentan a continuación:

Restricciones:

- $\sum \sum \sum \sum (X_{kijt}) \leq N_{it}$

Donde N_{it} = Número de vehículos disponible en el punto i, en el tiempo t

- $\sum \sum \sum \sum (X_{kijt}) * CG_{kmti} \geq \leq NC_{jmt}$

Donde NC_{jmt} = Necesidad de carga del sitio j del material m en un tiempo t y

CG_{kmti} = Capacidad de carga del vehículo k, del material m, en el tiempo t en el punto i.

Si solo si $CG_{kmti} \geq NC_{jmt} = 0$, es decir el vehículo recoge el material, NC_{jmt} se convierte en 0 y hay una nueva CG_{kmti} (la variable j ahora es i)

Si solo si $CG_{kmti} \leq NC_{jmt} = 1$, es decir el vehículo recoge el material, pero CG_{kmti} se convierte en 0 y el vehículo vuelve a la planta a descargar material y NC_{jmt} disminuye.

- Por su parte, k (vehículo) está sujeto al tipo de carga o material m, a continuación en la tabla 10 se presenta una matriz con el tipo de material que puede ser transportado por cada uno de los vehículos:

$X_k = 0$, es decir no se puede cargar el material

$X_k = 1$, es decir si se puede cargar el material

Tabla 9: Materiales vs. Vehículos

MATERIAL	SPN 626	SRN 819	SRP 695	SRO 781	THL 096	SRP 023	TOTAL
LODOS CASINO	1	1		1	1		4
CASCARILLA DE AR	1		1				2
CASCARILLA DE CA	1		1				2
HIDRORETENEDOR	1		1				2
PODAS FORESTALES	1		1				2
RIPIO (RESIDUO D	1		1				2
BIOPOLIMERO	1						1
VASOS BIODEGRADA	1						1
AGUA LODO		1		1	1	1	4
AGUAS DOMESTICAS		1		1	1	1	4
AGUAS RESIDUALES		1		1	1	1	4
HIDROXIDO DE CAL		1		1	1		3
LODOS		1		1	1		3
RESTOS VEGETALES		1		1	1		3
BORAX		1					1
FOSFATO		1					1
LUBRICANTE		1					1
BARREDURAS			1				1
BARRIDO MAQUINAS			1				1
EQUINAZA			1				1
NITRATO DE SODIO			1				1
PLUMAS DE POLLO			1				1
RECHAZO DE ALIME			1				1

Fuente: Autores del proyecto con información suministrada por el personal de Control Ambiental de Colombia Ltda.

- $\sum X_t \leq 10$

Representa el horario de trabajo de la compañía de 8 am a 6 pm

- $X_{ki1} \leq 19$; $X_{ki2} \leq 12$; $X_{ki3} \leq 10$; $X_{ki4} \leq 9,5$; $X_{ki5} \leq 6$; $X_{ki6} \leq 5$

Representa las capacidades de carga en cantidad de cada uno de los vehículos k en el momento i (inicial del punto de partida).

Adicionalmente, tenemos la información de distancia de recorrido entre cada uno de los lugares a visitar; a continuación se presenta ejemplo de la información, pero se encuentra en el anexo 1; según la información suministrada por la empresa y con la respectiva colaboración del personal de la misma se determinó una distancia aproximada de recorrido entre las diferentes empresas clientes a visitar por los vehículos de la empresa, información con la cual se realizó la matriz de distancia de recorrido utilizada para la simulación (ver gráfica No. 20).

Tabla 10: Tipo de material – Ejemplo Anexo 1

FECHA	HORA	EMPRESA	CANT (Kg)	PLACAS VEHICULO	TIPO DE MATERIA PRIMA	DISTANCIA
01/01/2010		1	11400	SRO 781	AGUAS RESIDUALES	11
01/01/2010		1	11400	SRO 781	AGUAS RESIDUALES	11
01/01/2010		1	11400	SRO 781	AGUAS RESIDUALES	11
01/01/2010	19:00	1	19000	SRP 023	AGUAS RESIDUALES	11
01/01/2010	21:00	1	19000	SRP 023	AGUAS RESIDUALES	11
01/01/2010		1	19000	SRP 023	AGUAS RESIDUALES	11
02/01/2010	00:20	1	11400	SRO 781	AGUAS RESIDUALES	11
02/01/2010	03:00	1	11400	SRO 781	AGUAS RESIDUALES	11
02/01/2010		1	19000	SRP 023	AGUAS RESIDUALES	11
02/01/2010	04:30	1	11400	SRO 781	AGUAS RESIDUALES	11
02/01/2010		13	9260	YAB 614	RESTOS VEGETALES	6,4
02/01/2010		1	19000	SRP 023	AGUAS RESIDUALES	11
02/01/2010		1	19000	SRP 023	AGUAS RESIDUALES	11
03/01/2010		1	19000	SRP 023	AGUAS RESIDUALES	11
02/01/2010		13	11820	SUA 559	RESTOS VEGETALES	6,4
02/01/2010		13	6790	TMO 615	RESTOS VEGETALES	6,4
02/01/2010		13	12140	SUA 559	RESTOS VEGETALES	6,4
02/01/2010		13	10860	SUA 559	RESTOS VEGETALES	6,4
02/01/2010		13	10090	YAB 614	RESTOS VEGETALES	6,4
02/01/2010		13	3240	YAB 614	RESTOS VEGETALES	6,4
02/01/2010		12	3540	THL 096	LODOS	6
03/01/2010	05:20	1	11400	SRO 781	AGUAS RESIDUALES	11

Fuente: Personal de Control Ambiental de Colombia Ltda.

Al evaluar Los individuos (padres) y cuyas opciones no cumplan con las restricciones serán penalizadas con un sobre costo, que hará de esta una posibilidad con menores probabilidades; así, luego de esta evaluación preliminar se procede a elegir los dos individuos (padres) con menor costo, y de ellos, el paso a seguir es recombinarlos de tal forma que se generen dos descendientes. En el proceso de recombinación es necesario definir el número p de puntos de recombinación; estos se eligen de forma aleatoria sobre el cromosoma y luego se realiza un cruzamiento de porciones del cromosoma es decir, intercambiar estos 2 segmentos en los individuos (hijos) que se generan.

El resto de los individuos (hijos) se obtienen haciendo un barrido aleatorio entre los dos individuos (padres) sujeto a: 1. Si un valor no está contenido en el segmento intercambiado, permanece igual, 2. Si está contenido en el segmento intercambiado, entonces se sustituye por el valor que tenga dicho segmento en el otro padre.

Esta nueva población de individuos (hijos) es sometida nuevamente a evaluación como la inicial de individuos (padres).

La mutación aplicada consiste en escoger, de manera aleatoria, dos trabajos e intercambiarlos en la secuencia de producción dos de los posibles recorridos y evaluar nuevamente las posibilidades.

Finalmente, se realizan 100 recorridos todos los pasos anteriormente mencionados y se detienen esta generación de aleatorios cuando el costo se hace mínimo y se repite constantemente como se observa en el Anexo 3.

Nota: Se aclara que como se expresó en el diagnóstico de la situación actual de la empresa y los objetivos planteados, la modelación se realizó para las empresas de mayor cantidad de carga que adicionalmente son los que semanalmente generan recorridos y ruteos para los vehículos de la empresa; los 23 materiales que son transportados por los vehículos y los 6 vehículos propios de la compañía.

Grafica 20: Simulación Algoritmo genético – Control Ambiental de Colombia Ltda.

SIMULACION



Fuente: Autores del proyecto 2011

La simulación del algoritmo genético se encuentra en el Anexo 3; en la gráfica 20, se muestra la generación aleatoria explicada en el moldeamiento matemático, con la inclusión de la información presentada con respecto a los datos de entrada, costeo de los recorridos, distancia entre recorridos, capacidad de carga, necesidad de carga, tipo de materiales, vehículos y sus respectivas restricciones.

Al generarse la simulación, el modelo encontró mediante diferentes recorridos (ver tabla N° 13) el menor costo posible para realizar el ruteo de los vehículos, recogiendo el material de las empresas con mayor cantidad de toneladas a transportar.

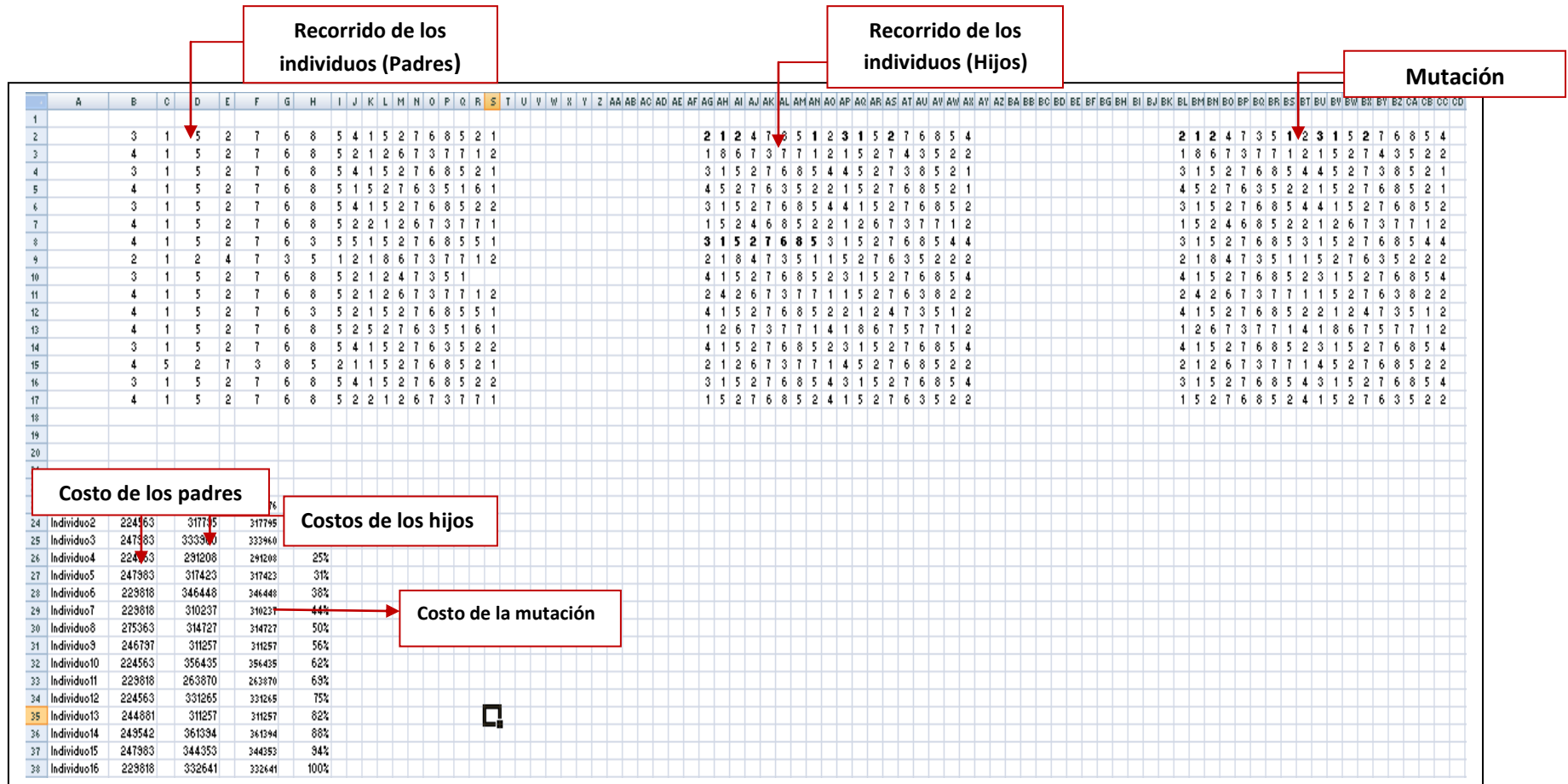
Es importante aclarar que al generar números aleatorios se obtiene Unos resultados los cuales permiten el cruce de los individuos hijos ; cuando se hacen los cruces para generar los individuos (hijos) se amplía y busca posibilidades cercanas para otros ruteos; con la generación de las mutaciones se explora en posibilidades totalmente distintas lo que permite que la simulación genere un análisis de información completa que toma en cuenta posibilidades diversas y permite una exploración amplia de soluciones, encontrando el menor costo y cumpliendo con el objetivo de la investigación planteada.

A continuación se mostrara en las gráficas No. 21 y No. 22 las soluciones encontradas por el modelo para el costo y recorridos respectivamente.

Grafica 21: Costeo de Algoritmo genético – Control Ambiental de Colombia Ltda.

G66																										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	
1																										
2	81	224563,21	233127,52	32804,85					261476,25	319103,21	27944,63				261476,25	319103,21	27944,63			0:22:43	16,00		0,28	0,42	0,42	
3	80	224563,21	233127,52	27195,34					246311,30	305241,45	29423,40				243453,95	305068,87	29786,96						0,28	0,41	0,41	
4	79	224563,21	233127,52	29519,46					307525,19	327597,93	23195,42				307525,19	303065,80	23466,82						0,28	0,39	0,41	
5	78	224563,21	233127,52	34023,85					264326,70	32152,13	26124,79				284326,70	32152,13	26124,79						0,28	0,40	0,40	
6	77	224563,21	233127,52	25312,40					231120,25	304190,36	31130,94				231120,25	304190,36	31130,94						0,28	0,41	0,41	
7	76	224563,21	233127,52	33465,32					278158,56	313396,68	21256,13				278158,56	313396,68	21256,13						0,28	0,42	0,42	
8	75	224563,21	233127,52	36222,69					230456,25	297423,66	36368,04				230456,25	297446,32	36394,82						0,28	0,43	0,44	
9	74	224563,21	240120,45	31635,54					234368,23	310372,64	26174,50				234368,23	311769,82	35665,22						0,29	0,42	0,43	
10	73	224563,21	240120,45	37987,49					274827,83	319481,25	27227,30				274827,83	321974,36	27917,33						0,29	0,43	0,43	
11	72	224563,21	241858,37	37404,11					235102,17	303548,31	38567,55				235102,17	301543,81	34953,95						0,29	0,42	0,43	
12	71	224563,21	244538,42	39732,10					224563,21	301507,54	33487,35				224563,21	302504,36	33162,38						0,32	0,42	0,43	
13	70	224563,21	244538,42	34711,19					261476,25	309346,32	32072,46				261476,25	311023,21	32653,87						0,32	0,43	0,43	
14	69	224563,21	244538,42	42223,80					251476,25	31141,06	22306,96				261476,25	317304,57	26315,43						0,32	0,42	0,44	
15	68	224563,21	245591,35	33872,33					247383,50	312834,07	35714,31				247383,50	312834,07	35714,31						0,33	0,44	0,44	
16	67	224563,21	245591,35	33594,37					253572,58	306532,24	24788,96				253572,58	306387,47	24788,96						0,33	0,42	0,42	
17	66	224563,21	243698,67	46773,71					261476,25	311955,57	22728,51				261476,25	313327,74	24388,59						0,30	0,42	0,42	
18	65	224563,21	243770,47	44248,49					230456,25	293198,42	42752,51				230456,25	293198,42	42752,51						0,28	0,43	0,43	
19	64	224563,21	243770,47	44876,76					232225,38	31162,81	33916,19				232225,38	31162,81	33916,19						0,28	0,45	0,45	
20	63	224563,21	245793,27	42807,04					233105,61	31162,17	42508,38				233105,61	311510,30	40615,53						0,29	0,44	0,44	
21	62	224563,21	245793,27	34440,06					232643,81	305186,13	35041,31				232643,81	304363,47	35753,74						0,29	0,41	0,42	
22	61	224563,21	245794,35	46786,14					261476,25	300548,36	25139,72				261476,25	300548,36	25139,72						0,32	0,42	0,42	
23	60	224563,21	245794,35	34583,81					233105,61	292170,40	40526,06				233105,61	292170,40	40526,06						0,32	0,43	0,43	
24	59	224563,21	245794,35	36340,09					261476,25	300239,31	2512,06				261476,25	297150,41	25484,48						0,32	0,42	0,42	
25	58	224563,21	244331,08	37710,18					234368,23	312288,53	29676,97				234368,23	310875,16	30387,19						0,32	0,42	0,44	
26	57	224563,21	242785,01	37328,62					233105,61	302883,41	35700,31				233023,92	305466,36	31845,27						0,31	0,42	0,43	
27	56	224563,21	242785,01	33309,64					255730,51	307203,25	35043,59				258213,63	310523,26	32428,20						0,31	0,45	0,45	
28	55	224563,21	242785,01	39838,51					255116,53	314044,28	26367,72				255116,53	313063,19	27707,31						0,31	0,43	0,43	
29	54	224563,21	242969,43	34611,43					233105,61	290791,21	36714,72				233105,61	298708,41	35286,37						0,32	0,45	0,46	
30	53	224563,21	243743,37	39097,37					261206,33	308628,86	23154,04				261206,33	308628,86	23154,04						0,34	0,41	0,42	
31	52	224563,21	243743,37	40436,67					270368,02	309477,22	32236,43				270368,02	311474,73	33645,15						0,34	0,43	0,44	
32	51	224563,21	242010,73	37195,29					233105,61	284159,47	35261,48				233105,61	284159,47	35261,48						0,35	0,44	0,44	
33	50	224563,21	243117,54	44880,38					231120,25	294421,05	30132,91				231120,25	297854,71	27665,25						0,35	0,44	0,45	
34	49	224563,21	246576,48	34616,34					230110,32	304326,82	34391,57				230110,32	304326,82	34391,57						0,35	0,45	0,45	
35	48	224563,21	246576,48	44098,13					270150,35	320387,92	25866,92				270150,35	317540,26	26088,76						0,35	0,43	0,43	
36	47	224563,21	248383,29	42036,49					228464,56	301568,97	38135,78				228464,56	301568,97	38135,78						0,37	0,43	0,43	
37	46	224563,21	247665,77	48191,67					256877,63	303522,32	34057,04				256877,63	302978,10	34140,32						0,36	0,43	0,44	
38	45	224563,21	247665,77	38865,37					234368,23	301923,53	41661,55				234368,23	302010,40	41856,30						0,36	0,43	0,43	
39	44	224563,21	246645,44	39412,54					255112,39	310484,94	30074,40				255112,39	314150,30	30660,66						0,36	0,41	0,42	
40	43	224563,21	247164,64	40703,03					233716,02	292967,55	28090,90				233716,02	294559,03	32663,06						0,37	0,43	0,44	
41	42	224563,21	245125,53	44863,51					236368,23	311907,26	32271,26				236368,23	312818,21	33933,17						0,35	0,45	0,46	
42	41	224563,21	245631,95	43577,37					229817,52	294514,06	42918,32				229817,52	297702,88	39773,10						0,33	0,44	0,45	
43	40	224563,21	245631,95	48752,36					230873,62	296513,43	48066,35				230873,62	302468,61	39443,11						0,33	0,41	0,42	
44	39	224563,21	246536,59	38796,12					242563,21	293060,50	44898,69				242563,21	300080,38	45100,31						0,33	0,39	0,41	
45	38	224563,21	246536,59	42818,89					271218,25	323061,13	33679,46				271218,25	322708,95	33616,45						0,33	0,42	0,42	
46	37	224563,21	246525,44	41935,18					226554,89	302008,45	37551,74				226554,89	303488,48	38190,56						0,29	0,43	0,44	
47	36	224563,21	250105,67	41823,02					229817,52	293403,82	37605,48				229817,52	296372,53	38339,05						0,31	0,42	0,42	
48	35	224563,21	250769,69	44266,05					247383,50	301379,35	26244,04				247383,50	307710,53	36908,64						0,32	0,41	0,41	
49	34	224563,21	250264,74	35738,75					231769,61	290955,51	39682,19				231769,61	296106,00	39607,71						0,34	0,41	0,43	
50	33	224563,21	250332,07	37921,70					261476,25	296152,51	27001,16				261476,25	293313,13	29711,18									

Gráfica 22: Recorridos de Algoritmo genético – Control Ambiental de Colombia Ltda.



Fuente: Autores del proyecto 2011.

3.4 ANALISIS DE RESULTADOS

En la gráfica No. 22 se observan los recorridos arrojados como resultados del desarrollo de la simulación del algoritmo genético en cada uno de sus procesos como individuos padres, hijos y mutaciones; a continuación se presenta en la Tabla No. 13 el recorrido que representa la mejor opción para realizar el recorrido (hijos) de los vehículos de la empresa:

Tabla 11: Recorridos – Algoritmo genético

3	1	5	2	7	6	8	5	4	1	5	2	7	6	8	5	2	1
4	1	5	2	7	6	8	5	2	1	2	6	7	3	7	7	1	2
3	1	5	2	7	6	8	5	4	1	5	2	7	6	8	5	2	1
4	1	5	2	7	6	8	5	1	5	2	7	6	3	5	1	6	1
3	1	5	2	7	6	8	5	4	1	5	2	7	6	8	5	2	2
4	1	5	2	7	6	8	5	2	2	1	2	6	7	3	7	7	1
4	1	5	2	7	6	3	5	5	1	5	2	7	6	8	5	5	1
2	1	2	4	7	3	5	1	2	1	8	6	7	3	7	7	1	2
3	1	5	2	7	6	8	5	2	1	2	4	7	3	5	1		
4	1	5	2	7	6	8	5	2	1	2	6	7	3	7	7	1	2
4	1	5	2	7	6	3	5	2	1	5	2	7	6	8	5	5	1
4	1	5	2	7	6	8	5	2	5	2	7	6	3	5	1	6	1
3	1	5	2	7	6	8	5	4	1	5	2	7	6	3	5	2	2
4	5	2	7	3	8	5	2	1	1	5	2	7	6	8	5	2	1
3	1	5	2	7	6	8	5	4	1	5	2	7	6	8	5	2	2
4	1	5	2	7	6	8	5	2	2	1	2	6	7	3	7	7	1

Fuente: Autores del proyecto 2011.

Las filas representan cada uno de los individuos y/o cromosomas es decir las variables de decisión, la empresa a la cual va a ir cada vehículo en determinando tiempo. Como se muestra en la gráfica No. 21 esta arroja los costos de cada uno de los recorridos según los criterios anteriormente mencionados y según la evaluación de estos realizada por el algoritmo en la gráfica No. 22 en la parte inferior se refleja el resultado de esta evaluación, a continuación se presenta la tabla No. 14 donde se refleja resultado de esta evaluación de costos después de la respectiva simulación, es decir los mejores costos arrojados por el algoritmo:

Tabla 12: Costos de los individuos – Algoritmo genético

Individuo1	247983	261476	261476	6%
Individuo2	224563	317795	317795	13%
Individuo3	247983	333960	333960	19%
Individuo4	224563	291208	291208	25%
Individuo5	247983	317423	317423	31%
Individuo6	229818	346448	346448	38%
Individuo7	229818	310237	310237	44%
Individuo8	275363	314727	314727	50%
Individuo9	246797	311257	311257	56%
Individuo10	224563	356435	356435	62%
Individuo11	229818	263870	263870	69%
Individuo12	224563	331265	331265	75%
Individuo13	244881	311257	311257	82%
Individuo14	249542	361394	361394	88%
Individuo15	247983	344353	344353	94%
Individuo16	229818	332641	332641	100%

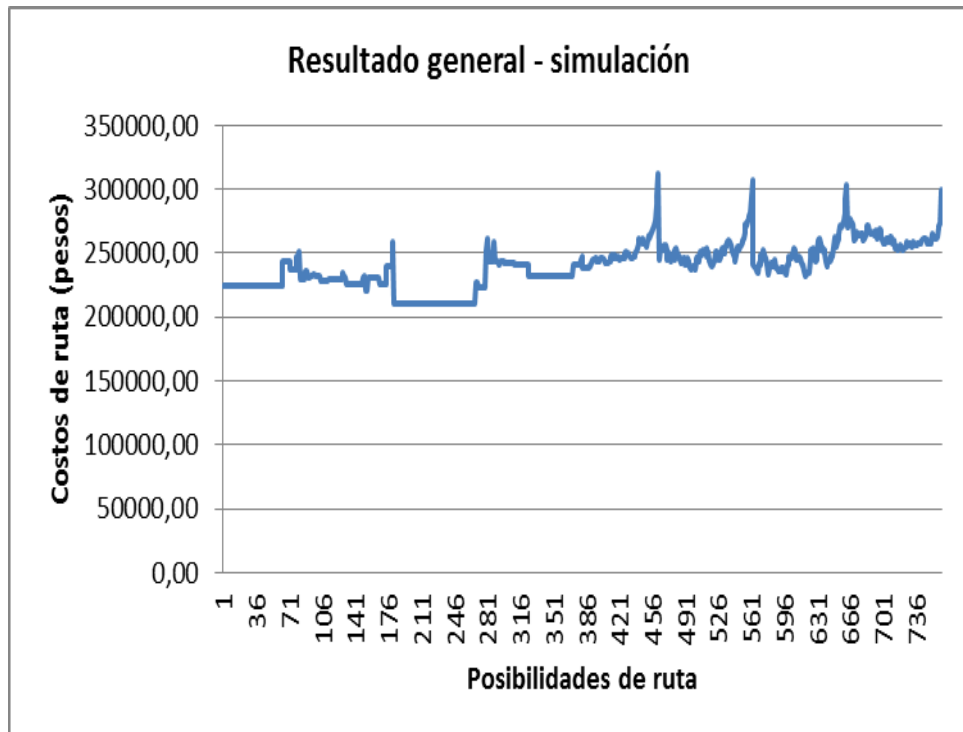
Fuente: Autores del proyecto 2011.

En la tabla No. 14 se pueden observar los costos de los mejores recorridos que arroja la simulación del algoritmo genético tanto de los individuos padre (columna 2), individuos hijos (columna 3) y mutaciones (columna 4); como se observa el menor costos se presenta en el segundo recorrido de los individuos padres por lo cual remitiéndose a la tabla No. 13 el recorrido optimo es:

4 1 5 2 7 6 8 5 2 1 2 6 7 3 7 7 1 2

Luego de realizada la simulación, se presenta a continuación la gráfica de los costos de todas las posibilidades de ruta:

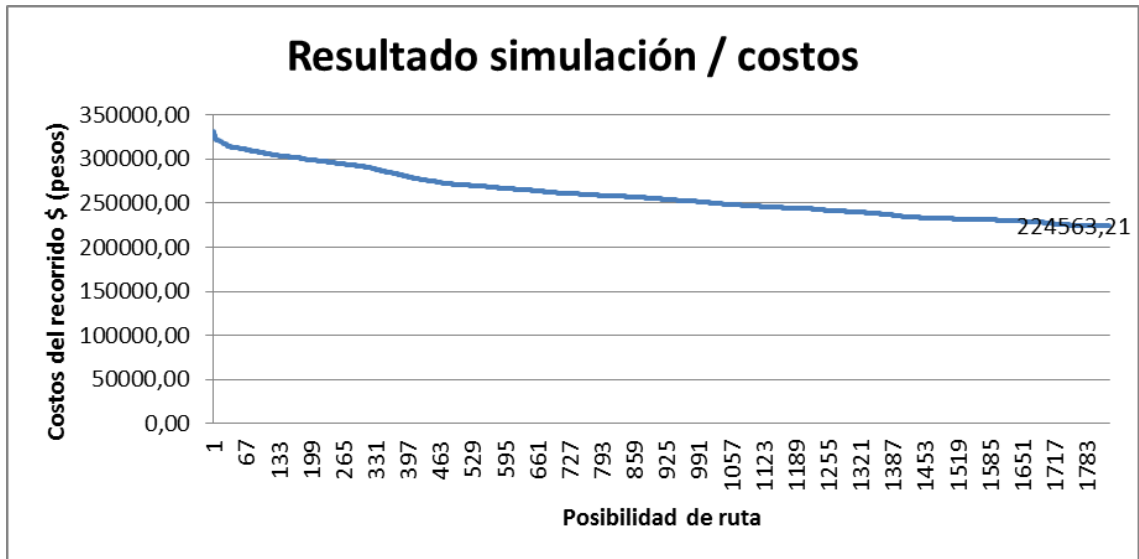
Grafica 23: Resultado general – simulación



Fuente: Autores del proyecto 2011.

Como se observa en la gráfica 23 la simulación del algoritmo genético nos presenta múltiples soluciones con diferentes costos de operación; se presenta a continuación la gráfica de los costos en orden descendente demostrando la reducción de los mismos con respecto a las posibilidades de ruta que genera el algoritmo:

Grafica 24: resultado simulación /Costos



Fuente: Autores del proyecto 2011.

Como se observa en la gráfica 24, la disminución de costos tras la búsqueda del algoritmo genético es notoria y genera costos de aproximadamente \$370.000 por recorrido diario de los vehículos a \$224.563.

Se evidencia entonces, que los algoritmos genéticos siendo un método meta heurístico, permite encontrar soluciones que optimizan la operación logística de la empresa control ambiental de Colombia Ltda.

3.5 CONCLUSIONES

Los métodos metaheurísticos son procesos que partiendo de una solución ya existente, intentan encontrar una buena solución (eventualmente la óptima) aplicando a cada paso un heurístico que es diseñado para cada problema en particular, entre estos los algoritmos genéticos, los cuales son en serie y sólo pueden explorar el espacio de soluciones hacia una solución óptima en una dirección al mismo tiempo, y si la solución que descubren resulta subóptima, no se puede hacer otra cosa que abandonar todo el trabajo hecho y empezar de nuevo. Sin embargo, ya que los algoritmos genéticos tienen descendencia múltiple, pueden explorar el espacio de soluciones en múltiples direcciones a la vez. Si un camino resulta ser un callejón sin salida, pueden eliminarlo fácilmente y continuar el trabajo en avenidas más prometedoras, dándoles una mayor probabilidad en cada ejecución de encontrar la solución.

Por lo anterior, se seleccionó como el método adecuado que reunía las condiciones que permitieron dar solución al problema objeto de la presente investigación; se logró dar una modelación matemática con resultados de mejora para el problema de gestión logística en la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda.

Mediante la simulación realizada al modelo de algoritmo genético aplicado al problema logístico se logró una reducción de aproximadamente \$146.000 diarios para el recorrido de los vehículos de la empresa y una optimización de los recursos generando una programación eficiente, mejorando el cumplimiento a los clientes, evitando que se genera incumplimiento en tiempo de recorridos, se evitan tiempos muertos y optimiza la capacidad de carga de los vehículos.

La sostenibilidad del medio ambiente es uno de los principales objetivos de la compañía y mejorar la gestión logística le permite ser una empresa que además de liderar procesos de reconstrucción ambiental brinde satisfacción a sus clientes y optimice sus procesos contribuyendo al cuidado de la belleza de la naturaleza.

Adicionalmente, se realiza una aplicación real de los modelos matemáticos lo cual en su condición de aspirantes al título de ingeniero industrial enriquece sus conocimientos y pone en práctica los conocimientos adquiridos.

3.6 RECOMENDACIONES

La empresa Control Ambiental de Colombia Ltda., debe tener en cuenta que la programación de la logística de transporta requiere de una planeación y de una estrategia que permita reducir costos; la opción de modelación matemática a través de algoritmos genéticos que se genera como resultado de la presente investigación permite lograr este objetivo de manera sencilla e involucrando todos los actores que intervienen en el proceso y evidentemente generando optimización del mismo.

Se recomienda a la compañía, tener control de los recorridos a través de los registros en los formatos diseñados para a través del historial tener cada vez más real la planeación de los vehículos, así mismo llevar control de los costos de recorrido; es importante que si se genera un volumen notorio de otros materiales se incluya en la programación del algoritmo para que sea confiable y de igual forma se esté actualizando constantemente.

Adicionalmente, los efectos ambientales en los recursos naturales causados por las actividades industriales, deben ser objeto de supervisión, y las medidas preventivas deberán integrarse siempre sistemáticamente para lo cual los datos y la información generados deberán recibir el tratamiento debido, en el sentido de que deberán difundirse lo más posible para sensibilizar y movilizar al sector público y la sociedad en lo relativo a los efectos de la industrial en el medio ambiente mediante la inclusión de procesos sistematizados en la operación de la planta evitando errores manuales y agilizando la información y tiempos de proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- ANAYA, Tejero Julio, Logística integral - la gestión operativa de la empresa, escuela superior de Gestión Comercial y Marketing (Esic) – tercera edición, España.
- BALLOU, Ronald H., Logística – Administración de la Cadena de Suministros, Pearson Educación, México, 2004.
- BEASLEY, J.E., J. Sonander y P. Havelock. “Scheduling aircraft landings at London Heathrow using a population heuristic.” Journal of the Operational Research Society, vol.52, no.5, p.483-493 (mayo de 2001).
- BEGLEY, Sharon y Gregory Beals. “Software au natural” Newsweek, 8 de mayo de 1995, p.70.
- BURKE, E.K. y J.P. Newall. “A multistage evolutionary algorithm for the timetable problem” IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.3, no.1, p.63-74 (abril de 1999).
- CHRYSSOLOURIS, George y Velusamy Subramaniam. “Dynamic scheduling of manufacturing job shops using genetic algorithms.” Journal of Intelligent Manufacturing, vol.12, no.3, p.281-293 (junio de 2001).
- DANTZIG, G. B.; RAMSER, R. H.; (1959). The Truck Dispatching Problem. Management Science. 6. 80
- FERREL O.C., Hirt Geoffrey, Ramos Leticia, Adriaenséns Marianela y Flores Miguel Angel, Introducción a los Negocios en un Mundo Cambiante, Cuarta Edición, de Mc Graw Hill, 2004, Pág. 282.
- HE, L. y N. Mort. “Hybrid genetic algorithms for telecommunications network back-up routing” BT Technology Journal, vol.18, no.4, p. 42-50 (octubre de 2000).

- JENSEN, Mikkel. "Generating robust and flexible job shop schedules using genetic algorithms." IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.7, no.3, p.275-288 (junio de 2003).
- LEMLEY, Brad. "Machines that think." Discover, enero de 2001, p.75-79.
- LONG, Douglas, Logística Internacional - Administración de la cadena de abastecimiento Global, Editorial Limusa S.A., México, 2008.
- NAIK, Gautam. "Back to Darwin: In sunlight and cells, science seeks answers to high-tech puzzles." The Wall Street Journal, 16 de enero de 1996, p. A1.
- PETZINGER, Thomas. "At Deere they know a mad scientist may be a firm's biggest asset." The Wall Street Journal, 14 de julio de 1995, p.B1.
- ROBUSTE, Anton Francesc - Logística del transporte, ttt temas de transporte y territorio 10, UPC 2005.
- SORET, Ignacio, Logística Comercial y Empresarial, Los santos Editores, Madrid, 2004.
- TAHA, Hamdy A, Investigación de operaciones, 7ª edición, Pearson Educación, México, 2004.
- TEJERO, Julio Anaya - Polanco, Sonia Martín, Innovación y mejora de procesos logísticos Análisis - diagnóstico e implementación de sistemas logísticos, Esic editorial Madrid, 2005.

INFOGRAFIA

- "Adaptive Learning: Fly the Brainy Skies." Wired, vol.10, no.3 (marzo de 2002).
- ALGORITMO GENETICO MODIFICADO APLICADO AL PROBLEMA DE SECUENCIAMIENTO DE TAREAS EN SISTEMAS DE PRODUCCION LINEAL – FLOW SHOP. Scientia et Technica Año XII, No 30, Mayo de 2006 UTP. ISSN 0122-1701
- Primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro - Zaragoza, 12 y 13 de Septiembre de 2007
- Revista Boletín Ciencias de la Tierra, LOGÍSTICA ESBELTA APLICADA AL TRANSPORTE EN EL SECTOR MINERO, MARTÍN D. ARANGO SERNA, HERMENEGILDO GIL GOMEZ, JULIÁN A. ZAPATA CORTÉS, Recibido para evaluación: 20 de Abril de 2009 / Aceptación: 15 de Mayo de 2009 / recibida versión final: 1 de Junio de 2009

GIBERGRAFIA

- N. G. Maquera
Departamento de Engenharia de Produção
Universidade Federal Fluminense, Niterói - RJ, Brasil
<http://www.cnc-logistica.org/congreso-cnc/documentos/168.pdf>
- <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/10866/1135>
- http://www.revistalogistec.com/index.php?option=com_content&view=article&id=428:enlamiraed54&catid=52:enlamira&Itemid=114
- <http://www.eumed.net/tesis/2010/rdce/RESUMEN%20DE%20LA%20LEGISLACION%20AMBIENTAL%20COLOMBIANA%20SOBRE%20RESIDUOS.htm>
- <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/2encuent/colomb1.pdf>
- http://www.aliadolaboral.com/personas/SE4/BancoConocimiento/C/calculadora_salarial/calculadora_salarial.aspx

- <http://www.investigacion-operaciones.com/contenido.htm>
- <http://ingenierosindustriales.jimdo.com/que-es-ingenier%C3%ADa-industrial/>
- <http://the-geek.org/docs/algen/algen.html#key-1>

LISTA DE GRAFICAS

Pág.

Gráfica 1: Diagrama de flujo operaciones de Control Ambiental de Colombia Ltda.	10
Gráfica 2: Frecuencia de Materiales Transportado por los vehículos de TRANSAMBIENTE	15
Gráfica 3: Vehículos con mayor número de toneladas transportadas	16
Gráfica 4: Empresas con mayor número de toneladas transportadas	17
Gráfica 5: Materiales que más número de Toneladas se transportaron	19
Gráfica 6: Materiales que más número de Toneladas se transportaron durante el periodo Enero - Noviembre	20
Gráfica 7: Cantidad de toneladas transportada de los materiales más representativos	21
Gráfica 8: Cantidad de material total transportado	22
Gráfica 9: Diagrama de espina de pescado situación actual de la logística de la empresa	27
Gráfica 10: Escenario de modelación con problema de agente viajero	65
Gráfica 11: Solución mediante solver al problema del agente viajero planteado	66
Gráfica 12: Restricciones de tipo de material y distancia a recorrer entre cada sitio	68
Gráfica 13: Planteamiento del modelo en el escenario 1	68
Gráfica 14: Planteamiento del modelo en el escenario 2	70
Gráfica 15: Restricciones planteadas en solver para la solución del modelo en el escenario 2	70
Gráfica 16: Solución encontrada por solver para el modelo en el escenario 2 ..	71
Gráfica 17: Planteamiento del modelo en el escenario 3	72

Gráfica 18: Restricciones planteadas en solver para la solución del modelo en el escenario 2	73
Grafica 19: Solución encontrada por solver para el modelo en el escenario 3 .	73
Grafica 20: Simulación Algoritmo genético – Control Ambiental de Colombia Ltda.	84
Grafica 21: Costeo de Algoritmo genético – Control Ambiental de Colombia Ltda.	86
Grafica 22: Recorridos de Algoritmo genético – Control Ambiental de Colombia Ltda.	87
Grafica 23: Resultado general – simulación.....	90
Grafica 24: resultado simulación /Costos.....	91

LISTA DE ILUSTRACIONES

Pág.

Ilustración 1: Vehículos de TRANSAMBIENTE.....	13
Ilustración 2: Izquierda: cargue de material; derecha: lodos – material orgánico	28
Ilustración 3: Diagrama de Conceptos	40
Ilustración 4: Vehículo de Carga	43
Ilustración 5: Algoritmos Genéticos.....	57

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1: Capacidad de carga vehículos – TRANSAMBIENTE	12
Tabla 2: Relación de carga de vehículos de TRANSAMBIENTE en toneladas durante los meses de Enero a Noviembre	14
Tabla 3: Empresas que más generaron transporte durante el periodo de Enero a Noviembre en toneladas	18
Tabla 4: Flujo de transporte de materiales de mayor rotación durante una semana del mes de Enero	23
Tabla 5: Flujo de transporte de materiales de mayor rotación durante una semana del mes de Mayo	24
Tabla 6: (Continuación)	25
Tabla 7: Flujo de transporte de materiales de mayor rotación durante una semana del mes de Noviembre	26
Tabla 8: proceso Metodológico	32
Tabla 9: Costo de gasolina por KM de los vehículos de TRANSAMBIENTE	77
Tabla 10: Depreciación de los vehículos de TRANSAMBIENTE	79
Tabla 11: Materiales vs. Vehículos	81
Tabla 12: Tipo de material – Ejemplo Anexo 1	82
Tabla 13: Recorridos – Algoritmo genético	88
Tabla 14: Costos de los individuos – Algoritmo genético	89

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1: Recorrido simulado para un problema de enfriamiento geométrico.	48
Cuadro 2: Búsqueda de Tabú.....	50
Cuadro 3: Algoritmos genéticos.....	51

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1: Esquema de rutas, ruta O-A-B-O, externamente ruta O-A-B-O.....	44
Figura 2: Método de barrido.....	46
Figura 3: Secuenciación de ocho tareas.....	58
Figura 4: Diagrama de flujo de selección de padres.....	59
Figura 5: Ejemplo de aplicación de operación PMX.....	60
Figura 6: proceso de selección.....	61

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Listado de ingreso de materiales a la empresa (se encuentra en CD anexo)

ANEXO 2: Depreciación de vehículos de la empresa

ANEXO3: Simulación algoritmos genéticos, programación de logística de transporte para la empresa Control Ambiental de Colombia Ltda.

ANEXO 4: Formatos para la programación y el control logístico de la empresa (formato de programación diaria de clientes, reporte horario de despachos, registro de visitantes a clientes).

ANEXO 5: Propuestas de modelación.