

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

DOBLE TITULACIÓN  
CONVENIO DE INTERCAMBIO DE ESTUDIANTES  
PUCP - UPM de Madrid



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

ESTUDIO, ANÁLISIS Y MEJORA DE LA PLANIFICACIÓN DEL  
ABASTECIMIENTO DE RESIDUOS PLÁSTICOS RECUPERADOS EN UNA RED  
DE LOGÍSTICA INVERSA.  
CASO DE ESTUDIO: RECICLADOS Y PROCESOS PLÁSTICOS.

Tesis para optar por el Título de Ingeniero Industrial que presenta:

Walter Gabriel Muñoz Campos

ASESOR: José Ángel Gonzáles

Lima, Mayo del 2015

## Resumen

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal desarrollar modelos de simulación para la planificación del sistema de abastecimiento de resinas plásticas recuperables para la actividad de reciclaje en la ciudad de Lima Metropolitana en una red de logística inversa; estos modelos tendrán como objetivo definir las rutas de abastecimiento más satisfactorias según las variables de distancia, carga, tiempo de desplazamiento, número de unidades y hora de transporte.

Para definir el mejor procedimiento para la realización de este trabajo se estudiaron varias posibilidades según los métodos de análisis de decisión multicriterio de los que se contaba con suficiente información y considerando del mismo modo el tiempo de aprendizaje de la metodología; estos fueron: AHP, Promethe I y II, Ponderación simple, Electree, Branch and Bound, sistemas metaheurísticos, entre otros. Seleccionándose el método Promethe II debido a su corto tiempo de aprendizaje y las amplias aplicaciones que tuvo en diversos estudios.

Para la validación del algoritmo de diseño de rutas se utilizó un método de análisis de sensibilidad por zonas y por criterios anómalos; es decir, la inserción de datos extraños que favorecen o desfavorecen de manera importante determinado grupo de variables.

Finalmente el estudio realizado y el algoritmo diseñado brindan datos positivos para la realización de una implementación de esta metodología en la empresa sujeto de estudio e incluso da pistas sobre cómo mejorar el algoritmo planteado añadiéndole metodologías compatibles; es decir, habré el campo para nuevos estudios complementarios del algoritmo de diseño de rutas presentado.



CAMPUS  
DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL



Prof. Dr. Juan J. Márquez Sevillano, Subdirector de Alumnos y Relaciones Internacionales de la ETSI Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid

**INFORMA:**

Que el alumno/a **D. WALTER GABRIEL MUÑOZ CAMPOS** con Pasaporte N° 5472779, tiene acreditados y cursados en este Centro los estudios que a continuación se detallan:

CODIGO	ASIGNATURA	NOTA	FECHA	CREDITOS ECTS	GRADO ECTS
50001602	Ingeniería del Medio Ambiente	7.4	Jun 2012	4.8	D
50001603	Tecnología Energética	5.0	Jun 2012	4.8	E
50001605	Estructura y Política Industrial II	5.0	Jun 2013	6.0	C
50001663	Economía del Entorno Empresarial	5.5	Jun 2012	6.0	D
50001673	Organización Industrial	7.1	Ene 2013	4.8	C
50001676	Marco Legal de Empresa	5.0	Ene 2013	3.6	E
50001686	Métodos y Técnicas de Decisión	6.5	Jun 2013	4.8	C
50001691	Proyectos	5.0	Ene 2013	4.8	E
50001692	Tecnología Eléctrica	5.1	Ene 2013	3.6	D
50001693	Ingeniería del Transporte	5.4	Ene 2013	2.4	E
50001695	Diseño de Sistemas Productivos y Logísticos	8.0	Ene 2013	7.2	B
50001696	Estructura y Política Industrial I	5.5	Ene 2013	3.6	D
50008607	Gestión Medioambiental de las Empresas	8.6	Jun 2012	4.8	B
50008613	Análisis, Selección y Adaptación de Sistemas Informáticos	8.0	Jun 2012	4.8	B
	Proyecto Fin de Carrera	8.0	Sep 2013	-	-
	Total Créditos ECTS Matriculados.....			66.0	
	Total Créditos ECTS Superados.....			66.0	

Madrid, 16 de Octubre de 2013



Nota: MH: Matrícula de Honor; 10-9: Sobresaliente; 8-7: Notable; 5-6: Aprobado; 4-0: Suspenso D: Convalidado, NP: No Presentado ECTS: A (10%) ; B (25%) ; C (30%) ; D (25%) ; E (10%). Sistema por percentiles del total de las calificaciones obtenidas en cada aula.

José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid. Tel. +34 91 336 3050. Fax: +34 91 561 8618. info.industriales@upm.es www.industriales.upm.es

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES**

**CATÉDRA DE PROYECTOS**

**ESTUDIO, ANÁLISIS Y MEJORA DE LA PLANIFICACIÓN DEL  
ABASTECIMIENTO DE RESIDUOS PLÁSTICOS RECUPERABLES  
EN UNA RED DE LOGÍSTICA INVERSA. CASO DE ESTUDIO:  
RECICLADOS Y PROCESOS PLÁSTICOS**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA

Nº. 13611557

WALTER GABRIEL MUÑOZ CAMPOS

SETIEMBRE, 2013

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIEROS INDUSTRIALES

CATÉDRA DE PROYECTOS

**Estudio, análisis y mejora de la planificación del  
abastecimiento de residuos plásticos recuperables en  
una red de logística inversa.**

**Caso de estudio: Reciclado y Procesos Plásticos**

Proyecto Fin de Carrera nº 13611557

**Autor:**

**Walter Gabriel Muñoz Campos**

Madrid, noviembre 2012

## AGRADECIMIENTOS

Antes que nada me gustaría dar un especial agradecimiento a mis padres, Walter Muñoz Sarapura y Gloria Amparo Campos Ángeles, quienes nunca me retiraron su apoyo o dudaron de mí, aun en las peores circunstancias. Gracias por educarme bajo féreos valores de perseverancia, lealtad y honradez y por priorizar la educación de mis hermanos y la mía antes que cualquier otro tema.

Sus constantes alientos y apoyo me motivaron no solo a superar los obstáculos y alcanzar las metas que se me iban presentando, sino además plantearme las mías propias más allá de lo que alguna vez habría podido imaginar. Siendo la más grande aventura, reto y experiencia la Doble Titilación en la Universidad Politécnica de Madrid, España.

También me gustaría agradecer a mis hermanos, José Alberto Muñoz Campos y Juan Diego Muñoz Campos, quienes no solo me apoyaron y alentaron en cada nuevo paso que daba a lo largo de mi desarrollo personal y profesional, sino que además fueron fuente de inspiración y ejemplo.

También me gustaría agradecer a esas personas que supieron reconocer, motivar y ayudar a desarrollar las habilidades necesarias para mejorar tanto académicamente, como profesional y personalmente de forma desinteresada.

Del mismo modo agradecer a mis amigos, quienes no solo fueron artífices de grandes momentos de diversión y esparcimiento, sino que además no nunca permitieron que ninguno de un paso atrás en una iniciativa dada al verse frente a un obstáculo.

Otro especial agradecimiento a Mirian Mercedes Morales Flores, quien me acompaña y apoya en todos las iniciativas, retos y obstáculos que se presentan o me planteo. Quizás no siempre este físicamente, pero su apoyo siempre está presente.

Finalmente me gustaría agradecer a las nuevas personas que me recibieron con los brazos abiertos durante mi estancia en España, nunca había conocido un grupo tan pintoresco y diverso. Muchachos, me enseñaron mucho, nunca los olvidare. Gracias a ustedes puedo decir que lo más valioso que me llevo son sus palabras y las experiencias vividas juntos.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	6
1. INTRODUCCION.....	11
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	11
1.2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO.....	14
1.2.1 MOTIVACIÓN LOGÍSTICA.....	14
1.2.2 MOTIVACIÓN MEDIO AMBIENTAL Y SOCIAL.....	15
1.3. OBJETIVO DEL PROYECTO.....	16
1.3.1. PLANIFICACIÓN DE LA LOGÍSTICA INVERSA DE RESIDUOS PLASTICOS.....	16
1.3.2. DEFINICION DE INDICADORES DE GESTION.....	17
1.3.3. PLANIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA EN UNA EMPRESA DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	17
2. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS.....	17
2.1. LOGISTICA INVERSA.....	17
2.2. RESIDUOS SÓLIDOS.....	18
2.2.1. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	19
2.2.2. RESIDUOS SÓLIDOS RURALES.....	19
2.2.3. RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES.....	20
2.3. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS.....	20
2.3.1. RESIDUOS INORGANICOS.....	20
2.3.2. RESIDUOS ORGANICOS.....	22
2.3.3. RESIDUOS PELIGROSOS.....	22
3. CONTEXTO DEL PROYECTO.....	23
3.1. CONTEXTO LEGAL.....	23
3.1.1. LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS N°17314 (PERÚ).....	23
3.2. CONTEXTO SOCIAL.....	23
4. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO FIN DE CARRERA.....	24
4.1. ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DEL PROYECTO.....	24
4.2. DIAGRAMA DE GANT.....	25
5. ANALISIS ACTUAL.....	26
5.1. PROCESO DE RECOGIDA, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS PLASTICOS.....	26

5.2. PROCESO DE RECICLAJE O RECUPERACION DE RESIDUOS PLASTICOS .....	29
5.2.1. CLASIFICACION DE LOS PLÁSTICOS .....	29
5.2.2. PROCESO DE RECICLAJE DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD - LDPE	30
5.3. PRODUCTOS ELABORADOS POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD RECUPERADO.....	33
5.4. PROBLEMAS DERIVADOS A LA ALTA PRODUCCION DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD – LDPE.....	34
5.4.1. MERCADO SECUNDARIO DE RESIDUOS PLÁSTICOS.....	34
5.4.2. PROBLEMÁTICA DE LOS VERTEDEROS URBANOS .....	34
5.5. CASO DE ESTUDIO: Reciclados y Procesos Plásticos .....	35
5.5.1. DESCRIPCION DE LA EMPRESA.....	35
5.5.2. SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA .....	36
5.5.3. ABASTECIMIENTO ACTUAL DE SUMINISTROS .....	38
5.6. DISTRIBUCION DE EMPRESAS COMERCIALIZADORAS POR DISTRITO	39
6. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA .....	40
7. METODOLOGIA .....	41
7.1. MÉTODO PROMETHEE .....	42
8. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	47
8.1. DATOS DE PARTIDA .....	47
8.2. OPCIONES PARA PROCESAMIENTO DE DATOS .....	49
8.3. DESCRIPCION DEL PROCESO DE ANALISIS DE DATOS .....	49
9. PROCESAMIENTO DE DATOS .....	51
9.1. PRE PROCESAMIENTO DE DATOS INICIALES.....	51
9.2. COMPROBACION DE LOS DATOS OBTENIDOS .....	53
9.3. DETERMINACION DE LA METODOLOGIA A SEGUIR.....	53
9.4. ELABORACION DEL PROCESO DE INTERACION DE DATOS .....	54
9.4.1. CRITERIO DE DIFICULTAD.....	54
9.4.2. CRITERIO DE CARGA DE RECOGIDA.....	56
9.4.3. CRITERIO DE DISTANCIA.....	57
9.4.4. CRITERIO DE TIEMPO DE RECOGIDA.....	58
9.4.5. MATRIZ DE INDICES DE PREFERENCIA .....	61
9.4.6. OBTENCION DE FLUJOS .....	62
9.4.7. DESCRIPCION DEL ALGORITMO DE LA APLICACIÓN .....	63



9.4.8.	DESCRIPCION DEL METODO 1 (LOCM1).....	64
9.4.9.	DESCRIPCION DEL METODO 2 (LOCM2).....	66
9.4.10.	DESCRIPCION DEL METODO ACTUAL.....	66
9.4.11.	VISUALIZACION DE RESULTADOS.....	67
9.4.12.	VERIFICACION DEL PROGRAMA.....	70
10.	DESARROLLO DE LA SOLUCION AL PROBLEMA PLANTEADO.....	71
10.1.	SOLUCION GENERAL PARA LA EMPRESA PLASTICORP.....	72
10.1.1.	ANALISIS NUMERICO.....	72
10.1.2.	ANALISIS ECONOMICO.....	83
10.2.	SOLUCION PARA LA EMPRESA SUJETO DE ESTUDIO.....	84
10.2.1.	ANALISIS NUMERICO.....	84
10.2.2.	ANALISIS ECONOMICO.....	86
11.	DEFINICION DE INDICADORES DE GESTION.....	88
11.1.	TIEMPO DE ABASTECIMIENTO.....	88
11.2.	COMBUSTIBLE CONSUMIDO EN EL ABASTECIMIENTO.....	88
11.3.	CARGA DE RESIDUOS ABASTECIDOS.....	88
11.4.	COSTE UNITARIO POR KLOGRAMO DE RESIDUOS ABASTECIDOS... 88	88
11.5.	EFICIENCIA DEL TIEMPO DE ABASTECIMIENTO.....	89
11.6.	EFICIENCIA DE UTILIZACION DE LA CAPACIDAD DE LA UNIDAD DE ABASTECIMIENTO.....	89
11.7.	EFICIENCIA DE ABASTECIMIENTO.....	89
12.	PLANIFICACION DEL CRECIMIENTO.....	90
12.1.	EMPRESA PLASTICORP.....	90
12.2.	EMPRESA SUJETO DE ESTUDIO: Reciclados y Procesos Plásticos.....	90
13.	CONCLUSIONES.....	92
14.	FUTUROS PROYECTOS.....	93
14.1.	IMPLEMENTAR SOLUCION PARA MAS DE UN PUNTO DE ACOPIO.....	93
14.2.	MODELAR SOLUCION EN BASE A UN PROBLEMA DE PROGRAMACION LINEAL BINOMIAL.....	93
14.3.	IMPLEMENTAR VARIACION DE ORDEN DE ASIGNACION DE PUNTOS DE RECOGIDA A VEHICULOS SEGÚN SITUACION.....	94
14.4.	IMPLEMENTAR MEJORAS A LA APLICACIÓN MODELADA.....	94
15.	BIBLIOGRAFIA.....	95
15.1.	Publicaciones y Artículos.....	95
15.2.	PAGINAS WEB UTILIZADAS.....	96

15.3 FUENTE DE FIGURAS .....	96
16. ANEXOS .....	98
16.1. RESIDUOS SOLIDOS GENERADOS SEGÚN DISTRITO DE LA PROVINCIA DE LIMA 2002-2011.....	98
16.2. RESIDUOS SOLIDOS PER CAPITA SEGÚN DISTRITO DE LA PROVINCIA DE LIMA 2008-2011.....	99
16.3. RESIDUOS SOLIDOS PER CAPITA SEGÚN DISTRITO DE LA PROVINCIA DE LIMA 2008-2011.....	100
16.4. RESIDUOS SOLIDOS CONTROLADOS EN LOS RELLENOS SANITARIOS SEGÚN DISTRITO DE LA PROVINCIA DE LIMA 2001-2011.....	101
16.5. RESIDUOS SOLIDOS NO CONTROLLADOS EN LOS RELLENOS SANITARIOS SEGÚN DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE LIMA 2002-2011 .....	102
16.6. RESIDUOS SOLIDOS CONTROLADOS POR LOS RELLENOS SANITARIOS SEGÚN DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE LIMA 2010-2011 .....	103
16.7. NOTICIA: EL PERU SOLO TIENE 9 RELLENOS SANITARIOS – DIARIO PERU21 104	
16.8. LISTA DE POSIBLES PUNTOS DE RECOGIDA DE RESIDUOS.....	105
16.9. DATOS DE LAS CONFIGURACIONES RESULTADES DE LA APLICACIÓN PARA EL ANALISIS DE LA EMPRESA FICTICIA PLASTICORP ....	106
16.9.1. CONFIGURACION RESULTANTE MÁS SATISFACTORIA PARA EL METODO 1 CON VEHICULOS DE CAPACIDAD DE 1500 KG .....	106
16.9.2. CONFIGURACION RESULTANTE MÁS SATISFACTORIA PARA EL METODO 1 CON VEHICULOS DE CAPACIDAD DE 2500 KG .....	108
16.9.3. CONFIGURACION RESULTANTE MÁS SATISFACTORIA PARA EL METODO 2 CON VEHICULOS DE CAPACIDAD DE 1500 KG .....	110
16.9.4. CONFIGURACION RESULTANTE MÁS SATISFACTORIA PARA EL METODO 2 CON VEHICULOS DE CAPACIDAD DE 2500 KG .....	112
16.10. Datos del Análisis Económico – Financiero del Proyecto.....	114
16.10.1. PLASTICORP.....	114
16.10.2. RECICLADOS Y PROCESOS PLASTICOS.....	114
16.11. DETALLE DE PLAN DE ELABORACION DEL PFC .....	116

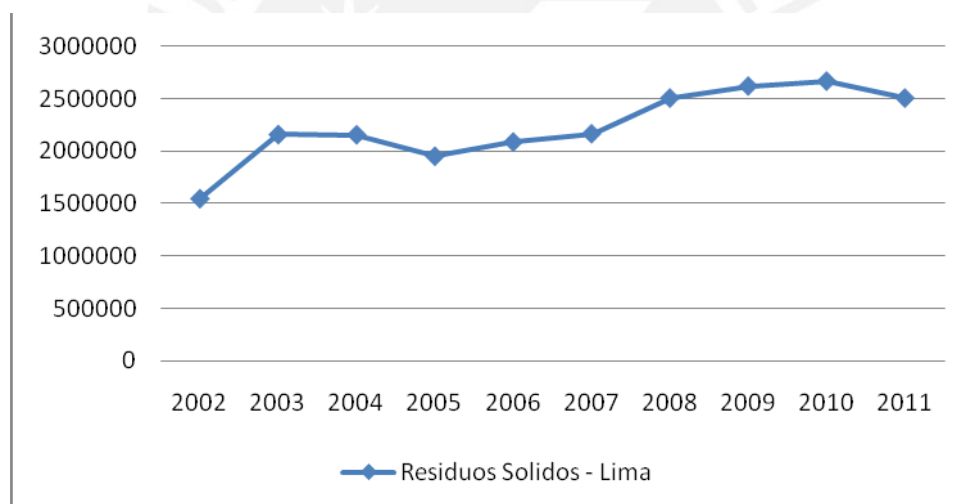
## 1. INTRODUCCION

### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La realización de este Proyecto Fin de Carrera nace por la preocupación por la creciente generación de residuos sólidos en las principales urbes, sea esta de origen urbano rural o industrial. Se realizará una especial diferenciación entre estos, debido a que es de importante consideración a lo largo de la realización de este proyecto y en la determinación a priori del sesgo y orientación que tendrá el análisis de la información disponible para su realización.

Este proyecto fin de carrera se desarrolla en el contexto de la ciudad de Lima Metropolitana, Perú de donde es originario en el autor del mismo.

La ciudad de Lima Metropolitana genero en el año 2011 una cantidad de 2'503'583 Toneladas métricas de residuos sólidos entre urbanos, rurales e industriales según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Cabe mencionar que el volumen de residuos generados ha aumentado considerablemente su tasa de crecimiento a lo largo del último decenio, como se muestra a continuación:



*Figura 1: Residuos sólidos generados en la ciudad de Lima desde el año 2002*

*Fuente: Anuario de Estadísticas Ambientales 2012, INEI*

*Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales, Julio 2012*

Es importante mencionar que aproximadamente solo el 2% del total de residuos es destinado al reciclaje en todo el país, según la última publicación del Anuario de Estadísticas Ambientales 2012. Cabe mencionar que a la fecha del 2008 existen registradas 247 empresas autorizadas a la manipulación y trata de residuos sólidos en todo el país y 179 en la ciudad de Lima Metropolitana, lo que lleva a pensar que la tasa de reciclaje es mucho mayor a la general.

Por otro lado aproximadamente el 30% del total de residuos generados en la ciudad de lima metropolitana se genera en 4 distritos de 42 por los que está conformada la misma. Estos son los Distritos de San Juan de Lurigancho, Cercado de Lima, Comas y San Martín de Porres los que están denominados como Zonas

Comerciales y el distrito de Cercado de Lima como Zona Histórica. En la figura 2 se muestra la evolución de la generación de Residuos Sólidos en el último decenio.

Como se muestra en la tabla anterior la tasa de crecimiento de generación de residuos sólidos en estos 4 distritos es bastante importante, incluso llegando a duplicar la generación de hace solo 10 años. En el siguiente gráfico se presenta el porcentaje que corresponde lo que genera cada uno de estos distritos en relación del total de la Ciudad de Lima.

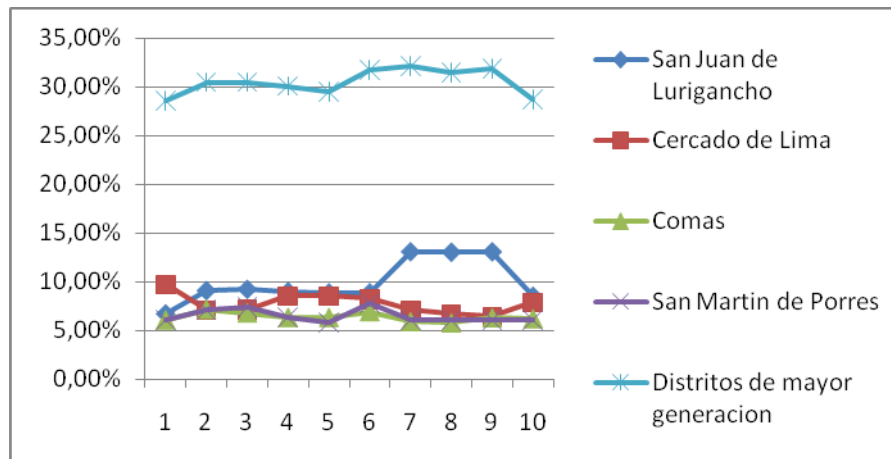


Figura 2: Evolución de la Generación de Residuos Sólidos desde 2002 a 2010

Fuente: Anuario de Estadísticas Ambientales 2012, INEI

Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales, Julio 2012

El gráfico anterior corrobora el dato antes referido y como se observa cada uno de estos distritos representan aproximadamente el 10% de los residuos generados en la ciudad a excepción del distrito de Comas y San Martín de Porres que representan un 5% de los Residuos Sólidos Generados en la Ciudad de Lima.

Del análisis preliminar e intuitivo de los datos anteriores ya se puede ver algunos patrones, como por ejemplo que existe una relación entre la actividad comercial y la generación importante de residuos sólidos, así como la aglomeración de población en dichos distritos, esto último puede comprobarse en los anexos 15.1, 15.2, 15.3, 15.4, 15.5 y 15.6 correspondientes a la información de la generación de residuos en la ciudad de Lima Metropolitana

A continuación se muestran los resultados de un análisis preliminar para determinar el enfoque que se le dará al proyecto; es decir si se enfocara en la logística de residuos sólidos urbanos, rurales o industriales (comerciales)

La figura 3 muestra que actividades comerciales se abarcan si se tomara a los distritos con mayor generación y se agregaran uno por uno hasta que el último represente menos del 20%, 15%, 10%, 5%, 2.5% o 1% del acumulado.

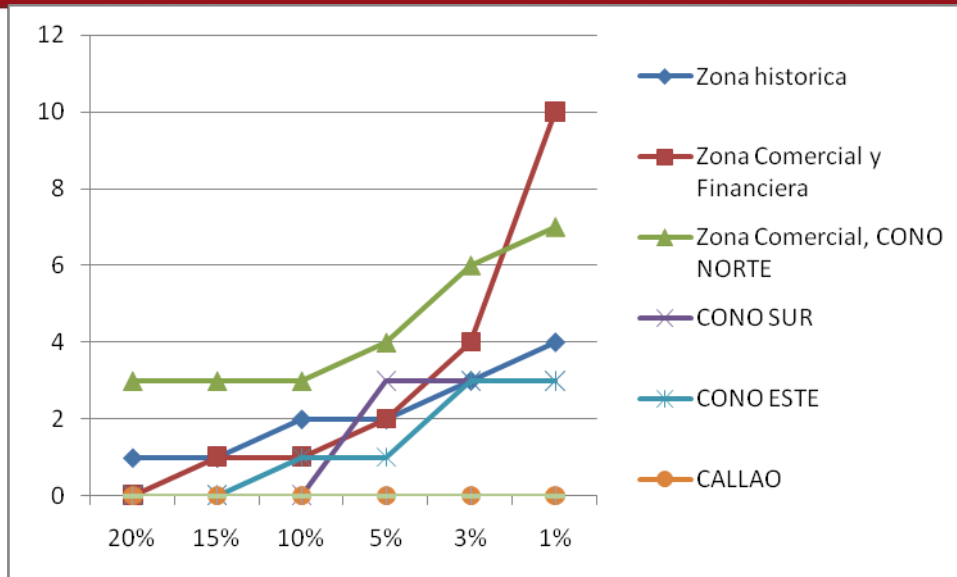


Figura 3: Principales Actividades por Zonas en la Ciudad de Lima Metropolitana  
Elaboración propia con Datos del Anuario de Estadísticas Ambientales 2012, INEI  
Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales, Julio 2012

Como se observa en el gráfico para todos los cortes es considerablemente más importante la Zona Comercial, Cono Norte. Cabe resaltar que en el “Cono Norte” se localizan la mayor cantidad de negocios del rubro de la comercialización y venta por mayor de diversos artículos.

En figura 4 se muestra como aumenta el porcentaje del total de Residuos Sólidos generación en la Ciudad de Lima según el criterio de cada corte al del 20%, 15%, 10%, 5%, 2.5% o 1% de agregación del acumulado

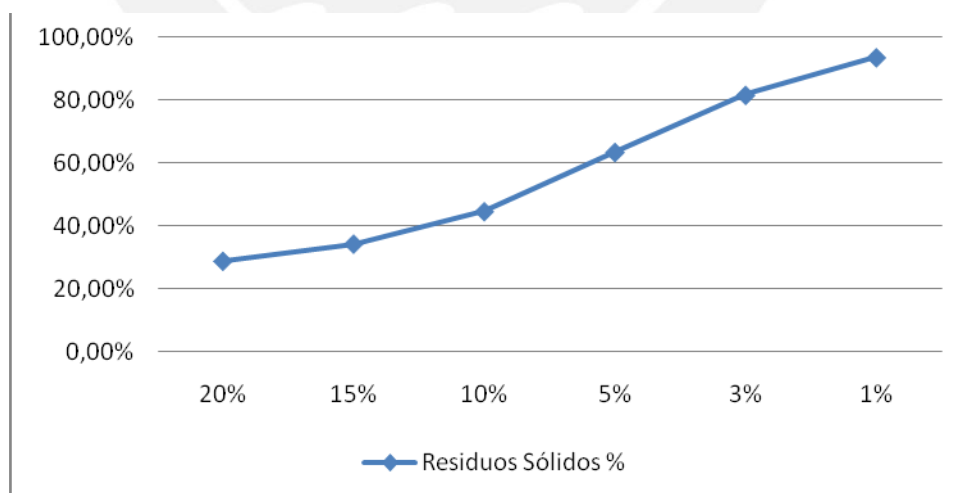


Figura 4: Proporción de Generación de Residuos Sólidos por Cantidad de Habitantes  
Elaboración propia con Datos del Anuario de Estadísticas Ambientales 2012, INEI  
Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales, Julio 2012

Gracias a este análisis preliminar e intuitivo ya se puede afirmar que la orientación que tenga este proyecto fin de carrera será la planificación de la red de logística inversa en el sector comercial y financiero; enfocándose especialmente en las empresas más importantes en cada entorno.

La orientación hacia el sector comercial y financiero no se debe solo al análisis preliminar sino también a la composición que tienen cada uno de los diferentes sectores como se muestra a continuación.

REGIÓN	COMPOSICIÓN (%)															TOTAL
	MATERIA ORGÁNICA	HUESOS	PAPEL	CARTON	TETRAPAK	TECKNOPOR	VIDRIO	PLÁSTICOS PET	PLÁSTICOS BLANDOS	METAL	CUEROS Y TPAPOS	MADERA	MATERIAL INERTE	RESIDUOS PELIGROSOS	OTROS	
APURIMAC	68.99		8.26	1.14			0.14	7.11	4.26	8.25	1			0.85		100
ANCASH	55.28	0.72	2.63	5.3	0.38	0.14	2.05	3.02	4.48	1.5	1.62	0.33	9.98	7.03	5.54	100
AYACUCHO	55.28	0.72	2.63	5.3	0.38	0.14	2.05	3.02	4.48	1.5	1.62	0.33	9.98	7.03	5.54	100
CAJAMARCA	62	0.5	1.8	2	0.5		1.6	3.1	5.2	2.3	1.7	2.7	11.8	4.8		100
CALLAO	34.2	2.4	19.1				6.6		6.9	4.8	4.8	1.8	7.5	3.9	8	100
CUZCO	53.91		3.57	2.45			2.07	9.51		2.76	1.40	0.79	23.54			100
ICA	38.7		3.31	1.64	0.07	2.5	0.9	5.89	2.84	2.48	1.75	0.24	11.22	8.93	19.53	100
JUNÍN	76.56	0.15	1.86	1.6	0.24	0.27	1.67	2.41	4.23	0.89	1.35	1.82	0.69	4.05	2.21	100
LA LIBERTAD	39.345	0.115	2.46	3.76	0.45	0.27	0.555	4.35	9.405	3.76	3.78	0.12	23.19	4.71	4.02	100
LAMBAYEQUE	73.71		3	2.29			2.28	3.67		1.8	1.52		8.07	3.66		100
LIMA	51.82		10.29	2.24	0.28		2.37	4.35	6.62	2.04				5.12	14.87	100
LORETO	58.84	0.62	3.83	2.12		0.43	3.14	3.37	6.87	3.86	4.32	1.11	4.83	4.58	2.08	100
PASCO	62.36	0.12	2.9	1.5			0.05	2.2	3.56	2.2	1.65	1.89	5.78	4.89	10.9	100
PIURA	69.50						5.10	3.20	0.90	1.80				10.20	9.30	100
SAN MARTÍN	65.8		1.13	1.90	0.053	0.09	5.21	2.64	3.64	1.81	1.88	0.02	11.13	3.39	1.3	100
TUMBES	52.09		4.91	5.38			1.8	8.65	1.07	2.53	1.99	0.93	9.67	10.71	0.27	100
TACNA	44.1		5.3	4.3			5.25	4.7	2.94	2.43	2.79				28.19	100
UCAYALI	79.23	0.06	1.52	1.1			0.79	1.76	3.64	1.74	1.9	0.29	4.64	3.23	0.1	100

Fuente: ECRS  
Ciudad Saludable-PWI

Tabla 1: Composición de Residuos Sólidos por Ciudades en Perú  
Fuente: Informe Anual de Residuos Sólidos Municipales en el Perú 2008,  
Ministerio del Ambiente. Dr. Antonio Brack Egg – Ministro del Medio Ambiente

## 1.2. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

El Proyecto Fin de Carrera tiene 2 motivaciones principales, las cuales en orden de importancia son de índole Logístico y medio Ambiental y Social.

### 1.2.1 MOTIVACIÓN LOGÍSTICA

Esta motivación nace debido a que existen empresas que realizan la trata de residuos sólidos, ya sea para reciclaje o para trasladarlas a un vertedero final. El problema que presentan es que dichas empresas actúan de manera muy focalizada en determinadas empresas o grupo de estas y siendo poco eficientes en el traslado de los residuos sólidos y gestionando la eliminación de los residuos que no son de su interés sin respetar las regulaciones de la Dirección General de Salud (DIGESA). Lo que busca este proyecto en función a esto es modelar un plan de abastecimiento de logística inversa de tal forma que centre su actividad en las zonas donde más se generan y donde más se aglutinan; es decir, en lugar de prestar el servicio a las empresas que deseen, ofrecer el servicio a las empresas de el área de actividad de interés. Generando nuevos servicios de trata de residuos y recuperación de los mismos.

Esta forma de actuar implica ir contra lo que se hace actualmente y replantear el paradigma que se tiene actualmente sobre la prestación de servicios de residuos sólidos.

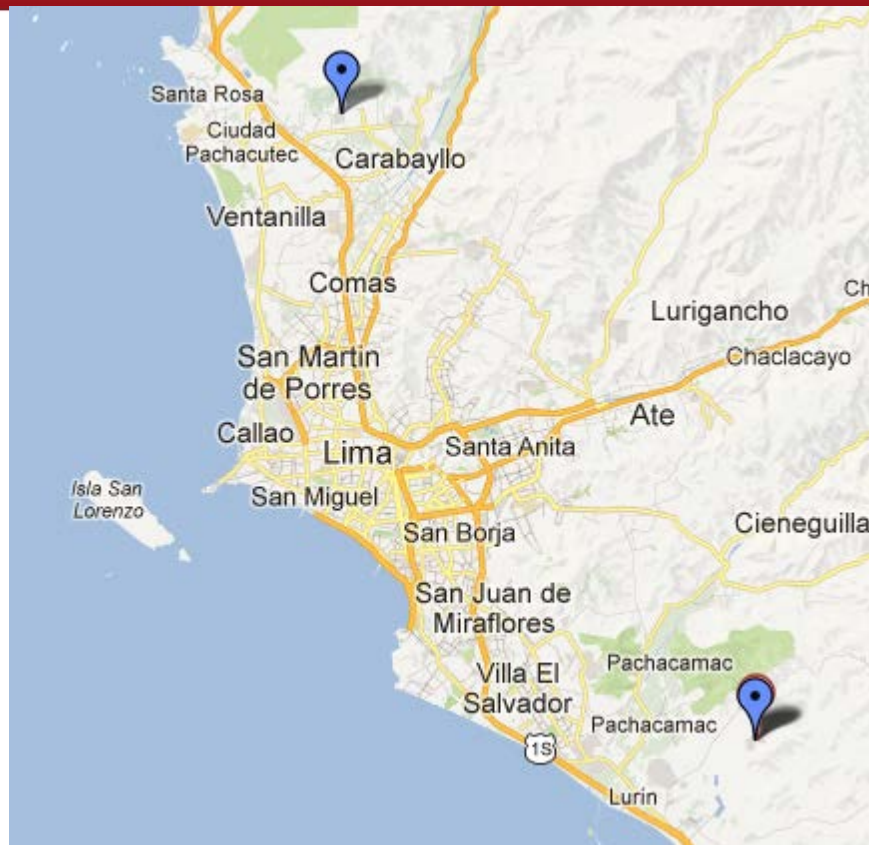
### 1.2.2 MOTIVACIÓN MEDIO AMBIENTAL Y SOCIAL

Esta motivación tiene especial sentido debido a que muchas veces los vertederos no son controlados con la rigurosidad del caso y se tienden a utilizar a sobre capacidad. Incluso la falta de gestión, seguridad y control llega a la conglomeración de comunidades de recolectores alrededor de los vertederos. Lo que implica no solo un riesgo de salud para estas personas, sino la explotación por parte de las industrias que demandan los residuos sólidos para su posterior recuperación sobre estas comunidades.

Por otro lado el acopio de residuos sólidos presenta un alto riesgo para la contaminación de suelo, aguas y viento debido a que cerca de muchos vertederos se tiene áreas de cultivo de las comunidades antes mencionadas y ríos aledaños como es el Rio Chillón en el vertedero de Carabaylo, llamado el Zapallal. Además, en ocasiones se produce la incineración no controlada de los residuos por parte de las comunidades de recolectores lo que implica no solo contaminación de las corrientes de viento sino también el riesgo de que se genere un incendio en el vertedero.

Cabe destacar que en la Ciudad de Lima solo se dispone de 4 vertederos, el Zapallal en Carabaylo, Modelo de Callao en Ventanilla, Ancón en Ancón y Portillo Grande en Lurín.

En la figura 7 se muestra la ubicación de los vertederos de “El Zapallal” en Carabaylo y Portillo Grande en Lurin.



*Figura 5: Vertederos de la Ciudad de Lima Metropolitana*

*Fuente: Elaboración propia en google maps*

### 1.3. OBJETIVO DEL PROYECTO

Este proyecto tiene como finalidad planificación del abastecimiento residuos sólidos plásticos en un sistema de logística inversa en la ciudad de Lima Metropolitana en función al análisis de las metodologías usadas actualmente para ello, así como su mejora por medio de modelos heurísticos y el desarrollo de una herramienta informática que le permita la planificación de la actividad.

En base a este objetivo principal se pueden definir 3 objetivos secundarios, los cuales se describen a continuación por orden de relevancia e impacto en el objetivo del proyecto y su posible futura implementación o ejecución.

#### 1.3.1. PLANIFICACIÓN DE LA LOGÍSTICA INVERSA DE RESIDUOS PLÁSTICOS

El fin de este objetivo es la determinación de una herramienta informática que ayude a la discriminación de la viabilidad de prestar el servicio de trata de residuos sólidos a los usuarios según sus ubicaciones geográficas y la capacidad de servicio de la empresa; del mismo modo dicha herramienta dará como resultado la configuración de la o las rutas y sus respectivos tiempos de abastecimiento, así como las cantidades recogidas y demás información de relevancia. Por otro lado esta información servirá de base para la planificación del abastecimiento dentro de la red de logística inversa.



Es importante resaltar que se realizaron 2 planificaciones de la logística inversa para residuos plásticos de polietileno de baja densidad, la principal razón de esto es que en un primer momento se realice una planificación general para el total de distritos de la ciudad de Lima considerando una empresa con recursos suficientes para responder a las posibles configuraciones de rutas con los recursos disponibles y con un solo local de acopio y en un segundo caso con los recursos que dispone la empresa sujeto de estudio.

### **1.3.2. DEFINICION DE INDICADORES DE GESTION**

El objetivo se define con el fin de identificar índices de gestión. Estos índices responderán a condiciones operativas directamente relacionadas con la actividad en cuestión.

La importancia de la definición de los índices de gestión es fundamental para la medición y monitoreo de la actividad, puesto que recopilación de información es fundamental para la modelación de nuevas soluciones o mejoras al sistema o aplicación resultante.

Además que se será una herramienta fundamental para la empresa en cuestión, puesto que sin esta información no se podrían tomar decisiones acertadas con respecto al estado de la actividad así como en los resultados globales de la empresa.

### **1.3.3. PLANIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA EN UNA EMPRESA DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS**

El objetivo se define con el fin de poder brindar a la empresa una orientación para incrementar su nivel de servicio tanto para el caso de una empresa que funciona en toda la ciudad de Lima como para una empresa que trabaja en un radio de acción determinado y desea incrementarlo paulatinamente. Como ya es evidente para la empresa que actúa en toda la ciudad, la variación de la capacidad instalada dependerá exclusivamente de la variación del consumo de materias por parte de la industria del comercio y las finanzas. Por otro lado la empresa que actúa en un radio determinado dependerá de sus condiciones económicas y resultados logrados, lo que le da especial importancia al objetivo anterior ya que sin buenos indicadores la labor de vería complicada.

## **2. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS**

### **2.1. LOGISTICA INVERSA**

La logística Inversa es el proceso de planificación, implementación y control de las eficiencias, costos y flujos de materiales, ya sea un producto en proceso, inventario o terminado y la información relativa a estos desde el punto de consumo hacia el punto de origen con el objetivo de recuperarlo o añadirle valor nuevamente. (Rogers and Tibben-Lembke 1999, p. 2). Council of Logistics Management's definition of logistics

Conforme a lo que expresan los autores Antonio Chamorro Mera y Sergio Rubio Lacoba en su publicación: "Los sistemas de distribución inversa para la recuperación de residuos: su desarrollo en España"; existen 3 preguntas a las que debe responder cualquier Sistema de Logística Inversa, las que las siguientes y se pueden responder de la siguiente manera:

- ¿Quién Gestionara el Sistema de Logística Inversa?
  - ✓ El Sistema será propio y se uso exclusivo
  - ✓ Sistema será compartido por una o mas empresas
- ¿Cómo se conseguirá la participación de los consumidores?
  - ✓ El sistema prestara sus servicios de manera gratuita
  - ✓ El sistema será de compra y venta dominado por los precios de mercado
  - ✓ El sistema se sustentara en incentivos económicos (los consumidores o proveedores reciben contraprestaciones en su beneficio)
  - ✓ El sistema será de depósito, devolución y retorno (SDDR). En este sistema se retiene un monto económico hasta la devolución del bien consumido
- ¿Cómo se recogerá el producto generado?
  - ✓ El sistema recopilara los residuos por medio de contenedores distribuidos entorno de una ciudad o un área geográfica determinada
  - ✓ El sistema recopilara los residuos en centros de recogida definidos destinados al acopio de los mismos.
  - ✓ El sistema recopilara los residuos en el centro de origen del residuo; es decir en su punto de generación.

## 2.2. RESIDUOS SÓLIDOS

La Ley General de Residuos Sólidos N°27314 (Perú) define residuos sólidos como todas aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente.

La anterior ley los clasifica en 8 categorías de residuos:

- Residuo Domiciliado
- Residuo Comercial

- Residuo de limpieza de espacios públicos
- Residuo de establecimiento de atención de salud
- Residuo industrial
- Residuo de las actividades de construcción
- Residuo agropecuario
- Residuo de instalación o actividades especiales

Se destaca que para la realización se utilizara una clasificación más sencilla como se presenta a continuación y se indicara que grupos de estas categorías entran dentro de nuestra clasificación. La clasificación que presentaremos a continuación es a que utiliza la Agencia Adventista para el Desarrollo y Recursos Asistenciales (ADRA PERU)

### 2.2.1. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La organización ADRA define estos residuos como todos aquellos generados en espacios urbanizados como consecuencia de las actividades de consumo y gestión de actividades domesticas, entidades de servicio (hostelería, hospitales, oficina, mercados, etc.) y actividades de transformación (papeleras y vidriería y otros residuos en pequeño y gran tamaño)

Dentro de esta calificación según adra se encuentran la siguiente calificación según la ley N°27314:

Residuo Domiciliario

Residuo Comercial

Residuo de limpieza de espacios públicos

Residuos de establecimiento de atención de salud

### 2.2.2. RESIDUOS SÓLIDOS RURALES

La organización ADRA define estos residuos como todos aquellos generados por las familias en el ámbito rural.

Dentro de esta calificación según adra se encuentran la siguiente calificación según la ley N°27314:

- Residuo Domiciliado
- Residuo Agropecuario

### 2.2.3. RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES

La organización ADRA define estos residuos como todos aquellos que tienen un origen en la industria de fabricación y transformación, como son: industria de pintura, transporte, conservas, fábricas, etc.

Dentro de esta calificación según adra se encuentran la siguiente calificación según la ley N°27314:

- Residuo industrial
- Residuo de instalación o actividades especiales

## 2.3. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS

El Ministerio del Medio Ambiente en el “Informe Anual de Residuos Sólidos Municipales en el Perú, 2008” hace una primera clasificación de los residuos sólidos a que será la que se utilizara a en este proyecto fin de carrera.

### 2.3.1. RESIDUOS INORGANICOS

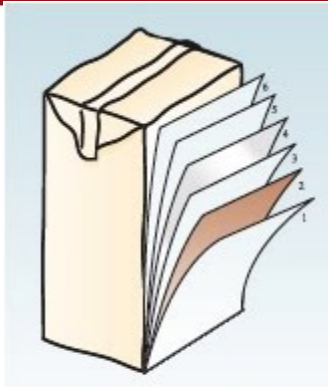
#### 2.3.1.1. RESIDUOS INORGANICOS RECUPERABLES



Figura 6  
Fuente: Ver Bibliografía  
**PAPEL**



Figura 7  
Fuente: Ver Bibliografía  
**CARTÓN**



1,3,5 y 6 = polietileno  
2 = carton  
4 = aluminio

Figura 8  
Fuente: Ver Bibliografía  
**TETRA PACK**



Figura 9  
Fuente: Ver Bibliografía  
**VIDRIO**



Figura 10  
Fuente: Ver Bibliografía  
**PLASTICO PET**



Figura 11  
Fuente: Ver Bibliografía  
**PLASTICOS BLANDOS**



Figura 12  
Fuente: Ver Bibliografía  
**METAL**

### 2.3.1.2 RESIDUOS INORGANICOS NO RECUPERABLES



Figura 13

Fuente: Ver Bibliografía  
**TECNOPOR**



Figura 14

Fuente: Ver Bibliografía  
**MATERIAL INERTE**

### 2.3.2. RESIDUOS ORGANICOS



Figura 15

Fuente: Ver Bibliografía  
**ALIMENTOS**



Figura 16

Fuente: Ver Bibliografía  
**MADERA**

### 2.3.3. RESIDUOS PELIGROSOS

La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) en su “Manual Técnico: Gestión de Residuos Peligros en el Perú” define este residuos como todos aquellos elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de los mismos, que al finalizar su vida útil adquieran la condición de residuos o desechos que independientemente de su estado físico, representan un riesgo para la salud o el ambiente por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas.

### 3. CONTEXTO DEL PROYECTO

#### 3.1. CONTEXTO LEGAL

##### 3.1.1. LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS N°17314 (PERÚ)

Esta ley indica de forma general que la sociedad será la responsable de la adecuada gestión de los residuos sólidos con el fin de asegurar un manejo integral y sostenible de los mismos. Además, Indica claramente que las municipalidades o ayuntamientos serán los responsables de la gestión de los residuos generados en ámbitos domésticos y/o comerciales. Es decir, las municipalidades o ayuntamientos no se gestionaran residuos de la industria, siendo esta la responsable de su adecuada gestión y eliminación.

La presente ley restringe el ingreso de residuos sólidos a territorio nacional a excepción que sea para realizar la actividad de reciclaje para lo cual se debe contar con el permiso de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). Por otro lado las únicas entidades autorizadas para la comercialización de residuos sólidos son las empresas inscritas en DIGESA con el permiso habilitante.

En cuestión del manejo de residuos sólidos exige que se realice sanitaria y medio ambientalmente correcta considerando sus posibles impactos y riesgos. Del mismo modo el personal operario o de manipulación directa debe contar con los respectivos equipos de protección que salvaguarde su salud e integridad física.

Se destaca que la presente ley se enmarca en el Código del Medio Ambiente y Recursos Naturales, el cual se puede revisar en el siguiente link: [wipo.int/wipolex/es/details.jsp?id=8247](http://wipo.int/wipolex/es/details.jsp?id=8247)

#### 3.2. CONTEXTO SOCIAL

El contexto social que engloba el análisis del problema es complicado de definir y de medir, debido a que el sector del reciclaje y la recuperación o trata de residuos sólidos se maneja en 2 niveles. El primero es un nivel regulado por las instituciones y autoridades competentes, en los que encontramos empresas constituidas que significan una importante tasa de los residuos gestionados y el segundo es el nivel no regulado en el que en lugar de encontrar empresas, se encuentran personas individuales o sociedades no constituidas las que realizan la actividad de recolección ya sea en locales o empresas determinadas o por las calles y vertederos urbanos.

Considerando esta situación sabemos existen 247 empresas autorizadas por DIGESA para la gestión de residuos sólidos a lo largo de todo el país y 179 en la Ciudad de Lima. Pero del mismo modo se desconoce la cantidad de sociedades no constituidas, familias o individuos que participan en el nivel no regulado del sistema. Del mismo modo es importante recalcar que este nivel corresponde un porcentaje importante de los residuos gestionados, pero se desconoce qué porcentaje del total significa.

Cabe mencionar que el nivel no regulado de la actividad es proveedora de la parte regulada a través de centros de acopio de residuos.

#### 4. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO FIN DE CARRERA

##### 4.1. ESTRUCTURA DE DESCOMPOSICIÓN DEL PROYECTO

En el siguiente cuadro se muestra la descomposición del proyecto de sin de carrera en sus diferentes módulos.

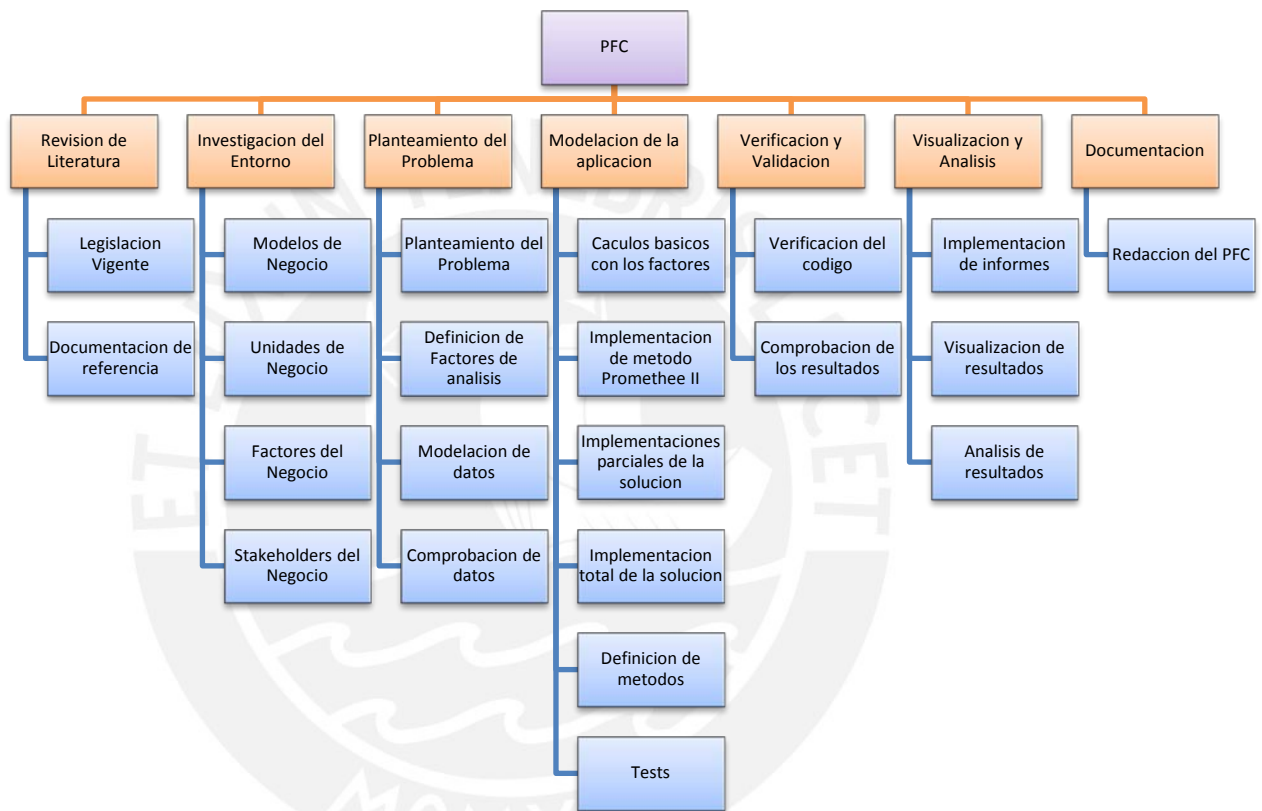


Tabla 1: Esquema de división modular del Proyecto Fin de Carrera  
Fuente: Elaboración Propia



## 4.2. DIAGRAMA DE GANT

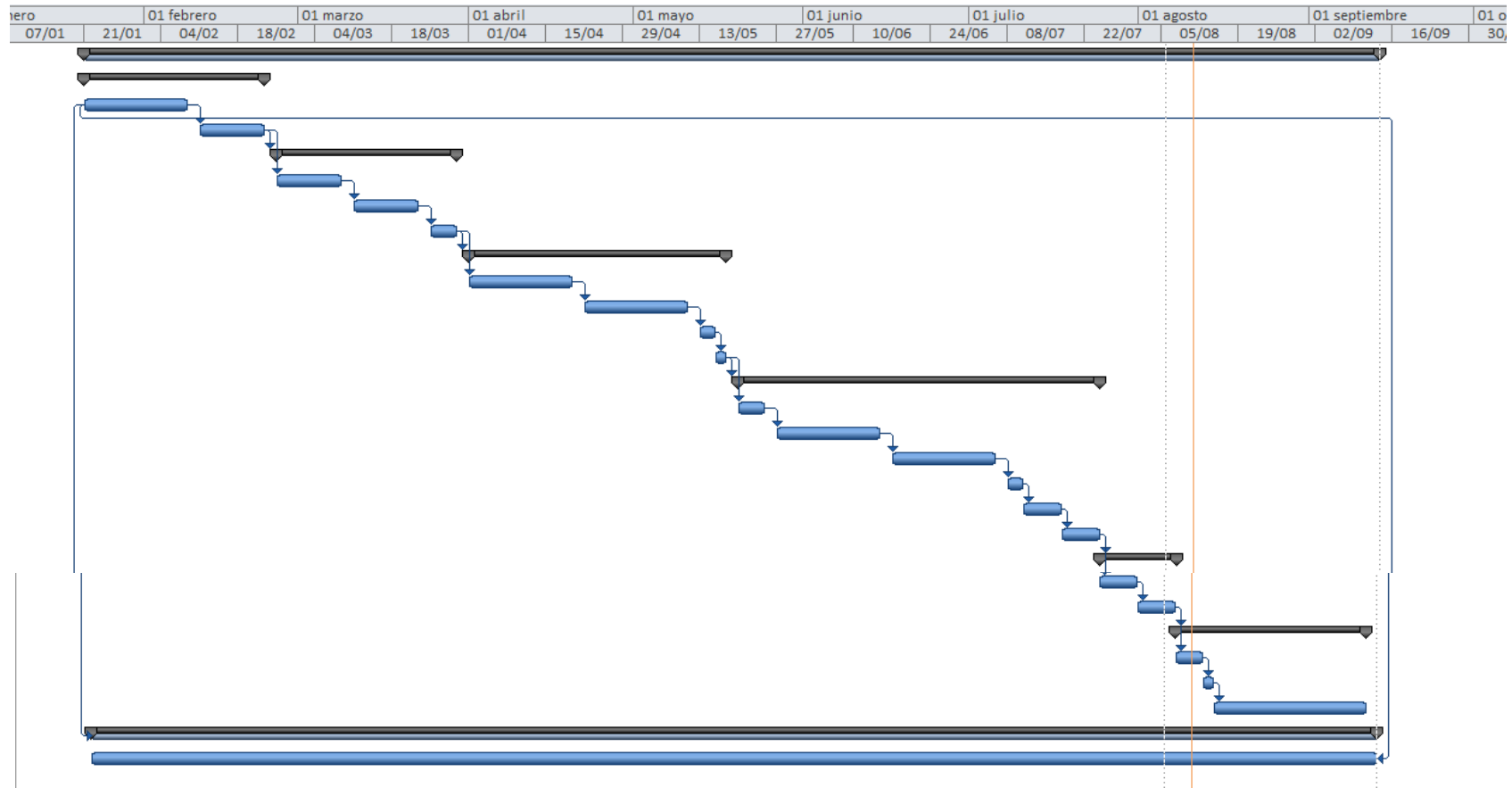


Diagrama 1: Plan de Trabajo PFC  
Fuente: Elaboración Propia

## 5. ANALISIS ACTUAL

### 5.1. PROCESO DE RECOGIDA, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS PLASTICOS

Antes de abundar en detalles sobre los detalles del desarrollo de la actividad en la Ciudad de Lima Metropolitana, se explicara rápidamente como se desarrolla la recogida de residuos de vidrio por la SIG correspondiente a esta actividad en España.

Según la publicación: "Los sistemas de distribución inversa para la recuperación de residuos: su desarrollo en España" de los autores Antonio Chamorro Mera y Sergio Rubio Lacoba, se describe que el sistema de recogida de residuos de vidrio se realiza de la siguiente manera:

Los residuos de vidrio se depositan por los propios consumidores en contenedores ubicados cerca a los domicilios, los cuales están especialmente acondicionados distribuidos alrededor de un área geográfica determinada para facilitar dicha tarea.

Posteriormente son recogidos por medio de una empresa privada que presta el servicio de recogida o por una empresa estatal a la que se le compensan los gastos adicionales generados por las actividades extras que se podrían realizar; una vez recogidos todos los contenedores de la ruta determinada del vehículo estos trasladan los residuos hacia centros de tratamiento locales, los que están autorizados para la manipulación y trata de la denominación de residuos a tratar.

Finalmente los residuos seleccionados y pre-tratados son destinados o transportados a un centro nacional o regional para su correspondiente tratamiento de recuperación, reciclaje o revaloración.

El proceso que se sigue en la ciudad de Lima Metropolitana por la mayor parte de la industria de trata, reciclaje y recuperación de residuos sólidos es muy parecido a lo que sería una red logística de distribución tradicional; es decir, que los "productos" viajen desde su origen en una planta de producción a un distribuidor a gran escala, para luego llegar a un distribuidor específico y finalmente al consumidor final. Esto se explica mejor en el grafico que se presenta a continuación.

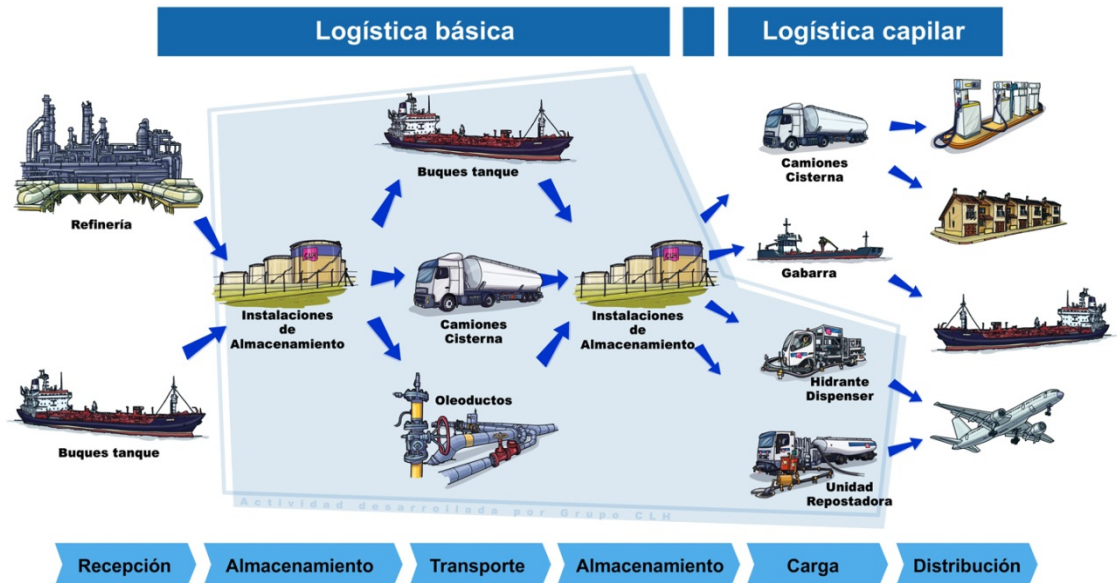


Figura 17: Esquema de Distribución de Productos

Fuente: Edición la web de los profesionales del mundo editorial, 05/2013

Link: <http://www.ediciona.com/logistica-dirpi-52785.htm>

La recogida de los residuos sólidos y su selección y separación siguen un sistema análogo pero de manera inversa, similar al sistema que sigue la SIG de residuos de vidrios expuesta anteriormente, donde el nivel no regulado de la actividad se encarga de la recogida de los residuos urbanos y domésticos que se pueden encontrar cerca a domicilios o vertederos municipales y en algunos casos de empresas de diversos rubros, esta última es generalmente realizada por sociedades no constituidas.

El siguiente paso en el sistema de recogida es la comercialización de estos residuos clasificados, según el criterio antes establecido, a un centro de acopio autorizado y regulado por DIGESA. Estos centros se encargan de la aglomeración y compactación de cargas de gran tonelaje en sus almacenes para luego ser comercializados a empresas dedicadas a la recuperación o reciclaje de dichos residuos.

La comercialización por parte del centro de acopio es específica mientras que el acopio de los residuos es general, solo se exige que estén clasificados y seleccionados.

Los precios de mercado de las materias mas comercializadas según el “Informe Anual de Residuos Sólidos y Municipales en el Perú, Gestión 2008”

Descripción		Antes de la crisis (Nov. 2008)			Durante la crisis (Dic. 2008 – Jun. 2009)			Saliendo de la crisis (desde Jul. 2009)		
		PROV. (\$/ x Kg)	LIMA (\$/ x Kg)	EXPORTA (\$/ x Kg)	PROV. (\$/ x Kg)	LIMA (\$/ x Kg)	EXPORTA (\$/ x Kg)	PROV. (\$/ x Kg)	LIMA (\$/ x Kg)	EXPORTA (\$/ x Kg)
Papeles y cartones		0.2 - 1.2	0.35 - 1.7	0.12 - 42.2	0.05 - 0.4	0.25 - 0.7	0.18 - 1.5	0.03 - 0.5	0.13 - 0.87	0.3 - 96.14
Plásticos		0.8 - 2.5	1.2 - 3.5	1.3 - 184.8	0.1 - 0.6	0.3 - 0.8	0.6 - 68.9	0.3 - 1.0	0.6 - 2.7	0.3 - 96.15
Chatarra		0. - 1.1	0.3 - 1.1	0.1 - 11.7	0.1 - 0.5	0.15 - 0.7	0.6 - 3.8	0.1 - 0.8	0.3 - 1.0	0.3 - 42.4
Metales	Al	5.5 - 7.5	8.5 - 12.5	4.5 - 8.6	1.0 - 1.5	2.0 - 3.5	2.5 - 3.9	2.5 - 3.0	3.0 - 4.0	2.7 - 5.3
	Cu	8.0 - 15.0	14.5 - 21.0	1.4 - 24.4	3.0 - 5.0	4.5 - 7.5	5.5 - 13.7	5.0 - 10.0	7.0 - 12.0	8.0 - 16.7
Vidrio		0.3 - 1.3	0.3 - 1.3	0.2	0.5 - 1.0 *	1.0 - 1.2 *	0.3 - 1.3	1.2 - 1.5 *	2 - 2.2 *	0.3 - 1.3

Tabla 3: Evolución de Precios de Residuos Sólidos desde 2008 a 2010  
Fuente: Informe Anual de Residuos Sólidos Municipales en el Perú 2008, Ministerio del Ambiente. Dr. Antonio Brack Egg – Ministro del Medio Ambiente

Para tener una mayor comprensión de como se realiza la recogida de residuos sólidos en la actualidad pasamos a describir a los participantes y a definir un análogo con el sistema que describe la SIG de residuos de vidrios comentada anteriormente. En palabras del autor del proyecto, cada uno de sus actores:

**Recolector:** Individuo o grupo de individuos que sin autorización ni control alguno ejercen la recogida de residuos domesticos en vehículos no preparados como pueden ser “triciclos”, “carretillas”, “moto taxis”, etc. para su posterior selección o ya seleccionados, desasiéndose de los residuos sólidos no beneficiosos de manera no regulada, siendo estos vertidos en ríos o en descampados.

El recolector cumple la función del contenedor y a su vez del vehículo de recogida de los mismos para su transporte al centro de acopio local, puesto que recoge y selecciona los residuos que le puedan parecer más comercializables como residuos de reciclaje y los transporta hacia el centro de acopio local mas cercano.

**Sociedades no constituidas:** Son empresas que funcionan por medio de un RUC personal y no de empresa, o si lo es de empresa está registrada para otra actividad que también se realiza. Estas sociedades suelen prestar servicios de residuos sólidos a empresas y oficinas.

Del mismo modo las sociedad no constituidas cumplen la función del contenedor y a su vez del vehiculo de recogida de los mismos para su transporte al centro de acopio.

**Centros de acopio y distribución:** Son empresas que están reguladas y registradas por las entidades competentes, estas empresas compran materiales a los recolectores y en algunos casos a las sociedades no constituidas, al por menor (léase

bajo pesaje neto), para posteriormente comercializar las materias a empresas de reciclaje y recuperación, al por mayor (léase alto tonelaje).





Estos centros de acopio cumplen la función de los centros de tratamiento locales autorizados puesto que acondicionan los residuos para poder ser transportados en grandes cantidades hacia centros de reciclaje especializados.





*Empresas de reciclaje y recuperación:* Son empresas que están reguladas y registradas por las entidades competentes, estas empresas se proveen o compran materiales de los centros de acopio y distribución para posteriormente reciclarlos y comercializarlos, ya sea como insumo para producción o como producto terminado.

Estas empresas de reciclaje y recuperación cumplen la función de los centros regionales o nacionales de reciclaje y revaloración del sistema SIG antes mencionado.

## 5.2. PROCESO DE RECICLAJE O RECUPERACION DE RESIDUOS PLASTICOS

### 5.2.1. CLASIFICACION DE LOS PLÁSTICOS

Símbolo	Tipo de Plástico	Propiedades	Usos Comunes
 PET	PET: PolietilenTereftalato (Polyethylene Terephthalate)	Contacto alimentarios, resistencia física, propiedades térmicas, propiedades barrera ligereza y resistencia química	Bebidas, refrescos y agua, envases para alimentos.
 HDPE	HDPE: Polietileno de alta densidad (High Density Polyethylene)	Poco flexible, resistente a químicos, opacos, fácil de pigmentar, frabricar y manejar.( Se suaviza a las 75°C)	Algunas Bolsas de supermercado, bolsas para congelar, envases para leche, helados, jugos, shampoo, químicos y detergentes, cubetas, tapas, etc.
 PVC	PVC: Policlururo de vinilo (Plasticised Polyvinyl chloride PCV-P)	Es duro, resistente, puede ser utilizado con solventes, se suaviza a los 80°C. Flexible, claro, elástico.	Envases para plomería tuberías, "blosker packs", envases en general, mangueras suelas para zapatos, cables, correas para reloj.
 LDPE	LDPE: Polietileno de baja densidad (Low Density Polyethylene)	Suave, flexible, translucido, se suaviza a 70°C, se raya fácilmente.	Película para empaque, bolsas de basura, envases de laboratorio.

 PP	PP: Polipropileno (Polypropylene)	Difícil de flexar pero aun flexible, se suaviza a los 140°C, translucido, soporta solventes, versátil	Bolsas para frituras, popotes, equipo para jardinería, cajas para alimentos, cintas de empacar, envases para uno veterinario y farmacéutico.
 PS	PS: Poliestireno (Polystyrene)	Claro, rígido, opaco se rompe con facilidad, se suaviza a los 95°C. Afectado por grasas y solventes	Cajas de discos compactos cubiertas de plástico, imitaciones de cristal, juguetes, envases cosméticos
 PS-E	PS-E: Poliestireno Expandido (Expanded Polystyrene)	Esponjoso, ligero, absorbe energía, mantiene temperaturas.	Tazas para bebida calientes, charolas de comida para llevar, envases de hielo seco, empaques para proteger mercancía frágil.
 OTHER	OTHER: Otros (SAN, ABS, PC, Nylon)	Incluye varias resinas y materiales. Sus propiedades dependen de las combinación de plásticos	Auto partes, hieleras, electrónicos, piezas para empaques.

*Tabla 4: Clasificación Internacional de Plásticos*  
Fuente: Organización de la Industria del Plástico, 05/2013  
Link: <http://www.plasticsindustry.org>

En la tabla 4 se muestra la clasificación de plásticos, según la Organización de la Industria del Plástico. Dicha clasificación nació debido a la importancia que supuso el reciclaje de las botellas de PET, las que suponen 4 barriles de crudo por cada tonelada.

Con el fin de simplificar esta actividad en 1988 los fabricantes de plásticos preguntaron al SIP por la creación de un sistema de numeración de la resina, la cual debido en el actual sistema de clasificación que se muestra en la tabla 1.

Es importante mencionar que las resinas del 1 al 6 son las de mayor uso en la industria, por otro lado en Estados Unidos el sistema de recuperación de residuos se centra en la recogida de las resinas 1 y 2, debido a que representan el 98% del total de plásticos consumidos en ese país.

### 5.2.2. PROCESO DE RECICLAJE DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD - LDPE

Antes de la descripción del proceso de reciclaje del polietileno de baja densidad, describiremos rápidamente el ciclo de vida de los plásticos en general

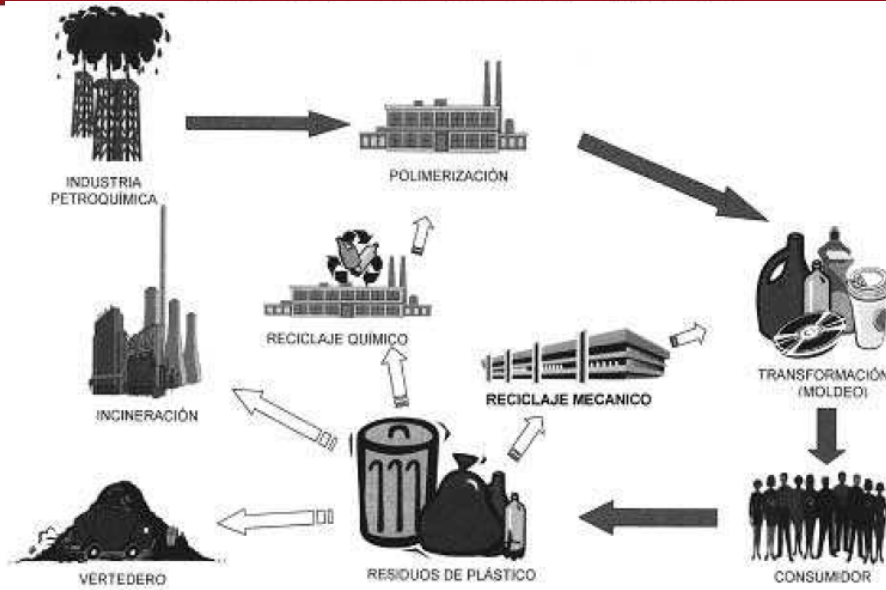


Figura 18: Ciclo Industrial del Plástico

Fuente: [http://www.yolimpio.com/recicla/pdf/4\\_Reciclaje\\_del\\_Plastico\\_2.pdf](http://www.yolimpio.com/recicla/pdf/4_Reciclaje_del_Plastico_2.pdf)

Como bien se sabe las diversas variedades de plásticos son todos subproductos del petróleo, el que es un bien no renovable. Para poder transformar el petróleo en un polímero hace falta someterlo a un proceso de polimerización el que cual consiste en una transformación tanto física como química; es decir las moléculas que constituyen la estructura del petróleo se alteran dando paso a nuevas estructuras. Dichos productos son la materia prima para la formación de los productos de consumo, los cuales se fabrican por métodos de moldeo, ya sean de extrusión, inyección, soplado, inyecta-soplado, etc

Una vez concluida la fase de fabricación, los productos son puestos en el mercado para el posterior consumo y desecho de los bienes.

Una vez desechados los bienes en desuso, se podría concluir el ciclo de vida del bien o se podría recuperar o reciclar por 3 métodos diferentes.

El primero es el reciclaje mecánico, el cual consiste en la selección, limpieza y reprocesamiento de los polímeros en sistemas de moldeo por inyección, soplado o extrusión. Por este método los polímeros pierden propiedades.

El segundo es el reciclaje químico, el cual consiste en la descomposición de los componentes del polímero para recuperar sus materias esenciales y poder reutilizarlas para la formación de polímeros con propiedades iguales a las de polímeros puros. Los procesos más utilizados para este tipo de reciclaje son:

- Pirolisis
- Gasificación
- Metanolisis
- Glucolisis

Finalmente el tercero es el reciclaje por incineración, el cual tiene como fin la recuperación energética del polímero por medio de su uso como combustible en procesos de generación de energía como por ejemplo en turbinas de vapor.

La clase de reciclado más utilizada la el reciclaje del polietileno de baja densidad es la recuperación mecánica, la que se puede dividir en 4 etapas:

La primera etapa es la selección del polietileno de baja densidad según sus propiedades; es decir, se selecciona y separa por colores, espesores, limpieza, etc.

La segunda etapa es el triturado y lavado del polietileno para retirarle las impurezas que se le puedan a ver añadido



Figura 19: Molino

Fuente: [http://fotos.infoinfo.com.mx/molinos\\_gumar\\_pet\\_polietileno\\_plastico/2993484\\_261497](http://fotos.infoinfo.com.mx/molinos_gumar_pet_polietileno_plastico/2993484_261497)

La tercera etapa es la fabricación de pellets del material recuperado del polietileno, esta es la materia primera recuperada la cual será utilizada para la fabricación de producción de diversos productos por diversos métodos; es importante mencionar que para cada método de producción se utilizada un proceso de fabricación de pellets diferente y la constitución del polímero a también variara.



Figura 20: Peletizadora

Fuente: <http://www.cosmos.com.mx/ultra/95427/recicladores.gif>



Finalmente la cuarta y última etapa es el fabricación de productos de consumo como bolsas, laminas, etc.



Figura 21: Extrusora vertical

Fuente: <http://es.cbaden.net/upfile/proimages/201161918155646220.jpg>

### 5.3. PRODUCTOS ELABORADOS POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD RECUPERADO

Se puede fabricar toda la diversidad de productos que se podría fabricar utilizando resina de primera siempre que no se fabriquen productos de almacenamiento de alimentos que implique que el producto entre en contacto con el alimento.

Entre los productos que se fabrican con la resina recuperada se tiene:

- Productos de embalaje
- Plásticos termo contraíbles
- Bolsas
- Etc.

## 5.4. PROBLEMAS DERIVADOS A LA ALTA PRODUCCION DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD – LDPE

### 5.4.1. MERCADO SECUNDARIO DE RESIDUOS PLÁSTICOS

Como ya se menciona en el punto 4.2 existe un nivel no regulado del mercado en torno a los residuos sólidos en general, que dificulta el control y colaboración tanto del estado como de empresas privadas para la incentivar el crecimiento de la actividad o para conocer el estado actual de la misma.

La existencia de este mercado secundario no solo representa un riesgo para la actividad en su conjunto, sino que su repercusión más importante se da en las personas que realizan esta actividad en el nivel no regulado de la actividad, debido a que el valor de su trabajo es disminuido considerablemente y están sujetos a la explotación de terceros por medio de bajos precios de comercialización y largas horas de trabajo que se invierte en la recolección y selección de los residuos.

Por otro lado al estar fuera del nivel regulado, estos individuos no están sujetos a ninguna clase de seguro de trabajo o derecho laboral, ya que no trabajan ni como autónomo ni como trabajador por cuenta ajena. Lo que los deja vulnerable a ellos y a sus familias.

En los casos más extremos en las asentamientos de recolectores en las periferias de los vertederos de la ciudad de lima, estos además de verse en la situación antes mencionada. Se encuentran en un riesgo mucho mayor debido a que sus viviendas colindan con los vertederos lo que maximiza la probabilidad de contraer inyecciones de toda índole. Además de otros factores de riesgo que escapan del análisis de este proyecto.

### 5.4.2. PROBLEMÁTICA DE LOS VERTEDEROS URBANOS

Como se sabe la eliminación de los residuos plásticos de manera natural es muy prolongada, aproximadamente una bolsa de plástico empieza a descomponerse a los 100 años de ser desechada.

Teniendo ello de base y conociendo que en la ciudad de lima en el año 2012 se produjo 2 503 583 t de residuos sólidos y que el 4.35% del total corresponde a plásticos PET y el 6.62% a plásticos blandos. Es decir, 274 643 t que se podrían no destinar a un vertedero de ser recicladas o recuperadas para otros fines.

A todo esto agregarle la ineficiente gestión que se tiene de los vertederos de la ciudad de lima y el colapso de los que hoy por hoy se tiene en los vertederos de Haycorolo, Portillo Grande, Ancón, Modelo del Callao y el Zapallal

Como referencia al problema actual de los vertederos de lima revisar la noticia del diario Peru21, de la fecha 28/10/2010 con el encabezado “El Perú solo tiene 9 rellenos sanitarios”. Link: <http://peru21.pe/noticia/675977/peru-solo-tiene-rellenos-sanitarios>

## 5.5. CASO DE ESTUDIO: Reciclados y Procesos Plásticos

### 5.5.1. DESCRIPCION DE LA EMPRESA

La empresa que se estudiará en este proyecto de fin de carrera es Reciclados y Procesos Plásticos. Esta es una empresa familiar con 20 años de existencia que se dedica a la recuperación de residuos sólidos en la denominación de plásticos (LDPE: Polietileno de Baja Densidad). La resina recuperada se utiliza en la elaboración de productos de empaque y embalaje que son destinados a empresas de comercialización, jugueteras, enseres plásticos, etc.

La empresa Reciclados y Procesos Plásticos E.I.R.L fue fundada por los señores Walter Muñoz Sarapura y Gloria Amparo Campos Ángeles en el año 1995 y comenzó su actividad en un área de 100m<sup>2</sup> en una vivienda en un distrito popular limeño. Inicialmente, se dedicaban a la comercialización de bolsas de polietileno destinadas al sector textil. Luego, con la primera inversión en maquinaria, su mercado se diversificó y pasaron a abastecer al rubro de productos inyectados de plástico y juguetero.

Actualmente es una empresa constituida con una gran trayectoria en el mercado. En los últimos 5 años y aun en la actualidad, la empresa Reciclados y Procesos Plásticos ha pasado por una etapa de adaptación tecnológica y mejora de procesos. Ello se ha reflejado en una disminución de los costos y aun aumento en la capacidad de producción, así como en la calidad. Esto implica que ha logrado un mejor posicionamiento en su rubro, además de la confianza de los directivos para posibles futuras implementaciones.

La empresa Reciclados y Procesos Plásticos se dedica a la producción de artículos de embalaje y empaquetado en las siguientes presentaciones en una gran variedad de calidades y dimensiones:

- Bolsas
- Láminas
- Mantas
- Bobinas

Se resalta que las calidades que se maneja en esta empresa dependen de los tratamientos y mezclas que se realizan en los procesos de recuperación de la resina.

Organigrama de la Empresa

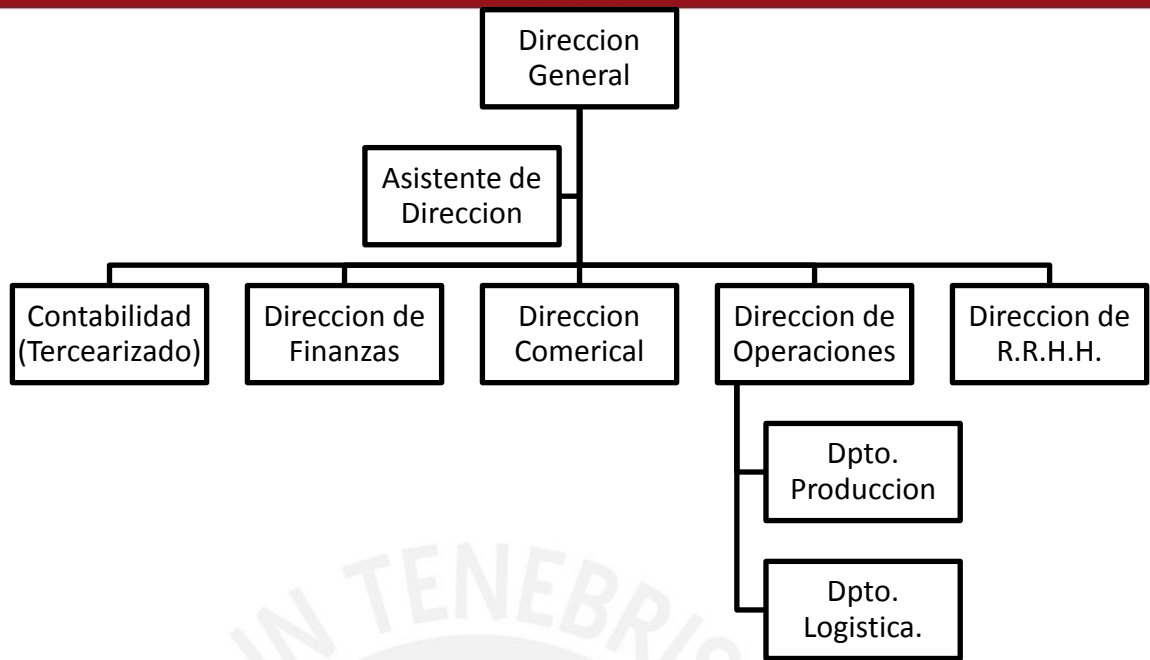


Figura 22: Organigrama de la Empresa Reciclados y Procesos Plásticos  
Fuente: Elaboración propia- Base de Datos de Reciclados y Procesos Plásticos

- La Dirección General conformada de 2 miembros
- La Asistencia de Dirección conformada por 3 miembros
- Cada Dirección interna es conformada por un 1 miembro, excepto Operaciones que lo conforma 3 personas y Logística conformada por 2 personas
- El Departamento de Producción conformada por 1 personas
- El departamento de Logística conformada por 1 personas

Actualmente la empresa Reciclados y Procesos Plásticos realiza su actividad comercial en un emplazamiento de 200m<sup>2</sup> en el distrito de Comas, dispone de 25 trabajadores y realiza una facturación anual de 250 UIT.

#### 5.5.2. SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA

Actualmente la empresa Reciclados y Procesos Plásticos continúa con una importante inversión en infraestructura, así como en maquinaria y tecnología. Ello se debe a que su crecimiento continúa siendo importante en los últimos 3 años, en el gráfico siguiente se muestra la evolución de la demanda para los años 2010, 2011, 2012 y la proyección del 2013.

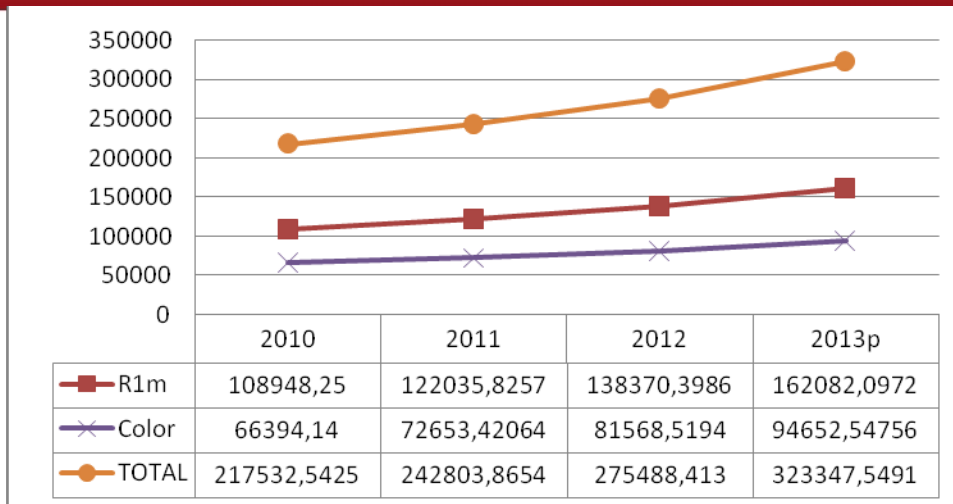


Figura 23: Evolución de la Demanda del 2010-2013

Fuente: Elaboración propia - Base de Datos de Reciclados y Procesos Plásticos

En el gráfico anterior se muestra la evolución de la demanda total de la empresa durante los últimos 4 años. Como se observa el incremento de la demanda es a un ritmo constante, aproximadamente del 10% anual. Del mismo modo los volúmenes gestionados por la empresa son de 275 t anuales de productos terminados en el año 2012 y se prevé que sea de 323 ton para el presente año.

Del mismo modo se observa que entre los 2 productos mostrados en el anterior gráfico se cubre aproximadamente el 80% de la demanda total; es decir el 40% de los productos representa el 80% de las ventas.

Por otro lado esto resulta relevante para los fines del proyecto, debido a que el origen de las resinas necesarias para producir ambos productos proviene de empresas de comercialización de diversos productos (productos de embalaje)

Además, las resinas necesarias de productos de embalaje para la producción de dichos productos es del 100% en el caso del R1m y del 50% en el caso de Color, aproximadamente. Esto puede variar ligeramente en función a la aplicación que se le dé al producto final.

A continuación se muestra el gráfico del incremento anual de la demanda de la demanda total, “Color” y “R1m” desde el año 2010 al 2013.

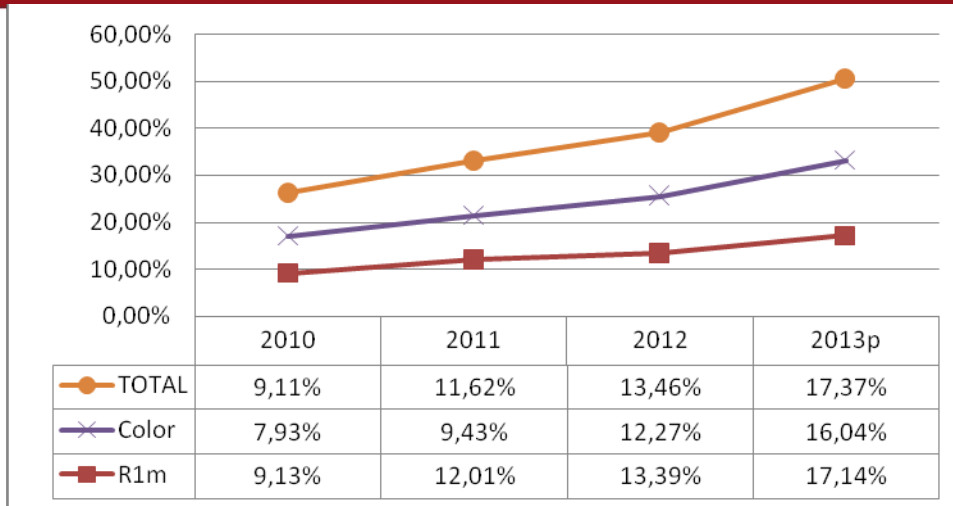


Figura 24: Incremento Anual de Demanda del 2010 -2013

Fuente: Elaboración propia - Base de Datos de Reciclados y Procesos Plásticos

Como se observa en el grafico anterior el incremento anual de las demandas es aproximadamente la misma año tras año, lo que corrobora la estrecha relación de ambos productos con la demanda total de la empresa.

Se resalta que el crecimiento total esperado para fines del año 2013 midiéndolo desde el año 2010 es de aproximadamente el 50%, dato que se repite en los productos “Color” y “R1m”.

Es importante mencionar que el resto de productos: “Moneda”, “R1p” y “Virgen” tienen un incremento mayor a lo largo de los últimos años, debido a la diversificación y la poca participación que tenían en la demanda total.

Además, las resinas necesarias de productos de embalaje para la producción de dichos productos es del 50% en el caso de “Moneda” y “R1p”. El producto “Virgen” no utiliza resina recuperada o reciclada.

### 5.5.3. ABASTECIMIENTO ACTUAL DE SUMINISTROS

Actualmente la empresa se abastece de resinas por 2 métodos. El primer es por medio de la prestación de servicios de recogida de residuos sólidos a las empresas PROGESUR PERU S.A y HERMES S.A. y la segunda es por medio de la compra de resinas clasificadas a empresas de acopio o que presten servicio de recogida de residuos sólidos a otras empresas del sector de distribución y comercialización de productos y enseres.

En el primer caso de la empresa PROGESUR PERU S.A. el servicio se presta de lunes a sábado antes del inicio del primer turno de trabajo en la empresa. De la prestación del servicio de recoge aproximadamente entre 400 y 600 kg de resina

plástica de LDPE recuperable. El resto de materiales no aprovechable para la empresa es comercializado en un centro de acopio y depositado en un relleno sanitario.

En el caso de la empresa HERMES S.A. el servicio se presta esporádicamente y se consiguen rendimientos aproximados a los obtenidos en PROSEGUR PERU S.A.

En el caso de la compra de resinas a terceras empresas, se realizan compras todos los días Martes y Jueves de aproximadamente 1,5 a 2 t de resina recuperable de origen de productos de embalaje de empresas comercializadoras.

Cabe mencionar que la prestación de los servicios de recogida de residuos sólidos se realizan por medio de las unidades que dispone la empresa: 1 camioneta de 2,5 t y 1 camión de 5 t de carga

Durante en el análisis numérico de las soluciones y las opciones de solución se podrá apreciar de mejor manera para recolectar en la mayor cantidad de posibles puntos de recogida considerando que se recoge una vez a la semana para obtener rendimientos similares a los obtenidos en PROSEGUR SA

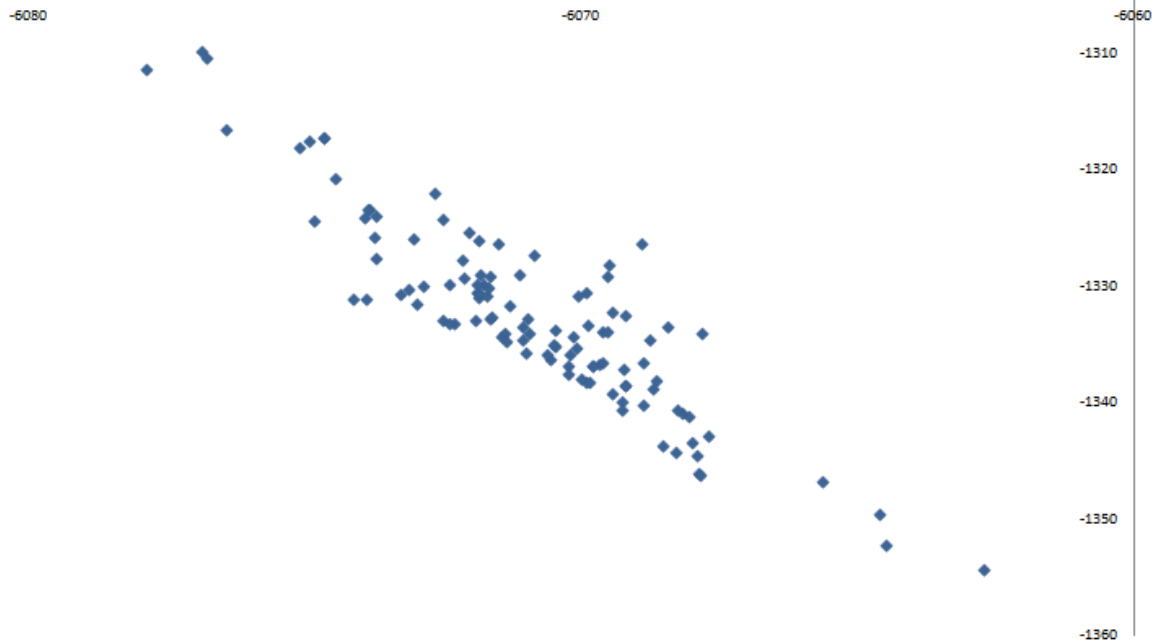
## 5.6. DISTRIBUCION DE EMPRESAS COMERCIALIZADORAS POR DISTRITO

Como se estableció en la introducción a este proyecto fin de carrera el estudio para el diseño se desarrollara entorno a las empresas comercializadora y distribuidoras de enseres, como son: Supermercados y empresas de seguridad y transporte de valores. Dentro del área de la Ciudad de Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao.

Entre los supermercados nos centraremos en las cadenas de “Metro” de capitales peruanos y chilenos, “Plaza Vea” de capitales chilenos, “Tottus” de capitales chilenos y “Vivanda” de capitales peruanos. Estas cadenas de supermercados están orientados en su mayorías a todos los estratos sociales diferenciado sus servicios o características por la ubicación de cada tienda a excepción de la cadena “Vivanda”, la que se orienta al sector con mayor poder adquisitivo por lo que posee considerablemente menos locales que las otras cadenas.

Entre las empresas de seguridad y transporte de valores nos centraremos en las empresas PORSEGUR PERU S.A y HERMES S.A.

En el grafico siguiente se muestra la distribución geográfica de las instalaciones comerciales de cada empresa, diferenciado cada una de la siguiente manera:



*Figura 9: Localización Geográfica de las Instalaciones Comerciales*  
*Fuente: Elaboración propia con coordenadas de Google Maps*

## 6. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

En este proyecto se desarrollará una solución para la determinación y selección de los puntos de recogida y qué configuración presentará la ruta o rutas de las unidades disponibles según las restricciones de jornada laboral, turnos de trabajo, capacidad de unidades y número de unidades recogidas. En otras palabras, dado un número determinado de posibles puntos de recogida de residuos se desea determinar a cuáles y en qué orden se les recogerá los residuos según las restricciones antes mencionadas. Se desea obtener las rutas con los desplazamientos más satisfactorios, así como el tiempo; además de maximizar la cantidad de recogida de residuos.

La determinación de la mejor alternativa se realizará considerando únicamente los factores que intervienen directamente en la solución logística mas no considerando toda la estructura de negocio, ello se evaluará mas adelante con ayuda del estudio económico.

El estudio económico se compondrá de cálculo del Valor Neto Actual (VAN) y la Tasa de Interés de Retorno (TIR) para la ejecución del proyecto a 10 años vista, dado que en ese tiempo se terminan de devaluar todas las adquisiciones. Por otro lado en los anexos se podrá encontrar más información sobre la estructura de los gastos, la inversión necesario, el estudio de mercado, etc.

A continuación se listan los factores a considerar para el problema:

- Cantidad de residuos sólidos a gestionarse por punto de recogida
- Distancia de recorrido hasta el siguiente punto de recogida



- Tiempo de recorrido hasta el siguiente punto de recogida
- Tiempo de recogida en el siguiente punto de recogida
- Dificultad de desplazamiento (Tráfico o congestión vehicular entre puntos de recogida)

Como ya se expuso en el punto 5.3.3. Existen empresas que prestan servicios aislados de recogida de residuos sólidos. Lo que se pretende es dar una solución económicamente viable y replicable según definidas condiciones definidas, estas condiciones en términos del análisis de traducen en restricciones como son las siguientes:

- Número de unidades disponibles
- Capacidad de unidades
- Horario de trabajo
- Numero de turnos

Como resultado de este análisis y modelación se tendrá una solución para toda la ciudad de lima considerando diferentes condiciones según como varien las restricciones, para los fines de este proyecto se variara el numero de unidades y la capacidad de las mismas y se considerara dos turnos de trabajo de 8 horas cada uno. El primer turno de trabajo desde las 6:00 hasta las 14:00 y el segundo desde las 14:00 hasta las 22:00. Y los operarios tendrán un salario correspondiente a 1500 unidades monetarias en el caso del conductor y 1000 en el caso de acompañante.

Además de la solución para la prestación del servicio en la ciudad de lima, se realizara una solución de un caso práctico para la empresa expuesta en el punto 5.6., La empresa “Reciclados y Procesos Plásticos”, según sus propias condiciones de servicio.

## 7. METODOLOGIA

Una vez definido el problema y contextualizado, se puede empezar a pensar una propuesta para mejorar la situación actual. Para poder llevar a cabo esto es importante que se determine como se analizara el problema y de que herramientas nos valdremos para definir la propuesta de mejora.

Al tener 4 factores de comparación para todos las locaciones posibles a dar servicio en la ciudad de Lima, se puede concluir que nos encontramos ante un problema de “Desición Multicriterio”. Ya que cada locación es una variable a la que se le puede prestar servicio o no según diversas circunstancias .

Los principales criterios son los siguientes:

- Cantidad de residuos sólidos generados por punto de recogida

- Distancia de recorrido hasta el siguiente punto de recogida
- Tiempo de recogida (tiempo de servicio + tiempo de desplazamiento)
- Dificultad de desplazamiento (tráfico o congestión vehicular)

Métodos de análisis y decisión de problemas multi-criterio

- Método de sumas ponderadas
- Método AHP
- Método Electre
- Método Promete I y II

De los métodos antes listados se utilizara el método promete II debido a que es el que mejor se adapta a las necesidades y su utilización reiterada

A partir de este método y con ayuda de algoritmos de bucle repetición y discriminación de alternativas se desarrollara una solución para enfrentar los problemas antes descritos.

Finalmente se contrastaran los resultados del método diseñado en base al planteamiento como problema de decisión multi-criterio en todas sus posibles variantes.

### 7.1. MÉTODO PROMETHEE

La metodología Promethee por sus siglas en ingles: "Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations", se traduce como: "Método para el enriquecimiento de la evaluación de organización de preferencias en un ranking"

El método promethee como su nombre lo indica realiza una ordenación de las alternativas presentadas a un problema en función de los criterios para su selección. La ordenación de puede realizar de dos formas, la primera por le método promethee I que considera los flujos entrantes y salientes, la segunda por el método promethee II que considera los flujos netos; mas delante se entrara en detalle.

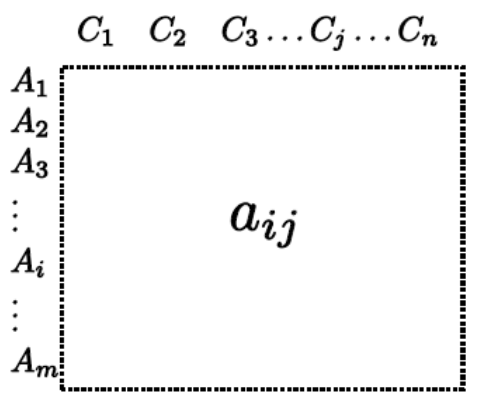


Figura 26: Tabla de Valoración de Alternativas según Criterios  
Fuente: Elaboración Propia

Donde:

- $A_1, A_2, \dots, A_m$ : Alternativas  $\rightarrow$  m: #Alternativas
- $C_1, C_2, \dots, C_n$ : Criterios  $\rightarrow$  n: #Criterios
- $a_{ij}$ : Valoración de la alternativa i en función del criterio j
- $w_k$ : Peso de los criterios  $\rightarrow$  k = (1,2,..., n)

El método promethee al igual que el método electre se basa en la comparación 2 a 2 de las alternativas en función de cada criterio, estas son evaluadas por la variable  $S_{ijk}$ . Es importante mencionar que la valoración es unidireccional y que la relación de  $S_{ijk}$  y  $S_{jik}$  están directamente relacionadas.

$$S \geq 0 \rightarrow S_{jik} = 0 \text{ y viceversa; } S_{ijk} \in \{0,1\} \quad \text{Ecuación 1}$$

La variable  $S_{ijk}$  representa el grado de preferencia que tiene la alternativa i a la j en función al criterio k. A mayor valor de la variable, mayor el nivel de preferencia de la alternativa i a la j. Según la diferencia de establece la siguiente clasificación.

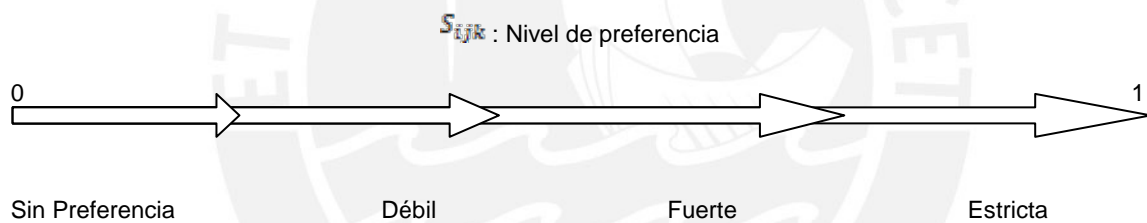


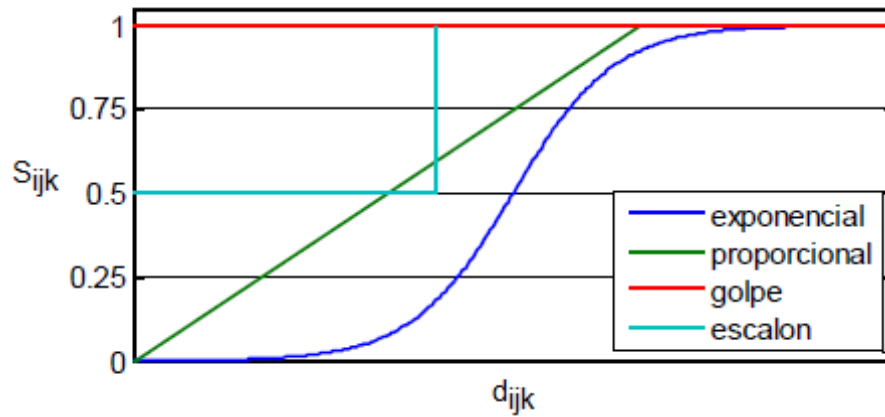
Figura 27:  $S_{ijk}$  Nivel de Preferencia entre Alternativas  
Fuente: Elaboración Propia

Cabe mencionar que en ningún caso una alternativa i será mejor a una j en función al criterio k si:

$$(d_{ij})_k = a_{ik} - a_{jk} \leq 0; \left\{ \begin{array}{l} a: \text{valoración de la alternativa} \\ d: \text{diferencia entre las alternativas} \end{array} \right\} \quad \text{Ecuación 2}$$

Para preferir la alternativa i frente a j en función de un criterio k es necesario que  $(d_{ij})_k > 0$ . Si esto se cumple se puede dar paso a la valoración de  $S_{ijk}$  para el criterio k. Si  $(d_{ij})_k = 0$  no se proporciona ninguna valoración a la variable  $S_{ijk} = 0$ .

Si:  $(d_{ij})_k \geq 0$ ; entonces la variable  $S_{ijk}$  se valora en función de la variable  $(d_{ij})_k$  según los siguientes criterios posibles:



Fuente: Análisis del sistema de logística inversa de los teléfonos móviles, en la comunidad de Madrid. Desarrollo de una aplicación software para la automatización de la localización de los puntos de recogida. Dolores Zurdo, 2012

Del mismo modo se pueden definir pseudocriterios para mejorar la sensibilidad de los criterios antes mencionados, esto se realiza con la determinación de intervalos de sensibilidad ya sea con un solo criterio o utilizando varios en un misma ecuación de valoración de la variable  $S_{ijk}$  en función de la variable  $(d_{ij})_k$ .

Por ejemplo si se definieran 3 intervalos para un criterio escalonado de valoración de determinarían los siguientes pseudocriterios:

$$S_{ijk} = \begin{cases} 0; \text{si } (d_{ij})_k < q \\ 0,5; \text{si } q \leq (d_{ij})_k < p \\ 1; \text{si } p \leq (d_{ij})_k \end{cases} \quad \text{Ecuación 3}$$

Finalmente la preferencia total de una alternativa i frente a j se determina de la siguiente manera:

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^n S_{ijk} * w_k; \text{ entonces si } \begin{cases} X_{ij} = 1; i \text{ es estrictamente preferente a } j \\ X_{ij} = 0; i \text{ es indiferente a } j \end{cases}$$

Ecuación 4

La variable  $X_{ij}$  se comporta de manera similar a la variable  $S_{ijk}$  en cuanto a la preferencia de la alternativa i frente a j; es decir, a mayor valor de  $X_{ij}$ , mayor preferencia de la alternativa i frente a j. La diferencia es que  $X_{ij}$  e  $X_{ji}$  no están relacionadas directamente.

Para realizar valoraciones concluyentes de las alternativas de realiza el cálculo de los flujos, tanto entras como salientes y netos.

Los flujos salientes es la sumatoria de los puntos favorables de determinada alternativa; es decir, el peso por el que supera al resto de alternativas. Se expresa como:

$$\Phi_i^+ = \sum_{j=1}^m X_{ij} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n S_{ijk} * w_k$$

Ecuación 5

Los flujos entrantes es la sumatoria de los puntos desfavorables de determinada alternativa; es decir, el peso por el que es superado por el resto de alternativas. Se expresa como

$$\Phi_i^- = \sum_{j=1}^m X_{ji} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n S_{jik} * w_k$$

Ecuación 6

Las expresiones antes mencionadas para el calculo de los flujos corresponde a los valores no normalizados, se normaliza de la siguiente manera:

$$\Phi_{iN}^+ = \frac{1}{m-1} * \Phi_i^+ \quad \text{y} \quad \Phi_{iN}^- = \frac{1}{m-1} * \Phi_i^-$$

Ecuación 7

$$\Phi_{iN}^+ \text{ y } \Phi_{iN}^- \in [0,1]$$

Para comprender mejor la definición de los flujos entrantes y salientes se representara gráficamente.

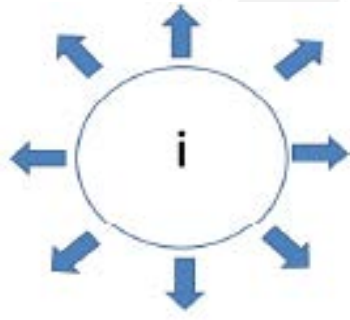


Figura 29: Flujos Salientes  
Fuente: Elaboración Propia

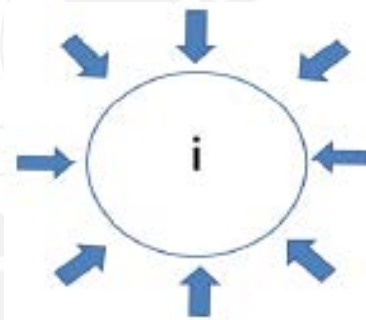


Figura 30: Flujos Entrantes  
Fuente: Elaboración Propia

Es importante diferenciar la función de las variables. La variable  $X_{ij}$  y  $X_{ji}$  miden la preferencia de una alternativa frente a otra; mientras que la variable  $\Phi_{iN}^+$  y  $\Phi_{iN}^-$  miden la preferencia de una alternativa frente a las demás.

El flujo neto se define como el resultado de la suma de los flujos entrantes y salientes.

$$\Phi_{iN} = \Phi_{iN}^+ - \Phi_{iN}^-$$

Ecuación 8

El flujo neto representa la diferencia relativa que tiene una alternativa en función a otras. Es decir, si  $\Phi_{iN} > 0$  se corrobora que la alternativa i es mejor a la media del resto y del mismo modo si  $\Phi_{iN} < 0$  se corrobora que i esta siendo dominada por el resto de alternativas en media.

Para determinar la preferencia de ordenación de las alternativas se puede utilizar el método promethee I o promethee II.

El método de ordenación promethee I se basa en el análisis de los flujos entrantes y salientes. Se resalta que los flujos salientes favorecen la preferencia y los entrantes la desfavorecen.

Se siguen los siguientes criterios de ordenación:

Si  $\begin{cases} \Phi_i^+ = \Phi_j^+ \\ \Phi_i^- = \Phi_j^- \end{cases}$  ; entonces i es indiferente a j. Ambas alternativas tienen la misma proporción de puntos favorables y no favorables

Si  $\begin{cases} \Phi_i^+ > \Phi_j^+ \\ \Phi_i^- \leq \Phi_j^- \end{cases}$  o  $\begin{cases} \Phi_i^+ = \Phi_j^+ \\ \Phi_i^- < \Phi_j^- \end{cases}$  ; entonces i supera a j. El flujo saliente de i es grande en comparación y el entrante pequeño.

Si  $\begin{cases} \Phi_i^+ > \Phi_j^+ \\ \Phi_i^- \leq \Phi_j^- \end{cases}$  o  $\begin{cases} \Phi_i^+ = \Phi_j^+ \\ \Phi_i^- < \Phi_j^- \end{cases}$  ; entonces j supera a i. El flujo saliente de j es grande en comparación y el entrante pequeño.

Si  $\begin{cases} \Phi_i^+ > \Phi_j^+ \\ \Phi_i^- > \Phi_j^- \end{cases}$  o  $\begin{cases} \Phi_i^+ < \Phi_j^+ \\ \Phi_i^- < \Phi_j^- \end{cases}$  ; entonces i y j no son comparables. En este caso i tiene gran cantidad de virtudes o defectos; o un número pequeño de virtudes y defectos en comparación. Esto no permite que se comparen.

El método de ordenación promethee I presenta el problema de la imposibilidad de comparar ciertas alternativas, lo que se convierte en una limitación importante al tratar con un gran número de alternativas. Lo que se corrige en el método de ordenación promethee II, en el cual solo se definen comparaciones de superación o equiparables basándose en el análisis de los flujos netos.

Se siguen los siguientes criterios de ordenación:

Si  $\Phi_i > \Phi_j$  ; entonces i supera a j.

Si  $\Phi_i = \Phi_j$  ; entonces i es indiferente de J

Si  $\Phi_i < \Phi_j$  ; entonces i es superada por j

La comparación de los flujos netos, a través del método promethee II, permite la comparación de alternativas que antes eran incomparables por el método promethee I.

Esta será la metodología de análisis que se utilizara para la realización de este proyecto para la determinación de las locaciones a dar servicio y las rutas que de recogida. Debido a las siguientes razones:

- Permite la valoración de muchos criterios en una sola variable cuantitativa, la cual puede ser sensibilizada utilizando los pseudocriterios y pesos de los criterios durante su construcción o cálculo.
- Permite la ordenación razonable de las alternativas posibles, expresada cuantitativamente, lo que permite la selección de punto por punto de la ruta de recogida y las locaciones a las que se da servicio.
- Se evita caer en situaciones de imposibilidad de realizar la comparación de las alternativas, utilizando ambos métodos.
- Se tienen experiencias de éxito de estudios en diversos sectores con problemas de decisión en situaciones complejas. Del mismo modo se recopilan gran cantidad de artículos en diversas revistas, todo esto demuestra la solidez del método.

## 8. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Una vez identificado el problema y contextualizado se puede elaborar una propuesta para plantear una mejor red de abastecimiento de logística inversa a través de la configuración de rutas de abastecimiento para  $n$  vehículos en  $m$  posibles puntos de recogida. Para ello hay que tener en cuenta los datos de partida. Para este proyecto se requiere conocer las locaciones posibles de puntos de recogida y las cargas diarias aproximadas de recogida, además de las distancias entre puntos de recogida y los tiempos de recogida. La variable más importante a valorar es la carga de recogida debido a que resulta más lógico recorrer 1 punto de recogida para abastecerse de una cantidad determinada a 3 para abastecerse de la misma.

### 8.1. DATOS DE PARTIDA

Los datos a utilizarse serán de referencia y no serán necesariamente reales, de no poder conseguir datos reales se modelaran bajo ciertos criterios definidos con ayuda de las empresas que colaboran prestando información para este proyecto.

Para asegurar la confiabilidad y la veracidad de los datos reales, además de la actualidad de los mismos, los datos han sido brindados por las empresas que prestan servicios a los supermercados a las que se orienta la red de logística inversa de abastecimiento de residuos sólidos. Los puntos de recogida fueron tomados de las páginas webs de las empresas de supermercados en las que figuran las ubicaciones de sus locales.

En la Ciudad de Lima hay 110 supermercados de las cadenas antes mencionadas las que generan un total de 95 kg por día de residuos. En el anexo 15.8: Lista de Posibles Puntos de Recogida se puede visualizar el listado de los mismos por distrito a las que se les asigna un código de identificación.

Una vez se tiene los datos de principales de las locaciones se pasa a obtener las coordenadas en el mapa y los tiempos de recorrido entre ellos.

Para obtener las distancias entre locaciones se utilizara la herramienta google maps. Se seguirá los siguientes pasos:

- Ubicar la locación en la herramienta google maps y obtener las coordenadas correspondientes.
- Transformar las coordenadas de google maps a coordenadas esféricas
- Calcular las distancias entre locaciones por métodos geométricos
- Descomponer la distancia en 2 catetos de un triangulo rectángulo con angulo  $\alpha$ , el que está formado por la proyección de la línea que une ambas locaciones y un paralelo.
- La distancia de recorrido será la suma de ambos catetos.
- Se obtendrán las distancias de recorrido de un vehículo entre los puntos de recogida
- Se contrastaran los datos reales de la experiencia con los modelados y se determinara un factor de corrección.
- Se corregirá todos los datos modelados con ayuda del factor de corrección.

Para obtener los tiempos de recorrido entre locaciones se utilizara los datos generados por el cálculo del apartado anterior. Se seguirá los siguientes pasos:

- Se calculara la velocidad media se circulación en la ciudad de lima monitoreando 3 vehículos de carga diferentes durante tres meses.
- Se calculara el tiempo de recorrido operando con la distancia y la velocidad media de circulación en la ciudad de lima
- Se calculara el tiempo de recorrido de un vehículo de carga entre las locaciones
- Se contrastaran los datos reales de la experiencia con los modelados y se determinara un factor de corrección.
- Se corregirá todos los datos modelados con ayuda del factor de corrección.

El resto de datos como tiempo de servicio, dificultad de desplazamiento y cargas, serán datos referenciales que se generaran aleatoriamente según unos rangos máximos y mínimos que se definen según la experiencia de los colaboradores de la empresa Reciclados y Procesos Plásticos, pero que no influenciarian en lo absoluto en el resultado final. Debido a que el objetivo es demostrar que la herramienta funciona y que los resultados que brinda son coherentes dadas unas condiciones y bajo las mismas encuentre las mejores soluciones posibles.



## 8.2. OPCIONES PARA PROCESAMIENTO DE DATOS

Para los fines de este proyecto se requiere que los datos no referenciales (distancias y tiempos) sean de la mayor confianza posible evitando cometer errores por desgaste o repetición de tareas. Debido a ello es que se descartan los procesamientos de datos por cálculos de distancias y tiempo en el google maps, sino por el contrario optar por métodos analíticos matemáticos en base a las coordenadas extraídas de la herramienta google maps y comparar los resultados con algunos datos obtenidos de dicha aplicación.

La opción de procesar los datos por métodos analíticos y matemáticos de forma automática requiere la utilización de un software adecuado, con una contrastación de los datos posterior. Para ello se tienen las siguientes posibilidades:

- C++
- Java
- Excel
- Matlab

El autor de este proyecto no cuenta con los conocimientos necesarios de C++ ni matlab para el desarrollo de una aplicación competente lo suficientemente potente y eficiente. Por otro lado el aprendizaje de los lenguajes correspondientes a un nivel suficientemente alto retrasaría demasiado la conclusión de este proyecto, el que tiene una duración de 10 meses.

Entre las opciones que se disponen se opta por realizar un solución preliminar en Excel utilizando las herramientas propias del software y desarrollando otras aplicaciones en el entorno de Visual Basic for Applications (VBA) del mismo software. La solución Excel será el objetivo de este proyecto, esta servirá para el desarrollo de una aplicación profesional de escritorio en Java.

## 8.3. DESCRIPCION DEL PROCESO DE ANALISIS DE DATOS

Una vez recopilado todos los datos reales y generados todos los datos referenciales se procederá a realizar los siguientes pasos para su modelación y procesamiento:

- Transformación de las coordenadas GPS a coordenadas circulares
- Transformación de las coordenadas circulas a coordenadas cartesianas
- Calculo del centro de gravedad de las coordenadas (media de los valores de X,Y y Z)
- Calculo de las distancias de ida y regreso en movimiento rectangulares usando como Angulo de referencia el generado entre las rectas descritas

por el punto de origen y el de destino y el punto de origen y el centro de gravedad

- Cálculo del tiempo de desplazamiento entre dos puntos del mapa usando como dato la velocidad media de desplazamiento (35Km/hora)
- Construcción de la hoja de resumen de los datos que son relevantes ver en cada etapa del análisis según la ubicación actual del vehículo
- Desarrollo del Método 1 (LOCM1) de análisis: este método selecciona los puntos a prestarse servicio y su orden de prestación 1 a 1 para cada vehículo en servicio
- Desarrollo del Método 2 (LOCM2) de análisis: este método selecciona los puntos a prestarse servicio y su orden de prestación para todos los puntos se servicio de un vehículo para luego pasar al siguiente.
- Generación de resultados del análisis por el método 1 (LOCM1) para las siguientes condiciones: para todos los números de vehículos del 1 al 20 a las capacidades de 1500 y repetir para la capacidad de 2500
- Generación de resultados del análisis por el método 2 (LOCM2) para las siguientes condiciones: para todos los números de vehículos del 1 al 20 a las capacidades de 1500 y repetir para la capacidad de 2500
- Generación de resultados del análisis para el método actual: para todos los números de vehículos del 1 al 20 y a las capacidades de 1500 y repetir para la capacidad de 2500
- Informe de resultados del método 1 (LOCM1)
- Informe de resultados del método 2 (LOCM2)
- Informe de resultados del método aplicado actualmente
- Comparación de resultados (General)
- Generación de resultados del análisis para el método 1 (LOCM1) para las condiciones de la empresa Reciclados y Procesos Plásticos: Para 3 unidades con capacidades ordenadas de las siguientes formas: 1500 y 2500; y 2500 y 1500
- Generación de resultados del análisis para el método 2 (LOCM2) para las condiciones de la empresa Reciclados y Procesos Plásticos: Para 3 unidades con capacidades ordenadas de las siguientes formas: 1500 y 2500; y 2500 y 1500
- Generación de resultados del análisis para el método actual para las condiciones de la empresa Reciclados y Procesos Plásticos: Para 3 unidades con capacidades ordenadas de las siguientes formas: formas: 1500 y 2500; y 2500 y 1500

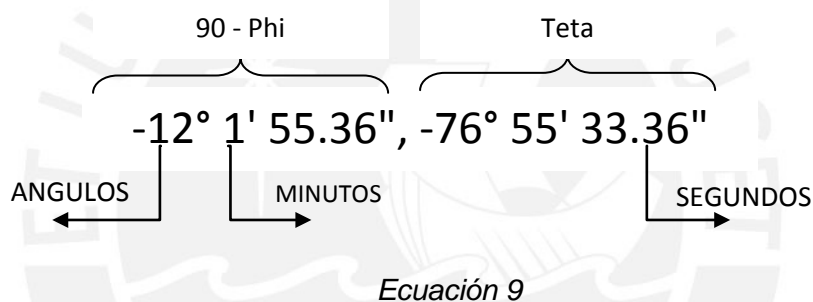
- Informe de resultados del método 1 (LOCM1)
- Informe de resultados del método 2 (LOCM2)
- Informe de resultados del método aplicado actualmente
- Comparación de resultados (Reciclados y Procesos Plásticos)

## 9. PROCESAMIENTO DE DATOS

### 9.1. PRE PROCESAMIENTO DE DATOS INICIALES

Los datos iniciales que requieren procesamiento son las coordenadas GPS, a las que se les descompone mediante funciones Excel y se convierten en ángulos, para luego ser transformados en términos de coordenadas circunferenciales y posteriormente en coordenadas cartesianas. Esto se realiza de la siguiente manera

Coordenada GPS:



Coordenadas Esféricas: Sexagesimales, se pasa a radianes

$$180^{\circ} = 2\pi \text{rad}$$

Coordenadas Cartesianas:

$$X = \cos\phi \cos\theta x R$$

$$Y = \cos\phi \sin\theta x R$$

$$Z = \sin\phi x R$$

Una vez que se tiene las coordenadas cartesianas se pasa a la determinación del centro de gravedad, el que es el promedio de los datos de X, Y y Z.

Una vez determinado el centro de gravedad se determinan los ángulos de los triángulos rectángulos que describirán la ruta de los vehículos. Es importante resaltar que el ángulo no necesariamente será el mismo para el camino de ida ni para el de regreso, como se muestra en la figura 10.

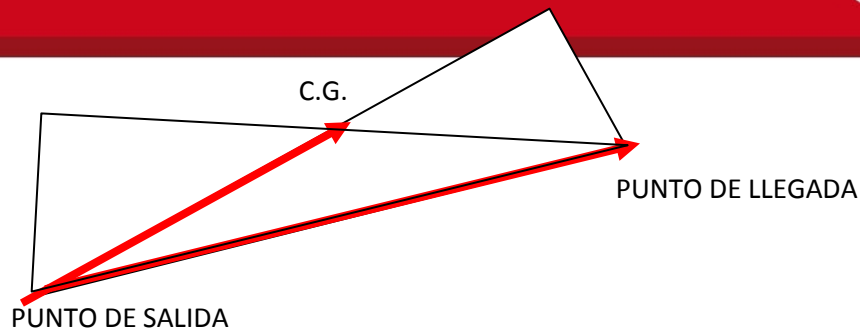


Figura 31: Calculo de las Distancias entre 2 puntos de recogida  
Fuente: Elaboración Propia

Una vez determinados los ángulos para todas las posibles combinaciones se determinan las distancias entre los puntos por la siguiente ecuación:

$$\text{Distancia entre puntos} = D = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2}$$

Ecuación 10

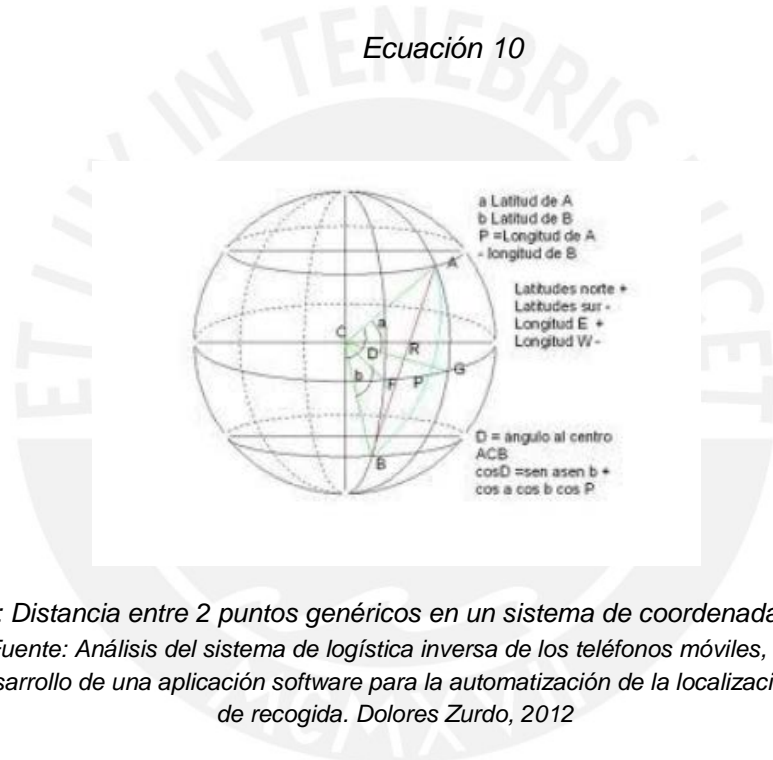


Figura 32: Distancia entre 2 puntos genéricos en un sistema de coordenadas esféricas  
Fuente: Fuente: Análisis del sistema de logística inversa de los teléfonos móviles, en la comunidad de Madrid. Desarrollo de una aplicación software para la automatización de la localización de los puntos de recogida. Dolores Zurdo, 2012

Luego la distancia obtenida se toma como la hipotenusa de un triángulo rectángulo y se multiplica por seno y coseno del ángulo descrito en el apartado anterior para calcular sus catetos, estos se suman y se obtiene la distancia final:

$$\text{Distancia de Desplazamiento} = D * (\text{abs}(\sin(\alpha)) + \text{abs}(\cos(\alpha))) \quad \text{Ecuación 10}$$

La construcción de la hoja resumen se hace con ayuda de las herramientas y formulas que Excel dispone en su versión básica, a continuación se muestra la hoja que de ahora en adelante nos la referiremos como “Resumen”.

HORA	2000	HORA I	1400	2	CRITERIO	DISTANCIA	TIEMPO	CARGA	DIFICULTAD	
PARTIDA	FAB0001	HORA F	2200		PESO	0,35	0,3	0,2	0,15	
LOCALIZA	DIISTANCIA	TIEMPO	CARGA	DIFICULTAD	ESTADO	OBJETIVO	MINIMIZAR	MINIMIZAR	MAXIMIZAR	MINIMIZAR
FAB0001	0	0	0	1	1	SENBILIDAD[MIN:1]	2	2	1	1
LOC0001	26,99329754	1,46123707	306	4	0	#VEHICULOS[MIN:1;MAX:20]	21	VELOCIDAD [PROM]		35
LOC0002	31,80885298	1,87882437	288	4	0	FACTOR UTILIZACION	75%	TIEMPO SERV.[PROM]		0,75972973
LOC0003	27,77154815	1,7234728	190	7	0	VEHICULO	CARGAMAX			
LOC0004	24,18160144	1,5409029	312	9	0	1	5000			
LOC0005	26,68712844	1,64248938	299	10	0	2	5000			
LOC0006	28,2420091	1,73691455	301	7	0	3	5000			
LOC0007	28,91238178	1,74606805	245	9	0	4	5000			
LOC0008	30,2443337	1,53412382	262	6	0	5	5000			
LOC0009	16,32413987	1,416404	252	9	0	6	5000			
LOC0010	20,50563581	1,43587531	308	7	0	7	5000			
LOC0011	15,17627337	0,99360781	183	3	0	8	5000			
LOC0012	20,67841801	1,20081194	190	10	0	9	5000			
LOC0013	21,50742524	1,13449786	177	4	0	10	5000			
LOC0014	15,2472396	0,97563542	311	9	0					
LOC0015	21,88923128	1,25540661	299	7	0					

Figura 33: Cuadro de Mando Aplicación Excel

Fuente: Elaboración propia

## 9.2. COMPROBACION DE LOS DATOS OBTENIDOS

La comprobación de los datos obtenidos se realizó manualmente y solo para algunos valores, no fue necesaria la aplicación de un factor de corrección puesto que los datos que se utilizan son bastante aproximados a los datos de obtenidos en la comprobación.

## 9.3. DETERMINACION DE LA METODOLOGIA A SEGUIR

Una vez se tiene todos los datos y ya comprobados ya se puede determinar la metodología a seguir para la selección de los puntos a los que se les prestara servicio y el orden en el que se les prestara.

Se pueden tomar varias opciones

- Disminuir las Distancias Desplazadas
- Disminuir el Tiempo de Recojo (tiempo de servicio + tiempo de desplazamiento)
- Maximizar la carga recogida
- Maximizar el número de puntos a los que se les prestara servicios
- Optimizar las rutas de manejo

Se opta por tomar en cuenta 4 factores para la solución minimizando distancias desplazadas, tiempos y dificultad de desplazamiento y maximizando cargas, bajo la siguiente peso por cada criterio:

CRITERIO	DISTANCIA	TIEMPO	CARGA	DIFICULTAD
PESO	0,35	0,3	0,2	0,15
OBJETIVO	MINIMIZAR	MINIMIZAR	MAXIMIZAR	MINIMIZAR

Tabla 3: Peso por Criterio  
Fuente: Elaboración Propia

## 9.4. ELABORACION DEL PROCESO DE INTERACION DE DATOS

### 9.4.1. CRITERIO DE DIFICULTAD

El criterio de dificultad es un índice de valoración del tráfico que se podría enfrentar un conductor de un vehículo de carga al desplazarse en las inmediaciones de un punto dado (Dentro de un distrito de la ciudad), el mismo índice además tiene su propia valoración según la hora en la que se realice el desplazamiento. Considerando esto los datos se muestran en una tabla de doble entrada, en la tabla 3 (verticalmente se listan los posibles puntos de servicio y horizontalmente las posible horas de abastecimiento)

	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200
FAB0001	10	5	6	6	6	6	3	3	4	4	4	9	5	9	3	10	1
LOC0001	10	1	5	6	1	8	1	2	9	5	7	10	7	2	4	9	9
LOC0002	6	1	6	9	6	5	8	1	5	2	1	7	2	8	4	2	4
LOC0003	2	5	5	1	1	7	7	2	6	5	2	5	9	1	7	10	2
LOC0004	2	3	3	8	2	3	3	5	5	8	2	7	3	7	9	3	2
LOC0005	9	1	7	10	4	9	8	1	9	7	10	9	2	4	10	3	7
LOC0006	1	2	2	8	2	10	9	9	3	2	1	5	1	1	7	10	2
LOC0007	3	6	6	5	1	9	10	2	3	1	7	2	4	9	9	3	5
LOC0008	9	2	6	6	6	8	1	1	7	10	7	7	3	7	6	9	5
LOC0009	5	7	4	1	7	3	1	10	1	7	3	2	3	9	9	8	2
LOC0010	1	1	4	7	3	10	1	4	2	5	3	7	3	1	7	5	7
LOC0011	10	7	6	7	4	9	9	6	7	9	4	4	6	2	3	2	7
LOC0012	5	3	1	1	3	6	2	10	10	6	5	8	7	5	10	2	7
LOC0013	3	2	1	10	2	9	3	3	3	9	4	5	5	7	4	9	6
LOC0014	6	5	5	2	8	9	7	2	7	10	4	3	6	2	9	7	1
LOC0015	8	9	2	5	5	4	10	5	4	6	5	4	7	8	7	10	2
LOC0016	5	1	9	5	4	4	6	8	9	2	1	1	6	6	10	2	4
LOC0017	1	4	1	8	1	6	1	4	7	2	9	10	9	2	1	3	6

Tabla 5: Valores del Criterio de Dificultad  
Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis de los datos del criterio dificultad por medio del método promete, el criterio se divide en pseudo-criterios, el número de sub-criterios dependerá del grado de sensibilidad que se le del ajuste (para este proyecto es 1) y el promedio de los valores absolutos de las diferencias entre alternativas

El número de pseudo-criterios se calcula de la siguiente manera:

$$NumeroRANGOS = \frac{Maximo(Dijk) - Minimo(Dijk)}{\frac{Promedio(Dijk)}{Sensibilidad} + 1} \quad \text{Ecuación 12}$$

Por razones del algoritmo de autogeneración de rangos se busca que el NumeroRANGOS sea siempre impar y en caso fuera par se le suma una unidad

Debido a que se busca la minimización de la dificultad, la función que describe la valoración de S<sub>ijk</sub> en función de D<sub>ijk</sub> sería la mostrada en la figura 13.

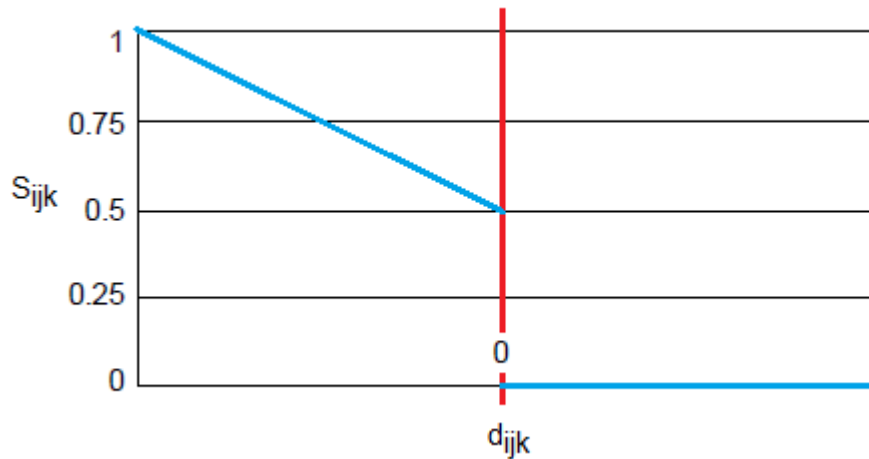


Figura 34: Función de Pseudocriterios de Factor Dificultad

Fuente: Elaboración propia

Se resalta que se muestra como una función por trozos de 2 tramos lineales pero en realidad es una función por trozos con una parte lineal en donde  $S_{ijk}$  es igual a 0 y muchos escalones de diferentes valores. La parte lineal de la función siempre empieza o termina en 0.

A continuación se muestra el código que genera la función de  $S_{ijk}$  para el criterio de dificultad, cabe mencionar que es la misma fórmula para todos los criterios, lo que controlara si es una función creciente o decreciente será el parámetro alfa (alfa=0 para este caso)

```

For i = 1 To Criterios Step 1
  If i < 3 Then
    div = Cells(6, 9 + i)
    alfa = Cells(5, 9 + i)
  End If
  'Determina del numero de particiones que se tendra
  Prom(i) = Suma(i) / (Contar(i) - registros)
  If Not (Prom(i) = 0) Then
    NUMEROrangos = Int((Maximo(i) - Minimo(i)) / (Prom(i) / div)) + 1
  Else
    NUMEROrangos = 1
  End If
  If NUMEROrangos / 2 = Int(NUMEROrangos / 2) Then
    NUMEROrangos = NUMEROrangos + 1
  Else
    NUMEROrangos = NUMEROrangos
  End If
  NUMEROrango(i) = NUMEROrangos
  If i >= 0 Then
    'Funcion escalonada en /
    For j = 1 To NUMEROrangos Step 1
      MATRIZSij(j, 1, i) = (1 - (1 / NUMEROrangos) * (j - 1)) * alfa + (1 / NUMEROrangos) * (j - 1) * (1 - alfa)
      If MATRIZSij(1, 2, i) = 0 Then
        MATRIZSij(j, 2, i) = Minimo(i)
      Else
        MATRIZSij(j, 2, i) = Max(Minimo(i), MATRIZSij(j - 1, 3, i))
      End If
      If MATRIZSij(j - 1, 2, i) = 0 Then
        MATRIZSij(j, 3, i) = MATRIZSij(j, 2, i) + Prom(i) / div
      Else
        MATRIZSij(j, 3, i) = MATRIZSij(j - 1, 2, i) + Prom(i) / div
      End If
    Next
  Else
    End If
Next

```

9.4.2. CRITERIO DE CARGA DE RECOGIDA

El criterio de carga de recogida es la medición de lo que se espera recoger de un posible punto de servicio dada sus dimensiones y flujo de mercancías, los datos de este criterio se pueden calcular en base a estimaciones por los datos que se tienen de servicios anteriores o pueden ser facilitados por el mismo punto al que se le prestara el servicio (el cliente). Siendo este un dato unido invariable en el día en que se realiza el análisis o para el promedio del mes en el que se realiza el análisis, entonces los datos serán mostrados en una tabla que los lista de forma simple.

	CARGA
LOC0001	296
LOC0002	288
LOC0003	190
LOC0004	312
LOC0005	299
LOC0006	503
LOC0007	245
LOC0008	262
LOC0009	253
LOC0010	508
LOC0011	183
LOC0012	190
LOC0013	177
LOC0014	212
LOC0015	299
LOC0016	194
LOC0017	264
LOC0018	182
LOC0019	210
LOC0020	263
LOC0021	224
LOC0022	290
LOC0023	284
LOC0024	273
LOC0025	289
LOC0026	314
LOC0027	288

Tabla 6: Datos de Carga de Recogida  
Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis de los datos del criterio dificultad por medio del método promete, el criterio se divide en pseudo-criterios, el número de sub-criterios dependerá del grado de sensibilidad que se le del ajuste (para este proyecto es 1) y el promedio de los valores absolutos de las diferencias entre alternativas

El número de pseudo-criterios se calcula de la siguiente manera:

$$NumeroRANGOS = \frac{Maximo(Dijk) - Minimo(Dijk)}{\frac{Promedio(Dijk)}{Sensibilidad} + 1} \quad Ecuación 13$$

Por razones del algoritmo de autogeneración de rangos se busca que el NumeroRANGOS sea siempre impar y en caso fuera par se le suma una unidad

Debido a que se busca la minimización de la dificultad, la función que describe la valoración de Sijk en función de Dijk sería la mostrada en la figura 14.



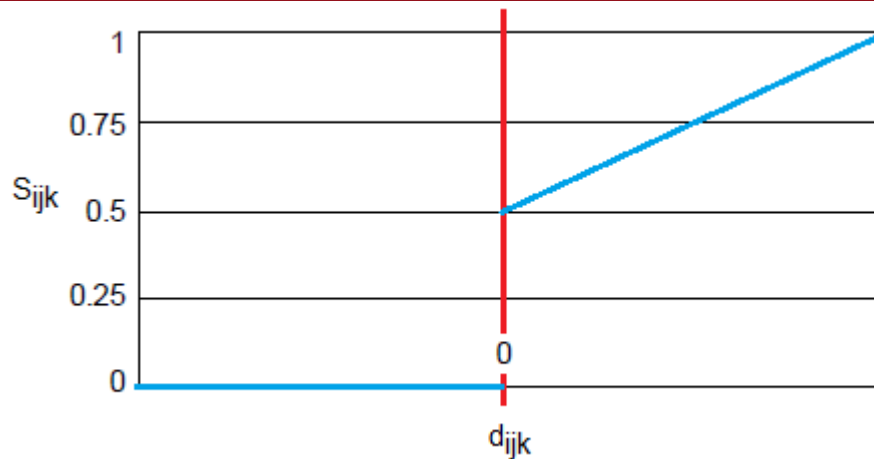


Figura 35: Función de Pseudocriterio de Carga de Recogida  
Fuente: Elaboración propia

Se resalta que se muestra como una función por trozos de 2 tramos lineales pero en realidad es una función por trozos con una parte lineal en donde  $S_{ijk}$  es igual a 0 y muchos escalones de diferentes valores. La parte lineal de la función siempre empieza o termina en 0.

El código utilizado para la generación de la función  $S_{ijk}$  para el criterio de carga de recogida es el mismo que en el caso anterior, solo que el valor de alfa cambia (alfa=1 para este caso)

9.4.3. CRITERIO DE DISTANCIA

El criterio de distancia es un índice que mide los recorridos de los vehículos desde una posición inicial a otra final por métodos trigonométricos. Debido a que la distancia recorrida dependerá de la posición de origen y fin y no será la misma de origen a fin que de fin a origen se orden en una tabla de doble entrada para una mejor lectura de los datos.

	FAB0001	LOC0001	LOC0002	LOC0003	LOC0004	LOC0005	LOC0006	LOC0007	LOC0008	LOC0009	LOC0010	LOC0011	LOC0012	LOC0013	LOC0014	LOC0015	LOC0016
FAB0001	0	27,649138	31,945585	22,872454	24,225066	27,025241	25,844868	26,72315	27,780753	19,496081	23,321338	20,682939	16,297353	17,240413	16,10944	24,065462	13,365395
LOC0001	26,9932975	0	4,8053836	8,5645809	5,7913752	1,8834689	17,179723	17,753452	21,492801	23,79244	29,957289	25,621882	17,430464	18,145561	24,527264	31,815936	25,751171
LOC0002	31,808853	4,789609	0	13,097577	10,914372	7,1663947	20,868526	21,34369	22,555621	24,764153	34,559631	30,41299	22,751419	23,465617	29,264141	36,535791	29,779791
LOC0003	27,7715481	11,912533	18,522749	0	3,8595843	6,9535499	9,5034399	10,334951	11,734583	16,863667	20,217479	16,280985	8,4071095	8,6463684	16,271449	21,193521	17,5851
LOC0004	24,1816014	5,6820637	10,829079	4,4357527	0	4,434082	10,770625	11,343989	13,513241	15,734618	25,766563	21,214801	12,324939	12,952829	20,512989	27,438609	22,271434
LOC0005	26,6871284	2,0399065	7,0094745	7,8781699	4,0637872	0	14,753835	15,305551	14,940667	17,066095	28,991622	24,568987	16,108	16,792735	23,650661	30,826695	24,734408
LOC0006	28,2420091	21,473536	27,55853	9,795869	14,916099	18,914832	0	1,0426747	1,9704057	17,24178	14,846722	12,597605	9,9024499	9,5155362	18,591757	20,252353	25,776268
LOC0007	28,9123818	22,176319	28,244251	10,674975	15,516178	19,379882	1,0367957	0	1,090626	18,099866	16,155625	13,879988	10,087124	9,7127041	21,409548	22,969745	26,561822
LOC0008	30,2443337	23,163354	29,406029	11,769951	16,354105	20,178669	1,9202355	1,063863	0	18,245427	19,084358	16,560043	14,839452	14,262583	15,390427	16,187095	26,288327
LOC0009	16,3241399	24,071481	30,766733	16,118897	14,536064	17,594626	15,083188	15,848339	16,744996	0	5,9789767	1,5226369	7,4233971	6,8934144	3,8981581	7,6292185	6,4479706
LOC0010	20,5056358	27,629277	34,126444	20,049814	18,714796	21,785669	16,992076	17,558678	18,255793	5,1799242	0	4,3881709	13,094971	12,477548	7,5547979	1,5410652	9,1016834
LOC0011	15,1762734	24,812292	31,441701	16,903982	15,199797	18,211925	15,134665	15,835294	16,655099	1,3869331	4,4881911	0	8,8399876	8,2466126	4,6406524	6,1278273	9,1551181
LOC0012	20,678418	18,130988	24,409685	9,4807511	10,961571	14,730568	13,215804	14,251725	14,865008	7,5523099	13,186943	8,7326187	0	0,9405372	8,7090073	14,957484	13,864245
LOC0013	21,5074252	19,079883	25,725872	9,9635526	10,705533	14,271019	12,453896	13,457402	14,253503	6,9966096	12,915119	8,3733264	0,9651935	0	8,7227462	14,561581	12,828769
LOC0014	15,2472396	25,096966	31,685757	18,335032	16,100415	19,075867	18,749274	19,606012	20,788389	3,7605666	7,155039	4,3245295	8,2412911	8,1215927	0	8,5429821	5,4203529
LOC0015	21,8892313	28,690516	35,166879	21,229784	19,883385	22,95557	17,887087	18,422054	19,10255	6,4302245	1,4891908	5,8264833	14,483666	13,873622	8,7106051	0	9,367996
LOC0016	11,1165542	28,204328	34,582272	23,117188	19,398947	22,033665	23,375293	24,219923	25,754056	8,6199484	8,8655081	8,1092742	12,240544	12,274096	4,9221306	9,6478174	0
LOC0017	14,48569	13,751106	17,436977	8,3019535	10,817985	14,215667	16,38726	17,414417	16,803343	9,1571069	12,369762	8,9236565	3,3675286	4,0873744	7,6169509	14,00506	11,076563
LOC0018	16,3703902	14,507384	19,328491	7,3695582	10,580114	14,581794	13,302197	14,313705	14,1866	8,2725174	13,085142	9,1146784	1,5381464	2,3451255	8,7375186	14,900206	13,161925
LOC0019	21,2099536	17,531232	23,796834	8,6640274	10,595727	14,481959	12,553551	13,595707	14,167565	8,1547257	13,840549	9,3780183	0,7844111	1,2060309	5,5247263	15,598996	14,577766
LOC0020	20,481004	17,797855	23,979516	9,2290581	10,922499	14,738759	13,212239	14,251749	14,80992	7,7300065	13,303912	8,877572	0,2056685	1,1023269	8,8248799	15,088559	14,032317
LOC0021	10,4402533	36,660487	41,766033	37,515204	25,332073	30,567305	37,674362	38,548638	41,3277	25,5433	22,05027	21,758146	23,603687	23,942245	18,908715	22,637157	16,76963
LOC0022	16,1002407	13,658706	18,260199	6,6600473	10,344106	14,446258	12,617737	13,605918	13,366145	8,2737207	13,150966	9,2426426	1,657507	2,3921018	9,0058354	14,968933	13,547015
LOC0023	17,8496294	22,904372	29,623079	14,834489	13,609074	16,756057	14,885964	15,733797	16,68053	1,9066331	7,9504669	3,4770221	5,5346167	5,0979839	4,0805711	9,6258016	9,4700911
LOC0024	17,5392163	17,260918	22,798247	9,7968344	11,450011	15,136891	14,92473	15,966269	16,306847	7,6234906	12,527249	8,3872371	1,6261867	2,3836857	7,5971295	14,32155	11,901598

Tabla 7: Datos de Distancias Recorridas entre dos puntos de recogida  
Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis de los datos del criterio dificultad por medio del método promete, el criterio se divide en pseudo-criterios, el número de sub-criterios dependerá del grado de sensibilidad que se le del ajuste (para este proyecto es 1) y el promedio de los valores absolutos de las diferencias entre alternativas

El número de pseudo-criterios se calcula de la siguiente manera:

$$\text{NumeroRANGOS} = \frac{\text{Maximo}(D_{ijk}) - \text{Minimo}(D_{ijk})}{\frac{\text{Promedio}(D_{ijk})}{\text{Sensibilidad}} + 1} \quad \text{Ecuación 14}$$

Por razones del algoritmo de autogeneración de rangos se busca que el NumeroRANGOS sea siempre impar y en caso fuera par se le suma una unidad

Debido a que se busca la minimización de la dificultad, la función que describe la valoración de  $S_{ijk}$  en función de  $D_{ijk}$  sería la mostrada en la figura 15.

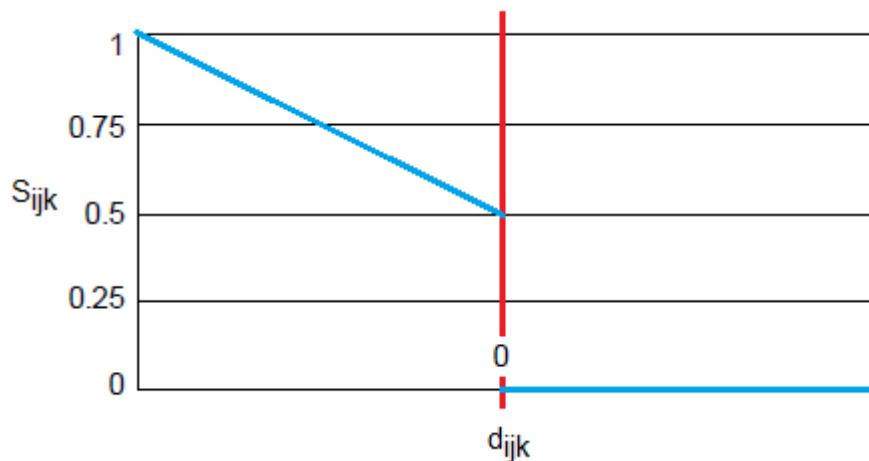


Figura 36: Función Pseudocriterio de Distancia de Recorrido

Fuente: Elaboración propia

Se resalta que se muestra como una función por trozos de 2 tramos lineales pero en realidad es una función por trozos con una parte lineal en donde  $S_{ijk}$  es igual a 0 y muchos escalones de diferentes valores. La parte lineal de la función siempre empieza o termina en 0.

El código utilizado para la generación de la función  $S_{ijk}$  para el criterio de carga de recogida es el mismo que en el caso anterior, solo que el valor de alfa cambia (alfa=1 para este caso)

#### 9.4.4. CRITERIO DE TIEMPO DE RECOGIDA

El criterio de tiempo de recogida agrupa 2 índices, por una parte el índice que mide el tiempo que tarda el desplazamiento de un lugar a otro y por otra parte el índice que mide el tiempo que tarda el abastecimiento. Es importante mencionar que el tiempo de desplazamiento varía en función al punto de partida y de llegada pero el

tiempo de servicio solo depende del punto de llegada y es el mismo independientemente cual sea el punto anterior de servicio. Para un mejor entendimiento a continuación se muestran las tablas de datos de los tiempos de recorrido

0	FAB0001	LOC0001	LOC0002	LOC0003	LOC0004	LOC0005	LOC0006	LOC0007	LOC0008	LOC0009	LOC0010	LOC0011	LOC0012	LOC0013	LOC0014	LOC0015	LOC0016
FAB0001	0	0,7899754	0,9128453	0,6534987	0,6921447	0,7721497	0,7384248	0,7635186	0,7937358	0,5570309	0,6662339	0,5909411	0,4656387	0,4925832	0,4602697	0,6875846	0,3818684
LOC0001	0,77123707	0	0,1372967	0,2982388	0,1518853	0,0569962	0,5761009	0,6026594	0,6322459	0,6483525	0,7962006	0,6807776	0,4438782	0,4523976	0,6948266	0,8380788	0,8212954
LOC0002	0,90882437	0,1368464	0	0,4334679	0,2869358	0,1917467	0,7114727	0,7379842	0,7676034	0,7840246	0,9315562	0,8163469	0,5797877	0,5882191	0,8308401	0,9733774	0,9576164
LOC0003	0,7934728	0,3403581	0,5292214	0	0,1505784	0,2801188	0,2518163	0,2653637	0,2952216	0,3628495	0,4818975	0,3715505	0,2368567	0,2286014	0,4599642	0,5200002	0,6165821
LOC0004	0,6909029	0,1623447	0,3094023	0,1509388	0	0,103291	0,4317104	0,4567571	0,4871713	0,5124682	0,6502974	0,5417113	0,3159442	0,3218348	0,5687857	0,6902981	0,7037248
LOC0005	0,76248938	0,058283	0,2002707	0,2492265	0,0999825	0	0,5291393	0,5548324	0,5849444	0,6065197	0,7485997	0,6370959	0,4065205	0,4134909	0,6588853	0,7894136	0,7905251
LOC0006	0,80691455	0,6135296	0,7873866	0,2753829	0,4313309	0,5518264	0	0,0225005	0,0511021	0,4891109	0,5943359	0,508672	0,322495	0,3212331	0,568581	0,6275702	0,7194379
LOC0007	0,82606805	0,6336091	0,8069786	0,2957802	0,451731	0,5719203	0,0223816	0	0,0311783	0,5111329	0,6171916	0,5309327	0,3436988	0,3426013	0,5901281	0,6506076	0,7407317
LOC0008	0,86412382	0,6618101	0,8401722	0,3211577	0,4767793	0,6000828	0,049618	0,031051	0	0,5183488	0,6150953	0,5355027	0,3601738	0,3572823	0,6023802	0,6464621	0,7554623
LOC0009	0,466404	0,6877566	0,8790495	0,3523109	0,4983407	0,6290807	0,4793938	0,5073934	0,519222	0	0,1682217	0,0444836	0,1871272	0,1616213	0,1020807	0,2084685	0,2582132
LOC0010	0,58587531	0,7894079	0,9750413	0,4647786	0,600599	0,7283025	0,5701372	0,5958426	0,6025368	0,1570951	0	0,1140409	0,3227717	0,2958012	0,2211992	0,0361094	0,2356604
LOC0011	0,43360781	0,7089226	0,8983343	0,3692071	0,5190821	0,6489171	0,4947942	0,5218475	0,5313698	0,0439942	0,1197583	0	0,2219967	0,1957258	0,0991453	0,1582605	0,2467279
LOC0012	0,59081194	0,5180282	0,6974196	0,2453369	0,3530443	0,4735457	0,3658379	0,3958053	0,4190062	0,2157621	0,3890815	0,2577648	0	0,0207548	0,2175783	0,4342818	0,2967645
LOC0013	0,61449786	0,5451395	0,7350249	0,2344799	0,3638565	0,4925131	0,3613341	0,3911045	0,4092983	0,1848871	0,3601645	0,2291963	0,0223254	0	0,1889619	0,404089	0,337939
LOC0014	0,43563542	0,7170562	0,9053074	0,4138658	0,5387813	0,6660898	0,5397798	0,5697188	0,5891424	0,1112239	0,1924085	0,1193629	0,1931831	0,1806982	0	0,2368089	0,1464044
LOC0015	0,62540661	0,819729	1,004768	0,4976873	0,6311692	0,7585229	0,5999456	0,6254644	0,6317967	0,1919384	0,0357841	0,1490303	0,355952	0,32891	0,2571347	0	0,2734451
LOC0016	0,31761583	0,8058379	0,9880649	0,5243176	0,6268817	0,7595149	0,6465806	0,6766215	0,6988833	0,250949	0,2712249	0,2644015	0,2848585	0,2968504	0,1384985	0,2681854	0
LOC0017	0,41387686	0,3928888	0,4981994	0,2929839	0,3142066	0,3819224	0,365626	0,3885482	0,4195648	0,2377724	0,361938	0,27479	0,1247467	0,1522891	0,2328542	0,387564	0,3761999
LOC0018	0,46772544	0,4144967	0,5522426	0,2457107	0,300073	0,39056	0,3395208	0,3661274	0,3956798	0,2350434	0,3832132	0,2675732	0,0409918	0,0672905	0,2811677	0,4251492	0,4073207
LOC0019	0,60599867	0,5008923	0,6799095	0,2293276	0,336421	0,456643	0,3495949	0,3795492	0,4028635	0,2325504	0,4057156	0,2744694	0,016702	0,0348914	0,2349774	0,4505921	0,3148962
LOC0020	0,58517154	0,5085102	0,6850147	0,2443251	0,3474246	0,4657799	0,3630171	0,392867	0,4168855	0,2222048	0,3942653	0,2635599	0,0095949	0,0234105	0,2285287	0,4394715	0,3130687
LOC0021	0,29829295	1,0474425	1,1933152	0,8602968	0,923731	1,0199789	0,959377	0,9868093	1,0156765	0,7040089	0,7886731	0,7325745	0,64688	0,672586	0,5987115	0,8029044	0,4981271
LOC0022	0,46000688	0,3902487	0,52172	0,235283	0,2828888	0,3689458	0,3250137	0,3509513	0,3809302	0,2427059	0,3864047	0,273796	0,0414204	0,064088	0,2934845	0,4275221	0,4237602
LOC0023	0,50989841	0,6544106	0,8463737	0,327729	0,4673325	0,5980311	0,4555719	0,4992936	0,0568345	0,229339	0,101542	0,1405067	0,1162443	0,1159594	0,2714966	0,2696939	0
LOC0024	0,50112047	0,4931691	0,6513785	0,2768911	0,3549777	0,4600339	0,383929	0,4125026	0,4399648	0,2053279	0,36718	0,2425369	0,0507793	0,0752636	0,2336072	0,4113546	0,3424187

Tabla 8: Datos Tiempo de Recorrido entre dos puntos  
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa claramente al igual que en la tabla cinco la diferencia entre los tiempos de ida y de regreso son muy pequeños, entre 5 y 10 partes de hora (3 y 6 min), a continuación se muestra la tabla de tiempos de servicio que es muy similar a la tabla de cargas.

T-SERVICIO	
FAB0001	0
LOC0001	0,69
LOC0002	0,97
LOC0003	0,93
LOC0004	0,85
LOC0005	0,88
LOC0006	0,93
LOC0007	0,92
LOC0008	0,67
LOC0009	0,95
LOC0010	0,85
LOC0011	0,56
LOC0012	0,61
LOC0013	0,52
LOC0014	0,54
LOC0015	0,63
LOC0016	0,98
LOC0017	0,77
LOC0018	0,74
LOC0019	0,86
LOC0020	0,98
LOC0021	0,89
LOC0022	0,6

Tabla 9: Datos de Tiempo de Permanencia en un punto de recogida  
Fuente: Elaboración Propia

Como se menciono anteriormente estos valores solo dependen de las cantidades que se recogen y se pueden estimar de prestaciones del servicio anteriores.

Finalmente se muestra la tabla más interesante, la tabla de los tiempos totales la que viene a causar especial interés debido a las diferencias que se genera entre los tiempos de ida y regreso debido a los diferentes tiempos de servicio que tendrían los destinos finales.

	FAB0001	LOC0001	LOC0002	LOC0003	LOC0004	LOC0005	LOC0006	LOC0007	LOC0008	LOC0009	LOC0010	LOC0011	LOC0012	LOC0013	LOC0014
FAB0001	0	0,02257072	0,02608129	0,01867139	0,01977556	0,02206142	0,02109785	0,02181482	0,02267817	0,01591517	0,01903783	0,01688403	0,01330396	0,01407381	0,01315056
LOC0001	0,022035345	0	0,13729667	0,24470231	0,16546786	0,0538134	0,49084922	0,50724148	0,61408004	0,67978401	0,85592255	0,73205378	0,49801326	0,51844459	0,70077899
LOC0002	0,025966411	0,13684597	0	0,3742165	0,31183921	0,20475413	0,5962436	0,60981971	0,64444632	0,70754723	0,98741804	0,86894258	0,65004055	0,6704462	0,83611831
LOC0003	0,024670652	0,34035808	0,52922141	0	0,11027384	0,19867285	0,27152685	0,29528431	0,3352738	0,48181905	0,57764224	0,465171	0,24020313	0,2470391	0,46489853
LOC0004	0,019740083	0,16234468	0,30940227	0,12673579	0	0,12668806	0,30773214	0,32411398	0,3860926	0,4495605	0,73618752	0,60613717	0,35214112	0,37008082	0,58608541
LOC0005	0,021785411	0,05828304	0,2002707	0,22509057	0,1161082	0	0,42153814	0,43730147	0,4268762	0,48760271	0,82833206	0,70197107	0,46022856	0,47979242	0,67573317
LOC0006	0,023054701	0,61352959	0,78738656	0,27988197	0,42617425	0,54042376	0	0,02979071	0,05629731	0,49262227	0,42419206	0,35993157	0,28292714	0,27187246	0,53119305
LOC0007	0,023601944	0,63360911	0,80697861	0,30499927	0,44331936	0,55371091	0,02962274	0	0,03116074	0,51713902	0,46158928	0,39657107	0,28820355	0,27750583	0,61170138
LOC0008	0,024689252	0,66181011	0,84017225	0,33628432	0,46726015	0,57653339	0,05486387	0,03039608	0	0,5212979	0,54526738	0,47314408	0,42398436	0,40750238	0,43972648
LOC0009	0,013325828	0,6877566	0,8790495	0,46053991	0,4153161	0,5027036	0,43094824	0,45282397	0,47842845	0	0,17082791	0,04350391	0,21209706	0,1969547	0,11137595
LOC0010	0,016739295	0,7894079	0,97504126	0,57285184	0,53470847	0,62244767	0,48548788	0,50167652	0,52159408	0,14799783	0	0,12537631	0,37414204	0,35650136	0,21585137
LOC0011	0,012388795	0,70892263	0,89833433	0,48297091	0,43427991	0,52034071	0,43241901	0,45243696	0,47585998	0,03962666	0,12823403	0	0,25257107	0,2356175	0,13259007
LOC0012	0,016880341	0,51802822	0,69741957	0,2708786	0,31318774	0,42087337	0,37759441	0,40719214	0,42471451	0,21578028	0,37676981	0,24950339	0	0,02687249	0,24882878
LOC0013	0,017557082	0,54513952	0,73502491	0,28467293	0,30587238	0,4077434	0,35582559	0,3844972	0,40724293	0,19990313	0,36900339	0,2392379	0,02757696	0	0,24922132
LOC0014	0,012446726	0,71705616	0,90530736	0,52385804	0,46001186	0,54502477	0,53569354	0,56017178	0,59395398	0,10744476	0,20442969	0,12355799	0,23546546	0,2320455	0
LOC0015	0,01786876	0,81972904	1,00476799	0,60656525	0,56809671	0,65587342	0,51105963	0,52634441	0,54578714	0,1837207	0,04254831	0,16647095	0,41381903	0,3963892	0,24887443
LOC0016	0,009074738	0,80583793	0,98806491	0,66049109	0,55425562	0,62953329	0,6678655	0,6919978	0,73583017	0,24628424	0,25330023	0,23169355	0,34972983	0,35068846	0,1406323
LOC0017	0,011825053	0,39288875	0,49819935	0,23719867	0,30908528	0,40616192	0,46820743	0,49755478	0,48009553	0,26163162	0,35342176	0,25496162	0,0962151	0,11678213	0,21762717
LOC0018	0,013363584	0,41449669	0,55224259	0,2105588	0,30228898	0,41662269	0,38006276	0,40896301	0,40533142	0,23635764	0,37386121	0,26041938	0,04394704	0,06700359	0,24964339
LOC0019	0,017134248	0,50089234	0,67990953	0,24754364	0,30273505	0,41377025	0,35867289	0,38844878	0,40478756	0,23299216	0,39544426	0,26794338	0,02241175	0,03445802	0,27213504
LOC0020	0,016719187	0,50851015	0,68501473	0,26368737	0,31207139	0,42110739	0,37749253	0,40719283	0,42314058	0,22085733	0,38011177	0,25364491	0,00587624	0,03149505	0,25213943
LOC0021	0,008522656	1,04744248	1,19331524	1,07186298	0,83805922	0,87335157	1,07641033	1,10138967	1,18079143	0,72980856	0,63000771	0,6216613	0,67439106	0,68406414	0,54024899

Tabla 10: Datos de Tiempo Total de Abastecimiento

Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis de los datos del criterio dificultad por medio del método promete, el criterio se divide en pseudo-criterios, el número de sub-criterios dependerá del grado de sensibilidad que se le del ajuste (para este proyecto es 1) y el promedio de los valores absolutos de las diferencias entre alternativas

El número de pseudo-criterios se calcula de la siguiente manera:

$$\text{NumeroRANGOS} = \frac{\text{Maximo}(Dijk) - \text{Mínimo}(Dijk)}{\frac{\text{Promedio}(Dijk)}{\text{Sensibilidad}} + 1} \quad \text{Ecuación 15}$$

Por razones del algoritmo de autogeneración de rangos se busca que el NumeroRANGOS sea siempre impar y en caso fuera par se le suma una unidad

Debido a que se busca la minimización de la dificultad, la función que describe la valoración de Sijk en función de Dijk sería la mostrada en la figura 16.

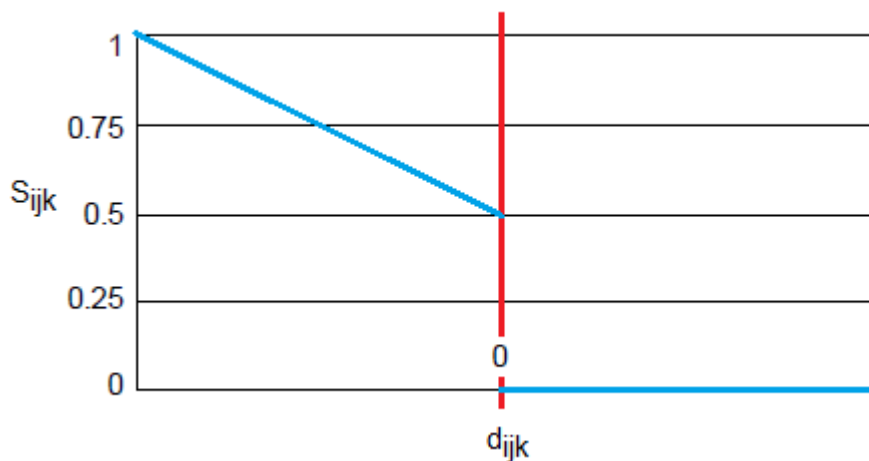


Figura 37: Función Pseudocriterio de Tiempo Total de Abastecimiento

Fuente: Elaboración propia

Se resalta que se muestra como una función por trozos de 2 tramos lineales pero en realidad es una función por trozos con una parte lineal en donde Sijk es igual a

0 y muchos escalones de diferentes valores. La parte lineal de la función siempre empieza o termina en 0.

El código utilizado para la generación de la función  $S_{ijk}$  para el criterio de carga de recogida es el mismo que en el caso anterior, solo que el valor de alfa cambia (alfa=1 para este caso)

#### 9.4.5. MATRIZ DE INDICES DE PREFERENCIA

Una vez se tienen los datos y los criterios de valoración definidos se pasa a la generación de los  $S_{ijk}$ , lo que se realiza se la siguiente manera para la solución que plantea el autor de proyecto.

```
'CALCULO[Sij]datos(DIFERENCIAcriterios(),ESTADOdatos())

For k = 1 To Criterios Step 1
  For i = 1 To registros Step 1
    If ESTADOdatos(i) = 1 Then
      For j = 1 To registros Step 1
        If ESTADOdatos(j) = 1 Then
          For r = 1 To NUMEROrango(k) Step 1
            If DIFERENCIAcriterios(i, j, k) > 0 Then
              If Not (k = 3) Then
                Sij(i, j, k) = 0
              ElseIf DIFERENCIAcriterios(i, j, k) < 0 And k = 3 Then
                Sij(i, j, k) = 0
              End If
            ElseIf Sij(j, i, k) > 0 Then
              Sij(i, j, k) = 0
            ElseIf DIFERENCIAcriterios(i, j, k) < MATRIZSij(r, 3, k) Then
              Sij(i, j, k) = MATRIZSij(r, 1, k)
            End If
          Next
        End If
      Next
    End If
  Next
Next
```

Una vez de tienen los  $S_{ijk}$  para los 4 factores se pasa al calculo de los  $C_{ij}$ , pero para esto hay que definir antes los  $W_k$ ; es decir hay que definir los pesos de cada criterio. Como se menciona en la sección 9.3 se utilizaran los 4 criterios para el ordenamiento de las alternativas según el siguiente peso:

CRITERIO	DISTANCIA	TIEMPO	CARGA	DIFICULTAD
PESO	0,35	0,3	0,2	0,15
OBJETIVO	MINIMIZAR	MINIMIZAR	MAXIMIZAR	MINIMIZAR

Tabla 11: Peso de Criterios y Objetivos  
Fuente: Elaboración propia

Es decir que  $W_1= 0.35$ ,  $W_2= 0.30$ ,  $W_3= 0.20$  y  $W_4= 0.15$

El cálculo de  $X_{ij}$  se realiza de la siguiente manera, como ya se menciona en la descripción del método promete

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^n S_{ijk} * w_k; entonces si \left\{ \begin{array}{l} X_{ij} = 1; i \text{ es estrictamente preferente a } j \\ X_{ij} = 0; i \text{ es indiferente a } j \end{array} \right\}$$

Ecuación 16

Para la solución que se plantea el calculo de  $X_{ij}$  se realiza de la siguiente manera:

```
'CALCULO[Sij]datos(Sij(),ESTADOdatos())

For i = 1 To Criterios Step 1
  Wk(i) = Cells(3, 9 + i)
Next

For i = 1 To registros Step 1
  If ESTADOdatos(i) = 1 Then
    For j = 1 To registros Step 1
      If ESTADOdatos(j) = 1 Then
        For k = 1 To Criterios Step 1
          Xij(i, j) = Xij(i, j) + Sij(i, j, k) * Wk(k)
        Next
      End If
    Next
  End If
Next
```

Luego posteriormente se ordena por métodos matemáticos y algoritmos de bucle

#### 9.4.6. OBTENCION DE FLUJOS

Los flujos netos finales se obtienen como lo describe el método promete:

$$\Phi_i^+ = \sum_{j=1}^m X_{ij} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n S_{ijk} * w_k \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\Phi_i^- = \sum_{j=1}^m X_{ji} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n S_{jik} * w_k \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\Phi_{iN}^+ = \frac{1}{m-1} * \Phi_i^+ \quad \text{y} \quad \Phi_{iN}^- = \frac{1}{m-1} * \Phi_i^- \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\Phi_{iN} = \Phi_{iN}^+ - \Phi_{iN}^- \quad \text{Ecuación 20}$$

Para la solución que se plantea el cálculo de los flujos se realiza de la siguiente manera

```

'CALCULOflujos(Xij(),ESTADodatos())

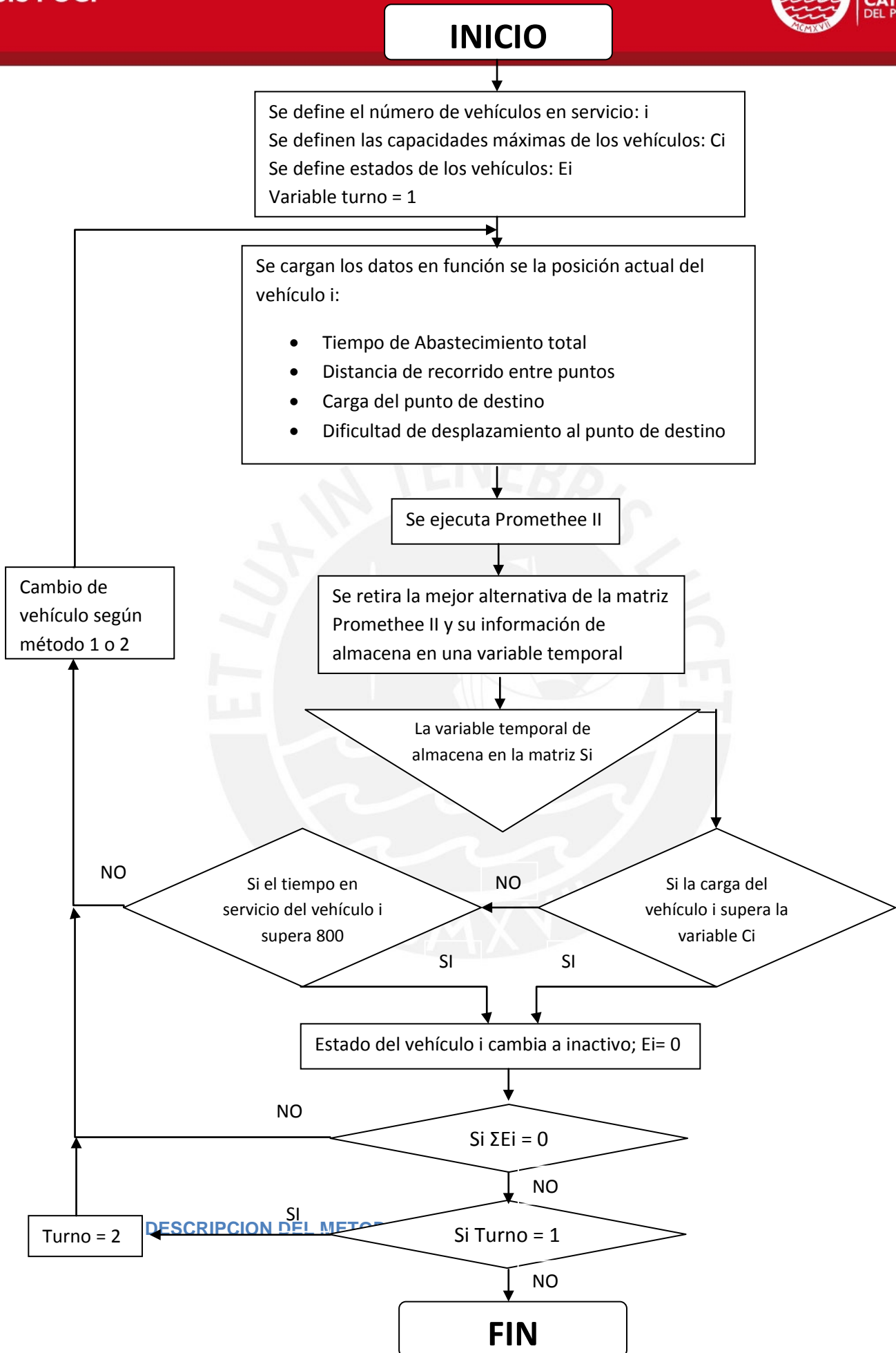
For i = 1 To registros Step 1
  If ESTADodatos(i) = 1 Then
    For j = 1 To registros Step 1
      If ESTADodatos(j) = 1 Then
        'Saliente
        Flujos(i, 1) = Flujos(i, 1) + Xij(i, j)
        'Entrante
        Flujos(i, 2) = Flujos(i, 2) + Xij(j, i)
        'Opcion
        Flujos(i, 4) = i
      End If
    Next
  End If
Next

'Flujo neto
For i = 1 To registros Step 1
  If ESTADodatos(i) = 1 Then
    'Neto
    Flujos(i, 3) = Flujos(i, 1) - Flujos(i, 2)
  End If
Next

```

#### 9.4.7. DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO DE LA APLICACIÓN

A continuación se diagramara de forma esquemática el flujo grama de la aplicación que se ha desarrollo para la solución del problema planteado base a a su análisis por el método Promethee II.





Antes de la descripción de los métodos es importante aclarar que todos utilizan los mismos algoritmos para obtención de la ordenación de las alternativas según el método promete II

El mismo modo se utiliza solo el método promete II debido a que solo se toma la mejor alternativa para la ordenación y el resto de datos es irrelevante para la obtención de la solución, pero podría ser relevante para el análisis de como se llega a dicha solución, del mismo modo fue importante para el desarrollo de los métodos y la implementación de la aplicación en VBA de Excel.

El método 1 (LOCM1) ejecuta repetidamente el método promete II para la ordenación de los posibles puntos de recogida y en cada repetición retira un punto seleccionándolo para el abastecimiento, este punto ya no es considerado nuevamente para la determinación de la ordenación de las alternativas.

El método 1 (LOCM1) selecciona puntos de prestación de servicio 1 a 1 para cada vehículo en servicio; es decir, antes de seleccionar el siguiente punto de servicio para un determinado vehículo  $i$ , seleccionara el punto de servicio siguiente de  $i+1$  para que ambos tengan la misma cantidad de puntos de servicio, si es posible, y no asignara un nuevo punto de servicio a el vehículo  $i$  sin antes a ver asignado un punto de servicio a todos los vehículos disponibles en los que sea posible hacerlo.

Para entender esto mejor veamos la figura 20:

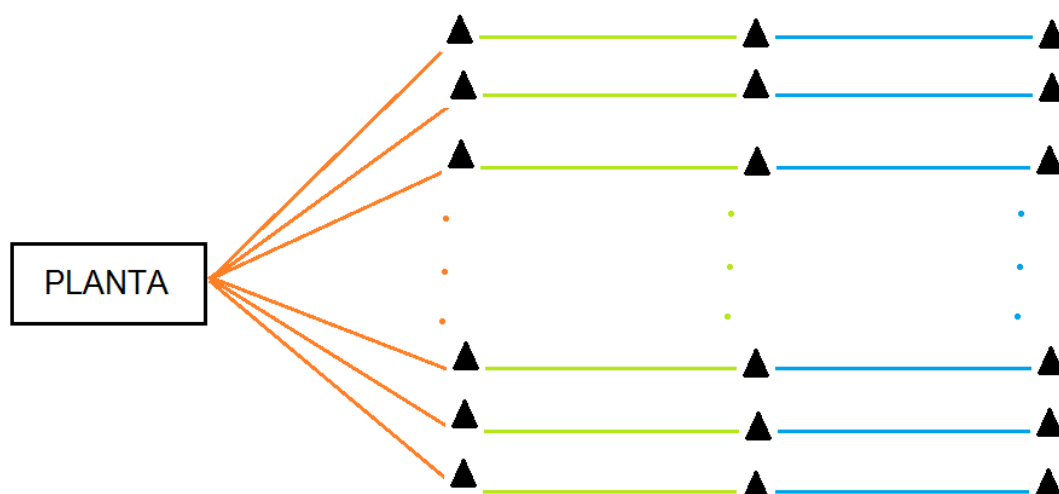


Figura 38: Esquema de asignación de alternativas seleccionadas LOCM1  
Fuente: Elaboración propia

Cada color representa el orden en el que el asigna alternativas a cada unidad, para el caso del ejemplo: en color rojo se muestra las primeras asignaciones de alternativa para cada vehículos disponibles al que sea posible asignare, en color verde se muestra las segundas asignaciones de alternativa para cada vehículo disponible al que sea posible asignare y por ultimo en color azul se muestra las ultimas asignaciones de alternativa a los vehículos a los que sea posible asignarles. Es importante resaltar que el destino final de la ruta siempre es el del origen; es decir el inicio y fin de las rutas será siempre la planta de la empresa (FAB0001).

#### 9.4.9. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO 2 (LOCM2)

El método 2 (LOCM2) al igual que el método 1 (LOCM1) ejecuta repetidamente el método promete II para la ordenación de los posibles puntos de recogida y en cada repetición retira un punto seleccionándolo para la recogida, este punto ya no es considerado nuevamente para la determinación de la ordenación de las alternativas.

Pero a diferencia del método 1 (LOCM1), el método 2 (LOCM2) selecciona puntos de prestación de servicio para toda la ruta de un vehículo antes de pasar al siguiente; es decir primero diseña o calcula toda la ruta del vehículo  $i$  antes de pasar al vehículo  $i+1$  y a su vez calcula toda la ruta del vehículo  $i+1$  antes de pasar al vehículo  $i+2$

Para entender esto mejor veamos la figura 21:

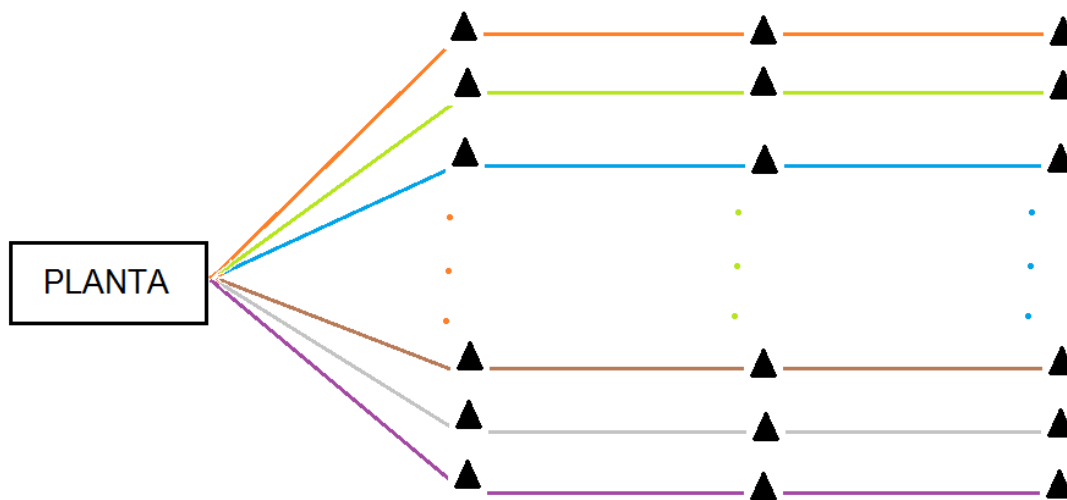


Figura 39: Esquema de asignación de alternativas seleccionadas LOCM2  
Fuentes: Elaboración propia

Cada color representa el orden de las ordenaciones que realiza el método, en este caso primero realiza todas las ordenaciones correspondientes al vehículo 1 mostrado de color rojo, para posteriormente realizar todas las ordenaciones correspondientes al vehículo 2 mostrado de color verde y así continuara hasta culminar con el vehículo  $n$  mostrado de color lila. . Es importante resaltar que el destino final de la ruta siempre es el del origen; es decir el inicio y fin de las rutas será siempre la planta de la empresa (FAB0001).

#### 9.4.10. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO ACTUAL

El método actual lo que hace es ir hacia cada punto de recogida esperando utilizar la máxima capacidad de la unidad de recogida y regresar a la planta y este

proceso de repite a lo largo del mes de servicio, durante un mes se podría ir de 4 a 6 veces a un punto de recogida en un mismo mes

Para comprender mejor el método ver la figura 21:

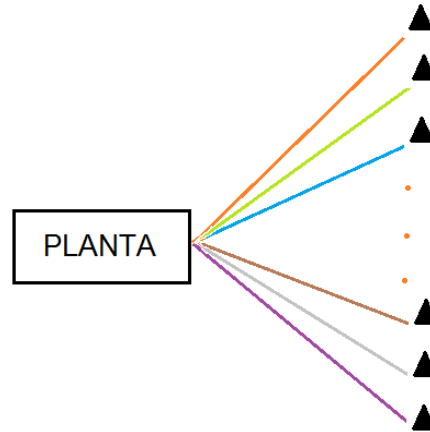


Figura 40: Esquema del Método Actual  
Fuente: Elaboración propia

Cada color representa una acción de ir y volver a un punto de servicio esperando cargar la máxima capacidad de la unidad de recogida. A comparación con los métodos LOCM1 y LOCM2 este método orienta todo su esquema a la utilización máxima de las capacidades mientras que los métodos antes expuestos consideran también la parte económica y de tiempos de servicio; además de maximizar el nivel de servicio prestado a los clientes.

Tener en cuenta que existen una tasa adicional al coste de la mercancía de residuos sólidos por concepto de almacenamiento.

Como comentario adicional del autor para el punto de recogida se podría inferir por las practicas de mercado que es mucho más cómodo que se el punto de recogida de residuos todos los días a uno de cada tantos, ya que así elimina el almacenamiento de este y elimina cualquier situación peligrosa que pueda surgir, además de los costes asociado al almacenamiento.

#### 9.4.11. VISUALIZACION DE RESULTADOS

La visualización de resultados se realiza a 4 niveles diferentes:

- El primer nivel muestra los resultados parciales de la solución
- El segundo nivel muestra todas las todas en una hoja Excel junto con la información referencial necesaria



A continuación se muestra un ejemplo de ellos para una ordenación de 10 vehículos con capacidades de 1500 para 110 posibles puntos de recogida para el turno de mañana.

JRDN	ALTERNATI	DISTANCIA	TIEMPO	CARGA	X	Y	Z	UNIDAD	1	ORDEN	ALTERNATI	DISTANCIA	TIEMPO	CARGA	X	Y	Z	UNIDAD	2	ORDEN	ALTERNATI	DISTANCIA	TIEMPO	CARGA	X	Y	Z	UNIDAD	3							
1	FAB0001	1594546	1047427	0	1394293	-6076,455	-1316,532	1	1	FAB0001	1594546	1047427	0	1394293	-6076,455	-1316,532	1	1	FAB0001	1594546	1047427	0	1394293	-6076,455	-1316,532	1	1	FAB0001	1594546	1047427	0	1394293	-6076,455	-1316,532	1	1

Tabla 13: Informe de segundo nivel  
Fuente: Elaboración propia

Estos resultados parciales pueden ser revisados en cada uno de los informes generados para cada solución que se obtiene. En los informes no se lista de esta manera, le lista longitudinalmente desde la columna A hasta la ET

9.4.11.3. RESULTADOS: TERCER INFORME

Los resultados mostrados en el tercer informe o de tercer nivel, es información que sirve para el contraste y el análisis sistemático de los resultados obtenidos, este informe rescata la información del informe de segundo nivel y la ordena en un formato que permite mejor su entendimiento y análisis, además de brindar información económica tanto para cada vehículo parte de la solución como para la solución global

A continuación se muestra un ejemplo de ellos para una ordenación de 10 vehículos con capacidades de 1500 para 110 posibles puntos de recogida para el turno de mañana.

VEHICULO	1	COMBUSTIBLE	3,5	PERSONAL	10,5	VEHICULO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTIBLE	PERSONAL	CARGA	VAL/UN			
1	647,051497	52,59719	2264,68024	552,270449	10592	0,265951									
ORDEN	ALTERNATIVA	DIRECCION	DISTANCIA	TIEMPO	CARGA	X	Y	Z	VEHICULO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTIBLE	PERSONAL	CARGA	VAL/UN
1	FAB0001	Av. Progreso 384, Villa Cl	11,01669587	1,0047627	0	1394,93	-6076,45	-1316,53	1	73,9576293	5,633075	258,8517024	59,1472888	1138	0,279437

Figura 41: Informe de tercer nivel

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados parciales pueden ser revisados en cada uno de los informes generados para cada solución que se obtiene. Además de esto se puede analizar ruta por ruta en el esquema de trazado de rutas.

**9.4.11.4. RESULTADOS: CUARTO INFORME**

Los resultados mostrados en el cuarto informe o de cuarto nivel muestra información recopilada de una serie de soluciones y permite comparar entre ellas el nivel de servicio que se presta y a cuantos puntos de les presta, el coste unitario de prestación de servicio por kilogramo de materia, la eficiencia de utilización del tiempo que tomaría en el mejor de casos y de la capacidad de los vehículos

A continuación se muestra el ejemplo para todas las soluciones de capacidad de 1500 desde 1 hasta 20 vehículos en servicio para ambos turnos

#VEHICULO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTIB	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C	SERVICIO
20	1631,623695	88,50281986	5710,682933	3333,333333	13733,5	0,658536882	0,276571312	0,228891667	1
19	1597,054507	87,51512876	5589,690773	3166,666667	13733,5	0,637591105	0,287878713	0,240938596	1
18	1420,574887	82,47285392	4972,012106	3000	13733,5	0,580479274	0,286364076	0,254324074	1
17	1374,003328	81,14223794	4809,011648	2833,333333	13733,5	0,556474677	0,298317051	0,269284314	1
16	1427,343895	82,66625415	4995,703633	2666,666667	13733,5	0,557932814	0,322915055	0,286114583	1
15	1338,529145	80,12868986	4684,852007	2500	13733,5	0,523162486	0,333869541	0,305188889	1
14	1377,912746	81,25393559	4822,69461	2333,333333	13733,5	0,521063672	0,362740784	0,326988095	1
13	1479,643482	84,16052805	5178,752186	2166,666667	13733,5	0,534854105	0,404617923	0,352141026	1
12	1662,205029	89,37657227	5817,717603	2000	13733,5	0,569244373	0,465502981	0,381486111	1
11	1633,264599	88,54970284	5716,426097	1833,333333	13733,5	0,549733093	0,503123312	0,416166667	1
10	1676,532119	89,78591767	5867,862415	1666,666667	13733,5	0,5486241	0,561161985	0,457783333	1
9	1504,554756	84,87227874	5265,941646	1500	13733,5	0,492659675	0,589390825	0,508648148	1
8	1325,080508	79,74444308	4637,781778	1333,333333	13733,5	0,434784659	0,623003462	0,572229167	1
7	1368,356921	80,98091204	4789,249224	1166,666667	13733,5	0,433677933	0,723043857	0,65397619	1
6	867,0140994	60,23183141	3034,549348	1000	11360	0,355153992	0,627414911	0,631111111	0,827174427
5	730,3319582	52,36662738	2556,161854	833,333333	9910	0,342027769	0,654582842	0,660666667	0,721593185
4	634,1314516	46,14804147	2219,460081	666,666667	8605	0,335401133	0,721063148	0,717083333	0,626570066
3	504,4189367	35,39696962	1765,466278	500	6386	0,354755133	0,737436867	0,709555556	0,464994357
2	284,5162425	21,5240355	995,8068487	333,333333	3907	0,340194569	0,672626109	0,651166667	0,284486839
1	197,5306265	13,08873218	691,3571926	166,666667	2177	0,394131309	0,818045762	0,725666667	0,158517494

Tabla 14: Informe de Cuarto Nivel

Fuente: Elaboración Propia

Estos resultados parciales pueden ser revisados en cada uno de los informes generados para cada solución que se obtiene.

**9.4.12. VERIFICACION DEL PROGRAMA**

Es necesario realizar la verificación de la solución planteada, debido a que si no se realiza se pueden dar como correctos valores que no los son.

Para la solución planteada debido a la gran cantidad de operaciones que se deben realizar solo para la primera ordenación es imposible su realización manual. Se estima que se realizan alrededor de un millón de operaciones por cada ordenación y se realizan alrededor de 100 ordenaciones por solución, lo que nos arroja un total de 100 millones de operaciones que toman lugar en aproximadamente 3 a 5 min.

Una vez descartada la comprobación manual de los resultados, también se descarta la comprobación de los resultados finales pero aun queda la opción de la

comprobación de los resultados con pocos puntos de recogida y la comprobación de los resultados intermedios, en este punto entra en juego los informes de primer nivel en los que se puede evaluar la evolución de las ordenación, así como los puntos que aun no han sido seleccionados para realizar los cálculos manualmente y comprobar la próxima ordenación.

Otra posible opción en la inserción de datos extraordinariamente favorables o desfavorables para ver como la solución trata dichos datos.

Finalmente queda la validación por zonas y la validación con diferentes puntos de inicio para identificar los puntos más favorables para cada sector del mapa de coordenadas. A partir de estos puntos favorables por zonas ver la y su evolución se contrasta contra los resultados finales del análisis

Es importante resaltar que al tener 2 métodos de ordenación diferentes se nos presenta la oportunidad de contrastar los datos que se pueden obtener de ellos, así como los resultados finales y el desempeño de los índices que evalúan su rendimiento, tales como coste unitario de transporte de materiales, eficiencia de la capacidad de carga y eficiencia del tiempo en las mejores condiciones posibles (los métodos calculan el tiempo sancionado los valores con dificultades de desplazamiento).

## 10. DESARROLLO DE LA SOLUCION AL PROBLEMA PLANTEADO

Como se menciona en apartados anteriores se realizara la evaluación para dos empresas diferentes capacidades de recursos utilizando los tres métodos que se han modelado, los que son:

- Método 1 (LOCM1)
- Método 2 (LOCM2)
- Método actual

La empresa ficticia a la que denominaremos PLASTICORP, será una empresa de recursos ilimitados que tiene el objetivo de implementar el modulo de negocio de aprovisionamiento y abastecimiento de residuos sólidos en los grandes almacenes, supermercado y centros comerciales limeños. En un su primer implementación desean lograr la eficiencia suficiente como para poder ser competitivos y a su vez reducir lo más posible las unidades puestas a circulación para la recolección de residuos sólidos en la mayor cantidad de puntos de recogida posibles

Para el análisis de datos para la decisión de la empresa se tomara en cuenta las siguientes condiciones:

- Se realizara el análisis para dos capacidades de transporte en los vehículos de recolección, estos serán las capacidades de 1500 y 2500 Kg para cada modelación respectivamente
- Se consideraran dos turnos de 8 horas de servicio de 6:00 de la mañana a 14:00 de la tarde y de 14:00 a 22:00 de la tarde. Dentro de ellas ya se

encuentran los descansos regulados por la ley peruana para jornadas de más de 6 horas seguidas.

- Se realizara el análisis para cada capacidad desde 1 vehículo de recogida hasta 20 vehículos

La segunda empresa es una empresa real que funciona desde mediados de los 90's y actualmente funciona bajo el nombre de RECICLADOS Y PROCESOS PLASTICOS, la cual dispone de 2 unidades de recolección de las siguientes capacidades: 1500 y una de 2500.

Para el análisis se tomaran en cuenta las siguientes condiciones:

- Se consideraran 2 turnos de 8 horas de servicio de 6:00 de la mañana a 14:00 de la tarde y de 14:00 a 22:00 de la tarde. Dentro de ellas ya se encuentran los descansos regulados por la ley peruana para jornadas de más de 6 horas seguidas.
- Se realizara un primer análisis con el siguiente orden 1500 y 2500
- Se realizara un segundo análisis con el siguiente orden 2500 y 1500

Para una mejor lectura de los gráficos que se mostraran a lo largo de los siguientes puntos se utilizara el siguiente patrón:

- La leyenda de color marrón representara los datos del día completo
- La leyenda de color verde representara los datos de la mañana
- La leyenda de color azul representara los datos de la tarde

## 10.1. SOLUCION GENERAL PARA LA EMPRESA PLASTICORP

### 10.1.1. ANALISIS NUMERICO

Debido a que cada resultado es un archivo Excel y cada juego de soluciones para una determinada capacidad son de entre una y 20 unidades recogiendo residuos al simultaneo, se tiene un total de 20 archivos con 40 configuraciones de rutas por juego de soluciones y se deben realizar 4 juegos de soluciones, así que para simplificar el análisis nos valdremos de los informes de cuarto nivel, los que nos brindan información de contraste que facilita el análisis

Para determinar la opción mas beneficiosa se analizara las economías de escala de cada opción contrastando los costes totales vs las cantidades recogidas, de dicha grafica se rescataran las pendientes de cada opción las que representaran los coste unitarios de cada opción y dentro de ellas buscaremos la de menor pendiente o menor coste unitario, para la evaluación de la mejor alternativa se considerara permitir un incremento de los costes hasta de un 15%, siempre que el volumen de residuos recogidos compense; es decir que el incremento de los residuos recogidos sea de al menos el 15% con respecto a la opción de menor coste.



Finalmente se compara entre las soluciones elegidas para cada método de análisis para la prestación de servicios, contrastando sus pros y contras

10.1.1.1. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO 1 (LOCM1)

10.1.1.1.1. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO 1 (LOCM1) CON CAPACIDAD 1500

Al realizar el primer juego de análisis se calculan los siguientes costes unitarios derivados de la actividad logistica inversa en la red de abastecimiento.

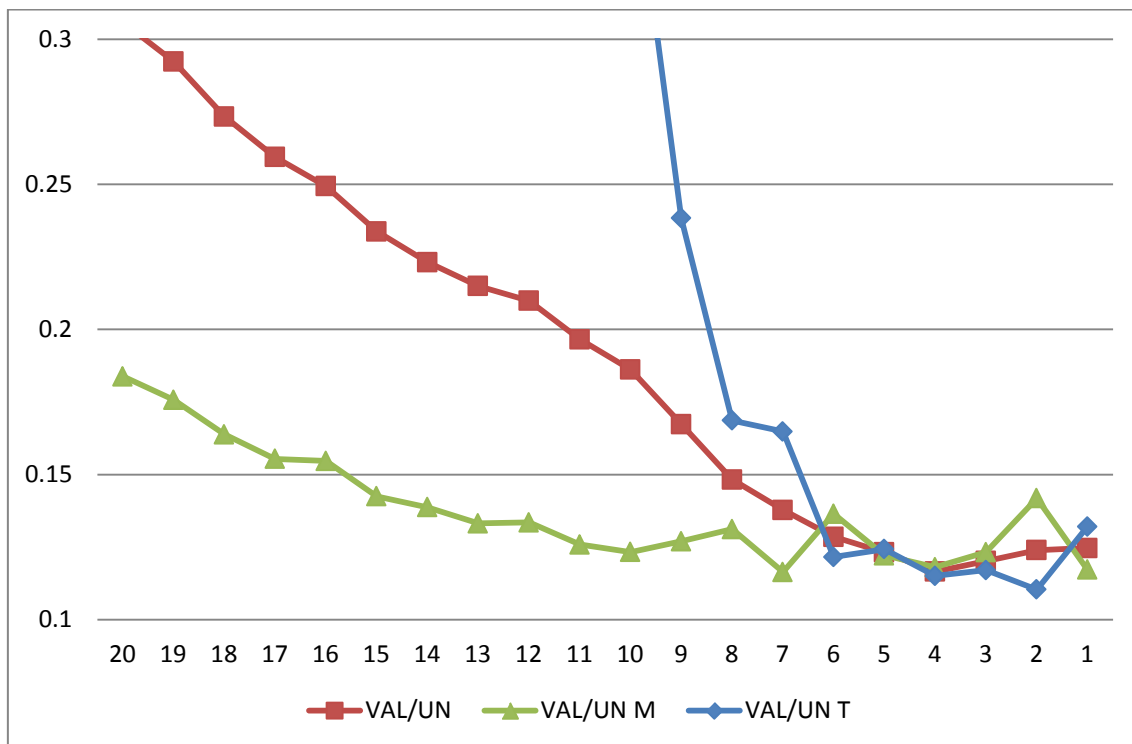


Figura 42: Coste Unitario de Abastecimiento LOCM1-1500  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 se puede observar claramente que el menor coste unitario en el turno mañana lo posee la opción 2, pero contradictoriamente posee un coste unitario muy elevado en el turno tarde, esto se debe a los efectos del tránsito quien disminuye su capacidad de recolección en dicho turno

Por otro lado la opción 4 tiene costes unitarios muy parecidos en ambos turnos y del mismo modo en su desempeño global, lo que la convierte en una alternativa mucho mas estable. Además posee el coste más bajo de todas las opciones. El coste unitario global se reduce hasta la opción 4 (Cu=0,1151 um; C=8605) y en la opción 5 (Cu=0,1221 um; C=9910) empieza a incrementarse.

Debido a que la empresa está dispuesta a un incremento de los costes unitarios siempre que la recogida lo compense, para este análisis se permite un

incremento hasta de 0,0167 um, lo que deja un coste máximo de 0,1323 um y un incremento de la recogida de 1290,75 kg como mínimo para justificar el incremento de los costes.

Al analizar las opciones posibles, se concluye que las opciones 5 y 6 cumplen con estos requisitos, siendo en la opción 5 los Cu=0,1221 y C=9910 y en la opción 6 Cu=1285 y C=11360. Finalmente se opta por la opción 5 debido que posee una mayor estabilidad que la opción 6.

Por ello se toma como resultado satisfactorio la solución de prestar el servicio con los siguientes parámetros de servicio

Para la mañana, tarde y global

TURNO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTI	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C	SERVICIO
MAÑANA	390,208029	28,8538008	207,156565	416,666667	5105,5	0,12218651	0,721345021	0,680733333	0,37569447
TARDE	340,123929	23,5128266	180,567543	416,666667	4804,5	0,12430726	0,587820664	0,6406	0,7664513
GLOBAL	730,331958	52,3666274	387,724107	833,333333	9910	0,12321468	0,654582842	0,660666667	0,72159318

Tabla 15: Configuración más satisfactoria obtenida con el método LOCM1-1500  
Fuente: Elaboración propia

10.1.1.1.2. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO 1 (LOCM1) CON CAPACIDAD 2500

Al realizar el segundo juego de análisis se calculan los siguientes costes unitarios derivados de la actividad logística inversa en la red de abastecimiento.

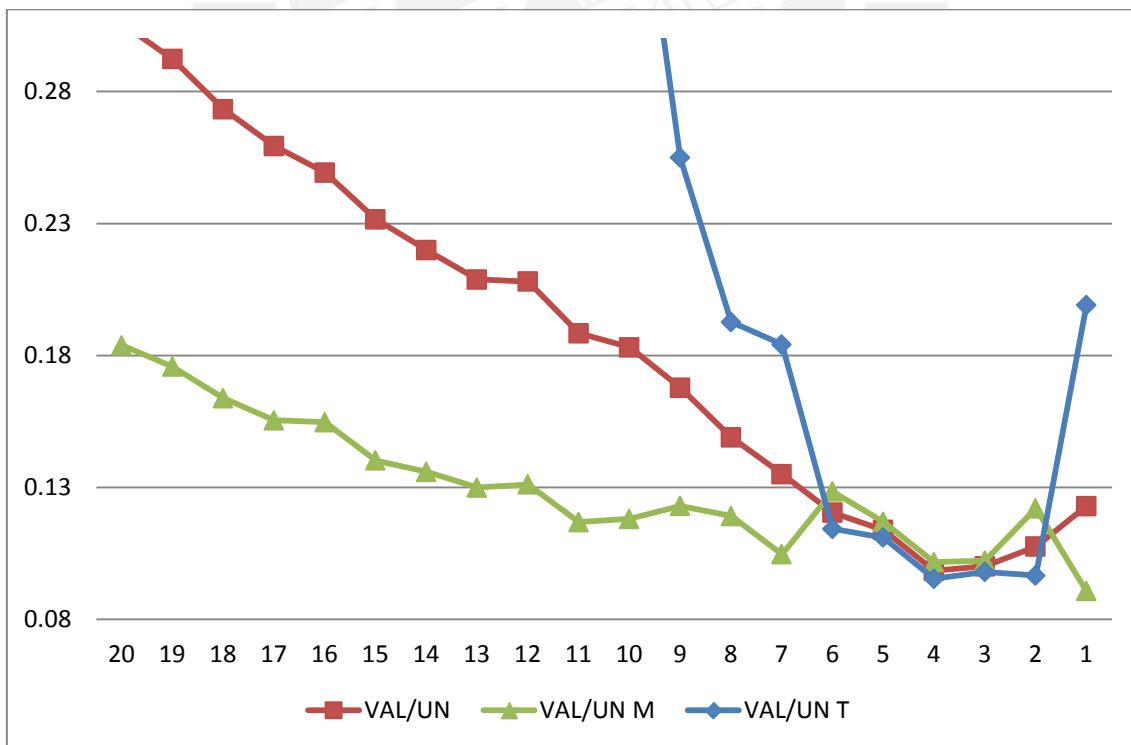


Figura 43: Coste Unitario de Abastecimiento LOCM1-2500  
Fuente: Elaboración propia

Nuevamente en la figura 24 se observa claramente que las economías a escala se transforman en des economías de escala a partir de la opción 5, lo que deja como mejor alternativa la opción 4 ( $C_u=0,0954$  y  $C=10379$ ), esta misma es los costes unitarios en la mañana, tarde y globales lo mas similares; es decir es una opción estable.

Debido a que la empresa está dispuesta a un incremento de los costes unitarios siempre que la recogida lo compense, para este análisis se permite un incremento hasta de  $0,01431$  um, lo que deja un coste máximo de  $0,10971$  um y un incremento de la recogida de  $1556,85$  kg como mínimo para justificar el incremento de los costes.

Al analizar las opciones posibles, se concluye que ninguna de las opciones puede competir con opción más satisfactoria, la opción 4.

Por ello se toma como resultado satisfactorio la solución de prestar el servicio con los siguientes parámetros de servicio

Para la mañana, tarde y global

#VEHICULO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTI	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C	SERVICIO
MAÑANA	333,660322	26,7731521	177,136094	333,333333	5018	0,10172767	0,836661002	0,5018	0,36925568
TARDE	335,639907	25,0297116	178,187031	333,333333	5361	0,0954151	0,782178488	0,5361	0,73378045
GLOBAL	669,300229	51,8028637	355,323125	666,666667	10379	0,09846708	0,809419745	0,51895	0,75574326

Tabla 16: Configuración más satisfactoria obtenida con el método LOCM1-2500  
Fuente: Elaboración propia

En los anexos se podrá encontrar información más detallada sobre las soluciones que se han tomado como satisfactorias, en este caso de 5 unidades de 1500 para el primer análisis y de 4 unidades de 2500 para el segundo análisis.

#### 10.1.1.1.3. CONTRASTE DE RESULTADOS Y VALORACION FINAL LOCM1

Opción 1: 6 vehículos de capacidad de 1500 Kg

TURNOS	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTI	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C	SERVICIO
MAÑANA	390,208029	28,8538008	207,156565	416,666667	5105,5	0,12218651	0,721345021	0,680733333	0,37569447
TARDE	340,123929	23,5128266	180,567543	416,666667	4804,5	0,12430726	0,587820664	0,6406	0,7664513
GLOBAL	730,331958	52,3666274	387,724107	833,333333	9910	0,12321468	0,654582842	0,660666667	0,72159318

Tabla 15: Configuración más satisfactoria obtenida con el método LOCM1-1500  
Fuente: Elaboración propia

Opción 2: 4 vehículos de capacidad de 2500 Kg

#VEHICULO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTI	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C	SERVICIO
MAÑANA	333,660322	26,7731521	177,136094	333,333333	5018	0,10172767	0,836661002	0,5018	0,36925568
TARDE	335,639907	25,0297116	178,187031	333,333333	5361	0,0954151	0,782178488	0,5361	0,73378045
GLOBAL	669,300229	51,8028637	355,323125	666,666667	10379	0,09846708	0,809419745	0,51895	0,75574326

Tabla 16: Configuración más satisfactoria obtenida con el método LOCM1-2500  
Fuente: Elaboración propia

En esta oportunidad la elección es clara siguiente los criterios de la economía de escalas, se concluye que la mejor opción es prestar el servicio con 4 vehículos de 2500 kg de capacidad cada uno.

Para revisar mas documentación sobre la opción elegida, puede revisar los anexos.

10.1.1.2. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO 2 (LOCM2)

10.1.1.2.1. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO 2 (LOCM2) CON CAPACIDAD 1500

Al realizar el tercero juego de análisis se calculan los siguientes costes unitarios derivados de la actividad logística inversa en la red de abastecimiento.

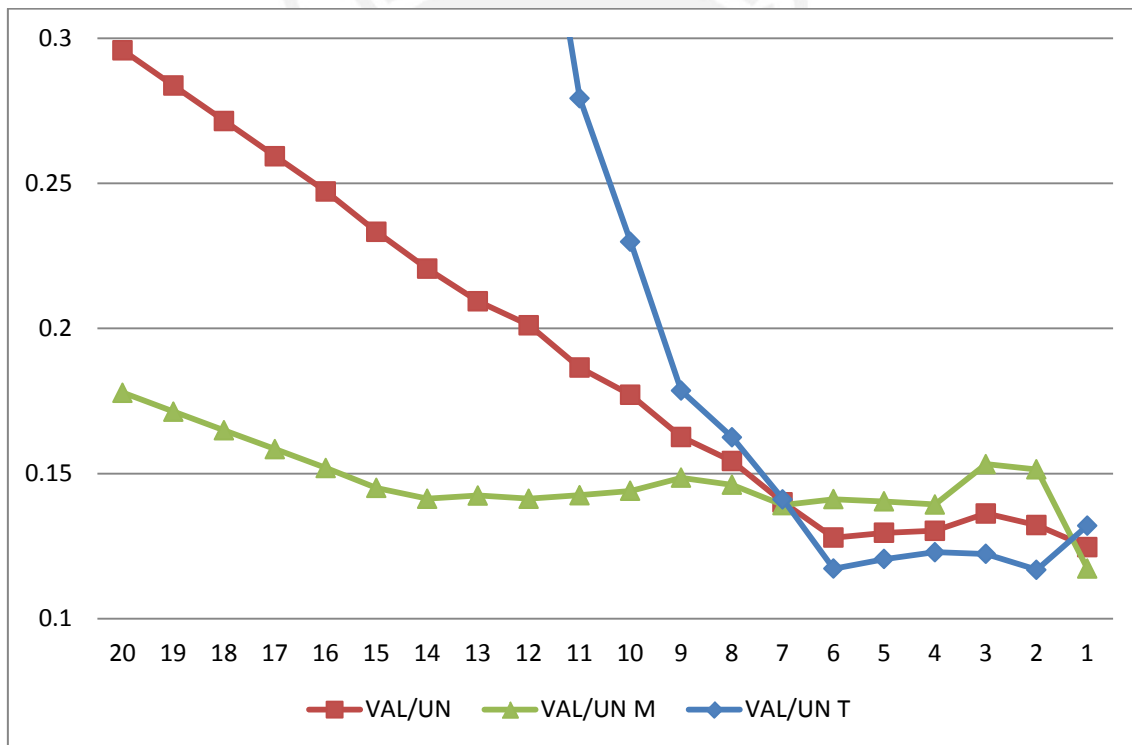


Figura 44: Coste Unitario de Abastecimiento LOCM2-1500  
Fuente: Elaboración propia

Nuevamente en la figura 25 se observa claramente que las economías a escala se transforman en des economías de escala a partir de la opción 7, lo que deja como mejor alternativa la opción 6 (Cu=0,1279 y C=11542,5), la misma que tiene costes más altos en el turno mañana por efectos del tránsito en la capacidad de recogida.

Debido a que la empresa está dispuesta a un incremento de los costes unitarios siempre que la recogida lo compense, para este análisis se permite un

incremento hasta de 0,0191 um, lo que deja un coste máximo de 0,1471 um y un incremento de la recogida de 1731,37 kg como mínimo para justificar el incremento de los costes.

Al analizar las opciones posibles, se concluye que ninguna de las opciones puede competir con opción más satisfactoria, la opción 6.

Por ello se toma como resultado satisfactorio la solución de prestar el servicio con los siguientes parámetros de servicio

Para la mañana, tarde y global

#VEHICULO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTI	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C	SERVICIO
MAÑANA	431,207322	29,7852092	228,922577	500	5162	0,14120933	0,620525192	0,573555556	0,40088533
TARDE	467,906818	31,4937662	248,405881	500	6380,5	0,1172958	0,65612013	0,708944444	0,97027068
GLOBAL	899,11414	61,2789754	477,328458	1000	11542,5	0,12799034	0,638322661	0,64125	0,8404631

Tabla 17: Configuración más satisfactoria obtenida con el método LOCM2-1500

Fuente: Elaboración propia

10.1.1.2.2. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO 2 (LOCM2) CON CAPACIDAD 2500

Al realizar el cuarto juego de análisis se calculan los siguientes costes unitarios derivados de la actividad logística inversa en la red de abastecimiento.

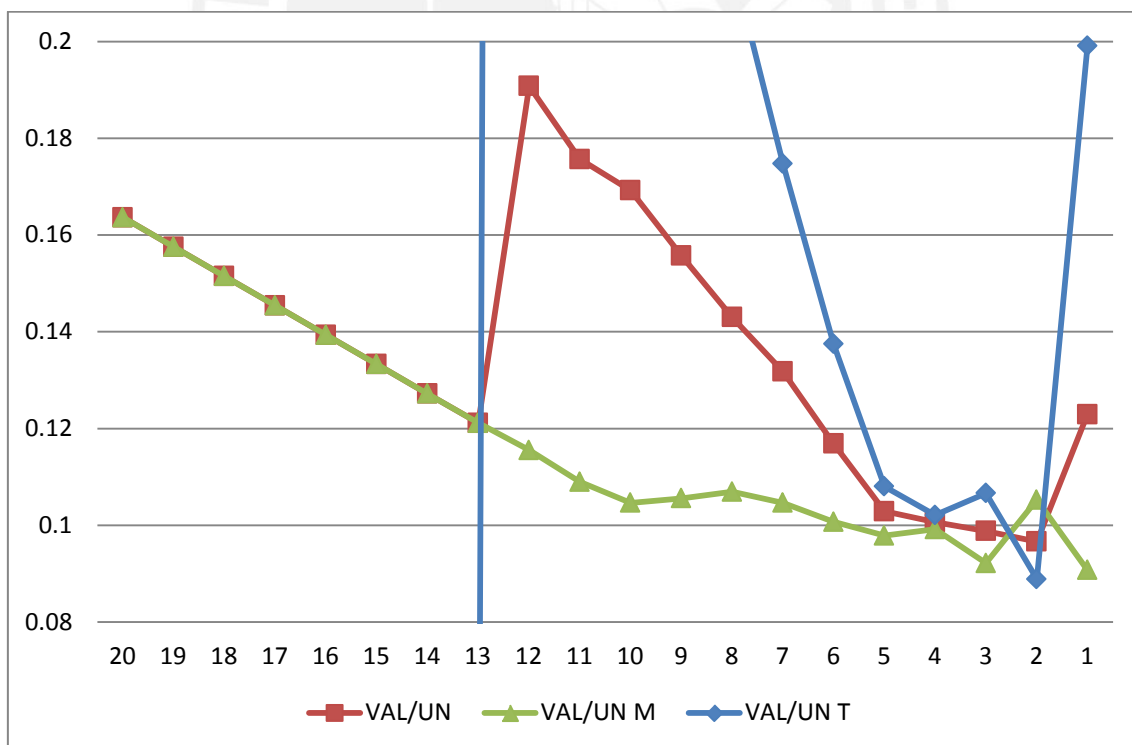


Figura 45: Coste Unitario de Abastecimiento LOCM2-2500

Fuente: Elaboración propia

Nuevamente en la figura 26 se observa claramente que las economías a escala se transforman en des economías de escala a partir de la opción 3, lo que deja como

mejor alternativa la opción 2 ( $Cu=0,966$  um y  $C=5056,5$  kg), a pesar de la considerable diferencia que se tiene entre los costes en la mañana, tarde y global.

Debido a que la empresa está dispuesta a un incremento de los costes unitarios siempre que la recogida lo compense, para este análisis se permite un incremento hasta de  $0,0144$  um, lo que deja un coste máximo de  $0,1111$  um y un incremento de la recogida de  $758,47$  kg como mínimo para justificar el incremento de los costes.

Al analizar las opciones posibles, se concluye que las siguientes opciones pueden ser mejores que la más satisfactoria: la opción 3 con  $Cu=0,0998$  um y  $C=7513,5$  Kg; la opción 4 con  $Cu=0,1021$  um y  $C=1003,5$  Kg; y la opción 5 con  $Cu=0,1064$  y  $C=12438,5$  Kg.

Se optara finalmente por la opción 4 debido a que posee una mayor estabilidad que el resto de las opciones

Por ello se toma como resultado satisfactorio la solución de prestar el servicio con los siguientes parámetros de servicio

Para la mañana, tarde y global

#VEHICULO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTI	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C	SERVICIO
MAÑANA	313,163258	25,6875217	166,254459	333,333333	5036,5	0,09919345	0,802735052	0,50365	0,36673099
TARDE	327,466616	24,676189	173,847933	333,333333	4967	0,10211018	0,771130907	0,4967	0,80816791
GLOBAL	640,629874	50,3637107	340,102392	666,666667	10003,5	0,10064168	0,78693298	0,500175	0,72840135

Tabla 18: Configuración más satisfactoria obtenida con el método LOCM2-2500  
Fuente: Elaboración propia

En los anexos se podrá encontrar información mas detallada sobre las soluciones que se han tomado como satisfactorias, en este caso de 6 unidades de 1500 para el primer análisis y de 4 unidades de 2500 para el segundo análisis.

#### 10.1.1.2.3. CONTRASTE DE RESULTADOS Y VALORACION FINAL LOCM2

Opción 1: 6 vehículos de capacidad de 1500 Kg

#VEHICULO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTI	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C	SERVICIO
MAÑANA	431,207322	29,7852092	228,922577	500	5162	0,14120933	0,620525192	0,573555556	0,40088533
TARDE	467,906818	31,4937662	248,405881	500	6380,5	0,1172958	0,65612013	0,708944444	0,97027068
GLOBAL	899,11414	61,2789754	477,328458	1000	11542,5	0,12799034	0,638322661	0,64125	0,8404631

Tabla 17: Configuración más satisfactoria obtenida con el método LOCM2-1500  
Fuente: Elaboración propia

Opción 2: 4 vehículos de capacidad de 2500 Kg

#VEHICULO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTI	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C	SERVICIO
MAÑANA	313,163258	25,6875217	166,254459	333,333333	5036,5	0,09919345	0,802735052	0,50365	0,36673099
TARDE	327,466616	24,676189	173,847933	333,333333	4967	0,10211018	0,771130907	0,4967	0,80816791
GLOBAL	640,629874	50,3637107	340,102392	666,666667	10003,5	0,10064168	0,78693298	0,500175	0,72840135

Tabla 18: Configuración más satisfactoria obtenida con el método LOCM2-2500  
Fuente: Elaboración propia

En esta oportunidad la comparación de las alternativas no es tan sencilla por ello, se supondrá que la de menor coste es la opción mas satisfactoria y se procederá a evaluar el incremento del coste unitario con respecto al incremento de la carga recogida.

La opción 1 representa un incremento del 27,17% del coste unitario y un incremento de la carga recogida de 15,38%.

Por ello se optara por la opción 2.

#### **10.1.1.3. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO ACTUAL**

Para modelar la situación actual se trabajara bajo el supuesto que cada vehículo tarda una jornada de trabajo completa en prestar del servicio a cierto punto; es decir el tiempo de servicio es de 8 horas. Del mismo modo se considerara que el costo de almacenaje debe ser indemnizado al cliente, para ello se considera un coste de almacenaje de 3% del valor de comercialización el residuo el que es aproximadamente una unidad monetaria.

Adicionalmente se calculara el coste si no se tendría que indemnizar dicho coste de almacenamiento

Finalmente se considera para el análisis de vehículos de capacidad 1500 kg que se prestara servicio a cada punto cada 7 días, repartidos a los largo de una semana de 6 días por lo que se podrá prestar servicio a un máximo de 12 puntos por vehículo. De modo análogo se procederá en el análisis de vehículos de 2500 Kg, se prestara servicio cada 14 días repartidos en 2 semanas de 6 días (12 días de servicio) por lo que cada vehículo podrá prestar servicio a un máximo de 24 puntos.

##### **10.1.1.3.1. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO ACTUAL CON CAPACIDAD 1500**

A continuación se muestra la tabla de inicial de datos por la cual se podrecherà a la ordenación de los datos por cercanía a la fábrica de la empresa

LOCACION	DISTANCIA	TIEMPO	DIAS	CARGA/D	ALMACENADO	PERSONAL	COMBUSTIBLE	CARGA	COSTEu
LOC0092	5,378351221	9,95366718	7	158	66,36	83,3	2,855299434	1106	0,1378981
LOC0035	5,275855941	4,39073874	7	153	64,26	83,3	2,800885971	1071	0,14039298
LOC0056	10,72298398	5,66637097	7	156	65,52	83,3	5,692698158	1092	0,14149514
LOC0033	7,538821915	6,45539491	7	151,5	63,63	83,3	4,002266319	1060,5	0,1423218
LOC0037	17,36827478	8,69623642	7	159,5	66,99	83,3	9,220599979	1116,5	0,14286664
LOC0038	17,21362546	6,93181787	7	149,5	62,79	83,3	9,138498586	1046,5	0,1483311
LOC0070	24,36116736	6,89603335	7	153,5	64,47	83,3	12,93303924	1074,5	0,14956076
LOC0011	31,33894688	8,17539848	7	157	65,94	83,3	16,63745516	1099	0,1509349
LOC0068	16,4813037	4,95089439	7	144	60,48	83,3	8,749718117	1008	0,15131916
LOC0054	24,48327731	5,17952221	7	149,5	62,79	83,3	12,99786588	1046,5	0,15201898
LOC0014	28,17452646	5,12498647	7	150,5	63,21	83,3	14,95750392	1053,5	0,15326768
LOC0024	32,89605254	6,42988722	7	154	64,68	83,3	17,46410309	1078	0,15347319
LOC0018	36,73340715	10,6695259	7	156,5	65,73	83,3	19,50130669	1095,5	0,15383962
LOC0096	38,27375378	7,89353582	7	155	65,1	83,3	20,31905746	1085	0,15550144
LOC0073	49,36231587	9,01035188	7	162,5	68,25	83,3	26,20583646	1137,5	0,15626887
LOC0026	38,68054396	8,5451584	7	151,5	63,63	83,3	20,53501728	1060,5	0,15791138
LOC0004	45,88932324	8,11112352	7	156,5	65,73	83,3	24,36206809	1095,5	0,15827665
LOC0079	52,50917082	8,22026202	7	161,5	67,83	83,3	27,87646242	1130,5	0,15834274
LOC0103	51,63240435	8,51521155	7	158	66,36	83,3	27,41099807	1106	0,16010036
LOC0019	42,77485492	10,6821387	7	150,5	63,21	83,3	22,70863579	1053,5	0,16062519
LOC0060	50,14177912	6,79262226	7	155,5	65,31	83,3	26,61964376	1088,5	0,16098268

Tabla 19: Datos de partida para el análisis por el método actual-1500  
Fuente: Elaboración propia

El resultado del análisis de estos datos es la tabla 18

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CARGA	12852	25760	37779	49122,5	59934	69552	78865,5	87521	95515	96134,5	96134,5	96134,5	96134,5
COMBUSTIBLE	117,449934	396,463331	679,11924	974,119339	1302,53172	1572,26221	1874,66797	2211,29289	2568,75539	2605,50344	2605,50344	2605,50344	2605,50344
PERSONAL	499,98	999,96	1499,94	1999,92	2499,9	2999,88	3499,86	3999,84	4499,82	4999,8	5499,78	5999,76	6499,74
ALMACENAMIENTO	771,12	1545,6	2266,74	2947,35	3596,04	4173,12	4731,93	5251,26	5730,9	5768,07	5768,07	5768,07	5768,07
CONSIDERANDO COSTES DE ALMACENAMIENTO													
COSTE TOTAL	1388,54993	2942,02333	4445,79924	5921,38934	7398,47172	8745,26221	10106,458	11462,3929	12799,4754	13373,3734	13873,3534	14373,3334	14873,3134
CARGA	12852	25760	37779	49122,5	59934	69552	78865,5	87521	95515	96134,5	96134,5	96134,5	96134,5
COSTE UNITARIO	0,10804154	0,11420898	0,11767911	0,12054332	0,12344365	0,12573703	0,12814802	0,13096734	0,13400487	0,13911107	0,14431191	0,14951275	0,15471359
SIN CONSIDERAR COSTES DE ALMACENAMIENTO													
COSTE TOTAL	617,429934	1396,42333	2179,05924	2974,03934	3802,43172	4572,14221	5374,52797	6211,13289	7068,57539	7605,30344	8105,28344	8605,26344	9105,24344
CARGA	12852	25760	37779	49122,5	59934	69552	78865,5	87521	95515	96134,5	96134,5	96134,5	96134,5
COSTE UNITARIO	0,04804154	0,05420898	0,05767911	0,06054332	0,06344365	0,06573703	0,06814802	0,07096734	0,07400487	0,07911107	0,08431191	0,08951275	0,09471359
FACTOR DE ALMACENAMIENTO													
FACTOR	124,89%	110,68%	104,02%	99,10%	94,57%	91,27%	88,04%	84,55%	81,08%	75,84%	71,16%	67,03%	63,35%

Tabla 20: Resultados del análisis por el método actual-1500  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20 se observa que a mayor número de unidades en servicio mayor el coste unitario, por lo que no se consiguen economías de escala, por otro lado se observa que el coste de almacenamiento corresponde a mas del 100% del coste unitario de transporte del residuo.

Es importante resalta que a partir de 11 unidades aumentar el número de unidades no es beneficioso puesto que ya se presta servicio a todos los posibles puntos para este análisis

10.1.1.3.2. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO ACTUAL CON CAPACIDAD 2500

A continuación se muestra la tabla de inicial de datos por la cual se podreará a la ordenación de los datos por cercanía a la fábrica de la empresa



LOCACION	DISTANCIA	TIEMPO	DIAS	CARGA/D	ALMACENADO	PERSONAL	COMBUSTIBLE	CARGA	COSTEu
LOC0092	5,378351221	9,95366718	14	158	248,85	83,3	2,855299434	2212	0,15144905
LOC0035	5,275855941	4,39073874	14	153	240,975	83,3	2,800885971	2142	0,15269649
LOC0056	10,72298398	5,66637097	14	156	245,7	83,3	5,692698158	2184	0,15324757
LOC0033	7,538821915	6,45539491	14	151,5	238,6125	83,3	4,002266319	2121	0,1536609
LOC0037	17,36827478	8,69623642	14	159,5	251,2125	83,3	9,220599979	2233	0,15393332
LOC0038	17,21362546	6,93181787	14	149,5	235,4625	83,3	9,138498586	2093	0,15666555
LOC0070	24,36116736	6,89603335	14	153,5	241,7625	83,3	12,93303924	2149	0,15728038
LOC0011	31,33894688	8,17539848	14	157	247,275	83,3	16,63745516	2198	0,15796745
LOC0068	16,4813037	4,95089439	14	144	226,8	83,3	8,749718117	2016	0,15815958
LOC0054	24,48327731	5,17952221	14	149,5	235,4625	83,3	12,99786588	2093	0,15850949
LOC0014	28,17452646	5,12498647	14	150,5	237,0375	83,3	14,95750392	2107	0,15913384
LOC0024	32,89605254	6,42988722	14	154	242,55	83,3	17,46410309	2156	0,1592366
LOC0018	36,73340715	10,6695259	14	156,5	246,4875	83,3	19,50130669	2191	0,15941981
LOC0096	38,27375378	7,89353582	14	155	244,125	83,3	20,31905746	2170	0,16025072
LOC0073	49,36231587	9,01035188	14	162,5	255,9375	83,3	26,20583646	2275	0,16063443
LOC0026	38,68054396	8,5451584	14	151,5	238,6125	83,3	20,53501728	2121	0,16145569
LOC0004	45,88932324	8,11112352	14	156,5	246,4875	83,3	24,36206809	2191	0,16163832
LOC0079	52,50917082	8,22026202	14	161,5	254,3625	83,3	27,87646242	2261	0,16167137
LOC0103	51,63240435	8,51521155	14	158	248,85	83,3	27,41099807	2212	0,16255018
LOC0019	42,77485492	10,6821387	14	150,5	237,0375	83,3	22,70863579	2107	0,16281259
LOC0060	50,14177912	6,79262226	14	155,5	244,9125	83,3	26,61964376	2177	0,16299134
LOC0097	41.95700143	11.8687715	14	147,5	232.3125	83.3	22.2744476	2065	0.16362564

Tabla 21: Datos de partida para el análisis por el método actual-2500  
Fuente: Elaboración propia

El resultado del análisis de estos datos es la tabla 10

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CARGA	51520	98245	139104	175042	192269	192269	192269	192269	192269	192269	192269	192269
COMBUSTIBLE	396,463331	974,119339	1572,26221	2211,29289	2605,50344	2605,50344	2605,50344	2605,50344	2605,50344	2605,50344	2605,50344	2605,50344
PERSONAL	499,98	999,96	1499,94	1999,92	2499,9	2999,88	3499,86	3999,84	4499,82	4999,8	5499,78	5999,76
ALMACENAMIENTO	5796	11052,5625	15649,2	19692,225	21630,2625	21630,2625	21630,2625	21630,2625	21630,2625	21630,2625	21630,2625	21630,2625
CONSIDERANDO COSTES DE ALMACENAMIENTO												
COSTE TOTAL	6692,44333	13026,6418	18721,4022	23903,4379	26735,6659	27235,6459	27735,6259	28235,6059	28735,5859	29235,5659	29735,5459	30235,5259
CARGA	51520	98245	139104	175042	192269	192269	192269	192269	192269	192269	192269	192269
COSTE UNITARIO	0,12989991	0,13259343	0,13458565	0,1365583	0,13905344	0,14165386	0,14425428	0,1468547	0,14945512	0,15205554	0,15465596	0,15725637
SIN CONSIDERAR COSTES DE ALMACENAMIENTO												
COSTE TOTAL	896,443331	1974,07934	3072,20221	4211,21289	5105,40344	5605,38344	6105,36344	6605,34344	7105,32344	7605,30344	8105,28344	8605,26344
CARGA	51520	98245	139104	175042	192269	192269	192269	192269	192269	192269	192269	192269
COSTE UNITARIO	0,01739991	0,02009343	0,02208565	0,0240583	0,02655344	0,02915386	0,03175428	0,0343547	0,03695512	0,03955554	0,04215596	0,04475637
FACTOR DE ALMACENAMIENTO												
FACTOR	646,56%	559,88%	509,38%	467,61%	423,67%	385,88%	354,28%	327,47%	304,42%	284,41%	266,87%	251,36%

Tabla 22: Resultados del análisis por el método actual-2500  
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20 se observa que a mayor número de unidades en servicio mayor el coste unitario, por lo que no se consiguen economías de escala, por otro lado se observa que el coste de almacenamiento corresponde a más del 600% del coste unitario de transporte del residuo.

Es importante resaltar que a partir de 5 unidades no es beneficio añadir más unidades puesto que ya se prestaría servicio a todos los puntos posibles para este estudio

10.1.1.3.3. CONTRASTE DE RESULTADOS Y VALORACION FINAL METODO ACTUAL

Al evaluar el método actual se tiene que no se consiguen economías de escala y que el coste de almacenamiento que se le tiene que abonar al lugar de recogida incrementa considerablemente los costes.

Por otro lado se prefiere prestar servicios con unidades de 1500, en las cantidades que sea necesaria, ya que siempre será más económico que prestar el servicio con unidades de 2500 dados los tiempos de espera entre servicio y servicio.

10.1.1.4. CONTRASTE DE RESULTADOS Y VALORACION FINAL

Opción 1: 4 vehículos de capacidad de 2500 Kg (Método 1)

#VEHICULO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTIE	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C	SERVICIO
MAÑANA	333,660322	26,7731521	177,136094	333,333333	5018	0,10172767	0,836661002	0,5018	0,36925568
TARDE	335,639907	25,0297116	178,187031	333,333333	5361	0,0954151	0,782178488	0,5361	0,73378045
GLOBAL	669,300229	51,8028637	355,323125	666,666667	10379	0,09846708	0,809419745	0,51895	0,75574326

Tabla 16: Configuración más satisfactoria obtenida con el método LOCM1-2500

Fuente: Elaboración propia

Opción 2: 4 vehículos de capacidad de 2500 Kg (Método 2)

#VEHICULO	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTIE	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C	SERVICIO
MAÑANA	313,163258	25,6875217	166,254459	333,333333	5036,5	0,09919345	0,802735052	0,50365	0,36673099
TARDE	327,466616	24,676189	173,847933	333,333333	4967	0,10211018	0,771130907	0,4967	0,80816791
GLOBAL	640,629874	50,3637107	340,102392	666,666667	10003,5	0,10064168	0,78693298	0,500175	0,72840135

Tabla 16: Configuración más satisfactoria obtenida con el método LOCM1-2500

Fuente: Elaboración propia

Opción 3: prestar servicio con vehículos de capacidad de 1500 Kg

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CARGA	12852	25760	37779	49122,5	59934	69552	78865,5	87521	95515	96134,5	96134,5	96134,5	96134,5
COMBUSTIBLE	117,449934	396,463331	679,11924	974,119339	1302,53172	1572,26221	1874,66797	2211,29289	2568,75339	2605,50344	2605,50344	2605,50344	2605,50344
PERSONAL	499,98	999,96	1499,94	1999,92	2499,9	2999,88	3499,86	3999,84	4499,82	4999,8	5499,78	5999,76	6499,74
ALMACENAMIENTO	771,12	1545,6	2266,74	2947,35	3596,04	4173,12	4731,93	5251,26	5730,9	5768,07	5768,07	5768,07	5768,07
CONSIDERANDO COSTES DE ALMACENAMIENTO													
COSTE TOTAL	1388,549934	2942,02333	4445,79924	5921,38934	7398,47172	8745,26221	10106,458	11462,3929	12799,4754	13373,3734	13873,3534	14373,3334	14873,3134
CARGA	12852	25760	37779	49122,5	59934	69552	78865,5	87521	95515	96134,5	96134,5	96134,5	96134,5
COSTE UNITARIO	0,10804154	0,11420898	0,11767911	0,12054332	0,12344365	0,12573703	0,12814802	0,13096734	0,13400487	0,13911107	0,14431191	0,14951275	0,15471359
SIN CONSIDERAR COSTES DE ALMACENAMIENTO													
COSTE TOTAL	617,429934	1396,42333	2179,05924	2974,03934	3802,43172	4572,14221	5374,52797	6211,13289	7068,57539	7605,30344	8105,28344	8605,26344	9105,24344
CARGA	12852	25760	37779	49122,5	59934	69552	78865,5	87521	95515	96134,5	96134,5	96134,5	96134,5
COSTE UNITARIO	0,04804154	0,05420898	0,05767911	0,06054332	0,06344365	0,06573703	0,06814802	0,07096734	0,07400487	0,07911107	0,08431191	0,08951275	0,09471359
FACTOR DE ALMACENAMIENTO													
FACTOR	124,89%	110,68%	104,02%	99,10%	94,57%	91,27%	88,04%	84,55%	81,08%	75,84%	71,16%	67,03%	63,35%

Tabla 20: Resultados del análisis por el método actual-1500

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los precios unitarios versus las cantidades que se recogerán, no se requiere mayor análisis. La opción a elegir es la primera debido a que posee el menor coste unitario (Cu=0,10064 um) y la mayor cantidad de recogida (C=10379 kg)

Se opta por prestar el servicio con 4 unidades de 1500 kg de capacidad cada una, ordenados por el método 1.

### 10.1.2. ANALISIS ECONOMICO

En este apartado se analizará la inversión requerida para implementar la solución obtenida en base al modelo generado, además de mostrar el análisis económico por medio de los indicadores de VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa de Interés de Retorno)

A continuación se muestra la inversión necesaria para la implementación de la solución

Inversión fija TANGIBLES				Inversión fija INTANGIBLES			
	Unidades	Costo/Unidad	Costo Total (um)		Unidades	Costo/Unidad	Costo Total (S./.)
<b>Maquinas y equipos</b>				<b>Estudios previos e implementación</b>			
Tolvas	2	5.000,00	10.000,00	Gastos operativos	1	12.000,00	12.000,00
Peletizadoras	6	54.000,00	324.000,00	Arquitecto del proye	1	50.000,00	50.000,00
Montacargas	2	27.000,00	54.000,00	Ingeniero del proye	1	92.000,00	92.000,00
Extractores de Aire	6	1.500,00	9.000,00	<b>Sub Total</b>			<b>154.000,00</b>
Mesas	30	100,00	3.000,00	<b>Licencia de construcción</b>			
Equipos de Protección	60	75,00	4.500,00	Licencia	1	1.200,00	1.200,00
Vehiculos	4	45.000,00	180.000,00	Tramite de construc	1	2.500,00	2.500,00
Balanza	2	10.000,00	20.000,00	<b>Sub Total</b>			<b>3.700,00</b>
<b>Sub Total</b>			<b>604.500,00</b>	<b>Marco legal</b>			
<b>Equipos de oficina y servicios</b>				<b>Pruebas de puesta en marcha</b>			
Muebles de oficina	6	3.000,00	18.000,00	Gastos de intalacio	12	1.500,00	18.000,00
Muebles de baño	2	3.000,00	6.000,00	Gastos de material	1	20.000,00	20.000,00
Muebles de comed	1	2.150,00	2.150,00	Gastos de asistenc	1	10.000,00	10.000,00
<b>Sub Total</b>			<b>26.150,00</b>	<b>Sub Total</b>			<b>48.000,00</b>
<b>Costo de Instalacion</b>				<b>Entrenamiento y capacitación del personal</b>			
			<b>Sub Total</b>	Gastos de asistenc	15	100,00	1.500,00
			<b>55.000,00</b>	Gastos de personal	15	1.000,00	15.000,00
<b>Costo de Terreno</b>				<b>Sub Total</b>			<b>16.500,00</b>
			<b>Sub Total</b>	<b>Total</b>			<b>228.200,00</b>
			<b>540.000,00</b>				
<b>Costo de Estructura</b>							
			<b>Sub Total</b>	<b>Sub Total Tangibles</b>			<b>1.365.650,00</b>
			<b>140.000,00</b>	<b>Sub Total Intangibles</b>			<b>228.200,00</b>
<b>Total</b>			<b>1.365.650,00</b>	<b>Total</b>			<b>1.593.850,00</b>

Tabla 21: Inversión estimada PLASTICORP  
Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el análisis de los índices VAN y TIR de los resultados la implementación de la solución en un plazo de 10 años, que es cuando todos los bienes adquiridos se devalúan totalmente. Análisis desde el aspecto económico

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INVERSION TOTAL	-1.593.850,00										
FLUJO NETO DE FONDO ECONOMICO		550.300,15	413.601,74	338.299,89	402.726,67	322.228,22	172.106,47	270.925,53	100.767,89	-42.573,18	743.988,22
FACTOR ACTUALIZACION	1,00	0,85	0,72	0,61	0,52	0,44	0,37	0,31	0,27	0,23	0,19
VA AL KC		466.356,06	297.042,33	205.899,75	207.721,94	140.848,92	63.753,67	85.050,31	26.808,10	-9.598,38	142.149,71
FLUJO DE CAJA ACUMULADA		466.356,06	763.398,39	969.298,15	1.177.020,08	1.317.869,01	1.381.622,67	1.466.672,98	1.493.481,08	1.483.882,70	1.626.032,42
VALOR ACTUAL NETO		-1.127.493,94	-830.451,61	-624.551,85	-416.829,92	-275.980,99	-212.227,33	-127.177,02	-100.368,92	-109.967,30	32.182,42
VAN ECONOMICO		32.182,42									
RELACION B/C		1,02									
TIR		18,67%									
PERIODO DE RECUPERACION		9,33									
Costo de Capital		18%									

Tabla 22: Análisis del Flujo Económico - PLASTICORP  
Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el análisis de los índices VAN y TIR de los resultados la implementación de la solución en un plazo de 10 años, que es cuando todos los bienes adquiridos se devalúan totalmente. Análisis desde el aspecto financiero

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aporte Propio	-796.925,00										
FLUJO NETO DE FONDO ECONOMICO		430.761,40	276.353,55	185.998,66	238.028,84	147.790,19	-9.415,33	84.976,37	-86.952,22	-229.407,82	560.695,47
FACTOR ACTUALIZACION	1,00	0,85	0,72	0,61	0,52	0,44	0,37	0,31	0,27	0,23	0,19
VA AL KC		365.052,03	198.472,81	113.204,53	122.772,63	64.600,45	-3.487,74	26.676,21	-23.132,61	-51.721,39	107.128,98
FLUJO DE CAJA ACUMULADA		365.052,03	563.524,85	676.729,38	799.502,01	864.102,46	860.614,72	887.290,93	864.158,32	812.436,94	919.565,92
VALOR ACTUAL NETO		-431.872,97	-233.400,15	-120.195,62	2.577,01	67.177,46	63.689,72	90.365,93	67.233,32	15.511,94	122.640,92
<b>VAN FINANCIERO</b>											122.640,92
<b>RELACION B/C</b>											1,15
<b>TIR</b>											24,74%
<b>PERIODO DE RECUPERACION</b>											3,98
<b>Tasa de Descuento</b>											18%

Tabla 23: Análisis del Flujo Financiero - PLASTICORP

Fuente: Elaboración propia

Dado los resultados es claramente más favorable la financiación del proyecto de inversión puesto que los resultados mejoran considerablemente, se afirma ello puesto que el TIR (Tasa de Interés de Retorno) resultante en el caso del análisis del flujo económico es de 18,5% y en el caso el análisis financiero en el que se supone una financiación del 50% del coste total de inversión de tiene un TIR de 24,75%; además el VAN (Valor actual neto) de triplica para en el análisis del flujo financiero del proyecto. Por otro lado la reducción del capital propio de la empresa esta inversión de la oportunidad de seguir investigando en nuevas herramientas que potencien sus unidades de negocios o crear nuevas.

## 10.2. SOLUCION PARA LA EMPRESA SUJETO DE ESTUDIO

### 10.2.1. ANALISIS NUMERICO

Se procederá de la misma manera que en el apartado 10.1.1

#### 10.2.1.1. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO 1 (LOCM1)

Para el análisis por el método 1 se debe realizar considerando que el orden de los vehículos alterara el resultado de la ruta debido a que poseen diferentes capacidades, a continuación se muestra el resultado permutando las posibilidades de ordenación.

TURNO	CAPACIDAD 1	CAPACIDAD 2	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTIBLE	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C
Mañana	1500	2500	136,33	10,37	72,37589288	166,66	1685	0,14186106	0,648125	0,42125
Tarde	1500	2500	151,44	11,78	80,397603	166,66	2455	0,10063446	0,73625	0,61375
Gobal	1500	2500	287,77	22,15	152,7734959	333,32	4140	0,11741389	0,6921875	0,5175
TURNO	CAPACIDAD 1	CAPACIDAD 2	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTIBLE	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C
Mañana	2500	1500	133,69	11,13	70,97434988	166,66	1946	0,12211426	0,695625	0,4865
Tarde	2500	1500	173,06	13,21	91,87539075	166,66	2561	0,10095095	0,825625	0,64025
Gobal	2500	1500	306,75	24,34	162,8497406	333,32	4507	0,11008869	0,760625	0,563375

Tabla 24: Análisis LOCM1- Reciclados y Procesos Plásticos

Fuente: Elaboración propia

Como se observa claramente en la figura 21 es preferible la segunda ordenación de los vehículos, es decir asignar primero rutas al vehículo de mayor carga

**10.2.1.2. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO 2 (LOCM2)**

A continuación de muestra los resultados para el análisis por el método 2 permutando las posibilidades de ordenación de los vehículos

TURNO	CAPACIDAD 1	CAPACIDAD 2	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTIBLE	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C
Mañana	1500	2500	126,07	10,39	66,92898713	166,66	1923	0,12147113	0,649375	0,48075
Tarde	1500	2500	117,3	10,6	62,27310375	166,66	2395	0,09558793	0,6625	0,59875
Gobal	1500	2500	243,37	20,99	129,2020909	333,32	4318	0,10711489	0,6559375	0,53975

TURNO	CAPACIDAD 1	CAPACIDAD 2	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTIBLE	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C
Mañana	2500	1500	119,06	11,18	63,20746575	166,66	2375	0,0967863	0,69875	0,59375
Tarde	2500	1500	111,62	10,95	59,25766275	166,66	2371	0,0952837	0,684375	0,59275
Gobal	2500	1500	230,68	22,13	122,4651285	333,32	4746	0,09603564	0,6915625	0,59325

Tabla 25: Análisis LOCM2- Reciclados y Procesos Plásticos

Fuente: Elaboración propia

Nuevamente se aprecia en la figura 22 que es preferible la segunda ordenación de los vehículos, es decir asignar primero rutas al vehículo de mayor carga

**10.2.1.3. ANALISIS NUMERICO POR EL METODO ACTUAL**

Los resultados para la empresa no serán muy diferentes a prestar servicio con 2 unidades de 1500 kg a una utilización del 100% de su capacidad, veamos el análisis

**10.2.1.4. CONTRASTE DE RESULTADOS Y VALORACION FINAL**

Opción 1: Método 1

TURNO	CAPACIDAD 1	CAPACIDAD 2	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTIBLE	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C
Mañana	2500	1500	133,69	11,13	70,97434988	166,66	1946	0,12211426	0,695625	0,4865
Tarde	2500	1500	173,06	13,21	91,87539075	166,66	2561	0,10095095	0,825625	0,64025
Gobal	2500	1500	306,75	24,34	162,8497406	333,32	4507	0,11008869	0,760625	0,563375

Tabla 26: Configuración mas satisfactoria LOCM1- RRP

Fuente: Elaboración propia

Opción 2: Método 2

TURNO	CAPACIDAD 1	CAPACIDAD 2	DISTANCIA	TIEMPO	COMBUSTIBLE	PERSONAL	CARGA	VAL/UN	EFICIENCIA T	EFICIENCIA C
Mañana	2500	1500	119,06	11,18	63,20746575	166,66	2375	0,0967863	0,69875	0,59375
Tarde	2500	1500	111,62	10,95	59,25766275	166,66	2371	0,0952837	0,684375	0,59275
Gobal	2500	1500	230,68	22,13	122,4651285	333,32	4746	0,09603564	0,6915625	0,59325

Tabla 27: Configuración mas satisfactoria LOCM2- RRP

Fuente: Elaboración propia

Opción 3: prestar servicio con vehículos de capacidad de 1500 Kg

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CARGA	12852	25760	37779	49122,5	59934	69552	78865,5	87521	95515	96134,5	96134,5	96134,5	96134,5
COMBUSTIBLE	117,449934	396,463331	679,11924	974,119339	1302,53172	1572,26221	1874,66797	2211,29289	2568,75539	2605,50344	2605,50344	2605,50344	2605,50344
PERSONAL	499,98	999,96	1499,94	1999,92	2499,9	2999,88	3499,86	3999,84	4499,82	4999,8	5499,78	5999,76	6499,74
ALMACENAMIENTO	771,12	1545,6	2266,74	2947,35	3596,04	4173,12	4731,93	5251,26	5730,9	5768,07	5768,07	5768,07	5768,07
<b>CONSIDERANDO COSTES DE ALMACENAMIENTO</b>													
COSTE TOTAL	1388,54993	2942,02333	4445,79924	5921,38934	7398,47172	8745,26221	10106,458	11462,3929	12799,4754	13373,3734	13873,3534	14373,3334	14873,3134
CARGA	12852	25760	37779	49122,5	59934	69552	78865,5	87521	95515	96134,5	96134,5	96134,5	96134,5
COSTE UNITARIO	0,10804154	0,11420898	0,11767911	0,12054332	0,12344365	0,12573703	0,12814802	0,13056734	0,13400487	0,13911107	0,14431191	0,14951275	0,15471359
<b>SIN CONSIDERAR COSTES DE ALMACENAMIENTO</b>													
COSTE TOTAL	617,429934	1396,42333	2179,05924	2974,03934	3802,43172	4572,14221	5374,52797	6211,13289	7068,57539	7605,30344	8105,28344	8605,26344	9105,24344
CARGA	12852	25760	37779	49122,5	59934	69552	78865,5	87521	95515	96134,5	96134,5	96134,5	96134,5
COSTE UNITARIO	0,04804154	0,05420898	0,05767911	0,06054332	0,06344365	0,06573703	0,06814802	0,07096734	0,07400487	0,07911107	0,08431191	0,08951275	0,09471359
<b>FACTOR DE ALMACENAMIENTO</b>													
FACTOR	124,89%	110,68%	104,02%	99,10%	94,57%	91,27%	88,04%	84,55%	81,08%	75,84%	71,16%	67,03%	63,35%

Tabla 28: Resultados del análisis por el método actual-1500

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los precios unitarios versus las cantidades que se recogerán, no se requiere mayor análisis. La opción a elegir es la segunda debido a que posee el menor coste unitario ( $C_u=0,0960$  um) y la mayor cantidad de recogida ( $C=4746$  kg)

Se opta por prestar el servicio con 2 unidades una de 2500 kg y otra de 1500 kg de capacidad cada una, ordenados por el método 2. Se generará la ruta del de mayor capacidad con prioridad al resto.

### 10.2.2. ANALISIS ECONOMICO

Debido a que la empresa que es caso de estudio cuenta con la instalación y el equipamiento para prestar el servicio, el análisis anterior es para alcanzar una solución más eficiente de la que usan actualmente. Dado esto en este apartado se analizara la inversión requería para implementar la solución obtenida en el apartado 10.1.1 en base al modelo generado, además de mostrar el análisis económico por medio de los indicadores de VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa de Interés de Retorno)

A continuación se muestra la inversión necesaria para la implementación de la solución

Inversión fija			
TANGIBLES			
	Unidades	Costo/Unidad	Costo Total (um)
<b>Maquinas y equipos</b>			
Tolvas	2	5.000,00	10.000,00
Pelletizadoras	4	54.000,00	216.000,00
Montacargas	2	27.000,00	54.000,00
Extractores de Aire	4	1.500,00	6.000,00
Mesas	30	100,00	3.000,00
Equipos de Protecci	60	75,00	4.500,00
Vehiculos	2	45.000,00	90.000,00
Balanza	2	10.000,00	20.000,00
Sub Total			403.500,00
<b>Equipos de oficina y servicios</b>			
Muebles de oficina	0	3.000,00	-
Muebles de baño	2	3.000,00	6.000,00
Muebles de comed	0	2.150,00	-
Sub Total			6.000,00
<b>Costo de Instalacion</b>			
Sub Total			55.000,00
<b>Costo de Terreno</b>			
Sub Total			540.000,00
<b>Costo de Estructura</b>			
Sub Total			140.000,00
<b>Total</b>			1.144.500,00

Inversión fija			
INTANGIBLES			
	Unidades	Costo/Unidad	Costo Total (\$.)
<b>Estudios previos e implementación</b>			
Gastos operativos	1	12.000,00	12.000,00
Arquitecto del proy	1	50.000,00	50.000,00
Ingeniero del proy	1	92.000,00	92.000,00
Sub Total			154.000,00
<b>Licencia de construcción</b>			
Licencia	1	1.200,00	1.200,00
Tramite de construc	1	2.500,00	2.500,00
Sub Total			3.700,00
<b>Marco legal</b>			
Sub Total			6.000,00
<b>Pruebas de puesta en marcha</b>			
Gastos de intalació	8	1.500,00	12.000,00
Gastos de material	1	20.000,00	20.000,00
Gastos de asistenc	1	10.000,00	10.000,00
Sub Total			42.000,00
<b>Entrenamiento y capacitación del personal</b>			
Gastos de asistenc	15	100,00	1.500,00
Gastos de personal	15	1.000,00	15.000,00
Sub Total			16.500,00
<b>Total</b>			222.200,00
<b>Sub Total Tangibles</b>			1.144.500,00
<b>Sub Total Intangibles</b>			222.200,00
<b>Total</b>			1.366.700,00

Tabla 28: Inversión estimada Reciclados y Procesos Plásticos

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el análisis de los índices VAN y TIR de los resultados la implementación de la solución en un plazo de 10 años, que es cuando todos los bienes adquiridos se devalúan totalmente. Análisis desde el aspecto económico

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>INVERSION TOTAL</b>	-1.366.700,00										
<b>FLUJO NETO DE FONDO ECONOMICO</b>		523.208,90	386.510,49	311.587,22	376.771,17	297.408,47	148.801,06	249.513,03	81.626,89	-59.064,10	616.950,97
<b>FACTOR ACTUALIZACION</b>	1,00	0,85	0,72	0,61	0,52	0,44	0,37	0,31	0,27	0,23	0,19
<b>VA AL KC</b>		443.397,37	277.585,82	189.641,60	194.334,38	129.999,98	55.120,60	78.328,39	21.715,87	-13.316,36	117.877,41
<b>FLUJO DE CAJA ACUMULADA</b>		443.397,37	720.983,19	910.624,79	1.104.959,17	1.234.959,15	1.290.079,76	1.368.408,14	1.390.124,01	1.376.807,65	1.494.685,06
<b>VALOR ACTUAL NETO</b>		-923.302,63	-645.716,81	-456.075,21	-261.740,83	-131.740,85	-76.620,24	1.708,14	23.424,01	10.107,65	127.985,06
<b>VAN ECONOMICO</b>		127.985,06									
<b>RELACION B/C</b>		1,09									
<b>TIR</b>		21,22%									
<b>PERIODO DE RECUPERACION</b>		7,39									
<b>Costo de Capital</b>		18%									

Tabla 29: Análisis del Flujo Económico – Reciclados y Procesos Plásticos  
Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el análisis de los índices VAN y TIR de los resultados la implementación de la solución en un plazo de 10 años, que es cuando todos los bienes adquiridos se devalúan totalmente. Análisis desde el aspecto financiero

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Aporte Propio</b>	-683.350,00										
<b>FLUJO NETO DE FONDO ECONOMICO</b>		420.706,40	268.822,44	180.991,44	235.545,51	147.830,75	-6.850,89	90.064,70	-79.340,00	-219.271,71	459.780,47
<b>FACTOR ACTUALIZACION</b>	1,00	0,85	0,72	0,61	0,52	0,44	0,37	0,31	0,27	0,23	0,19
<b>VA AL KC</b>		356.530,85	193.064,09	110.156,98	121.491,75	64.618,18	-2.537,78	28.273,56	-21.107,47	-49.436,14	87.847,71
<b>FLUJO DE CAJA ACUMULADA</b>		356.530,85	549.594,94	659.751,91	781.243,67	845.861,85	843.324,06	871.597,63	850.490,16	801.054,02	888.901,73
<b>VALOR ACTUAL NETO</b>		-326.819,15	-133.755,06	-23.598,09	97.893,67	162.511,85	159.974,06	188.247,63	167.140,16	117.704,02	205.551,73
<b>VAN FINANCIERO</b>		205.551,73									
<b>RELACION B/C</b>		1,30									
<b>TIR</b>		31,69%									
<b>PERIODO DE RECUPERACION</b>		3,19									
<b>Tasa de Descuento</b>		18%									

Tabla 30: Análisis del Flujo Financiero – Reciclados y Procesos Plásticos  
Fuente: Elaboración propia

Dado los resultados es claramente más favorable la financiación del proyecto de inversión puesto que los resultados mejoran considerablemente, se afirma ello puesto que el TIR (Tasa de Interés de Retorno) resultante en el caso del análisis del flujo económico es de 21% y en el caso el análisis financiero en el que se supone una financiación del 50% del coste total de inversión de tiene un TIR de 31,5%; además el VAN (Valor actual neto) de se incrementa en un 75% para en el análisis del flujo financiero del proyecto. Por otro lado la reducción del capital propio de la empresa esta inversión de la oportunidad de seguir investigando en nuevas herramientas que potencien sus unidades de negocios o crear nuevas.

## 11. DEFINICION DE INDICADORES DE GESTION

Con el objetivo de poder medir y controlar el rendimiento de las operaciones de abastecimiento en los diferentes puntos de recogida y en el resultado total de la actividad se definen los siguientes indicadores de gestión en función a la propia actividad de abastecimiento.

Los indicadores listados a continuación serán de uso tanto para medir y controlar el rendimiento de un vehículo en un punto de recogida, toda una ruta o de la actividad en su conjunto.

### 11.1. TIEMPO DE ABASTECIMIENTO

El indicador de tiempo de abastecimiento medirá la fracción de tiempo que toma determinada unidad o grupo de unidades en abastecerse de residuos sólidos en un punto de recogida, grupo de ellos rutas o grupo de rutas. Esto dependerá del nivel a medir y controlar.

Este indicador es de especial importancia debido a que puede brindar información general de la situación de varios factores, como lo son:

- Distancia de desplazamientos entre puntos de recogida
- Tiempo de permanencia en un punto de recogida
- Incidencia del factor dificultad en la actividad

### 11.2. COMBUSTIBLE CONSUMIDO EN EL ABASTECIMIENTO

Este indicador mide en litros el consumo de combustible en relación a la distancia que recorre una unidad o grupo de ellas entre 2 o más puntos de recogida.

La importancia que adquiere este indicador es crucial para el análisis y comparación de otros, puesto que está directamente relacionado con el indicador anterior y ayuda a identificar el factor que perjudica o beneficia los resultados del indicador.

### 11.3. CARGA DE RESIDUOS ABASTECIDOS

Este indicador mide en kilogramos la cantidad de residuos sólidos abastecida en un punto, grupo de ellos, ruta o grupo de rutas que describen uno o más vehículos.

Este indicador está relacionado directamente al monitoreo del objetivo principal de la actividad, el cual es la recolección de la mayor cantidad de residuos posibles al menor coste posible.

### 11.4. COSTE UNITARIO POR KLOGRAMO DE RESIDUOS ABASTECIDOS



Este indicador mide en unidades monetarias el coste del abastecimiento, en términos logísticos (transporte de la mercancía), de la cantidad de residuos sólidos abastecida en un punto, grupo de ellos, ruta o grupo de rutas que describen uno o más vehículos.

Este indicador está relacionado directamente al monitoreo del objetivo principal de la actividad, el cual es la recolección de la mayor cantidad de residuos posibles al menor coste posible.

### 11.5. EFICIENCIA DEL TIEMPO DE ABASTECIMIENTO

Este indicador mide en unidades adimensionales el rendimiento en términos de utilización (eficiencia) con respecto a cuanto representa el tiempo planificado para el abastecimiento de residuos en un punto, grupo de ellos, ruta o grupo de rutas en función al tiempo real de abastecimiento.

$$ETA = \frac{\sum (\text{tiempo de rutas de todos los vehículos})}{\sum (\text{Suma de horas laborales})}$$

*Ecuación 21*

Finalmente se dispondrá de los siguientes indicadores que serán de utilización para la medición y el control de las operaciones a nivel de rutas y resultados globales de la actividad.

### 11.6. EFICIENCIA DE UTILIZACION DE LA CAPACIDAD DE LA UNIDAD DE ABASTECIMIENTO

Este indicador mide en unidades adimensionales el rendimiento en términos de utilización (eficiencia) con respecto a cuanto representa el la carga de material abastecida de residuos en un punto, grupo de ellos, ruta o grupo de rutas en función a la capacidad total del vehículo o vehículos destinados a dichas actividades

$$EUCA = \frac{\sum (\text{capacidad de almacenamiento utilizada de cada unidad})}{\sum (\text{capacidad de almacenamiento de cada unidad})}$$

*Ecuación 22*

### 11.7. EFICIENCIA DE ABASTECIMIENTO

Este indicador mide en unidades adimensionales la proporción de la carga abastecida con respecto al total de carga posible a abastecerse si se realizara la actividad en todos los puntos de recogida.

Otra forma de analizar este indicador es la proporción de puntos de recogida en los que se abastece con respecto al total de puntos de recogida disponibles.

$$EAC = \frac{\Sigma (\text{de carga abastecida en cada punto de recojo})}{\Sigma (\text{carga disponible en cada punto de recojo})}$$

*Ecuación 23*

$$EAP = \frac{\Sigma (\text{de puntos de recojo abastecidos})}{\Sigma (\text{puntos de recojo disponibles})}$$

*Ecuación 24*

## 12. PLANIFICACION DEL CRECIMIENTO

### 12.1. EMPRESA PLASTICORP

Debido a que PLASTICORP posee los recursos necesarios para realizar la actividad de abastecimiento en todos los posibles puntos de este estudio, el crecimiento de PLASTICORP se orientaría al incremento de la eficiencia y eficacia del servicio.

Por ello el próximo paso a dar por la empresa sería la adquisición de nuevos locales de acopio y tratamiento en los puntos de recogida que por razones del análisis se descarta su servicio.

Además de la implementación de mejoras a la solución para obtener resultados más eficientes y económicamente más viables

Una vez realizado esto el siguiente paso sería la diversificación de las unidades de negocio que podría generar PLASTICORP en base a la red de logística inversa que dispone.

Finalmente se debería analizar y estudiar el cómo maximizar la utilización de los puntos en los que se tiene actividad. Ya que son lugares de un importante tráfico de personas, sería interesante evaluar que negocios en torno al reciclado se podrían implementar una vez llegada al límite la explotación de los propios puntos.

### 12.2. EMPRESA SUJETO DE ESTUDIO: Reciclados y Procesos Plásticos

Por otro lado la empresa sujeto de estudio requiere antes hacer una inversión importante para poder prestar el servicio a la totalidad de clientes, una inversión que a realizarse en etapas significaría una reducción menor a la primera inversión, ya que el grueso del gasto es terrenos e infraestructuras.

Una vez realizada esta inversión la evolución del crecimiento de la empresa sería similar al de PLASTICORP

Una cuestión que no fue analizada en este estudio por limitaciones del modelo es como variaría la solución de tener 2 locales de acopio de la mitad de capacidad

cada uno, esto sería interesante evaluarlo, en dicho caso la adquisición de un segundo local podría ser una ventaja estratégica con respecto a sus competidores

Un vez alcanzado el nivel de negocio que se modela para la empresa ficticia PLASTICORP; se deberá proceder con un plan de crecimiento como el planteado para la misma empresa, centrándose en incrementar los ratios de eficiencia y eficacia; además de la diversificación de las unidades de negocio en función a la utilización de los puntos de recogida como fuente de tráfico inicial de nuevas variedades de productos reciclables.



### 13. CONCLUSIONES

De la realización de este proyecto se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Se demuestra que del análisis del problema en base a métodos heurísticos (promethee II) se obtienen soluciones viables, tanto económica como logísticamente, las cuales no son óptimas pero son lo suficientemente satisfactorias como para considerarlas una buena solución. Cabe mencionar que el tiempo de ejecución de la aplicación desarrolla es de entre 3 y 4 min.
- En base al análisis previo de los métodos posibles a utilizar para el análisis del problema se concluye que los métodos metaheurísticos y de programación lineal podrían alcanzar mejores soluciones, pero el tiempo de desarrollo de un modelo válido y confiable se vería incrementando a más del doble puesto que la complejidad de los métodos significaría un nuevo esfuerzo de aprendizaje. Del mismo modo las aplicaciones a desarrollarse verían incrementado el tiempo de ejecución de las mismas de manera importante, entre 1 y 3 horas se estima.
- Respecto a los resultados obtenidos se puede concluir que: la variación de las cargas recogidas por las configuraciones resultantes del método 1 y 2 son del 3,75% para el caso de los resultados del análisis de la empresa ficticia PLASTICORP y de 4,22% para el caso de los resultados del análisis de la empresa sujeto de estudio RECICLADOS Y PROCESOS PLASTICOS. Del mismo modo las mejoras logradas con respecto al método actual para la empresa ficticia PLASTICORP es de 26,77% función a la cantidad abastecida de residuos sólidos; además de disminuir en 3 el número de unidades requeridas para la recolección de dicha cantidad con respecto al método actual. Del mismo modo se logra una mejora con respecto al método actual para la empresa sujeto de estudio RECICLADOS Y PROCESOS PLASTICOS del 6,97% función a la cantidad abastecida de residuos sólidos; además de reducir en 1 el número de unidades requeridas para la recolección de dicha cantidad extra con respecto al método actual. Por otro lado los nuevos métodos representan un ahorro de 0,05% del presupuesto de transporte con respecto al método actual
- De los resultados obtenidos se concluye que estos pueden ser mejorados con la utilización en conjunto de diversos métodos heurísticos e implementando nuevas funcionalidades al algoritmo. Por ejemplo la utilización de Branch and Bound para la comparación de los posibles resultados parciales o la variación del orden de asignación de rutas a los vehículos por medio de un algoritmo que así lo permita.
- Finalmente se concluye que más importante que los resultados parciales son los resultados finales puesto que durante la realización de este proyecto se consideró la posibilidad de que la metodología seleccionada para el análisis del problema daba resultados similares a los que se tienen actualmente y

que probablemente no se lograrían resultados importantes en la mejora, este planteamiento luego se descarta puesto que corroboro que los resultados finales representaban una mejora considerable en función al método actual.

## 14. FUTUROS PROYECTOS

La cantidad de proyectos que pueden surgir en base a este es innumerable, a continuación solo se listaran unos pocos junto con un breve comentario del autor.

### 14.1. IMPLEMENTAR SOLUCION PARA MAS DE UN PUNTO DE ACOPIO

Actualmente la aplicación modelada asume un único punto de acopio, FAB0001, de los residuos recogidos, la consideración de un segundo punto de acopio en un punto alejado del actual significaría una reducción considerable en los trayectos recorridos así como en el tiempo de recolección.

Es necesario aprovechar esto, para ello es necesario localizar en un primer instante la posición o posiciones más beneficiosas dados los posibles puntos de recogida, para ello se puede usar diversos métodos tales como:

- Análisis de las rutas de la solución con un solo punto de acopio
- Análisis por métodos multicriterio
- Análisis por métodos lineales
- Análisis por algoritmos elaborados para tal fin

Una vez definidos el o los nuevos puntos de acopio es importante implementar en el modelo que se tiene la posibilidad de salir del punto de acopio  $i$  para llegar al  $j$  y todas las posibles combinaciones incluyendo el retorno al punto de acopio de partida.

### 14.2. MODELAR SOLUCION EN BASE A UN PROBLEMA DE PROGRAMACION LINEAL BINOMIAL

La modelación de la aplicación en base a un problema de programación lineal binomial es importante para la comparación de los resultados que se obtienen al implementando nuevas funcionalidades a la aplicación puesto que es el modelo que más se aproximara al óptimo y servirá de referencia.

Es importante mencionar que la funcionalidad que podrá disponer este modelo tiene sus limitaciones debido a las limitaciones de la propia programación lineal y las relaciones que se pueden establecer entre las variables.

### 14.3. IMPLEMENTAR VARIACION DE ORDEN DE ASIGNACION DE PUNTOS DE RECOGIDA A VEHICULOS SEGÚN SITUACION

Es importante aclarar este punto puesto que se puede confundir con la ordenación de las alternativas.

La variación del orden de asignación de puntos de recogida de los vehículos según la situación refiere a darle autonomía a la aplicación para que decida en qué orden se les asignara puntos de recogida a los vehículos disponibles en el siguiente turno de asignaciones

Por ejemplo: si se están asignando configuraciones de recogida a 3 vehículos de nombres a, b y c y en el primer turno de asignación se le asigna primero a 'a', segundo a 'b' y tercero a 'c'; en el segundo turno de asignación no necesariamente tendría que repetirse ese orden, sino que por medio de un procedimiento o subrutina la aplicación podrá configurar un nuevo orden de asignación, operación que se repetiría hasta agotar las asignaciones o alguna de las otras restricciones.

### 14.4. IMPLEMENTAR MEJORAS A LA APLICACIÓN MODELADA

La mejora de la aplicación modelada no depende solo de añadir nuevas funcionalidades, sino también de la mejora de la eficiencia de ejecución, corrección de bugs, etc.

Del mismo modo el desarrollo de una aplicación de escritorio de propia autonomía supondrá también una mejora en un entorno mucho más amigable en el que se le puedan añadir nuevas funcionalidades

## 15. BIBLIOGRAFIA

### 15.1. Publicaciones y Artículos

ALVAREZ GIL, JOSE MARIA. Logística inversa y medio ambiente – Aspectos estratégicos y operativos. EDITORIAL MAC GRAW HILL, 2004.

CHAMORRO MERA, Antonio y RUBIO LACOBIA, Sergio. Los sistemas de distribución inversa para la recuperación de residuos: su desarrollo en España. UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA, Julio 2004.

CHAMORRO MERA, Antonio. Desarrollo de un sistema de logística inversa en el grupo industrial Alfonso Gallardo. PRIMER CONGRESO DE LOGISTICA Y GESTION DE CADENA DE SUMINISTRO. Zaragoza, setiembre 2012.

CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley General de Residuos Sólidos. REPUBLICA DEL PERU.

INEI. Perú: Anuario de estadísticas ambientales 2012. REPUBLICA DEL PERU, Julio 2012

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE., Informe anual de residuos sólidos municipales en el Perú – Gestión 2008. REPUBLICA DEL PERU, 2009

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Cuarto informe nacional de residuos sólidos municipales y no municipales – Gestión 2010 -2012. REPUBLICA DEL PERU, setiembre 2012.

MINISTERIO DE SALUD DIGESA. Manual de difusión técnica N°01 – Gestión de residuos peligrosos en el Perú. REPUBLICA DEL PERU, Noviembre 2006

Reciclaje de Plástico. AMIGOS DE LA TIERRA INTERNACIONAL.

ZURDO CONSUEGRA, Dolores. Análisis del sistema de logística inversa de los teléfonos móviles, en la comunidad de Madrid. Desarrollo de una aplicación de software para la automatización de la localización de puntos de recogida. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID, Noviembre 2012.

ZEVALLOS GUITIERREZ, Héctor. Manejo de residuos sólidos – serie manual. ADRA PERU, agosto 2008

## 15.2. PAGINAS WEB UTILIZADAS

Diario Peru21: <http://peru21.pe/noticia/675977/peru-solo-tiene-rellenos-sanitarios>

DIGESA: <http://www.digesa.sld.pe/>

INEI: <http://www.inei.gob.pe/>

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE: <http://www.minam.gob.pe/>

Ministerio de Fomento, España:

<http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/ficha.aspx?idresiduo=398&idmenu=413>

Organización de industrial del plástico: <http://www.plasticsindustry.org>

Relima: <http://www.relima.com.pe/esp/comunidad.aspx>

Revista Electrónica (Definición de Logística Inversa):

<http://search.proquest.com/docview/212599742>

## 15.3 FUENTE DE FIGURAS

Figura 6: <http://www.angelesmanualidades.com/wp-content/uploads/2006/10/papelpara-reciclado.jpg>

Figura 7: <http://us.123rf.com/400wm/400/400/coprid/coprid1205/coprid120500013/13592772-los-residuos-de-carton-para-reciclaje-paquete-aislado-en-blanco.jpg>

Figura 8:

<http://3.bp.blogspot.com/KIhSYIBAdyQ/S7kTrQ9y9JI/AAAAAAAAAKo/Iz0QKXRWvQ/s1600/capas+tetrapak.JPG>

Figura 9: <http://www.botellascerveza.com/wp-content/uploads/2012/01/Vidrio-para-Reciclado.jpg>

Figura 10: <http://cdn.mimorelia.com/archivosnoticias/recicla-botellas-pet-morelia-michoacan-201120110510.jpg>

Figura 11: <http://www.createplenty.org/wp-content/uploads/2011/03/recycling-plastic-bags-plastic-waste-photo.jpg>

Figura 12: [http://reciclante.files.wordpress.com/2012/02/img\\_1406.jpg](http://reciclante.files.wordpress.com/2012/02/img_1406.jpg)

Figura 13: [http://3.bp.blogspot.com/-V2GW-63a-os/T0\\_iiVPS59I/AAAAAAAAAJ0/vOd3aYwMWvI/s320/tecnopor3.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-V2GW-63a-os/T0_iiVPS59I/AAAAAAAAAJ0/vOd3aYwMWvI/s320/tecnopor3.jpg)

Figura 14: [http://www.torange-fr.com/photo/2/13/Les-d%C3%A9chets-de-construction-1238414536\\_51.jpg](http://www.torange-fr.com/photo/2/13/Les-d%C3%A9chets-de-construction-1238414536_51.jpg)

Figura 15: <http://biofuturacr.com/wp-content/uploads/2011/10/P11605871.jpg>

Figura 16: <http://www.marcialvicent.com/templates/default/images/contenido/madera-2.jpg>



