

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO PARA EL MANEJO DE DESECHOS
HOSPITALARIOS IDENTIFICANDO LAS OPERACIONES LOGÍSTICAS DE LA CADENA DE
ABASTECIMIENTO DEL PROCESO EN EL HOSPITAL UNIVERSITARIO SAN IGNACIO**



Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Industrial

Tesis para Optar al Título Profesional de Ingeniería Industrial

Por

Evelyn Juliet Chaparro Lizarazo

Nicolle Fernández Duarte

Director de Tesis: Fernando Salazar Arrieta

Bogotá, Colombia

2011

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

**A nuestros Padres y nuestros
Hermanos que creyeron siempre en
nosotras y nos apoyaron durante
la creación de este Proyecto.**

AGRADECIMIENTOS

El Trabajo de Grado que se muestra a continuación, a pesar del esfuerzo realizado por parte de las autoras, no hubiera sido posible sin la ayuda de las personas mencionadas a continuación:

- Primero antes que nada queremos agradecer a Dios por acompañarnos en todo momento. Por llenarnos de fortaleza y haber puesto en nuestro camino personas que nos apoyaron durante todo el proceso.
- Al Profesor Oscar Yesid Buitrago por su paciencia y valiosa ayuda, en todos los temas referentes a la Investigación de Operaciones.
- A Fernando Salazar Arrieta, como nuestro Director de Trabajo de Grado, por su dirección, consejos y apoyo durante el periodo que dedicamos a la realización de este proyecto.

Tabla de Contenido

1. RESUMEN	12
2. GLOSARIO	13
4. Objetivo	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Capítulo I: Marco Teórico.....	18
1. Cadena Logística.....	18
2. Investigación de Operaciones	19
3. Problema NP – Hard	21
4. VRP (Vehicle Routing Problem)	22
5. Heurísticas y Metaheurísticas	26
6. Análisis Financiero.....	28
7. Disposiciones Legales	31
8. Legislación Vigente para la manipulación de residuos Hospitalarios	33
9. Tipos de Residuos.....	34
10. Antecedentes del Hospital	36
11. <i>Manejo de Residuos</i>	37
Capítulo II: Caracterización de la Cadena Logística del proceso de evacuación de residuos del Hospital Universitario San Ignacio	39
1. Descripción de los agentes.....	39
2. Descripción general del proceso	43
2.1 Proceso de recolección de basuras	43
2.2 Proceso de ruta sanitaria	48
3 Caracterización del modelo actual.....	50
3.1 Descripción de la cadena.....	51
Capítulo III: Análisis de información del modelo actual.....	52
1. Definición Indicadores.....	52
2. Calculo de Indicadores	55
3. Cantidades de Basura	58

3.1	General Hospital.....	58
3.2	Cantidades de basura por cada Piso	61
3.3	Análisis de los resultados	63
4.	Tiempos.....	63
4.1	Despapeleo.....	63
4.2	Ruta Sanitaria	66
Capítulo IV: Modelo Propuesto para el proceso de evacuación de residuos del Hospital		
Universitario San Ignacio.....		67
1.	Diagnóstico.....	67
2.	Consideraciones del Modelo.....	69
3.	Modelo Optimización.....	69
3.1	Parámetros.....	72
4.	Búsqueda Tabú.....	74
4.1	Parámetros del algoritmo	75
4.2	Algoritmo.....	77
5	Análisis y Resultados	86
5.1	Generalidades	86
5.2	Carro Modelo Propuesto.....	91
5.3	Proceso de Recolección de Basuras	93
5.4	Análisis de Escenarios Modelo Propuesto	95
Capítulo V: Comparación del Modelo Actual y Propuesto.....		101
1.	Cuadro Resumen	101
2.	Indicadores.....	104
Capítulo VI: Evaluación Económica del Modelo.....		106
1.	Generalidades	106
2.	Análisis Costo Beneficio	109
3.	Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno	111
Capítulo VI: Conclusiones.....		115
Bibliografía		116

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Diagrama de Espina de Pescado

ANEXO 2. Fotos de la Situación actual de la acumulación de Basura

ANEXO 3. Fotografías de los Agentes que componen la Cadena Logística del Proceso.

ANEXO 4. Análisis de Tiempos de Despapeleo

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Beneficio Neto en cada Periodo de tiempo

Tabla 2. Tipos de Residuos manejados en el Hospital Universitario San Ignacio

Tabla 3. Tiempos estándar de las operaciones de despapeleo.

Tabla 4. Tiempos de las operaciones de la ruta sanitaria.

Tabla 5. Definición de Indicadores del Proceso de Gestión de Residuos del Hospital

Tabla 6. Calculo de Indicadores del Proceso de Gestión de Residuos del Hospital

Tabla 7. Número de veces que se llena el Carro de Recolección de Basura de la Ruta Sanitaria, en cada uno de los días de la Semana durante 6 semanas

Tabla 8. Tiempo en el que el Ascensor se encuentra funcionando para la Ruta Sanitaria

Tabla 9. Porcentajes de cada tipo de Basura

Tabla 10. Porcentaje de Basura resultante en cada día la semana sobre la cantidad total de la semana

Tabla 11. Comportamiento de la Basura durante 6 meses, clasificada por tipo o colores.

Tabla 12. Cantidades totales de Basura Generadas por día durante 6 meses.

Tabla 13. Cantidad de basura medida en Litros, para cada uno de los pisos y según el color.

Tabla 14. Cantidad de Basura recogida en cada turno, durante la Ruta Sanitaria. Las unidades están definidas en el número de canecas que llenarían esa cantidad.

Tabla 15. Numero de Canecas en los Cuartos de Almacenamiento intermedio

Tabla 16. Porcentaje de Ocupación de Basura de cada tipo, por turno, en cada uno de los pisos.

Tabla 17. Clasificación de la Ocupación de Basura en los cuartos de Almacenamiento Intermedio

Tabla 18. Tiempos de Despapeleo de Basura Roja

Tabla 19. Tiempos de Despapeleo de Basura Verde

Tabla 20. Distribución de Tiempos de Ruta Sanitaria

Tabla 21. Matriz de Tiempos entre Clientes (s) incluye el tiempo de servicio en el cliente origen

Tabla 22. Matriz que Define que carro puede servir a que cliente

Tabla 23. Resumen de Demanda por Cliente

Tabla 24. Parámetros del algoritmo

Tabla 25. Acumulación de basura en cada uno de los pisos

Tabla 26. Tiempos de las operaciones de la ruta sanitaria del modelo propuesto

Tabla 27. Parámetros del algoritmo para el escenario 1

Tabla 28. Distribución de tiempos para el escenario 1

Tabla 29. Parámetros del algoritmo para el escenario 2

Tabla 30. Distribución de tiempos para el escenario 2

Tabla 31. Parámetros del algoritmo para el escenario 3

Tabla 32. Distribución de tiempos para el escenario 3

Tabla 33. Resumen de tiempos de los 3 escenarios

Tabla 34. Tabla de resumen para el modelo actual y propuesto

Tabla 35. Tiempos de despapeleo en el modelo actual y propuesto

Tabla 36. Costos del proceso actual de la ruta sanitaria

Tabla 37. Costos del Escenario 1, modelo propuesto

Tabla 38. Costos del Escenario 2, modelo propuesto

Tabla 39. Costos del Escenario 3, modelo propuesto

Tabla 40. Ahorro mensual de cada de los 3 escenarios.

Tabla 41. Tasa para el cálculo del VPN

Tabla 42. Inversión inicial en los carros

Tabla 43. Resumen del análisis económico

Tabla 44. Ahorros para cada uno de los escenarios

Tabla 45. Relación costo-beneficio para cada uno de los escenarios

Tabla 46. Análisis Económico del escenario 1, VPN y TIR

Tabla 47. Flujos acumulados, Periodo en el que se recupera la inversión para el escenario 1

Tabla 48. Análisis Económico del escenario 2, VPN y TIR

Tabla 49. Flujos acumulados, Periodo en el que se recupera la inversión para el escenario 2

Tabla 50. Análisis Económico del escenario 3, VPN y TIR

Tabla 51. Flujos acumulados, Periodo en el que se recupera la inversión

Tabla 52. Resultados de los escenarios

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. Ejemplo de Plano de Rutas para un problema de Ruteo de Vehículos

Figura 3: Jerarquía de Estaciones en un Problema VRP

Figura 4. Relaciones entre tipos de VRP

Figura 5. Clasificación de los Residuos

Figura6. Algunas de las enfermedades asociadas a la inadecuada Gestión de Residuos hospitalarios y similares

Figura 7. Descripción General del Proceso de Recolección de Basura

Figura 8. Diagrama de Flujo de Proceso de Recolección de Basura

Figura 9. Diagrama de Flujo de Proceso de Recolección de Basura Verde

Figura 10. Diagrama de Flujo de Proceso de Recolección de Basura Roja

Figura 11. Diagrama de Flujo de Proceso de la Ruta Sanitaria

Figura 12. Cadena de Abastecimiento del Proceso de Gestión de Residuos en el Hospital Universitario San Ignacio

Figura 13. Clasificación de la Ocupación de Basura en los cuartos de almacenamiento Intermedio

Figura 14. Distribución del Tiempo durante el Despapeleo

Figura 15. Distribución del Tiempo durante el Proceso de despapeleo para la Basura Verde

Figura 16. Distribución de Tiempos de Ruta Sanitaria

Figura 17. Resultados de la Corrida para verificar que el modelo construyera las restricciones como se plantearon en modelo compacto.

Figura 18. Resultados de correr el programa en LP Solve, Restricciones y Variables

1. RESUMEN

El Trabajo de grado que se presenta a continuación tenía como objeto el Optimizar la Ruta de Evacuación de Residuos del Hospital Universitario San Ignacio de manera que no se acumulara basura en ninguno de los cuartos de almacenamiento intermedio, y además se disminuyera el tiempo que toma la Ruta Sanitaria, pues para su realización, se hace uso de un ascensor de carga, lo cual entorpece los demás procesos del Hospital. Además de estas consideraciones se debía tener en cuenta el Decreto y la Regulación vigente que aplica para todas aquellas personas y empresas que manipulen residuos provenientes de todas las actividades relacionadas con la Salud.

Para lograr los objetivos que se mencionaron anteriormente, se decidió hacer uso de un Modelo de Optimización para encontrar la mejor solución al Problema de Evacuación de Residuos. Para realizar el modelo se requería que primero se definieran adecuadamente los procesos mediante herramientas como Diagramas de Flujo de Proceso y la Realización y caracterización de la Cadena de Suministro, teniendo en cuenta cada uno de los agentes que la conforman.

Luego de obtener una clara definición de los procesos, se prosiguió con el modelamiento del Problema. Para esto, se definieron todas las variables y los parámetros, que intervienen en el Proceso además de las restricciones y la Función Objetivo que definen y acotan el problema. Una vez modelado el Problema se prosiguió con su solución, haciendo uso del Programa Computacional LP Solve. Al correr el programa, se noto que aunque este es viable pues se genera exitosamente, se generaron 2460 variables y 5317 restricciones al correr el programa, resultado imposible llegar a una solución, ningún programa computacional soporta dicha cantidad de información, es decir que no se puede encontrar una solución en un tiempo razonable .

Por este motivo se decidió recurrir a una herramienta muy utilizada, las Metaheurísticas. Por recomendación de un experto en el tema, la investigación realizada y el tipo de problema se decidió buscar una solución por medio de la búsqueda Tabú, que aunque no arroja una solución optima es lo suficientemente buena para ser considerada como una solución. Tras 9 iteraciones se encontró una solución que reduce los tiempos de evacuación. Esta solución no solo reduce los tiempos de evacuación sino que también soluciona el problema de la acumulación. Este modelo, además del orden en que debe evacuar los cuartos, incluye la compra de 3 carros de evacuación con una mayor capacidad.

Una vez definido el modelo se realizó la evaluación económica de la propuesta para cada escenario contemplado. La relación costo beneficio tuvo un resultado considerablemente mayor a 1 en cada uno de los escenarios, un VPN positivo y una TIR de 5%, 3% y 6%.

2. GLOSARIO

- Residuo Ordinario: Son aquellos generados en el desempeño normal de las actividades. Estos restos se producen en oficinas, pasillos, áreas comunes, cafeterías, y en general en todos los sitios del establecimiento del generador.
- Residuo Reciclable: Son aquellos que no se descomponen fácilmente y pueden volver a ser utilizados. Pueden ser plástico, papel, chatarra, telas y radiografías
- Residuo Anatomopatológicos: Son aquellos provenientes de restos humanos.
- Residuo Peligroso: Son aquellos residuos que deben ser tratados de forma diferente dependiendo de su naturaleza. Dentro de los residuos peligrosos se encuentran los infecciosos y químicos, los cuales a su vez poseen otra sub categoría.
- Residuo no Peligroso: Son el tipo de residuos que pueden ser llevados al relleno sanitario, o destinados al desarrollo de las actividades de reciclaje o compostaje.
- Carrito de evacuación: El carrito de evacuación es aquel que usan las señoras de Sodexo para hacer el despapeleo en cada uno de los pisos.
- Carro de evacuación: Es el que usan los señores de Sodexo para evacuar la basura que está en los cuartos de almacenamiento intermedio, hasta los cuartos de almacenamiento final.
- Cuarto de almacenamiento intermedio: son los cuartos dispuestos en ubicados en el 1er, 2do, 3ro, 4to, 5to, 6to, 9no piso, cerca de los ascensores de carga para almacenar temporalmente los desperdicios evacuados de los servicios, antes de ser evacuados del edificio del hospital.
- Cuarto de almacenamiento final: son los cuartos dispuestos afuera del hospital para almacenar temporalmente los residuos evacuados del hospital para que luego sean entregados a la compañía de aseo que corresponda.
- Despapeleo: es el proceso mediante el cual las operarias de Sodexo evacúan la basura que hay en los servicios para luego ser llevada al cuarto de almacenamiento intermedio.
- Servicios: hace referencia a las canecas dispuestas en las diferentes áreas para que en ellas se deposite la basura.

- Ruta Sanitaria: hace referencia al proceso mediante el cual se evacúan del edificio los residuos que han sido almacenados en el cuarto de almacenamiento intermedio, para ser llevados a los cuartos de almacenamiento final.

3. INTRODUCCIÓN

Todas las actividades relacionadas con la salud son una fuente de una importante cantidad de residuos. Cada año en el mundo, los residuos que son causados por este tipo de actividades, representan un total de un 20% del total de basura que se genera anualmente.

Además del punto expuesto anteriormente, es necesario tener en cuenta otra importante variable. Esta es la gran variedad de diferentes tipos de residuos, más o menos 20 tipos, lo cual aumenta la complejidad de la Gestión, pues cada uno de estos debe ser tratado de una manera en particular, y de esta forma reducir los efectos dañinos al medio ambiente y reducir los riesgos para el ser humano, que es quien los manipula.

De forma que se puedan mitigar todos los efectos de este manejo de residuos las Entidades competentes en el tema, como lo son la Secretaria de Salud y de Medio Ambiente ha definido protocolos, normas, reglas y políticas aplicables a todas las personas que presten servicios de salud a la población.

Para el análisis de Gestión de Residuos se tomara como caso de estudio El Hospital Universitario San Ignacio, el cual es un Hospital de Cuarto Nivel que se encuentra dentro de la Pontificia Universidad Javeriana. Se empezará por el análisis de su Gestión de Residuos en la actualidad, de forma de poder determinar los factores o problemáticas que la determinan y de esta manera exponer soluciones que puedan responder de forma realmente eficiente y eficaz a las problemáticas encontradas.

En la actualidad el Hospital Universitario San Ignacio cuenta con un plan de Gestión de residuos que presenta algunas deficiencias, según las exigencias de la Secretaria de Salud. El Hospital, es una institución de cuarto nivel, como se mencionó anteriormente, que cuenta con 9 pisos, tiene un área aproximada de 36.000 metros cuadrados, 2 ascensores pequeños y dos de carga. Cuenta también con 7 cuartos de almacenamiento intermedio de residuos hospitalarios y similares. Actualmente atiende un promedio mensual de 11.839 Consultas externas y 10.324 urgencias. Tiene 290 camas disponibles con una ocupación promedio de 97%. Mensualmente hay un promedio de 1.719 pacientes hospitalizados y 983 cirugías (que incluyen las ambulatorias).

En términos generales el hospital no posee la infraestructura para almacenar la basura que se produce diariamente, es decir que esta se acumula constantemente en los cuartos de almacenamiento intermedio. Así mismo existe un número limitado de ascensores y por este hecho la ruta sanitaria se hace con un solo ascensor, en tres horarios definidos, lo cual definitivamente entorpece los demás procesos del hospital, que son el transporte de pacientes, transporte de elementos de la cafetería, y lavandería, pues se generan largas filas, los tiempos de inicio de servicio aumentan, aumentan el número de quejas y reclamos, lo cual a la larga puede atentar contra la salud y la vida de las personas. (Ver Anexo 1)

Debido a las fallas mencionadas anteriormente la Secretaria de Salud exige que se tomen medidas para disminuir la acumulación de desperdicios en los cuartos de almacenamiento intermedio, de acuerdo con el decreto 2676 del año 2000.

Reducir la acumulación de residuos hospitalarios en los cuartos de almacenamiento intermedio, no es sólo importante, sino necesario. Las grandes cantidades de basura almacenadas por un periodo de tiempo prolongado en un espacio sin la ventilación apropiada, representan riesgos para quienes manipulan los desechos. Estos riesgos se traducen en enfermedades de diferente índole, dada la naturaleza de los residuos y además pueden entorpecer la realización de las actividades del personal involucrado. (Las fotos que ilustran la situación se encuentran en el Anexo 2)

Además de las problemáticas mencionadas anteriormente, en el momento de realizar la evaluación y el monitoreo, El hospital San Ignacio tampoco cuenta con un sistema actual de indicadores que ayude a evaluar su gestión. Poseen una información muy general que solo indica las cantidades totales y por tipo de basura, pero no se detalla por piso o actividad.

La metodología que se siguió para abordar las problemáticas expuestas anteriormente fue la siguiente: Primero se realizó un proceso de investigación en el que se recolectaron datos necesarios, como los niveles de basura recogidos cada día, de manera de poder evaluar estadísticamente la situación actual. Así mismo se definieron cada una de las actividades del proceso, y de esta manera se construyeron los diagramas de Flujo de Proceso, para luego hacer la construcción de la Cadena de las operaciones Logísticas para este proceso.

Luego de tener definida esta Cadena del proceso se prosiguió con la definición de indicadores, de manera que se pueda determinar cómo se realiza el proceso actualmente y en que cambiará en el momento del planteamiento de mejoras.

Luego de la definición de indicadores seguimos con el modelamiento del proceso, mediante la aplicación de un modelo de optimización conocido como Ruteo de Vehículos con ventanas de Tiempo, y la aplicación de una Metaheurística para llegar a una solución. Se recurrió a la metaheurística pues el tamaño del modelo, requería de un tiempo computacional no razonable para llegar a una solución óptima, y usando búsqueda tabú se podría llegar a una solución suficientemente buena para ser implementada. Luego se analizaron los resultados que arrojó el modelo para luego compararlos, encontrar diferencias entre el actual y propuesto, y continuar con el análisis costo-beneficio del proyecto.

El proyecto se encontrará sujeto al estudio de la labor de evacuación de desechos del hospital en general, pero el estudio, diseño y evaluación de la propuesta de mejoramiento se realizó en un solo piso. Esto se hizo debido a que las variables y procesos son repetitivos para cada piso, por lo que evaluando un piso de actividad significativa se obtuvieron los resultados necesarios.

Es importante mencionar que el modelo se diseñó basado en la información ya existente del sistema, así como de la medición de variables relevantes para este fin. Se tendrán en cuenta todas las actividades de despapeo hasta la disposición de los residuos en los cuartos de almacenamiento final del hospital, ubicados fuera del edificio.

4. Objetivo

Objetivo General

Diseñar una propuesta de mejoramiento óptima del proceso actual de manejo de residuos hospitalarios, que cumplan con las políticas de seguridad del hospital y las disposiciones de la Secretaria Distrital de Salud, que minimice los riesgos para las personas y que reduzca los costos de operación del Hospital Universitario San Ignacio. Para dar solución al problema de acumulación y transporte de residuos hospitalarios desde su generación, pasando por los cuartos de almacenamiento intermedio del Hospital Universitario San Ignacio, y llegando hasta el cuarto de almacenamiento final.

Objetivos Específicos

- Definir la Cadena Logística del proceso de evacuación de residuos del Hospital Universitario. Caracterizando cada uno de los agentes que la componen, mediante el ordenamiento de cada una de las operaciones, teniendo en cuenta cuáles de ellas son críticas para el proceso debido a la cantidad de recursos (Tiempo y Dinero) que emplean.
- Definir los tiempos y las cantidades totales de los diferentes ciclos y operaciones logísticas, para la recolección de basuras del Hospital San Ignacio, con el propósito de alimentar el posible modelo a utilizar.
- Diseñar un modelo de evacuación de residuos que cumpla con los requerimientos del Hospital Universitario San Ignacio y de la Secretaria Distrital de Salud. Basado en la identificación de las operaciones logísticas de su cadena de abastecimiento, desde el punto de vista del manejo de desechos y residuos de origen biológico.
- Optimizar las diferentes operaciones que componen la cadena logística de la evacuación de residuos del Hospital Universitario San Ignacio, mediante la disminución de tiempos y recursos que se requieren para realizar el proceso, a partir del modelo de optimización de operaciones con el cual sea posible estandarizar el proceso.
- Comparar los modelos actual y propuesto para la evacuación de residuos hospitalarios, con sus respectivas operaciones logísticas. Según la información recolectada y los resultados de la simulación.
- Realizar la evaluación económica del proyecto de mejora haciendo un análisis de retorno de la inversión y Análisis costo / Beneficio, con información obtenida, para un piso del Hospital.

Capítulo I: Marco Teórico

1. Cadena Logística

De manera que se logre una comprensión más adecuada del término cadena logística, se definirá en primera medida el término de logística

Logística: Definido por Ballou¹ como un conjunto de actividades funcionales que se repiten a menudo a través del canal, por el que materias primas se convierten en productos terminados y se genera valor agregado para el cliente.

Según el CSCMP (Council of Supply Chain Management Professionals) la cadena de suministro abarca la planeación y manejo de todas las actividades involucradas con el abastecimiento, la contratación, transformación y todas las actividades de administración logística. También incluye la coordinación y colaboración entre las partes del canal, que pueden ser proveedores, intermediarios, servicio de terceros y clientes. En esencia la administración de la cadena de suministro integra la gestión de la demanda y oferta dentro y a través de las compañías.²

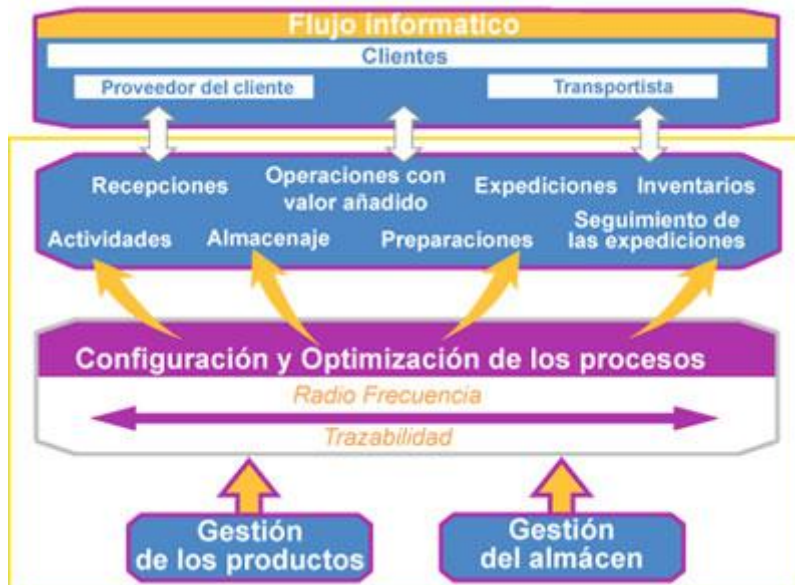
“Cadena Logística: la administración de la cadena de suministros (SC por sus siglas en inglés) abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes desde la etapa de materia prima (extracción) hasta el usuario final, así como los flujos de información relacionados. Los materiales y la información fluyen en sentido ascendente y decente en la cadena de suministros. La administración de la cadena de suministros (SCM) es la integración de estas actividades mediante mejoramiento de las relaciones de la cadena de suministros para alcanzar una ventaja competitiva sustentable.”³

¹ BALLOU, Ronald. Business Logistics Management: Planning, Organizing and Controlling the supply Chain. 4 Ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999, 6p

² VOGT, John J. Business Logistics Management: Theory and Practice. 2 Ed. Oxford, UK ; New York : Oxford University Press, 2007 p. 6-7

³ BALLOU, Ronald H. Logística administración de la cadena de suministro. 5 ed. México: Pearson, 2004, 5p

Figura 1. Ejemplo de Cadena Logística



Fuente:

[http://62.161.127.20/geodis/geo001pays.nsf/vwAFFImage/es-images-servicededie/\\$file/optimisation.jpg](http://62.161.127.20/geodis/geo001pays.nsf/vwAFFImage/es-images-servicededie/$file/optimisation.jpg)

2. Investigación de Operaciones

“Es la aplicación, por grupos interdisciplinarios, del método científico a problemas relacionados con el control de las organizaciones o sistemas (Hombre - Máquina) a fin de que se produzcan soluciones que mejor sirvan a los objetivos de toda la organización.”⁴ Es “la ciencia de la toma de decisiones.”⁵

El objetivo de la Investigación de Operaciones es encontrar una forma mejor de encontrar una solución adecuada, que se denomina Solución Óptima. La Investigación de Operaciones se aplica a una gran cantidad de áreas, como lo son la Manufactura, Transporte, Telecomunicaciones, Salud, Planeación, Servicios y Finanzas.

⁴ PRAWDA, Juan. Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones: Volumen 1 Modelos Determinístico. México: Editorial Limusa, 2004, 20p

⁵ Duran, Guillermo. Investigación de Operaciones, Modelos Matemáticos, y Optimización, Seminario JUNAEB – DII, Enero de 2006.

Al aplicar este método para la resolución de problemas es necesario comenzar por el Modelamiento Matemático del mismo. Esto quiere decir que se debe “representar el sistema o fenómeno del mundo real o el problema a resolver en lenguaje matemático.”⁶

Las etapas del modelamiento son las siguientes:⁷

- Definición del problema y recolección de la información
 - Describir el Problema
 - Delimitar el Problema
 - Identificar los entes afectados
 - Análisis Costo-Beneficio

Luego de tener la información mencionada anteriormente se deben especificar el objetivo global, seguidamente se deben especificar los objetivos a nivel de proyectos. Para esto, siempre se debe tener en cuenta que la Investigación de Operaciones busca soluciones óptimas globales y no locales, pues resolver muchos problemas locales, no quiere decir que se solucione el problema estudiado. El objetivo de la aplicación de este método debería estar dirigido a Maximizar Beneficios, y de esta manera genere rentabilidad en todo sentido.

- Formulación del Modelo Matemático
 - Esta formulación es la representación idealizada de un sistema. En este, se deben definir variables y parámetros, con su respectiva función objetivo y conjunto de limitaciones o restricciones
- Obtención de la solución a partir de un modelo
 - Generalmente para la obtención de la solución se hace uso de las Tecnologías de la Computación debido a la cantidad de información que se procesa y por ende el número de iteraciones que debe hacerse para llegar a una solución factible.
 - Para llegar a la solución muchas veces se usan Métodos Heurísticos, que entregan soluciones Subóptimas, y luego se realiza el respectivo Análisis de Sensibilidad. Existen variables más sensibles que otras, requieren de especial cuidado.
- Prueba del modelo
- Preparación para la aplicación del modelo

⁶ Tomado del Curso: http://www.investigacion-operaciones.com/Curso_inv-Oper_carpeta/Clase1.pdf

⁷ Tomado del Curso: http://www.investigacion-operaciones.com/Curso_inv-Oper_carpeta/Clase1.pdf

- Esta es la sección dedicada al usuario final. Es la interfaz grafica para la base de datos.
- Para esto se debe contar con un Manuel de uso de la Aplicación, las preguntas más frecuentes, el sistema de soporte de decisiones y los informes gerenciales.
- **Implantación**
 - En esta fase se realiza toda la capacitación del personal, además de la realización de pruebas piloto.

3. Problema NP – Hard

Es un problema matemático, para el cual, incluso en la teoría, ningún atajo o algoritmo inteligente puede llevar a una simple o rápida solución. La única forma de encontrar una solución óptima es mediante el uso de un exhaustivo análisis en el que todos los posibles resultados son examinados. No se conoce ningún algoritmo polinomial que pueda encontrar una solución exacta al problema, las siglas NP quieren decir Polinomial No Deterministico.

Existen 2 clases de problemas:

- P: Es el conjunto de problemas si/no pueden ser resueltos en tiempo polinomial, son los problemas que pueden ser resueltos rápidamente.
- NP: Son los problemas si/no con la siguiente propiedad: si la respuesta es si entonces existe una prueba de este hecho que puede ser probado en tiempo polinomial

Lo cual quiere decir que cualquier problema que este en P, entonces también está en NP.

Según lo anterior la pregunta central en este tipo de problemas es si P es o no es igual a NP, objeto que nadie sabe.

Ahora un problema NP – Hard es aquel que implica un algoritmo para cada problema en NP. Esto quiere decir que si se resuelve un problema particular NP – Hard de forma rápida entonces se puede resolver el problema rápidamente cuya solución es fácil de entender.

Para probar que el problema es NP – Hard es necesario reducir un problema NP – Hard conocido a A.

El modelo del problema a tratar en el hospital es una modificación del ruteo de vehículos con ventanas de tiempo, que es un problema de tipo NP – Hard. En primera medida la solución, va a ser encontrada mediante un programa computacional debido a la dimensión del modelo, ya que

las variables a considerar son muy pocas. Luego del uso de un programa como LP Solve para encontrar una solución óptima se determinara si el Problema de Ruteo para el Hospital es factible de resolver en tal programa, o será necesario hacer uso de técnicas como Algoritmos Genéticos, Búsqueda Tabú, o Colonias de Hormigas.

El algoritmo genético es una técnica de búsqueda basada en la teoría de evolución de Darwin, se basa en los mecanismos de selección que usa la naturaleza, según la cual, solo los individuos más aptos de una población sobreviven. Entonces, el algoritmo genético es una función matemática o rutina de software que toma como entradas a los ejemplares y retorna como salidas cuáles de ellos deben generar descendencia para la nueva generación⁸.

A su vez el algoritmo de Colonia de Hormigas se inspira directamente en el comportamiento de las colonias reales de las Hormigas. Este se basa en una Colonia de Hormigas, que se traduce en agentes computacionales simples que trabajan de manera cooperativa y se comunican mediante rastros de feromonas artificiales⁹.

4. VRP (Vehicle Routing Problem) 10

Un problema VRP diseña de rutas óptimas usadas por una flota de vehículos, basadas en una o más estaciones, para servir un grupo de clientes con valores de Demanda conocida. Los principales componentes del modelo son:

- El plano de rutas
- Clientes
- Estaciones
- Vehículos
- Conductores
- Restricciones de tipo operacional
- Objetivos de optimización

1. El plano de rutas

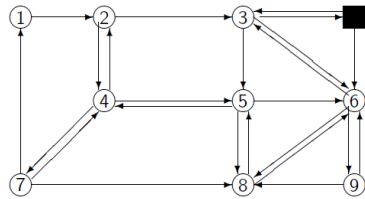
- Debe estar modelado como un grafico.
- Vértices: intersecciones, locaciones de clientes, estaciones.
- Arcos y líneas: Segmentos de la ruta, que pueden ser directos o indirectos, lo cual afecta un “costo”, que puede estar determinado en largo del trayecto o tiempo de viaje.

⁸ <http://eddyalfaro.galeon.com/geneticos.html>

⁹ Sergio Alonso, Oscar Cordón, Iñaki Fernández de Viana, Francisco Herrera, “La metaheurística de Optimización basada en Colonias de Hormigas: Modelos y nuevos enfoques”
[http://sci2s.ugr.es/publications/ficheros/OCH%20Modelos%20y%20Nuevos%20Enfoques%20\(Chapter\).pdf](http://sci2s.ugr.es/publications/ficheros/OCH%20Modelos%20y%20Nuevos%20Enfoques%20(Chapter).pdf)

¹⁰ Vigo, Daniele, Universidad de Bologna, “Introduction to VRP, 1. Basic Concepts”, 15 de Abril de 2008.

Figura 2. Ejemplo de Plano de Rutas para un problema de Ruteo de Vehículos



Tomado de: Vigo, Daniele, Universidad de Bologna, “Introduction to VRP, 1. Basic Concepts”, 15 de Abril de 2008

- Así mismo se debe construir una matriz.
- Los supuestos que generalmente se hacen son los siguientes:
 - o Propiedad Triangular $c_{ij} \leq c_{ik} + c_{kj} \quad \forall i, j, k$
 - o Grafico Euclidiano: La grafica es simétrica y triangular

2. Clientes

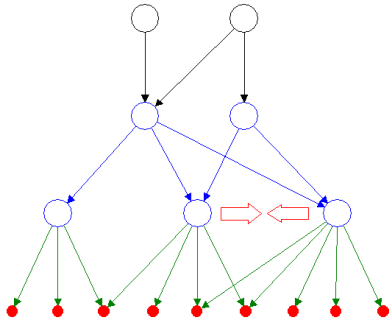
- Locación del Cliente: Vértice del grafico
- Demanda: La cantidad que debe ser recogida o enviada
- Ventana de Tiempo: Horas de apertura, zonas con límites de acceso. Tiempo deseado de servicio mas una penalidad por un servicio demorado o temprano.
- Tiempos de carga y descarga

No necesariamente se debe servir a todos los clientes, pues puede existir una capacidad insuficiente de vehículos. Cuando la Demanda no se puede suplir completamente se deben definir Niveles de Servicio Prioritario, y además deben existir costos y penalidades por un servicio o cliente no atendido, así sea parcial o completamente.

3. Estaciones

- El plano de rutas puede tener una o más estaciones o vértices.
- El servicio que se presta a determinada ruta debe tener una jerarquía, teniendo en cuenta las estaciones principales e intermedias.
- Los vehículos no necesariamente tiene que volver a su estación original de trabajo.
- Se puede hacer una asignación previa de clientes a estaciones

Figura 3: Jerarquía de Estaciones en un Problema VRP



Tomado de: Vigo, Daniele, Universidad de Bologna, “Introduction to VRP, 1. Basic Concepts”, 15 de Abril de 2008

4. Vehículos

- Las dimensiones de la Flota puede estar predefinida o puede ser variable
- La flota puede ser homogénea o heterogénea, es decir que puede ser de diferentes tipos.
- Los vehículos deben pertenecer a estaciones específicas, es decir a donde regresan
- Se debe definir la capacidad del vehículo (Peso, Volumen, Pallets, etc.)
- Los vehículos pueden ser subdivididos
- Deben contar con una metodología y el equipo para realizar las actividades de cargue y descargue
- Puede ser que no puedan viajar en ciertas rutas.
- Los costos son fijos, es decir que se definan por Kilogramo, por Hora, por Viaje, o los costos pueden ser lineales o no lineales según el tamaño de la orden.

5. Conductores

- Pueden ser internos o externos al proceso. Se puede realizar outsourcing del recurso.

6. Restricciones de tipo operacional

- Son originadas por:
 - o El tipo de transporte
 - o El nivel deseado de servicio
 - o Regulaciones
- Se clasifican en:
 - o Restricciones locales: Relacionadas con una sola ruta. Se tiene en cuenta la capacidad del vehículo, la duración máxima de la ruta, las ventanas de tiempo o los tiempos deseados de servicio.

- Restricciones Globales: Relacionadas con un grupo completo de rutas. Se tienen aspectos como: la flota empleada y el número de rutas y el balance de carga entre rutas.

7. Objetivos

- Minimización de:
 - Costos fijos para la flota utilizada
 - Costos de Ruteo (Por Kilometro y por Hora)
- Minimización del número de vehículos y de conductores usados
- Carga de balanceo entre las diferentes rutas.
- Minimización de las penalidades por un servicio parcial de los clientes.

Aplicaciones de un Problema VRP

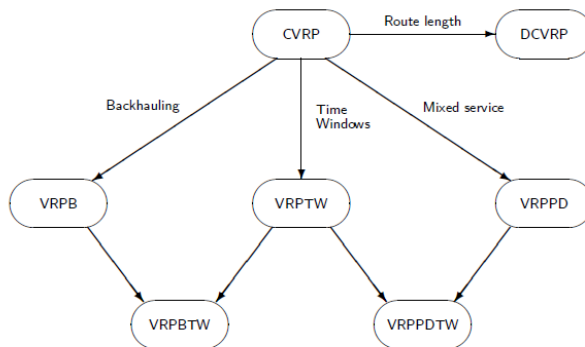
5. Distribución de carga en áreas urbanas
 - a. Dirección de 1 sola vía.
 - b. Penalidades por giros y tiempos
 - c. Generalmente la duración de la ruta es más crítica que la capacidad.
6. Distribución en supermercados a nivel regional
 - a. Ventanas de tiempo de tipo Soft. (En la mañana y en la tarde)
 - b. 2 o 3 viajes por vehículo por día
 - c. Clientes de comida fresca, de 20 a 30, y de otro tipo de 3 a 5
7. Recolección de basura en áreas urbanas
 - a. Los problemas son particionados a priori. (Puntos: 1000 – 10000)
 - b. Más de un viaje por día. (De 80 – 100 puntos por viaje)
8. Transporte para personas minusválidas en áreas urbanas
 - a. Pickup y Distribución
 - b. Diferentes tipos de clientes
 - c. Diferentes tipos de Vehículos
 - d. Minimización del uso de taxis y un mejoramiento en el nivel de servicio

Variaciones del Problema VRP

- VRP Capacitado
 - Todos los clientes deben ser servidos desde una misma estación
 - Flota Homogénea, cada vehículo puede realizar solo 1 ruta
 - Solo restricciones de Capacidad
 - Minimizar los costos de Ruteo
- VRP con restricciones de Distancia
- VRP con ventanas de tiempo

- Cada cliente está asociado a un tiempo de servicio y una ventana de tiempo
- Si un vehículo llega temprano debe esperar
- Minimizar primero el número de vehículos y después los costos de ruteo
- VRP con Red de Retorno (Backhauls)
 - Los clientes se dividen en Linehauls (Clientes de distribución) y Backhauls (Clientes Pickup)
 - Los Backhauls deben ser servidos después de los Linehauls si los 2 están en una ruta.
- VRP con Pickup y Distribución
 - Tiene también los 2 tipos de cliente pero mezclados sin prioridad
- VRP Periódico
 - El servicio se da en varios días de un horizonte de tiempo
 - Los clientes deben ser servidos en dependiendo de diferentes combinaciones de tiempo.
 - Se debe escoger una combinación de días para cada cliente y así resolver un VRP Capacitado para cada día.

Figura 4. Relaciones entre tipos de VRP



Tomado de: Vigo, Daniele, Universidad de Bologna, "Introduction to VRP, 1. Basic Concepts", 15 de Abril de 2008

5. Heurísticas y Metaheurísticas

La Heurística es una herramienta de tipo exploratorio utilizada para la resolución de problemas, en los que las soluciones se descubren por la evaluación del progreso logrado en la búsqueda de un resultado final. Los problemas en los que aplican este tipo de métodos heurísticos, es en donde los problemas son muy grandes y complejos, y los programas computacionales no soportan la cantidad de variables e iteraciones que deben hacerse para resolverlos.

Las soluciones que se obtienen son Subóptimas, pues la optimización de este tipo de problemas no es factible. Una Heurística nunca debería usarse como una certeza, pero tampoco se debería rechazar completamente este tipo de conclusiones.¹¹

A su vez una Metaheurística tiene como objetivo el “explorar eficientemente el espacio de búsqueda, de forma de encontrar soluciones Subóptimas.”¹²

Existen diferentes formas en las que se puede clasificar una Metaheurística, estas son: según se basen en procesos naturales o no, basados en poblaciones o métodos de trayectoria, dinámicos versus función objetivo estática, una versus varias estructuras de vecindades y según use o no memoria.

Los métodos de Trayectoria son: el método de búsqueda local básica, el recocido simulado, búsqueda Tabú y métodos de exploración local. Los métodos basados en poblaciones son el de Computación Evolutiva o Algoritmo Genético y Colonia de Hormigas.

- Recocido Simulado

Esta técnica es usada para problemas de optimización combinatoria, es decir para problemas NP-Complejos.

Generalmente este algoritmo comienza por una solución inicial factible, con un costo y un volumen asociado, seguidamente se genera la nueva solución, que se acepta si el nuevo costo mejora.

- Búsqueda Tabú

Es un proceso Metaheurístico que hace uso de memoria adaptativa y estrategias especiales para la resolución de problemas, basadas en procedimientos de aprendizaje. Las estructuras de memoria de la búsqueda tabú tienen en cuenta 4 dimensiones: reciente, frecuencia, calidad e influencia. Las 2 primeras se complementan para lograr el balance que se requiere entre intensificación y diversificación.¹³

¹¹ Tomado de <http://enciclopedia.us.es/index.php/Heur%C3%ADstica>

¹² Tomado de www.fing.edu.uy/inco/grupos/invop/mh/material/pres4.ppt

¹³ Tomado de [http://leeds-faculty.colorado.edu/glover/TS%20-%20Intro%20-%20Metaheuristics%20in%20Econ%20&%20Bus%20-%20w%20Belen%20%20\(Spanish\).pdf](http://leeds-faculty.colorado.edu/glover/TS%20-%20Intro%20-%20Metaheuristics%20in%20Econ%20&%20Bus%20-%20w%20Belen%20%20(Spanish).pdf)

Este método funciona pues una vez que se identifica una solución que puede ser factible se marca como Tabú, y así el algoritmo no vuelve a visitar esa posible solución. “La búsqueda Tabú usa un procedimiento de búsqueda local para moverse iterativamente desde una solución x hacia una solución x' , hasta satisfacer algún criterio de parada.”¹⁴ La estructura de memoria que más se utiliza es la lista tabú. Esta contiene las soluciones que fueron visitadas en el pasado reciente.

- Algoritmo Genético

Este es un modelo que aplica la interpretación de los mecanismos de la evolución de los algoritmos genéticos usuales adaptándolos al problema junto a ideas que mejoran sensiblemente los resultados.¹⁵ Para llegar a este algoritmo se debe en primera medida crear una Generación Inicial, luego se debe realizar una selección natural, en la que la mejor solución obtenida pasa directamente a la generación siguiente. Seguidamente se hace el cruce, y de esta manera garantizar la obtención de cromosomas hijos factibles. Otro de los mecanismos es la mutación para la exploración de nuevas soluciones.

- Colonia de Hormigas

El algoritmo de Colonia de Hormigas es una Metaheurística basada en el comportamiento de las Hormigas, para “descubrir fuentes de alimentación y establecer el camino más corto entre estas y el hormiguero, transmitiendo la información al resto de sus compañeros”¹⁶, pues cada una “suma una unidad de Feromona al arco que uso para moverse a un nodo vecino.”¹⁷

6. Análisis Financiero

El Análisis Financiero es una técnica a través de la cual se determina la viabilidad de un proyecto. Es decir que se determinan los beneficios o pérdidas de realizar una inversión, de realizar un cambio en la forma de hacer las cosas, o alguna otra acción que afecte la toma de decisiones al realizar alguna inversión.

Existen diferentes métodos para realizar el análisis o la evaluación financiera de un proyecto. Estos son:¹⁸

- Método Horizontal, Vertical e Histórico

¹⁴ Tomado de http://es.wikipedia.org/wiki/B%C3%BAsqueda_tab%C3%BA

¹⁵ Tomado de http://io.us.es/cio2006/docs/000028_final.pdf

¹⁶ Tomado de http://www.uaa.mx/investigacion/memoria/ponencias/mesa_ieisc/pdf/ponce_gallegos.pdf

¹⁷ Tomado de http://elavio2005.uniandes.edu.co/ResumenesParticipantes/Jueves/ToroEliana_P.ppt

¹⁸ Tomado de <http://www.monografias.com/trabajos7/anfi/anfi.shtml>

- En el método Vertical se hace uso de los estados financieros de un periodo, y de esta manera conocer la situación.
- En el método horizontal se comparan entre sí los 2 últimos periodos.
- En el método Histórico se analizan tendencias.
- Razones Financieras
 - Las razones financieras son un indicador de distintos aspectos financieros, como los son: la solvencia, la productividad, y la liquidez.
 - Algunas de las razones financieras son: El Capital de Trabajo, La Prueba Acida, Razones de endeudamiento y la Tasa de Rendimiento, que es la rentabilidad de la inversión total de los inversionistas. Sobre esta Razón Financiera se hará especial énfasis, para la evaluación económica de este Trabajo de Investigación.
- Análisis de Punto de Equilibrio
 - Es un método Grafico-Analítico, en el que se muestra el punto donde se cruzan las Ventas y los Gatos Totales, en el momento en que no existen utilidades ni perdidas, lo que quiere decir que los ingresos son iguales a los gastos.
- Sistema Du Pont
 - Esta es la razón que multiplica el margen de utilidad por la rotación de activos, lo cual proporciona la tasa de rendimiento sobre los activos (ROA)
 - Este sistema facilita la elaboración de un análisis integral de las razones de rotación y del margen de utilidad sobre las ventas.
- Apalancamiento Operativo
 - Este método es la medida del grado el que se usan los costos fijos en las operaciones de una empresa. Es decir que entre más Costos Fijos se tengan, se tendrá un mayor grado de apalancamiento operativo.

Los métodos descritos anteriormente son aquellos que no toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo. Existen métodos que si toman en cuenta el valor del dinero en el tiempo, estos son: El Valor Presente Neto (VPN), y La Tasa Interna de Retorno (TIR)

- Valor Presente Neto (VPN)

- El objetivo de este método es transformar todos los ingresos y egresos futuros en pesos de hoy, y de esta manera determinar si los ingresos son mayores que los egresos.
- Cuando el VPN es igual a cero, quiere decir que el proyecto es indiferente.
- Tasa Interna de Retorno
 - “Es aquella tasa que está ganando un interés sobre el saldo no recuperado de la inversión en cualquier momento de la duración del proyecto.”¹⁹

Análisis Costo-Beneficio

El objetivo de este análisis es determinar que tan conveniente es un proyecto. El propósito es “proporcionar una medida de los costos en los que se incurren en la realización de un proyecto, y a su vez comparar dichos costos con los beneficios esperados de ese proyecto en particular.”²⁰

Para realizar un análisis costo-beneficio se debe en primera medida hacer una lista con lo que se requiere para llevar a cabo el proyecto que se está analizando. En paralelo se deben listar los beneficios que entrega la implantación del nuevo sistema. Hay que tener en cuentas que los costos son tangibles, es decir que se pueden medir de alguna forma económica, en cambio los beneficios pueden ser tangibles y no tangibles.

Tabla 1. Beneficio Neto en cada Periodo de tiempo

Año	Costo	Beneficio	Beneficio Neto
0	C0	-	-
1	C1	B1	B1 – C1
n	Cn	Bn	Bn – Cn

Tomado de: <http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/inf/lib5006/cap3-6.htm>

¹⁹ Tomado de <http://www.monografias.com/trabajos16/metodos-evaluacion-economica/metodos-evaluacion-economica.shtml>

²⁰ Tomado de <http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/inf/lib5006/cap3-6.htm>

$$\text{Valor Actual} = \frac{\text{Beneficio Neto}}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n}$$

El proyecto es viable si la sumatoria del valor actual es mayor al costo inicial.

Otra forma de determinar el costo beneficio del proyecto es:

Calcular:

$$\text{Beneficios Netos} = \text{Ingresos} - \text{Egresos}$$

$$\text{Costo} = \text{Costos} \times \text{Tasa}$$

$$\text{Relación} = \frac{\text{Beneficios Netos}}{\text{Costo}}$$

Retorno sobre la inversión

“Es un indicador que mide la rentabilidad de la inversión, es decir la tasa de variación que sufre el monto de una inversión o capital al convertirse en utilidades o beneficios.”²¹

$$\text{ROI} = \frac{\text{Utilidades} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} \times 100\%$$

Mientras el ROI sea más alto, quiere decir que la empresa es más eficiente en la utilización de sus del Capital para generar Utilidades.

En el caso en que más se utiliza el ROI es en el caso de evaluar un proyecto de inversión, si el ROI es menos que cero, significa que el proyecto no es viable.

“Algunos expertos dicen que se necesita un ROI entre el 10% y el 14%, de manera que se pueda financiar el crecimiento a futuro.”²²

7. Disposiciones Legales

La secretaria de salud, además de las disposiciones expuestas en el decreto 2676 de 200 establece los mecanismos para el manejo de residuos especiales provenientes de establecimientos que

²¹ Tomado de <http://www.crecenegocios.com/retorno-sobre-la-sobre-inversion-roi/>

²² Tomado de <http://finanzascubo.com/invertir/roi-retorno-sobre-la-inversion.html>

realizan actividades relacionados con el área de la salud en la resolución 300 de 1998. Esta resolución incluye todo lo relacionado con el manejo de residuos, clasificados Rojos. Las bolsas para contener los residuos infecciosos deben cumplir las siguientes características:

“...deben ser de color rojo, de alta densidad, calibre no menor de 1.8 en dos tamaños de dimensiones máximas así: Grande de 89 x 454.5 cm para resistir máximo 20 kg. de peso, pequeña de 46.5 x 55 cm para resistir máximo 5 kg. de peso para facilitar su manipulación y ubicación dentro de los recipientes.”²³

Incluye dice que las canecas deben ser: Impermeables, livianas, herméticas, con tapa que sea levantada con un pedal, deben tener superficie lisa, y deben estar marcadas con el tipo de residuos que contienen y deben ser del color que corresponda.

Deben contar con carros para evacuar los residuos, estos deben ser de material rígido, rojos, con tapa, fácil de lavar y desinfectar.

La resolución incluye también las características que deben tener los lugares de almacenamiento²⁴:

- a. Su ubicación puede ser dentro o fuera del área física de la institución, con aislamiento, en estructura a prueba de insectos y roedores; a fin de evitar riesgos de contaminación.
- b. Fácil acceso para el personal autorizado, carros recolectores y sin obstáculo vehicular.
- c. Deben estar protegidos de las condiciones atmosféricas como; lluvia, sol y viento.
- d. Los acabados serán en material liso y lavable resistentes a la humedad, con ventilación e iluminación natural y/o artificial.
- e. Con sistema de drenaje; pisos con pendiente.
- f. Suministro de agua, equipo de prevención y control de incendios.
- g. Señalización y demarcación de las zonas de almacenamiento tanto de los residuos ordinarios como de los patógenos y/o infecciosos, con indicaciones claras y precisas para el manejo de estos residuos.
- h. Programa de aseo, desinfección, desinfectación y desratización periódico.
- i. Prohibición de personal no autorizado en esta área.

Además de las disposiciones mencionadas anteriormente la resolución reglamenta que los desechos infecciosos deben ser incinerados en su disposición final. Dice que las instituciones que cuenten con el equipo que cumplan con los requisitos y las normas ambientales deberán usarlo, las que no deben realizar la disposición final por medio de un contrato con una institución autorizada para realizar esta operación.

²³ Resolución 300 de 1998 de la Secretaria de Salud.

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=819>

²⁴ Resolución 300 de 1998 de la Secretaria de Salud.

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=819>

De incumplir las disposiciones expuestas por las autoridades que pueden consistir en:²⁵

- a. Amonestación.
- b. Multas sucesivas hasta por una suma equivalente a 10.000 salarios mínimos diarios legales vigentes al momento de dictarse la respectiva resolución.
- c. Decomisos de productos.
- d. Suspensión o cancelación de la declaratoria de requisitos esenciales.
- e. Cierre definitivo del establecimiento o servicio respectivo.

Es importante mencionar que cumplir con la sanción o pagar la multa no exime a la institución de tomar medidas para corregir las no conformidades.

8. Legislación Vigente para la manipulación de residuos Hospitalarios

La gestión integral de residuos hospitalarios y similares se reglamenta por el Decreto 2676 de Diciembre 22 de 2000.

El Decreto 2676 tiene por objeto reglamentar la gestión integral de los residuos hospitalarios generados. El decreto aplica a personas que presten servicios de salud y que generen, identifiquen, separen, desactiven, empaquen, recolecten, transporten, almacenen, manejen, aprovechen, recuperen, transformen, traten y/o dispongan finalmente los residuos hospitalarios.

La Ley se rige por lo principios básicos de bioseguridad, gestión integral, minimización, cultura de la no basura, precaución y prevención.

Los residuos de los que se habla en el artículo se clasifican en no peligrosos y peligrosos, a su vez los no peligrosos se clasifican en biodegradables, reciclables, inertes, y ordinarios o comunes; los peligrosos se clasifican en infecciosos y químicos, que a su vez se clasifican en Biosanitarios, Anatomopatológicos, Cortopunzantes, y animales; los residuos químicos, se clasifican en fármacos parcialmente consumidos o vencidos, Citotóxicos, Metales pesados, reactivos, , contenedores presurizados, aceites usados, y residuos radioactivos.

El Ministerio de Salud es el que formula todos los planes relacionados con las acciones de promoción de la salud y prevención de la enfermedad. De esta manera son las instituciones locales las encargadas de efectuar y dar cumplimiento a estos programas. Por lo que en caso de incumplimiento, las autoridades sanitarias que tengan conocimiento del hecho tomaran las medidas preventivas y iniciara la investigación, es decir lo pondrá en conocimiento de la autoridad competente.

²⁵ Resolución 300 de 1998 de la Secretaria de Salud.

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=819>

En este orden de ideas las obligaciones del que genera los residuos son: garantizar la gestión integral de residuos, velar porque los residuos sean tratados y dispuestos de manera definitiva, responder en forma integral por los efectos ocasionados, diseñar un plan para la gestión ambiental y sanitaria, capacitar técnicamente a sus funcionarios, y realizar la desactivación de los residuos para su gestión externa.

Las obligaciones de los prestadores del servicio de desactivación son la disposición final en rellenos sanitario garantizando el cumplimiento de los estándares de microorganismos máximos permisibles.

Las obligaciones de las personas prestadoras del servicio de aseo son prestar el servicio de recolección, transporte, tratamiento, y disposición final, responder solidariamente con el generador una vez le recíbalos residuos hospitalarios, y divulgar los beneficios de la implementación de los sistemas de gestión integral.

Como se hablo anteriormente la gestión de residuos hospitalarios deberá hacerse en forma integral teniendo en cuenta los lineamientos del Decreto al que se esta haciendo referencia. Una gestión integral hace referencia a actividades como a desactivación, tratamiento y disposición final, teniendo en cuenta el tipo de residuo.

Los residuos no peligrosos pueden ser llevados a relleno sanitario, o destinados al desarrollo de actividades de reciclaje o compostaje.

Los residuos peligrosos deben tener un tratamiento especial según la clasificación, debe existir un tratamiento diferente para los residuos infecciosos, químicos, y radioactivos. Los residuos infecciosos deben desactivarse y luego ser incinerados en plantas para este fin o en plantas productoras de cemento.

Los residuos químicos deben ser incinerados, a excepción de de los mercuriales y demás metales pesados, que deben ser reciclados o dispuestos en rellenos sanitarios.

Los residuos radioactivos deben ser llevados a confinamientos de seguridad.

Por último todas las entidades que manejen este tipo de residuos deben poseer un plan de contingencia además del Plan de Gestión Integral de Residuos mediante el Manual para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares.

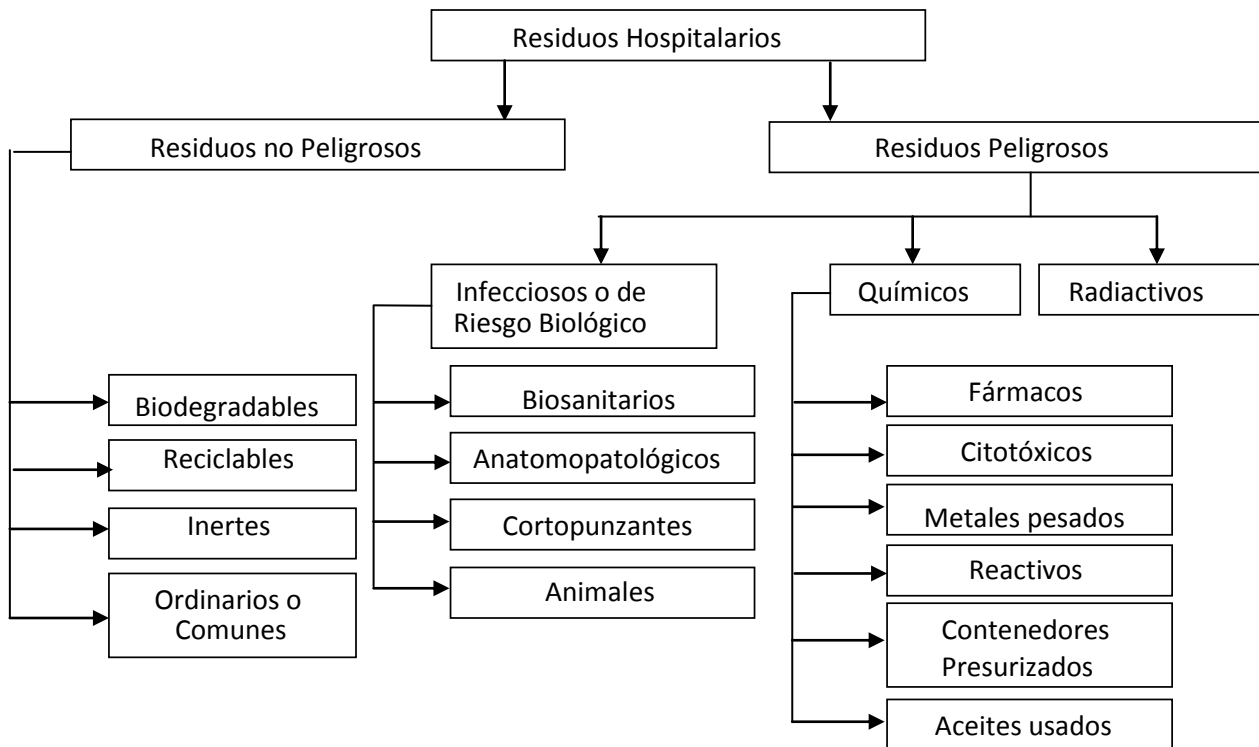
9. Tipos de Residuos

- Residuos no peligrosos: son aquellos que no representan riesgos para la salud y que surgen de la actividad normal. Todo residuo no peligroso que esté en contacto con algún tipo de residuo peligroso será considerado como tal. Entre los residuos no peligrosos encontramos:

- Biodegradables

- Reciclables
 - Inertes
 - Ordinarios
- Residuos Peligrosos: Son aquellos que representan un riesgo para la salud humana y/o para el medio ambiente. Entre los residuos no peligrosos encontramos:
 - De riesgo biológico (Biosanitarios, Anatomopatológicos, corto punzantes y de animales)
 - Residuos químicos (farmacológicos, Citotóxicos metales pesados, reactivos, contenedores presurizados, aceites)
 - Residuos radioactivos

Figura 5. Clasificación de los Residuos



Tomado de: Manual de Procedimientos de Gestión de Residuos.

10. Antecedentes del Hospital

Hace algunos años la basura era simplemente basura, no se le daba la importancia que tiene hoy en día. El manejo que se le daban a los residuos de todo tipo de origen no estaba regulado ocasionando varios problemas sanitarios. Cuando las autoridades se percataron de los riesgos de residuos sin regular, empezaron a implementar medidas que redujeran esos peligros. Particularmente en un hospital se generan grandes cantidades y variedades de residuos; desde los que provienen de los consultorios y oficinas hasta los residuos de material quirúrgico, residuos químicos, material Anatomopatológicos e incluso residuos radioactivos. A medida que las regulaciones han cambiado, el hospital ha ido adaptando su gestión de residuos. Así pues, hoy en día en el Hospital Universitario San Ignacio se clasifican los residuos según su tipo y se le da un manejo especial a cada uno de estos.

Figura 6. Algunas de las enfermedades asociadas a la inadecuada Gestión de Residuos hospitalarios y similares



Tomado del: Manual de Procedimientos de Gestión de Residuos.




Cuando la regulación entro en vigor el Hospital se dispuso a cumplir la misma, por lo que subcontrato una empresa de aseo, y de esta manera encargar a la empresa de esta labor teniendo en cuenta todas las disposiciones de la Norma, es decir del Manual de Procedimientos para la Gestión de residuos, cuyos lineamientos son:

- La gestión de residuos debe ser integral. los aspectos de generación, segregación, movimiento interno, almacenamiento intermedio y/o central, desactivación, (gestión interna), recolección, transporte, tratamiento y/o disposición final.
- El manejo de residuos hospitalarios y similares, se rige por los principios básicos de bioseguridad, gestión integral, minimización en la generación, cultura de la no basura, precaución y prevención
- Esta labor debe regirse mediante el Decreto 2676 del año 2000
- El sistema involucra aspectos de planificación, diseño, ejecución, operación, mantenimiento, administración, vigilancia, control e información y se inicia con un diagnóstico situacional y un real compromiso de los generadores y prestadores de servicios
- Toda persona que preste servicios de salud, debe clasificar los residuos según la dispuesta en el Manual.

11. Manejo de Residuos

En el hospital San Ignacio se le da un manejo diferente a cada tipo de residuos. La distinción de manejo inicia en el color de la bolsa y su rotulación. La siguiente tabla muestra esta distinción, pues especifica el tipo residuo que debe ser almacenado en el respectivo color.

Tabla 2. Tipos de Residuos manejados en el Hospital Universitario San Ignacio

Tipo de Resido	Color	Rotulación
ordinarios\Biodegradables	Verde	No Peligrosos
Reciclable	Gris	 Reciclable
Riesgo Biológico	Rojo	 Riesgo Biológico
Químicos\Metales Pesados	Rojo	 Riesgo Químico
Radioactivos	Púrpura	 Radioactivos

Es importante mencionar que los usuarios del hospital, pacientes, cuerpo médico, cafetería, farmacia, oficinas, visitantes son los que depositan la basura roja, verde y gris en las respectivas canecas. Para tal fin las canecas son de los colores respectivos y están rotuladas con el tipo de basura que corresponde en cada uno de los recipientes. La basura radiactiva solo es manipulada por el personal capacitado y autorizado para tal fin.

Su disposición final varía también según el desperdicio. Los no peligrosos se almacenan en un cuarto de almacenamiento final distinto al de los residuos peligrosos que tiene unas características específicas. Las empresas encargadas de la recolección final también varían según el tipo de residuo.

Es importante mencionar que debido a la diferente naturaleza de los residuos, estos deben ser manejados por separado (cada color), para evitar la contaminación cruzada.

Nota: Los residuos radioactivos tienen un manejo diferente a los residuos de riesgo Químico, Biológico, Reciclable, pues se deben aplicar mecanismos diferentes de manera que se eviten los daños que producen sus emisiones. Por este motivo este tipo de residuos no serán considerados dentro del análisis de la gestión de residuos del presente proyecto.

Los residuos radioactivos son objeto de un manejo muy cuidadoso y vigilado. Desde la manipulación de estos materiales hasta la disposición final se hacen con un alto grado de rigurosidad debido al peligro que representan estos materiales para el hombre como para el medio ambiente.

Capítulo II: Caracterización de la Cadena Logística del proceso de evacuación de residuos del Hospital Universitario San Ignacio

1. Descripción de los agentes

(En el Anexo 3 se pueden las fotografías de los agentes mencionados a continuación)

Agentes:

- Fuentes generadoras de desperdicios

La naturaleza de la operación hospitalaria da origen a la generación de varios tipos de residuos. Particularmente en el quinto piso la generación de desperdicios es mayor debido a que la operación es 24 horas. La sección de hospitalización y cuidados intensivos genera continuamente mayormente dos tipos de residuos, los ordinarios o verdes y los peligrosos o rojos. Los ordinarios provienen de residuos de empaques comunes, palería etc. Los residuos rojos provienen de todas las actividades que puedan comprometer la salud de las personas.

Otro aspecto importante sobre las fuentes generadoras es el número de estos. En la sección de hospitalización hay 35 cuartos cada uno con tres canecas (una gris, una verde y una roja). Existe 1 baño por cuarto con 1 caneca únicamente de color rojo y en la recepción hay 3 canecas. El área de cuidados intensivos tiene 30 cuartos con tres canecas (una gris, una verde y una roja). Hay además 5 recepciones con 3 canecas cada una.

- Canecas

Como se mencionaba en la sección anterior en el tercer piso hay 3 canecas por cuarto, 1 roja por baño por cuarto y 3 en cada recepción, esto hace un total de 242. Estas canecas son de los

diferentes colores, identificadas con el tipo de residuo que corresponde a cada una. Estas canecas tienen una capacidad de 20 litros. En la sección de cuidados intensivos las tres canecas están ubicadas cerca de las entradas a cada recinto. En Hospitalización hay una caneca ubicada en cada baño y tres canecas cerca de la entrada a cada uno de estos.

- Personas recolectoras del piso

Las personas que realizan la recolección de la basura en cada uno de los pisos son todas mujeres, entre las edades desde los 20 a los 45 años. Sus horarios de trabajo se manejan por 3 turnos de 8 horas, el de la mañana (de 6:00 am a 2:30 pm), el de la tarde (de 1 pm a 9:30 pm), y el de la noche (de 9:30 pm a 6:00 am).

En el quinto piso, hay 1 persona en la sección de hospitalización, 2 personas por turno en la zona de Cuidados Intensivos y 1 persona que llaman intermedia que apoya los turnos de la mañana y de la tarde, en el horario de 8:30 am a 5:00 pm.

La indumentaria de las señoras que realizan la labor del despapeo es un uniforme que consta de un pantalón y una camisa, guantes de caucho, un gorro de tela, y un tapabocas.

- Personas de la Ruta Sanitaria

Las personas que realizan la ruta sanitaria son todos hombres jóvenes entre las edades de 20 a 30 años, debido al peso que tienen que estar manipulando constantemente durante la duración de la ruta. Los horarios de la Ruta son a las 6:00 am, 1:00 pm y entre 6:30 y 8:00 pm, y cuando no se encuentran realizando esta tarea, realizan otro tipo de trabajos pesados como limpieza de ventanas y actividades de reciclaje.

En cada uno de los turnos siempre hay 2 personas, debido a la cantidad de basura, esto facilita la manipulación y agiliza el proceso.

La indumentaria de los que realizan la labor de la ruta sanitaria debe contar con toda la protección necesaria debido a la naturaleza de los residuos que se manipulan. Cuentan con un overol, guantes de caucho, un delantal de plástico, tapabocas industrial, y botas de caucho.

- Cuarto de almacenamiento intermedio

El cuarto de almacenamiento intermedio del quinto piso está ubicado al costado oriental de los ascensores de carga, inmediatamente después de estos. Estos cuartos tienen un área de 2,340 cm² y tiene 5 canecas (2 rojas, 2 verdes y 1 Gris) y rejillas para acomodar el cartón que proviene de este piso.

- Canecas de Cuartos de almacenamiento intermedio

Como se mencionó en el punto anterior en el cuarto de almacenamiento intermedio hay 5 canecas identificadas según el desperdicio que corresponde a cada una de ellas. Cada caneca tiene una capacidad de 55 galones.

- Carrito recolector en los pisos

Cada uno de los carritos recolectores tiene una capacidad de 80Lt. En el quinto piso hay dos carritos verdes, dos rojos y 1 gris. Los carros cuentan con dos ruedas, una manija extensible además tiene un aditivo UV que bloquea los rayos ultravioletas, lo que los hace resistentes a la intemperie. Sus dimensiones además son 50cm de largo, 41 cm de ancho y 68 cm de alto.

- Carro recolector basura ruta sanitaria

Para evacuar la basura de todo el hospital, la institución cuenta con un carro verde, uno rojo y uno gris, cada uno con una capacidad de 382 lt. Cada carro está hecho de polietileno por lo que soporta trabajo pesado. La carga máxima que resiste el carro es 100 kg. Cada carro cuenta además con 4 llantas y 1 tapa segmentada en dos, lo que facilita su manipulación.

- Ascensores

El quinto piso del Hospital Universitario San Ignacio cuenta con 4 ascensores. Dos de carga y dos de transporte de personas. Los ascensores de carga están dispuestos para el transporte de pacientes, lavandería, farmacia, cafetería y desperdicios. El ascensor #1 esta dispuesto para transportar lo limpio y ascensor #2 por su lado es el que esta dispuesto para transportar los elementos que estén sucios. Claro está que una vez se hace la desinfección del ascensor después de la ruta sanitaria, este queda habilitado para las funciones normales de los ascensores de carga.

- Rutas

Las rutas están definidas genéricamente según la distancia de la fuente al cuarto de almacenamiento intermedio. No hay documentación actual que defina con rigor estas rutas.

- Otros procesos

Como se ha mencionado, los ascensores se utilizan además para el transporte de elementos de lavandería, cafetería, farmacia y traslado de pacientes.

El ascensor 2, además de estar disponible para la ruta sanitaria en los horarios definidos está disponible para transportar los elementos limpios de farmacia, alimentos y pacientes. En los siguientes horarios:

- 7:20 am - 10:00 am
- 1:15 pm - 2:15 pm

Además este mismo ascensor cuenta con los siguientes horarios de ruta sanitaria de lavandería:

- 10:00 am – 12:55 pm
- 3:35 pm – 6:00 pm
- 6:00 pm – 9:00 pm
- 9:00 pm – 12:00 pm

El ascensor 1 por su lado está disponible todo el día para el transporte de pacientes, lavandería limpia y alimentos, exceptuado el momento de desinfección que ocurre entre 12:00 am y 12:15 am.

2. Descripción general del proceso

Figura 7. Descripción General del Proceso de Recolección de Basura



2.1 Proceso de recolección de basuras

El Proceso de recolección de basuras en una entidad de salud es un tema muy importante debido al impacto que esta gestión tiene sobre varios procesos hospitalarios y el impacto ambiental. Como hemos venido mencionando este proceso está estrictamente regulado por los entes de control ambientales.

Los procesos de despapeleo se hacen según la clasificación de los tipos de residuos. Es así que se ha definido que este proceso debe hacerse de lo más “limpio” a lo más “sucio”, es decir que se empieza por lo gris, siguen los desperdicios verdes y por último se recolecta la basura Roja.

Las rutas de despapeleo están definidas actualmente según la distancia de la fuente a los cuartos de almacenamiento intermedio. Para todos los tipos de desperdicio se recolecta desde lo que esté más lejos de la fuente al cuarto de almacenamiento intermedio hacia lo que se encuentre cerca. En el quinto piso del Hospital Universitario San Ignacio la recolección está dividida según áreas. Podemos identificar dos áreas principales: Hospitalización y Cuidados Intensivos, a las demás áreas nos referiremos como Otros. En cuidados intensivos cada una de las señoras se encarga de la recolección de un tipo de desperdicio. En Hospitalización la señora se encarga de todos los tipos de desperdicios. Y para las otras áreas hay una señora que se encarga de todo el despapeleo.

El proceso para la basura gris y verde es igual, las señoras van con el carrito recolector siguiendo su ruta. Se detiene en cada caneca correspondiente al color del desperdicio que estén recolectando, retira la bolsa, le hace el nudo, la deposita en el carrito recolector y pone la nueva bolsa. Cuando el carrito se llena o cuando ha terminado su recorrido las señoras se dirigen hacia el cuarto de almacenamiento intermedio donde desocupan el carrito para luego seguir el recorrido o para guardar el carro según sea el caso.

El proceso para la recolección de la basura roja es similar al de los otros tipos de desperdicios pero difiere en que por el tipo de basura deben aplicarle un líquido llamado TB – Cide 100 que sirve para la manipulación de residuos peligrosos o de color rojo, pues contiene acción desinfectante.

A continuación se presenta una tabla donde se resumen los tiempos estándar de las operaciones de despapeleo:

Tabla 3. Tiempos estándar de las operaciones de despapeleo.

	Tiempo Promedio (s)
Preparación	110
Recolección de Bolsa	23.3
Sellado se la Bolsa	16.3
Disposición de la bolsa en el carrito	13.4
Postura de la Bolsa en la caneca	11.6
Aplicación del Líquido Desinfectante	11.3
Traslado al cuarto de Almacenamiento Intermedio	1.03
Vaciado del carrito en el CAI	60.5

Figura 8. Diagrama de Flujo de Proceso de Recolección de Basura Gris

Diagrama de Flujo de Proceso
Proceso: Recolección de Basura Gris Piso 5 – Hospital Universitario San Ignacio Proceso: Actual Fecha: Febrero 14 de 2011

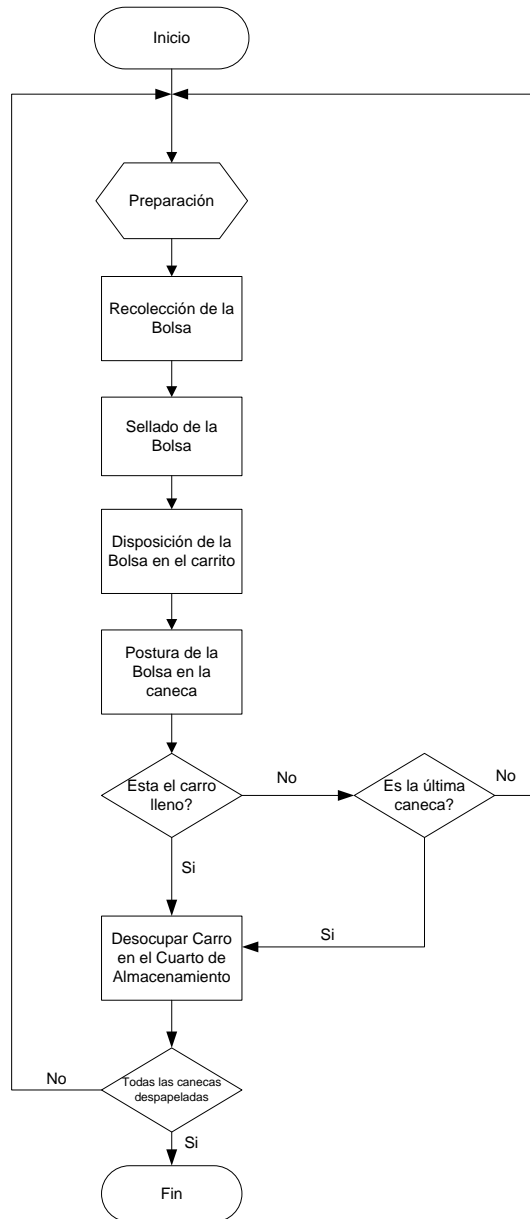


Figura 9. Diagrama de Flujo de Proceso de Recolección de Basura Verde

Diagrama de Flujo de Proceso
Proceso: Recolección de Basura Verde Piso 5 – Hospital Universitario San Ignacio Proceso: Actual Fecha: Febrero 14 de 2011

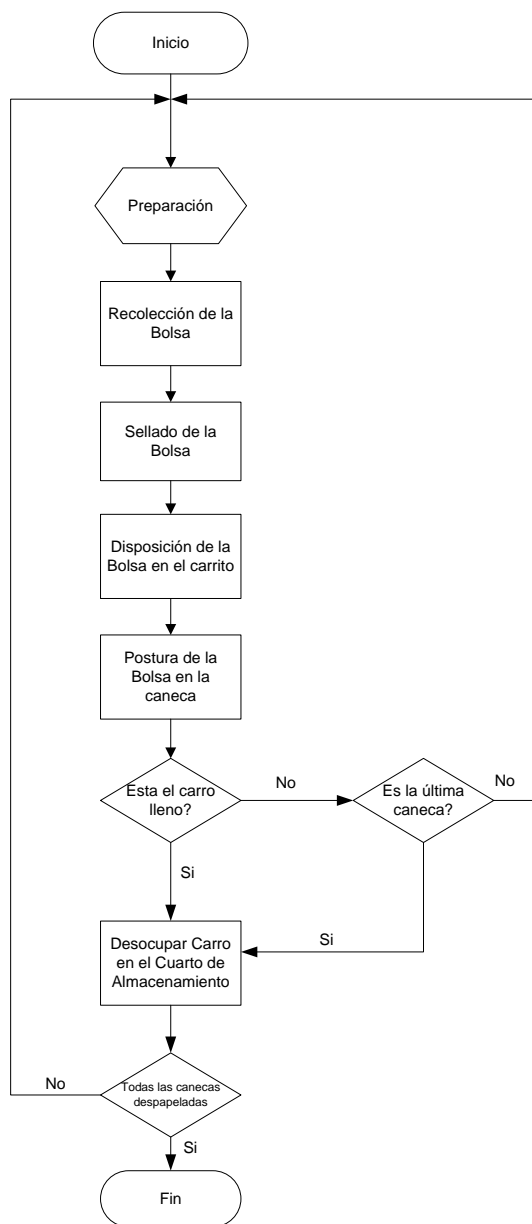
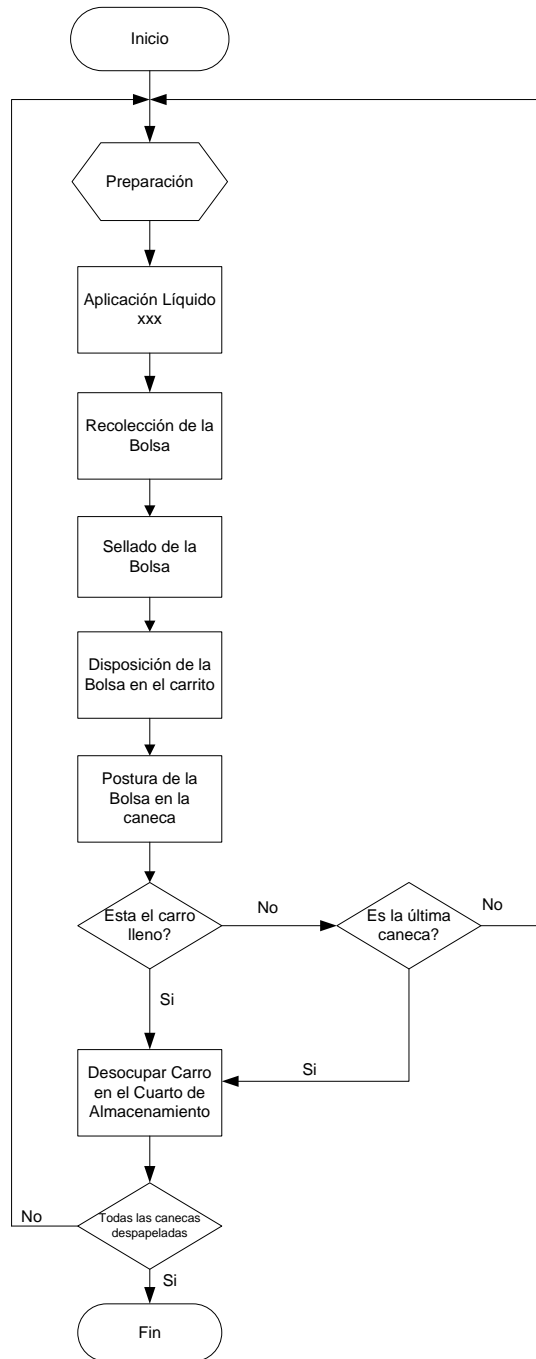


Figura 10. Diagrama de Flujo de Proceso de Recolección de Basura Roja

Diagrama de Flujo de Proceso
Proceso: Recolección de Basura Roja Piso 5 – Hospital Universitario San Ignacio
Fecha: Febrero 14 de 2011



2.2 Proceso de ruta sanitaria

El proceso de la ruta sanitaria empieza en el momento en que se evacúan los residuos desde los cuartos de almacenamiento intermedio hasta el cuarto de almacenamiento final ubicado las afueras del Hospital. El proceso lo realizan en cada turno 2 señores jóvenes.

Este proceso es también muy similar a al proceso de despapeleo, pues también existe una clasificación de las basuras según su color, y de esta manera se deposita en cada uno de los carros. El proceso empieza en el piso más alejado, es decir en el Noveno piso, toman el segundo ascensor hasta ese piso y realizan la recolección de los colores respectivos. Continúan bajando vaciando las canecas piso por piso hasta que se llenan los carros. Cuando los carros se llenan se dirigen hasta el CAF donde son vaciados. Una vez vaciados los carros se dirigen al piso donde habían interrumpido la recolección y continúan con el proceso..

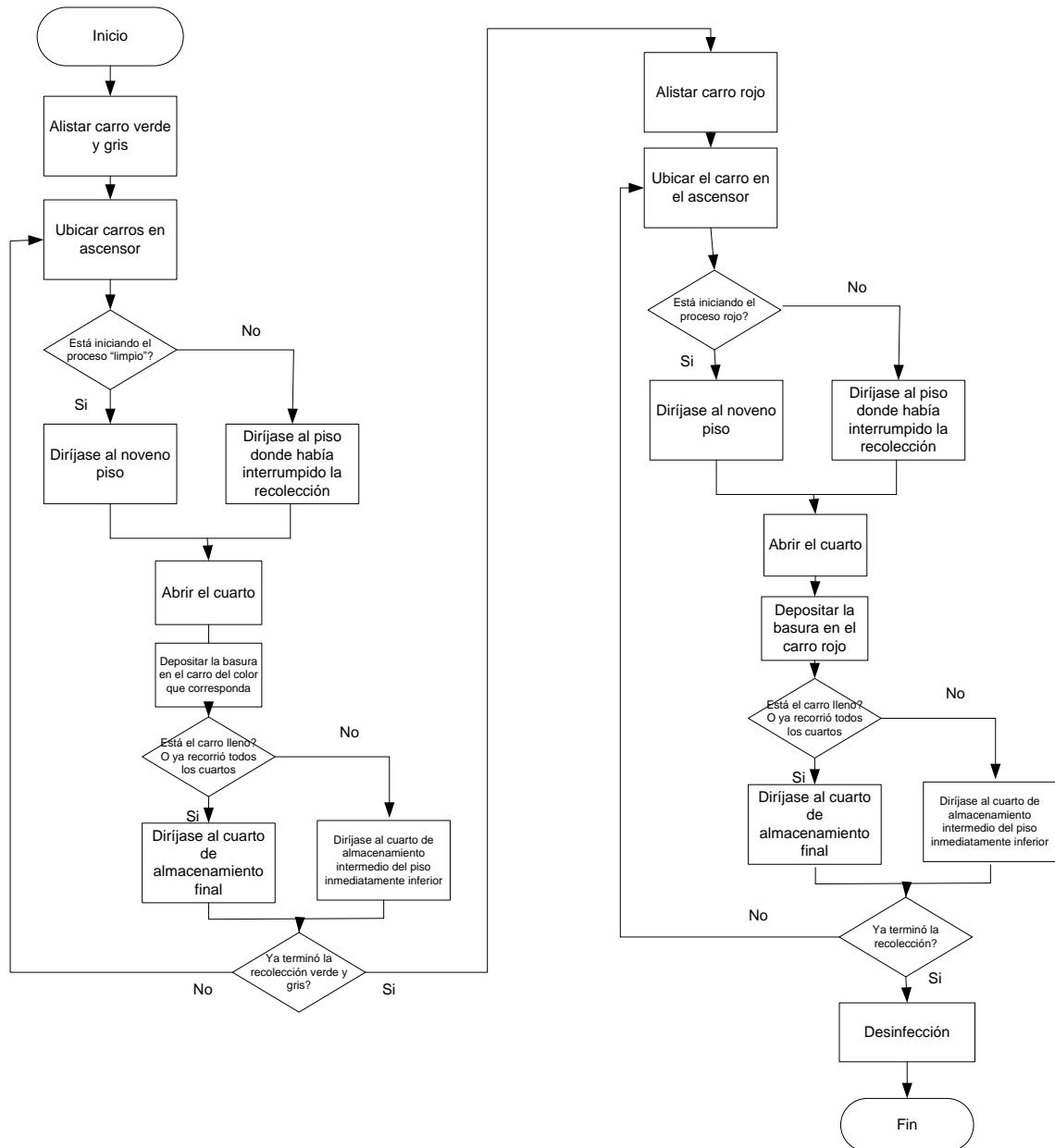
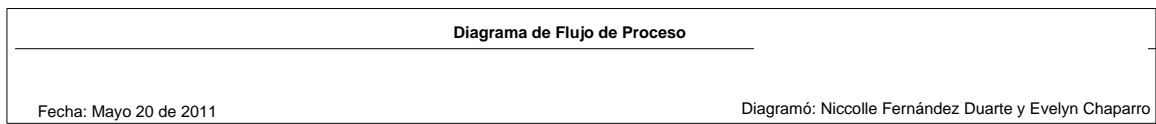
Es importante mencionar que la ruta consta de dos grandes etapas. La primera etapa es la etapa limpia, donde se evacuan los residuos verdes y grises. Una vez ya se evacuan estos tipos de residuos. Se alistan para evacuar la basura roja. Y repiten el procedimiento para la basura de este color. Es importante mencionar que el proceso verde-gris debe hacerse separado del proceso rojo con el fin de evitar la contaminación cruzada.

A continuación se presenta una tabla donde se resumen los tiempos de las operaciones de la ruta Sanitaria:

Tabla 4. Tiempos de las operaciones de la ruta sanitaria.

	Tiempo Promedio (s)
Traslado desde y hacia el cuarto de almacenamiento Intermedio	234
Tiempo de vaciado de Canecas	40
Tiempo de vaciado de Carros CAF	72.6
Tiempo de retiro se carros del ascensor	7.4
Tiempo de Apertura de los cuartos	9.3

Figura 11. Diagrama de Flujo de Proceso de la Ruta Sanitaria



3 Caracterización del modelo actual

Figura 12. Cadena de operaciones logísticas del Proceso de Gestión de Residuos en el Hospital Universitario San Ignacio



3.1 Descripción de la cadena

Abastecimiento: se abastecen las canecas con los desperdicios según la clasificación. Para facilitar la clasificación se identifican las canecas en los servicios con su color respectivo. En la verde se depositan los residuos ordinarios, en la caneca gris se depositan los desperdicios reciclables mientras que en la roja se deben arrojar todos los residuos peligrosos. En esta tarea intervienen todos los que generen desperdicio, visitantes, oficinas, pacientes, cuerpo médico, cafetería y farmacia.

Alistamiento: en esta parte de la cadena se alistan los desperdicios rojos para ser evacuados de las canecas de servicios. Este alistamiento consiste en la aplicación del líquido llamado TB – Cide 100 que sirve para la manipulación de residuos peligrosos o de color rojo, pues contiene acción desinfectante. Una vez se deja actuar unos segundos el líquido, se puede continuar con el proceso.

Producción: la producción consiste en evacuar la basura según los tipos. Esta parte del proceso está a cargo de las señoras de Sodexo, que son quienes las recolectan desde las canecas de los servicios y las transportan en un carrito del mismo color de la basura hasta el cuarto de almacenamiento intermedio. Es importante mencionar que hay unos procedimientos definidos y protocolos para el manejo de cada tipo de residuo.

Almacenamiento: La basura que ha sido clasificada y evacuada desde las canecas de los servicios se almacena en el cuarto de almacenamiento intermedio. En estos cuartos hay dispuestos varias canecas, de los colores característicos de los tipos de basura, dentro de estas se depositan las bolsas que fueron recolectadas.

Distribución: la distribución consiste en evacuar la basura desde los cuartos de almacenamiento intermedio hasta los cuartos de almacenamiento final. Esta evacuación se hace respetando la clasificación hecha desde el inicio de la cadena. El proceso de evacuación se conoce en el hospital como Ruta Sanitaria. Esta tarea está a cargo de los señores de Sodexo, quienes tienen unos horarios definidos para realizarla, utilizan los carros evacuadores y se trasladan usando el ascensor número 2.

Entrega Final: la entrega final consiste en entregar los desechos a la empresa de aseo que tenga la mejor forma de hacer los tratamientos a la basura. Como es de conocimiento, la variedad de desperdicios generados al interior del hospital, obliga a que se hagan diferentes tratamientos para su disposición final. Los ordinarios son entregados a la empresa Aseo Capital. Los químicos se entregan a la empresa Ecoentorno, a la empresa Ecocapital se le entregan los Anatomopatológicos y los Biosanitarios, mientras que todo material reciclable se le entrega a un grupo de recicladores, que recoge lo que le sirva una vez a la semana, lo que ellos no se lleven se le entrega a la misma empresa encargada de recoger los residuos ordinarios.

Capítulo III: Análisis de información del modelo actual

1. Definición Indicadores

Para tener una mejor idea de cómo está funcionando hoy en día la evacuación de residuos del Hospital Universitario San Ignacio es indispensable diseñar una serie de indicadores que dibujen elementos claves del proceso actual. Estos indicadores deben ser simples, deben tener un nombre, un objetivo, además deben tener periodicidad, unidades de medición, limitaciones y forma de medición. El objetivo debe indicar para qué se mide, cual es el impacto que tiene esta medición dentro del análisis de los procesos. Las unidades de medición indican cuales son los inputs del indicador, sus unidades de medida y por consiguiente las unidades del indicador. La periodicidad indica que periodo de tiempo o el momento que incluye la medición del indicador. La forma de medición puede ser una fórmula o una descripción corta del mismo. El objetivo principal del diseño y medición de indicadores es cuantificar aspectos claves que ayuden a identificar los procesos críticos dentro de la evacuación de residuos hospitalarios.

Para efectos de claridad se diseñarán indicadores diferentes para los dos procesos: la recolección de desperdicios dentro del piso y la evacuación de la ruta sanitaria y además se diseñarán indicadores conjuntos para los dos procesos.

Tabla 5. Definición de Indicadores del Proceso de Gestión de Residuos del Hospital

Descripción	Objetivo	Periodicidad	Forma de medición	Unidades de medición	Escala		
					Mala	Aceptable	Buena
Definir el número de veces que un señor de Sodexo debe ir al cuarto de almacenamiento intermedio al cuarto de almacenamiento final a evacuar los carros recolectores.	Dependiendo de la capacidad del carro, el número de veces que vacían el mismo puede aumentar o disminuir.	Cada vez que se realice la Ruta Sanitaria	<i>Número de Veces</i>	Número de veces	5	3	2
Definir el volumen de basura que se encuentra en las canecas de los cuartos de almacenamiento intermedio versus la capacidad de cada una de estas canecas	Es uno de los indicadores críticos debido a que se encuentra directamente relacionado con el tema P salubridad.	Cada vez que se realice la Ruta Sanitaria	<i>Volumen Ocupado de Basura / Volumen o Capacidad Total de las Canecas</i>	El volumen estado en Litros. El indicador es un porcentaje	>100%	90% - 100%	<90%

Definir el tiempo total en el que el ascensor solo esta siendo usando para la ruta sanitaria, es decir para hacer la recolección de basura desde los cuartos de almacenamiento intermedio hasta los cuartos de almacenamiento total.	Es importante contar con este indicador pues su definición es vital para el desarrollo del proyecto. Hace parte del planteamiento del problema.	Cada vez que se realice la Ruta Sanitaria	<i>Tiempo (Minutos)</i>	El Tiempo está dado en Minutos	>70	50-70	40-50
Definir la cantidad de basura de cada uno de los colores que se manejan en el hospital, es decir verde, rojo y gris teniendo en cuenta el total de basura	Conocer cuáles serán los requerimientos del hospital teniendo en cuenta la clasificación.	Cada vez que se realice la Ruta Sanitaria	Número de bolsas de color verde, gris o rojo / Número total de Bolsas	Se mide en número de bolsas de cada uno de los colores. El indicador es un porcentaje	NA	NA	NA
Definir el promedio de basura que sale en cada uno de los horarios de la ruta sanitaria	Conocer la cantidad de basura que se recoge en cada uno de los horarios de la ruta sanitaria	Cada vez que se realice la Ruta Sanitaria	<i>Numero de Bolsas recogidas en cada ruta</i>	Se mide en número de bolsas de basura	NA	NA	NA

2. Calculo de Indicadores

Tabla 6. Calculo de Indicadores del Proceso de Gestión de Residuos del Hospital

Nombre	Forma de medición	Valores	Escala		
			Malo	Aceptable	Bueno
Número de veces que se llena el carro	<i>Número de Veces</i>	8	>7 Veces	5 - 6 Veces	<=4 Veces
Porcentaje de Ocupación de basura en las canecas de los cuartos de almacenamiento intermedio	<i>Volumen Ocupado de Basura / Volumen o Capacidad Total de las Canecas</i>	105,3%	>100%	90% - 100%	<90%
Tiempo en el que el ascensor se encuentra funcionando para la ruta sanitaria	<i>Tiempo (Minutos)</i>	72	>70 min	50-70 min	40-50 min
Cantidad de basura verde, gris o roja versus el total de basura recolectada al final del proceso	Número de Bolsas de Color Rojo, Verde o Rojo / Número Total de Bolsas	Color Rojo: 46%	NA	NA	NA
		Color Verde: 45%	NA	NA	NA
		Color Gris: 9%	NA	NA	NA
Tipo de basura recolectada en cada horario de la ruta sanitaria	<i>Numero de Bolsas recogidas en cada ruta</i>	Mañana: 164	NA	NA	NA
		Tarde: 191	NA	NA	NA
		Noche: 191	NA	NA	NA

Nota: Para el cálculo del Segundo indicador solo se tuvieron en cuenta las cantidades de la basura de Color Rojo y Verde. La Basura de color gris desvía el cálculo, pues las cantidades son muy inferiores y además es el tipo de basura con menos representación y riesgo.

La tabla de indicadores mencionada anteriormente se completo mediante los resultados de las siguientes tablas:

Tabla 7. Número de veces que se llena el Carro de Recolección de Basura de la Ruta Sanitaria, en cada uno de los días de la Semana durante 6 semanas

Número de Veces que se llena el Carro							
Fuente: Planilla entregada al operario de Sodexo	Días de la Semana						
Semanas	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
1	8	11	9	8	8	8	9
2	7	10	6	5	6	5	7
3	9	9	10	5	8	6	8
4	8	6	7	11	9	11	9
5	5	4	7	7	11	8	7
6	8	6	7	6	10	11	8
						Promedio	8

Tabla 8. Tiempo en el que el Ascensor se encuentra funcionando para la Ruta Sanitaria

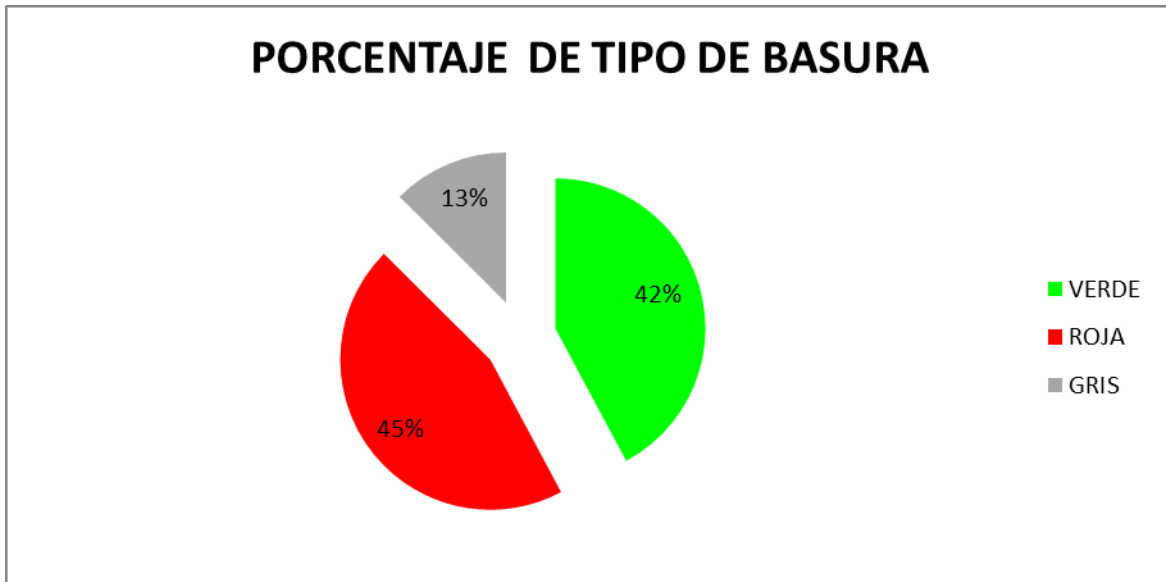
Tiempo en el que el ascensor se encuentra funcionando para la Ruta Sanitaria							
Fuente: Planilla entregada al operario de Sodexo	Dias de la Semana						
Semanas	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
1	70	84	88	89	75	74	80
2	60	91	69	74	81	88	78
3	75	84	78	85	68	73	78
4	64	79	75	82	71	92	78
5	72	67	68	67	73	90	73
6	80	88	76	90	76	81	82
						Promedio	79

3. Cantidades de Basura

3.1 *General Hospital*

Actualmente el hospital genera un promedio de 930.85 Kg de basura diaria, 45% de la basura generada es de tipo rojo, 42% verde y 13% restante es del tipo gris.

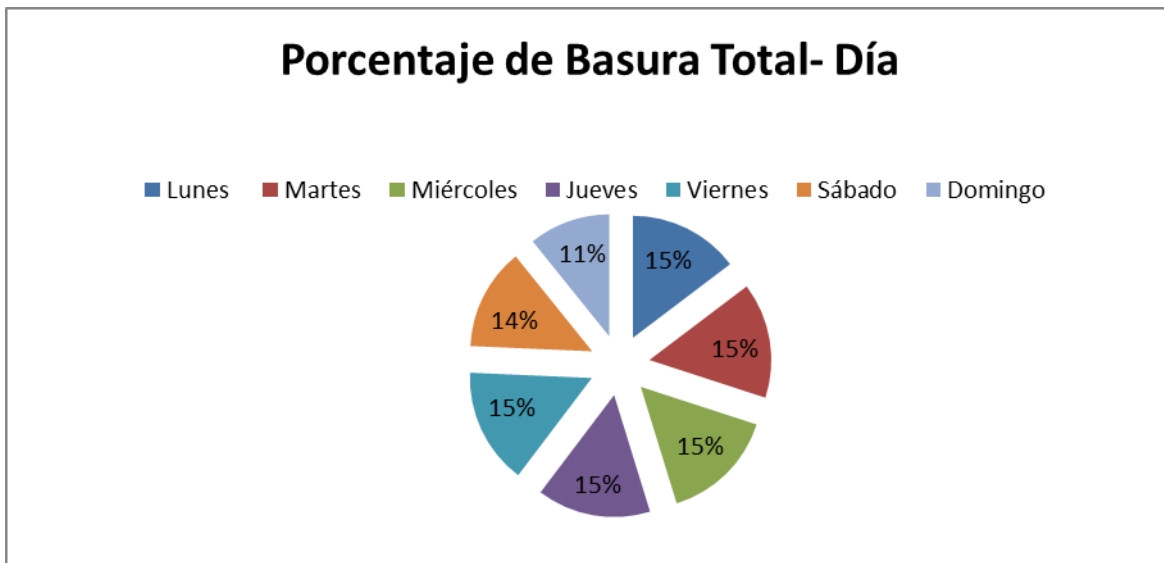
Tabla 9. Porcentajes de cada tipo de Basura



Tomado de: Archivos de Datos Históricos del Hospital

Además se observa en la información recolectada que no hay tendencias fuertes que indiquen que las cantidades de basura son mayores o menores regularmente en ciertos días. En términos generales, la cantidad de basura generada es igual de lunes a viernes y menor los fines de semana. Esto se debe a que los fines de semana, sobre todo los domingos, la actividad del Hospital Universitario San Ignacio es menor debido a que aunque los servicios de salud se prestan con regularidad, las oficinas y áreas administrativas no trabajan ese día, reduciendo así la cantidad de basura. A continuación se presenta una gráfica que ilustra esta situación.

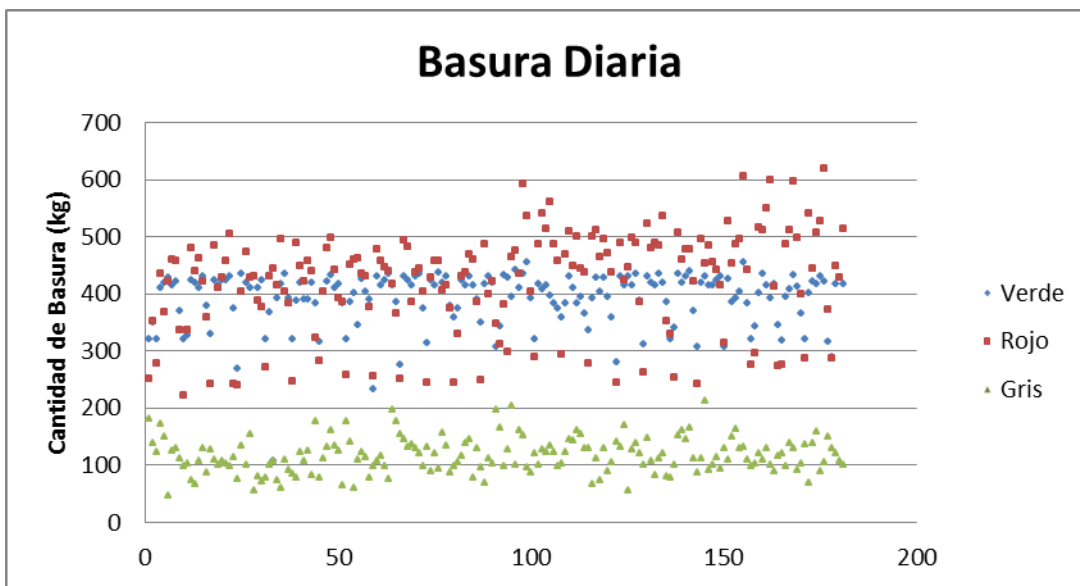
Tabla 10. Porcentaje de Basura resultante en cada día la semana sobre la cantidad total de la semana



Tomado de: Archivos de Datos Históricos del Hospital

Para la identificación del comportamiento de los datos sobre la cantidad de basura que sale diariamente se realizaron las siguientes gráficas.

Tabla 11. Comportamiento de la Basura durante 6 meses, clasificada por tipo o colores.



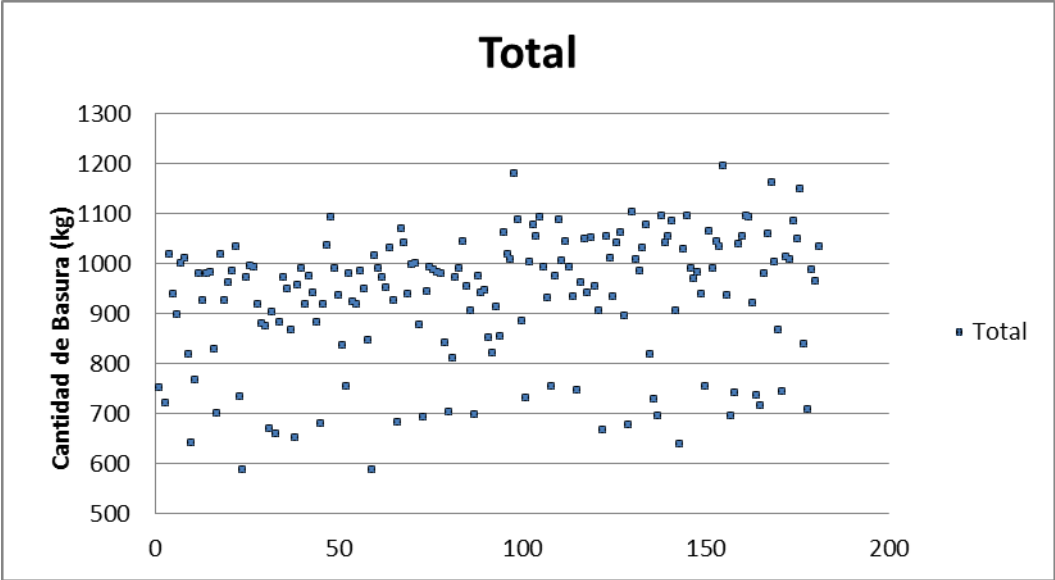
Tomado de: Archivos de Datos Históricos del Hospital

Como muestra la gráfica, se reitera el hecho de que la basura que más sale es la roja, seguido por la verde y finalmente la gris. El promedio de basura roja generada diariamente el primer semestre del 2010 fue de 421.4 Kg, la cantidad máxima de basura del mismo tipo fue de 620 kg el 19 de Junio y la cantidad mínima fue de 222 kg el 10 de Enero. Para la basura verde se obtuvo un promedio de basura diario de 392.7 Kg, una cantidad mínima de basura de 108 kg el 27 de enero y una máxima de 455 alcanzada el 29 de Mayo. Por último, en promedio se generan 116.7 Kg diarios de basura gris, una cantidad mínima de basura de 46 kg el 6 de enero de 2010 y la mayor cantidad de basura gris se generó el primero de enero, cuando se generaron 181 kg.

La gráfica además muestra la ausencia de tendencias en cuanto a las cantidades de basura que son generadas.

La siguiente gráfica muestra las cantidades totales de basura generada para el mismo periodo de tiempo:

Tabla 12. Cantidades totales de Basura Generadas por día durante 6 meses.



Tomado de: Archivos de Datos Históricos del Hospital

Esta gráfica muestra en términos globales que tampoco hay tendencias en cuanto a la generación de basura. Las cantidades se mantienen dentro de un límite superior de 1034 kg y un límite inferior de 586 kg, con un promedio de basura total diaria de 931.3 kg.

3.2 Cantidades de basura por cada Piso

Tabla 13. Cantidad de basura medida en Litros, para cada uno de los pisos y según el color.

Cantidad de Basura (Litros)	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	Piso 6	Piso 7
Rojo	1350	1080	1100	1602	1017	1335,6	1864,08
Verde	1539	1314	1186	1238,4	1200	1411,2	1333,8
Gris	405	307,2	144	158,4	249,333	225	149,76

Tabla 14. Cantidad de Basura recogida en cada turno, durante la Ruta Sanitaria. Las unidades están definidas en el número de canecas que llenarían esa cantidad.

COLOR	Turno	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	Piso 6	Piso 7
Rojo	Mañana	1,95	1,56	1,59	2,31	1,47	1,93	2,69
	Tarde	2,27	1,82	1,85	2,70	1,71	2,25	3,14
	Noche	2,27	1,82	1,85	2,70	1,71	2,25	3,14
Verde	Mañana	2,22	1,90	1,71	1,79	1,47	2,04	1,92
	Tarde	2,59	2,21	2,00	2,08	1,71	2,38	2,25
	Noche	2,59	2,21	2,00	2,08	1,71	2,38	2,25
Gris	Mañana	0,58	0,44	0,21	0,23	0,54	0,32	0,22
	Tarde	0,68	0,52	0,24	0,27	0,63	0,38	0,25
	Noche	0,68	0,52	0,24	0,27	0,63	0,38	0,25

En cada Cuarto de Almacenamiento Intermedio (CAI) hay un número fijo de canecas, son 2 de Color Rojo, 2 de Color Verde, y 1 de Color Gris.

Tabla 15. Numero de Canecas en los Cuartos de Almacenamiento intermedio

Canecas por CAI	
Roja	2
Verde	2
Gris	1
Total	5

La siguiente Tabla corresponde al porcentaje de ocupación, el cual se calculo encontrando la relación entre la cantidad de basura definida en número de canecas sobre el numero de canecas que se encuentran en cada uno de los cuartos

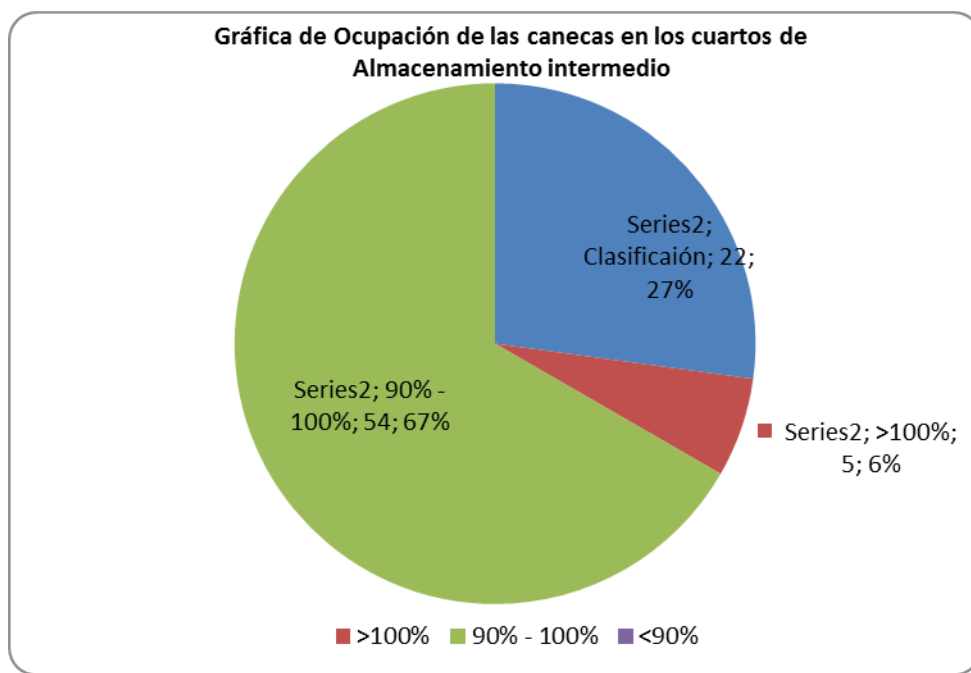
Tabla 16. Porcentaje de Ocupación de Basura de cada tipo, por turno, en cada uno de los pisos.

Ocupación								
COLOR	Turno	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	Piso 6	Piso 7
Rojo	Mañana	97,4%	77,9%	79,4%	115,6%	73,4%	96,4%	134,5%
	Tarde	113,6%	90,9%	92,6%	134,8%	85,6%	112,4%	156,9%
	Noche	113,6%	90,9%	92,6%	134,8%	85,6%	112,4%	156,9%
Verde	Mañana	111,0%	94,8%	85,6%	89,4%	73,4%	101,8%	96,2%
	Tarde	129,5%	110,6%	99,8%	104,2%	85,6%	118,8%	112,3%
	Noche	129,5%	110,6%	99,8%	104,2%	85,6%	118,8%	112,3%
Gris	Mañana	58,4%	44,3%	20,8%	22,9%	53,9%	32,5%	21,6%
	Tarde	68,2%	51,7%	24,2%	26,7%	62,9%	37,9%	25,2%
	Noche	68,2%	51,7%	24,2%	26,7%	62,9%	37,9%	25,2%

Tabla 17. Clasificación de la Ocupación de Basura en los cuartos de Almacenamiento Intermedio

Clasificación		
>100%	22	28%
90% - 100%	5	6%
<90%	54	68%

Figura 13. Clasificación de la Ocupación de Basura en los cuartos de almacenamiento Intermedio



3.3 *Análisis de los resultados*

Según la tabla realizada se puede ver que el problema de sobreocupación es bastante crítico. Un 28% de los datos, es decir 22 datos, corresponden a valores que se encuentran por encima del 100% de ocupación. Estos valores van en contra de cualquier Decreto o Regulación, por lo que es de vital importancia corregir el problema de manera preventiva y no correctiva, la cual acarrea multas y sanciones que sobrepasan en gran medida alguna corrección preventiva.

Esto demuestra la gravedad del problema, pues la tendencia es que la cantidad de basura aumenta con el tiempo, por lo que si no se resuelve el problema de raíz, este solo seguirá acrecentándose.

Tan solo un 6% de los datos se encuentra dentro de un rango aceptable, según se definió en los indicadores, que es del 90% - 100%. Este porcentaje corresponde a tan solo 5 datos. El número de datos que se debería encontrar dentro de este rango debería ser mayor, quiere decir que definitivamente no se hace un manejo eficiente en cuanto a Tiempos y uso del espacio disponible para el manejo de Basura.

El 68% de los datos se encuentran dentro de lo que se considera como un rango Bueno de ocupación. Que aunque parece ser una buena medida, si el problema no se resuelve lo más probable es que es porcentaje disminuya y el porcentaje de ocupación que está por encima del 100% aumente.

Según este análisis, se puede ver que el problema de la sobreocupación de basura es bastante grave, debido a que compromete directamente la salud de las personas que se encuentran como pacientes en el Hospital, y además afecta la salud de todas las personas que tienen contacto directo con estos residuos.

4. Tiempos

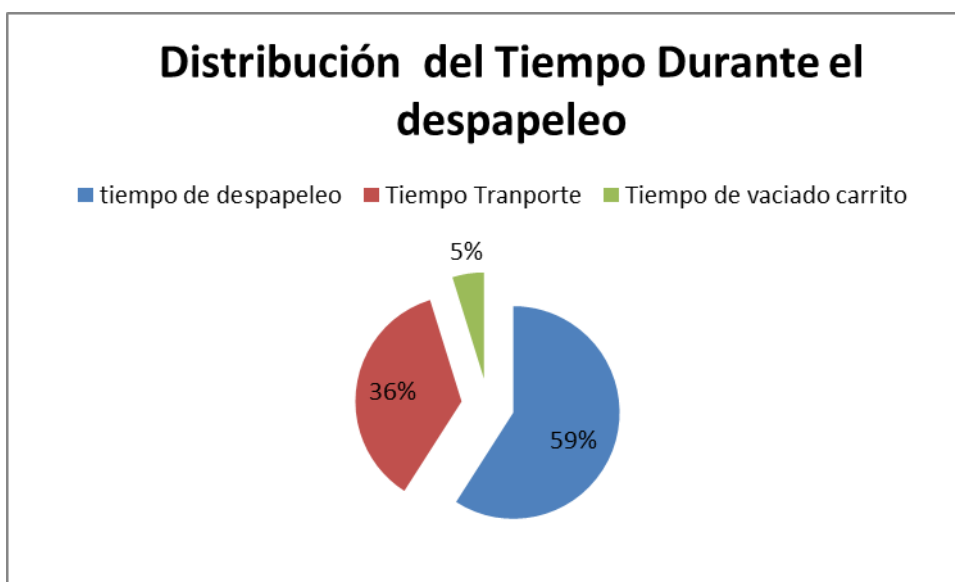
4.1 *Despapeleo*

Es importante mencionar que para tomar los datos de la información abajo relacionada, se definió el lugar, las horas y los días de manera aleatoria. Se hizo de esta manera pues como se pudo ver en el numeral anterior, no hay días que tengan un comportamiento que sobresalga importantemente sobre otros. Los horarios de recolección de información se eligieron

aleatoriamente, pues la operación del quinto piso es continua. Se decidió trabajar por turnos pues de esta manera se lograría recoger la información relevante para el análisis del sistema, pues en un turno se hace el despapeleo, se almacena en los cuartos de almacenamiento intermedio, se acumula y son evacuados en la ruta sanitaria. Por la complejidad de las operaciones se decidió tomar los datos de un solo piso, sabiendo que los procedimientos son iguales en todo el hospital. Este piso se decidió de manera aleatoria también. Así pues se tomaron datos de tres días en el quinto piso, un miércoles en el turno de la tarde, el viernes en el turno de la noche y un sábado en el turno de la mañana.

Los datos recolectados se analizaron en Stat fit, el detalle de la información se encuentra en el Anexo 4.

Figura 14. Distribución del Tiempo durante el Despapeleo para la Basura Roja



Como muestra la gráfica durante el despapeleo el 59% del tiempo se hace el despapeleo como tal, 36% del tiempo se usa en transporte (de caneca a caneca o en los recorridos desde y hacia el cuarto de almacenamiento) y el 5% restante del tiempo lo emplean vaciando el carrito en los cuartos de almacenamiento intermedio.

Tabla 18. Tiempos de Despapeleo de Basura Roja

	<i>Promedio (Minutos)</i>
Tiempo Total de Despapeleo	43.84388889
Tiempo Promedio de despapeleo por caneca	1.159800995
Tiempo Promedio de Transporte entre caneca y caneca	0.554856322
Tiempo promedio de traslados hacia y desde el cuarto de almacenamiento intermedio.	1.053055556

Figura 15. Distribución del Tiempo durante el Proceso de despapeleo para la Basura Verde

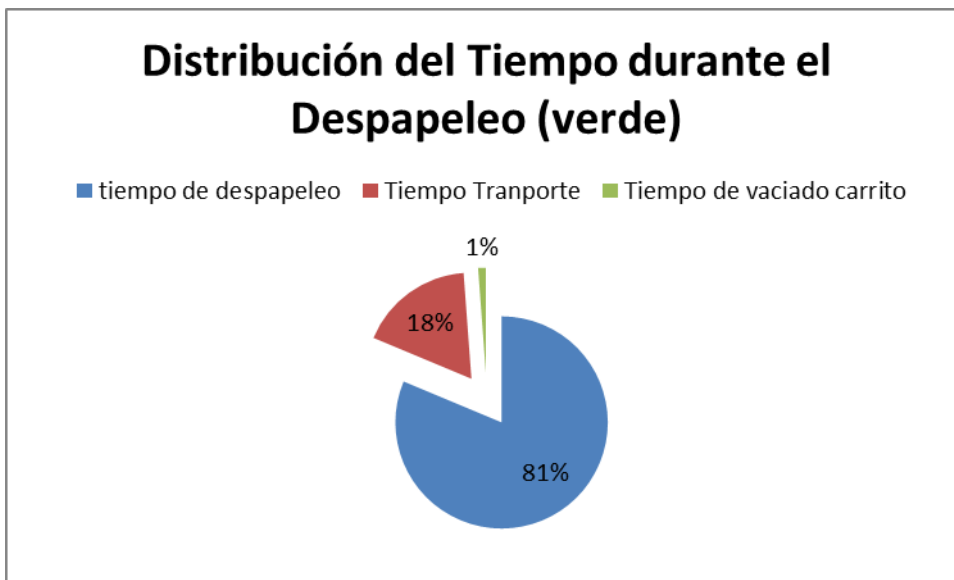


Tabla 19. Tiempos de Despapeleo de Basura Verde

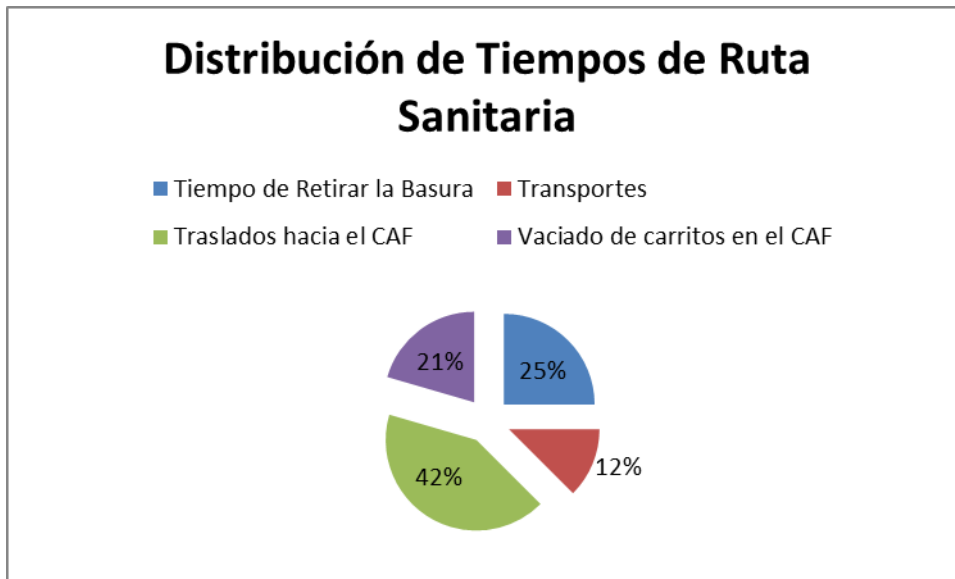
	Promedio (Minutos)
Tiempo Total de Despapeleo	42.57222222
Tiempo Promedio de despapeleo por caneca	0.820804598
Tiempo Promedio de Transporte entre caneca y caneca	0.487735043
Tiempo promedio de traslados hacia y desde el cuarto de almacenamiento intermedio.	1.034444444

Como muestra la gráfica durante el despapeleo el 81% del tiempo se hace el despapeleo como tal, 18% del tiempo se usa en transporte (de caneca a caneca o en los recorridos desde y hacia el cuarto de almacenamiento) y el 1% restante del tiempo lo emplean vaciando el carrito en los cuartos de almacenamiento intermedio.

4.2 Ruta Sanitaria

Teniendo en cuenta los criterios de selección del numeral anterior se recogieron los datos correspondientes a los tiempos de la ruta sanitaria. Aclarando que los datos de la ruta sanitaria incluyen la totalidad de los pisos del hospital.

Figura 16. Distribución de Tiempos de Ruta Sanitaria



Como muestra la gráfica el 42% del tiempo se emplea en traslados desde y hacia el cuarto de almacenamiento final (CAF), esto se debe a que los cuartos de almacenamiento final se encuentran a fuera del hospital y la distancia a recorrer es significativa.

Tabla 20. Distribución de Tiempos de Ruta Sanitaria

	Promedio (Minutos)
Tiempo Promedio Empleado para transportarse desde o hacia el CAF	3.948317752
Tiempo Promedio Empleado para retirar la basura de los cuartos de almacenamiento intermedio	0.670421654
Tiempo Promedio Empleado para vaciar los carros en el CAF	1.216628679

Capítulo IV: Modelo Propuesto para el proceso de evacuación de residuos del Hospital Universitario San Ignacio

1. Diagnóstico

Haciendo referencia al Anexo 1 y tras el levantamiento de la información sobre el procedimiento actual. Se puede decir lo siguiente:

- Los carros donde se transportan los residuos no son suficientes para la cantidad.

Este es uno de los aspectos a tener en cuenta pues debido a esto la ruta sanitaria se hace muy larga, lo cual entorpece los otros procesos del hospital que dependen del ascensor. Por este motivo, este será uno de los puntos de mayor importancia a ser considerados dentro del análisis.

- Se gasta mucho dinero en las bolsas donde se desechan y se almacenan los residuos.

Aunque este es un punto crítico, no será tenido en cuenta dentro del análisis pues el número de bolsas que se utilizan se encuentra directamente relacionado con la cantidad de basura que se genera. Por ser esta una variable no controlable, el número de bolsas no puede ser disminuido.

Además de esto, las bolsas no pueden ser cambiadas pues son las que cumplen con la regulación para el manejo de residuos hospitalarios, poseen el calibre adecuado y de esta manera se reducen las posibilidades que estas puedan romperse.

- Falta de capacitación del personal de apoyo

Este factor se verá en gran medida mejorado pues al proponer un nuevo método o modelo para evacuar los residuos hospitalarios, dentro del análisis, se destinarán recursos para capacitar al personal que se dedicara a estas tareas.

- No poseen la suficiente información para sus labores cotidianas

Este elemento se encuentra ligado al anterior pues mediante la capacitación se podrá adquirir la información necesaria para desempeñar sus labores cotidianas.

- Falta de automatización en cuanto a la recolección y evacuación de residuos.

En definitiva la recolección y evacuación de residuos debe hacerse de forma manual, pero si debe existir un método que automatice la forma como se recolectan y evacuan los residuos. Es decir un método que automatice la forma como se lleve a cabo la ruta sanitaria, lo cual será abordado en el proyecto.

- Existen solo 2 ascensores para el transporte de carga

Este es un aspecto que no puede ser cambiado, pues la infraestructura del hospital no lo permite, además por temas de presupuesto no se puede modificar. Pero será tenido en cuenta, pues es una de las restricciones que se deben definir en el momento de la construcción del modelo.

- Los cuartos de almacenamiento intermedio son insuficientes

Este aspecto tampoco puede ser cambiado pues se encuentra ligado a la infraestructura del hospital y esta no puede ser modificada. Pero también será incluido como una restricción del modelo.

- Los containers de los cuartos no son adecuados para el almacenamiento.

Este punto se encuentra directamente relacionado con el anterior pues aunque los containers podrían cambiarse, y comprar unos que fueran de mayor tamaño, no cabrían en los cuartos de almacenamiento intermedio, por lo que este no será modificado o cambiado. Pero también será tenido en cuenta como una de las restricciones del problema

- Los horarios de recolección y evacuación no son adecuados.

Estos horarios no son adecuados pues continuamente se acumulan los desechos generados. Se debe contar con un sistema o herramienta que ayude al hospital a conocer las horas y el recorrido adecuado para la recolección de residuos hospitalarios de manera que estos no se acumulen dentro de los cuartos de almacenamiento intermedio.

- Falta de estandarización de tiempos

Los procesos que tienen que ver con la evacuación de residuos no son controlados en el sentido en que no se ha realizado un análisis de tiempos y así poder conocer cuánto demora el proceso. Se puede ver que los tiempos son bastantes dispersos, lo cual evidencia la falta de estandarización en el proceso.

- No poseen indicadores que puedan evaluar el proceso

El proceso no se puede medir pues no existen indicadores que midan el desempeño, por ende es muy difícil gestionar estos procesos. Por esto, es necesario contar con indicadores con los cuales se pueda evaluar el proceso.

2. Consideraciones del Modelo

El modelo propuesto se basa en los modelos para el ruteo de vehículos, VRP por sus siglas en inglés Vehicle Routing Problem. Los problemas VRP son problemas combinatorios que buscan satisfacer unas demandas determinadas con un número conocido de vehículos. Estos modelos consideran las demandas que quieren ser satisfechas, las capacidades de las entidades y hay una rama de estos modelos que considera las ventanas de tiempo, estos modelos se conocen como VRPTW (Vehicle Routing Problem with time Windows). Los VRPTW son problemas que consideran el hecho que las demandas de los clientes deben ser satisfechas dentro de una ventana de tiempo.

Para el problema del Hospital Universitario San Ignacio no se realizará el micro ruteo pues por observación directa se concluyó que las rutas de despapeleo no representan un problema. Las canecas nunca se ven almacenando basura que exceda su capacidad. Además la acumulación de basuras que se ve en los cuartos de almacenamiento intermedio evidencia que la basura llega a ellos con el suficiente tiempo antes de ser evacuada del edificio. Además por las disposiciones de la secretaria de Salud, no sería conveniente dejar los desperdicios un tiempo prolongado en los servicios, para disminuir la acumulación de basuras en los cuartos, pues los riesgos para la salud de todos los clientes (internos y externos) se podría ver comprometida.

Así entonces se decidió hacer el ruteo para la evacuación de los desperdicios desde los cuartos de almacenamiento intermedio hasta los cuartos de almacenamiento final. Para el modelo se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se dispondrá del ascensor # 2 exclusivamente para la evacuación de residuos.
- La capacidad del cuarto de almacenamiento final es tan grande que no se incluirá esta dentro de las restricciones del modelo.
- El tiempo de espera del ascensor es despreciable frente a la ventana de tiempo.
- Cada uno de los tipos de desperdicios en cada cuarto de almacenamiento será identificado como un cliente.
- Cada cliente tiene una demanda, que es la cantidad de basura que contiene.
- Cada tipo de carro debe evacuar solo el desperdicio que se identifique con el color del mismo.
- Los nodos serán los cuartos de almacenamiento intermedio. En cada nodo habrán tres clientes, uno para cada tipo de desperdicio.
- La capacidad de los cuartos se considera igual para todos, pues aunque los cuartos son diferentes en medida y forma, las diferencias en capacidad se consideran despreciables.

3. Modelo Optimización

El modelo mencionado a continuación está basado en el modelo propuesto por Kallehauge en su artículo Vehicle Routing Problem with time Windows

El modelo considera:

- Considera N Nodos
- Conjunto de Clientes C
- Flota de carros heterogéneos. Esto implica que no todos los carros pueden servir a todos los clientes pero todos tiene la misma capacidad.
- Dos depósitos, el depósito origen se denotará como el nodo 0. El depósito final será entonces el nodo $n+1$. Además $i \neq j$, $i \neq n+1$, $0 \neq j$

Los arcos son las conexiones directas entre los nodos. Cada arco tiene asociado un costo (C_{ij}) y un tiempo (t_{ij}) que incluye el tiempo de servicio en i .

De define también la demanda de cada cliente (d_i) y la capacidad del vehículo q . Por la naturaleza del problema se debe incluir una ventana (a_i, b_i), donde a_i es el inicio de la ventana y b_i el final para el cliente i . El vehículo debe llegar al cliente antes de que se cumpla en tiempo b_i .

Otras consideraciones que hay que tener presente son que: q , a_i , b_i , d_i , c_{ij} son enteros mayores o iguales a cero y $t_{ij} > 0$.

Notación:

V: Flota de vehículos

C: conjunto de clientes i

N: Conjunto de nodos (0,1,2,...,n´1)

A: Arcos (i,j) $i \neq j$

Parámetros:

C_{ij} : Costo asociado de ir de i a j

t_{ij} : tiempo de ir de i a j

q = capacidad del vehiculo

d_i = demanda del cliente i

(a_i, b_i): ventana de tiempo del cliente i

B_{jk} = define si el cliente j puede ser visitado por el carro k

Variables:

$$X_{i,j,k} = \begin{cases} 1 & \text{si el carro } k \text{ cubre la ruta de } i \text{ a } j \\ 0 & \text{si no es así} \end{cases}$$

Sik= indica el momento en el que el carro k empieza a atender el cliente i

Función Objetivo:

(1)

$$\min \sum_{k \in V} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} C_{ij} \times X_{i,j,k}$$

Sujeto a:

(2)

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} X_{i,j,k} \times B_{kj} \geq 1 \quad \forall i \in C$$

Garantiza que cada cliente sea visitado por lo menos una vez y que el cliente j pueda ser servido por el carro k

(3)

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} X_{i,j,k} B_{kj} \leq q \quad k \in V$$

Define que cada carro no pueda cargar más de su capacidad

(4)

$$\sum_{j \in N} X_{0,j,k} \times B_{jk} = 1 \quad \forall k \in V$$

Indica que todos los vehículos deben abandonar el depósito y servir a un cliente que sea aceptado

(5)

$$\sum_{i \in N} X_{ihk} - \sum_{j \in N} X_{hjk} \times B_{jk} = 0 \quad \forall h \in C, \forall k \in V$$

Garantiza que si un vehículo llega a un cliente tiene que salir a un cliente que pueda ser servido

(6)

$$\sum_{i \in N} X_{i,n+1,k} = 1 \quad k \in V$$

Garantiza que todos los carros vuelvan al nodo final (n+1)

(7)

$$S_{ik} + t_{ij} - M_{ij}(1 - X_{ijk}) \leq S_{jk} \quad \forall i, j \in N, \quad \forall k \in V$$

Establece la relación entre la hora de partida del vehículo desde un cliente al que le sigue

(8) (9)

$$S_{ik} \geq a_i \quad \forall i \in N, \quad \forall k \in V$$

$$S_{ik} < b_i \quad \forall i \in N, \quad \forall k \in V$$

Estas restricciones incluyen la existencia de ventanas de tiempo

3.1 Parámetros

Tabla 21. Matriz de Tiempos entre Clientes (s), incluye el tiempo de servicio en el cliente origen

	DEPOSIT	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21:=
DEPOSIT	0	224.5	224.5	224.5	229	229	229	236.5	236.5	236.5	245.5	245.5	245.5	257.5	257.5	257.5	266.5	266.5	266.5	274	274	274
C1	224.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	53.5	53.5	53.5	58	58	58	62.5	62.5	62.5	71.5	71.5	71.5
C2	224.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	53.5	53.5	53.5	58	58	58	62.5	62.5	62.5	71.5	71.5	71.5
C3	224.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	53.5	53.5	53.5	58	58	58	62.5	62.5	62.5	71.5	71.5	71.5
C4	229	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	53.5	53.5	53.5	58	58	58	67	67	67
C5	229	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	53.5	53.5	53.5	58	58	58	67	67	67
C6	229	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	53.5	53.5	53.5	58	58	58	67	67	67
C7	236.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	53.5	53.5	53.5	62.5	62.5	62.5
C8	236.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	53.5	53.5	53.5	62.5	62.5	62.5
C9	236.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	53.5	53.5	53.5	62.5	62.5	62.5
C10	245.5	53.5	53.5	53.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	58	58	58
C11	245.5	53.5	53.5	53.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	58	58	58
C12	245.5	53.5	53.5	53.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	49	49	49	58	58	58
C13	257.5	58	58	58	53.5	53.5	53.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	53.5	53.5	53.5
C14	257.5	58	58	58	53.5	53.5	53.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	53.5	53.5	53.5
C15	257.5	58	58	58	53.5	53.5	53.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	44.5	44.5	44.5	53.5	53.5	53.5
C16	266.5	62.5	62.5	62.5	58	58	58	53.5	53.5	53.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	49	49	49
C17	266.5	62.5	62.5	62.5	58	58	58	53.5	53.5	53.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	49	49	49
C18	266.5	62.5	62.5	62.5	58	58	58	53.5	53.5	53.5	49	49	49	44.5	44.5	44.5	0	0	0	49	49	49
C19	274	71.5	71.5	71.5	62.5	67	67	62.5	62.5	62.5	58	58	58	53.5	53.5	53.5	49	49	49	40	40	40
C20	274	71.5	71.5	71.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	58	58	58	53.5	53.5	53.5	49	49	49	40	40	40
C21	274	71.5	71.5	71.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5	58	58	58	53.5	53.5	53.5	49	49	49	40	40	40

Tabla 22. Matriz que Define que carro puede servir a que cliente

	K1	K2	K3	K4	K5
DEPOSIT	1	1	1	1	1
C1	1	1	0	0	0
C2	0	0	1	1	0
C3	0	0	0	0	1
C4	1	1	0	0	0
C5	0	0	1	1	0
C6	0	0	0	0	1
C7	1	1	0	0	0
C8	0	0	1	1	0
C9	0	0	0	0	1
C10	1	1	0	0	0
C11	0	0	1	1	0
C12	0	0	0	0	1
C13	1	1	0	0	0
C14	0	0	1	1	0

C15	0	0	0	0	1
C16	1	1	0	0	0
C17	0	0	1	1	0
C18	0	0	0	0	1
C19	1	1	0	0	0
C20	0	0	1	1	0
C21	0	0	0	0	1

Tabla 23. Resumen de Demanda por Cliente

Piso (CAI)	Demanda Nodos	Demanda (lt)
1	1	2810
1	2	1710
1	3	1350
2	4	1380
2	5	1460
2	6	1024
3	7	2496
3	8	1540
3	9	480
4	10	2628
4	11	1376
4	12	528
5	13	2610
5	14	1680
5	15	1040
6	16	1484
6	17	1568
6	18	750
9	19	2264
9	20	1618
9	21	516

4. Búsqueda Tabú

La Metaheurística que se eligió para encontrar un solución al problema fue Búsqueda Tabú, según los expertos esta Metaheurística es la que junto con algoritmo genético arrojan mejores resultados.

Como consideraciones adicionales al modelo se tuvieron:

- Se hará la ruta sanitaria dos veces en el turno, es decir 6 veces al día.
- Se usará un carro de Colempaques de referencia Practiwagon Jumbo, que soporta una carga de 200Kg, y un contenido equivalente a 1528L. Es importante que las dimensiones del ascensor son suficientes para transportar un solo carro de este tipo. Además la capacidad de este carro permitirá evacuar la cantidad de basura que se acumula en la mitad de un turno de trabajo.
- Se hará una ruta exclusiva para cada tipo de desperdicios, respondiendo a los requerimientos de la secretaria de salud. Además para reducir la acumulación de desperdicios se harán dos recorridos por turno.
- Además debe tenerse en cuenta que se recogerá de lo mas limpio a lo mas sucio.
- Como las distancias entre los clientes es la misma para los tres tipos de basura, se decidió que el mismo modelo de ruteo para un tipo de desperdicio sería aplicable para los otros dos. Aclarando que clientes son los contenedores de basura en los cuartos de almacenamiento intermedio (cuando hay mas de una caneca de un mismo color, este considera como un solo cliente).
- Lo tiempo incluyen el tiempo de traslado mas el promedio de los que se demoran sacando la basura del cuarto de almacenamiento intermedio proporcional a la cantidad de basura que se acumula en medio turno.

Consideraciones del Algoritmo:

- Para el algoritmo se eligió una solución inicial basada en los principios definidos hoy en día en el hospital, que consiste en siempre ir del lugar más lejos al mas cerca del cuarto de almacenamiento final.
- Debido al número de clientes que tiene cada tipo de desperdicio (7), se decidió que un lista tabú de 3 espacios de memoria sería suficiente para evaluar bien las alternativas.
- El esquema de vecindario que se eligió fue el de cambiar el orden entre los vecino es decir si tenía una solución 1-2-3-4 las soluciones candidatas serían:
2-1-3-4
1-3-2-4
1-2-4-3
- El número de iteraciones fue de 9 suficientes debido al tamaño del problema.

4.1 Parámetros del algoritmo

Tabla 24. Parámetros del algoritmo

0	1	2	3	4	5	6	7
	163	165.3	169.9	176.8	186	197.5	215.9
163		42.3	44.6	46.9	49.2	51.5	58.4
165.3	42.3		42.3	44.6	46.9	49.2	56.1
169.9	44.6	42.3		42.3	44.6	46.9	49.2
176.8	46.9	44.6	42.3		42.3	44.6	51.5
186	49.2	46.9	44.6	42.3		42.3	49.2
197.5	51.5	49.2	46.9	44.6	42.3		46.9
215.9	58.4	56.1	53.8	51.5	49.2	46.9	

4.2 Algoritmo

Iteración 1

Solución Inicial	0	7	6	5	4	3	2	1	0	Segundos	Minutos
		215.9	46.9	42.3	42.3	42.3	42.3	42.3	163	637.3	10.62167
	0	6	7	5	4	3	2	1	0		
		197.5	46.9	42.3	42.3	42.3	42.3	42.3	163	618.9	10.315
	0	7	5	6	4	3	2	1	0		
		215.9	49.2	42.3	44.6	42.3	42.3	42.3	163	641.9	10.69833
	0	7	6	4	5	3	2	1	0		
		215.9	46.9	44.6	42.3	42.3	42.3	42.3	163	639.6	10.66
	0	7	6	5	3	4	2	1	0		
		215.9	46.9	42.3	44.6	42.3	42.3	42.3	163	639.6	10.66
	0	7	6	5	4	2	3	1	0		
		215.9	46.9	42.3	44.6	42.3	42.3	42.3	163	639.6	10.66
	0	7	6	5	4	3	1	2	0		
		215.9	46.9	42.3	44.6	42.3	44.6	42.3	165.3	644.2	10.73667

Lista Tabú

--	--	--	--

Iteración 2

0	7	6	5	4	2	3	1	0		Segundos	Minutos
	215.9	46.9	42.3	44.6	42.3	42.3	42.3	163		639.6	10.66
0	6	7	5	4	2	3	1	0			
	197.5	46.9	49.2	42.3	44.6	42.3	44.6	163		630.4	10.50667
0	7	6	4	5	2	3	1	0			
	215.9	46.9	44.6	42.3	46.9	42.3	44.6	163		646.5	10.775
0	7	6	5	2	4	3	1	0			
	215.9	46.9	44.6	46.9	44.6	42.3	44.6	163		648.8	10.81333
0	7	6	5	4	3	2	1	0			
	215.9	46.9	44.6	42.3	42.3	42.3	42.3	163		639.6	10.66
0	7	6	5	4	3	1	2	0			
	215.9	46.9	44.6	42.3	42.3	44.6	42.3	165.3		644.2	10.73667
0	7	5	6	4	3	2	1	0			
	215.9	49.2	44.6	44.6	42.3	44.6	42.3	165.3		648.8	10.81333

Lista Tabú	2-3		
Criterio de Asiración	637.3		

Iteración 3

0	6	7	5	4	2	3	1	0		Segundos	Minutos
	197.5	46.9	49.2	42.3	44.6	42.3	44.6	163		630.4	10.50667
0	7	6	5	4	2	3	1	0			
	215.9	46.9	46.9	42.3	44.6	42.3	44.6	163		646.5	10.775
0	6	5	7	4	2	3	1	0			
	197.5	42.3	49.2	51.5	44.6	42.3	44.6	163		635	10.58333
0	6	7	4	5	2	3	1	0			
	197.5	46.9	44.6	42.3	46.9	42.3	44.6	163		628.1	10.46833
0	6	7	5	2	4	3	1	0			
	197.5	46.9	49.2	46.9	44.6	42.3	44.6	163		635	10.58333
0	6	7	5	4	3	2	1	0			
	197.5	46.9	49.2	42.3	42.3	42.3	42.3	163		625.8	10.43
0	6	7	5	4	3	1	2	0			
	197.5	46.9	49.2	42.3	42.3	44.6	42.3	165.3		630.4	10.50667

Lista Tabú		7-6	2-3
Criterio de Aspiración	630.4		

Iteración 4

0	6	7	4	5	2	3	1	0		Segundos	Minutos
	197.5	46.9	44.6	42.3	46.9	42.3	44.6	163		628.1	10.46833
0	7	6	4	5	2	3	1	0			
	215.9	46.9	44.6	42.3	46.9	42.3	44.6	163		646.5	10.775
0	6	4	7	5	2	3	1	0			
	197.5	44.6	51.5	49.2	46.9	42.3	44.6	163		639.6	10.66
0	6	7	5	4	2	3	1	0			
	197.5	46.9	49.2	42.3	44.6	42.3	44.6	163		630.4	10.50667
0	6	7	4	2	5	3	1	0			
	197.5	46.9	44.6	44.6	46.9	44.6	44.6	163		632.7	10.545
0	6	7	4	5	3	2	1	0			
	197.5	46.9	44.6	42.3	44.6	42.3	42.3	163		623.5	10.39167
0	6	7	4	5	2	1	3	0			
	197.5	46.9	44.6	42.3	46.9	42.3	44.6	169.9		635	10.58333

Lista Tabú	4-5	7-6	2-3
Criterio de Asiración	628.1		

Iteración 5

0	6	7	4	5	2	1	3	0		Segundos	Minutos
	197.5	46.9	44.6	42.3	46.9	42.3	44.6	169.9		635	10.58333
0	7	6	4	5	2	1	3	0			
	215.9	46.9	44.6	42.3	46.9	42.3	44.6	169.9		653.4	10.89
0	6	4	7	5	2	1	3	0			
	197.5	44.6	51.5	49.2	46.9	42.3	44.6	169.9		646.5	10.775
0	6	7	5	4	2	1	3	0			
	197.5	46.9	49.2	42.3	44.6	42.3	44.6	169.9		637.3	10.62167
0	6	7	4	2	5	1	3	0			
	197.5	46.9	44.6	44.6	46.9	49.2	44.6	169.9		644.2	10.73667
0	6	7	4	5	1	2	3	0			
	197.5	46.9	44.6	44.6	49.2	42.3	42.3	169.9		637.3	10.62167
0	6	7	4	5	2	3	1	0			
	197.5	46.9	44.6	44.6	46.9	42.3	44.6	163		630.4	10.50667

Lista Tabú	3-1	4-5	7-6
Criterio de Asiración	628.1		

Iteración 6

0	6	7	4	5	1	2	3	0		Segundos	Minutos
	197.5	46.9	44.6	44.6	49.2	42.3	42.3	169.9		637.3	10.62167
0	7	6	4	5	1	2	3	0			
	215.9	46.9	44.6	42.3	49.2	42.3	42.3	169.9		653.4	10.89
0	6	4	7	5	1	2	3	0			
	197.5	44.6	51.5	49.2	49.2	42.3	42.3	169.9		646.5	10.775
0	6	7	5	4	1	2	3	0			
	197.5	46.9	49.2	42.3	46.9	42.3	42.3	169.9		637.3	10.62167
0	6	7	4	1	5	2	3	0			
	197.5	46.9	44.6	46.9	49.2	46.9	42.3	169.9		644.2	10.73667
0	6	7	4	5	2	1	3	0			
	197.5	46.9	44.6	42.3	46.9	42.3	44.6	169.9		635	10.58333
0	6	7	4	5	1	3	2	0			
	197.5	46.9	44.6	42.3	49.2	44.6	42.3	165.3		632.7	10.545

Lista Tabú	1-2	3-1	4-5
Criterio de Aspiración	628.1		

Iteración 7

	0	6	7	4	5	1	3	2	0		Segundos	Minutos
		197.5	46.9	44.6	42.3	49.2	44.6	42.3	165.3		632.7	10.545
	0	7	6	4	5	1	3	2	0			
		215.9	46.9	44.6	42.3	49.2	44.6	42.3	165.3		651.1	10.85167
	0	6	4	7	5	1	3	2	0			
		197.5	44.6	51.5	49.2	49.2	44.6	42.3	165.3		644.2	10.73667
	0	6	7	5	4	1	3	2	0			
		197.5	46.9	49.2	42.3	46.9	44.6	42.3	165.3		635	10.58333
	0	6	7	4	1	5	3	2	0			
		197.5	46.9	44.6	46.9	49.2	44.6	42.3	165.3		637.3	10.62167
	0	6	7	4	5	3	1	2	0			
		197.5	46.9	44.6	42.3	44.6	44.6	42.3	165.3		628.1	10.46833
	0	6	7	4	5	1	2	3	0			
		197.5	46.9	44.6	42.3	49.2	42.3	42.3	169.9		635	10.58333

Lista Tabú	3-2	1-2	3-1
Criterio de Aspiración	628.1		

Iteración 8

0	6	7	5	4	1	3	2	0		Segundos	Minutos
	197.5	46.9	49.2	42.3	46.9	44.6	42.3	165.3		635	10.58333
0	7	6	4	5	1	3	2	0			
	215.9	46.9	44.6	42.3	49.2	44.6	42.3	165.3		651.1	10.85167
0	6	5	7	4	1	3	2	0			
	197.5	42.3	49.2	51.5	46.9	44.6	42.3	165.3		639.6	10.66
0	6	7	4	5	1	3	2	0			
	197.5	46.9	51.5	42.3	49.2	44.6	42.3	165.3		639.6	10.66
0	6	7	5	1	4	3	2	0			
	197.5	46.9	49.2	49.2	46.9	42.3	42.3	165.3		639.6	10.66
0	6	7	5	4	3	1	2	0			
	197.5	46.9	49.2	42.3	42.3	44.6	42.3	165.3		630.4	10.50667
0	6	7	4	5	1	2	3	0			
	197.5	46.9	51.5	42.3	49.2	42.3	42.3	169.9		641.9	10.69833

Lista Tabú	5-4	3-2	1-2
Criterio de Aspiración	628.1		

Iteración 9

0	6	7	5	4	3	1	2	0		Segundos	Minutos
	197.5	46.9	49.2	42.3	42.3	44.6	42.3	165.3		630.4	10.50667
0	7	6	5	4	3	1	2	0			
	215.9	46.9	42.3	42.3	42.3	44.6	42.3	165.3		641.9	10.69833
0	6	5	7	4	3	1	2	0			
	197.5	42.3	49.2	51.5	42.3	44.6	42.3	165.3		635	10.58333
0	6	7	4	5	3	1	2	0			
	197.5	46.9	51.5	42.3	44.6	44.6	42.3	165.3		635	10.58333
0	6	7	5	3	4	1	2	0			
	197.5	46.9	49.2	44.6	42.3	46.9	42.3	165.3		635	10.58333
0	6	7	5	4	1	3	2	0			
	197.5	46.9	49.2	42.3	46.9	44.6	42.3	165.3		635	10.58333
0	6	7	5	4	3	2	1	0			
	197.5	46.9	49.2	42.3	42.3	42.3	42.3	163		625.8	10.43

Lista Tabú	3-1	5-4	3-2
Criterio de Aspiración	628.1		

MEJOR SOLUCIÓN

0	6	7	5	4	3	2	1	0			
	197.5	46.9	49.2	42.3	42.3	42.3	42.3	163		625.8	10.43

5 Análisis y Resultados

5.1 Generalidades

Se decidió usar LPSOLVE por su facilidad de uso, la capacidad computacional y además por ser una herramienta considerada como altamente flexible.

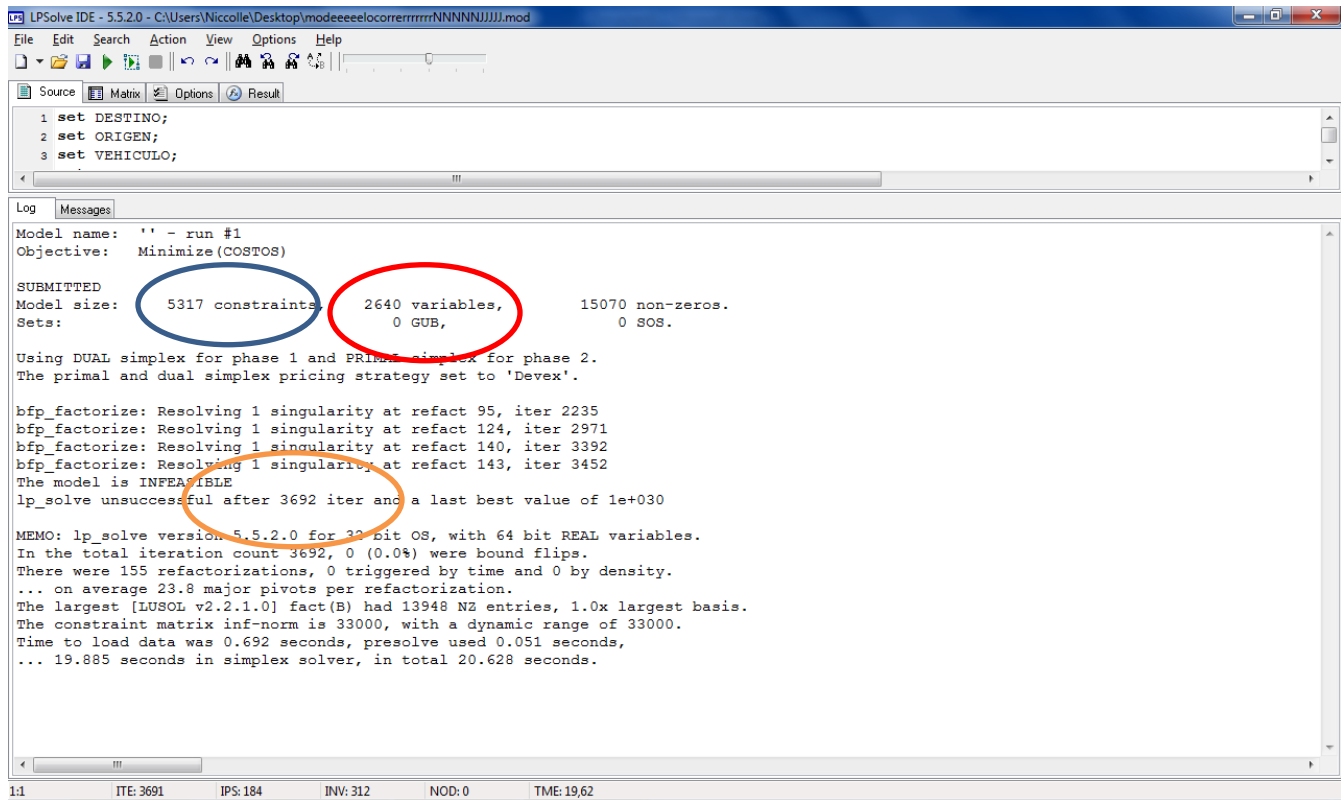
Se introdujo el modelo y haciendo una corrida con menos variables, se verificó que el programa construyera las restricciones como se habían planteado en el modelo compacto. Una vez se verificó esto se estuvo seguro que el modelo estuviera correctamente ingresado.

Figura 17. Resultados de la Corrida para verificar que el modelo construyera las restricciones como se plantearon en modelo compacto.

```
set_XLI: Successfully loaded 'xli_MathProg'
Reading model section from C:\Program Files\LPSolve IDE\tmpfile...
Reading data section from C:\Program Files\LPSolve IDE\tmpfile...
161 lines were read
Generating COSTOS...
Generating todos_visitados...
Generating capacidad_vehiculo...
Generating debe_salir...
Generating debe_LLEGAR...
Generating xxx_xxx...
Generating relacion_vec_cliente...
Generating jjj_kkk...
Generating non_negative...
Generating non_negative1...
Generating non_negative2...
Model has been successfully generated
Model name: '' - run #1
Objective: Minimize<COSTOS>
SUBMITTED
Model size: 5317 constraints, 2648 variables, 15078 non-zeros.
Sets: 0 GUB, 0 SOS.
Using DUAL simplex for phase 1 and PRIMAL simplex for phase 2.
The primal and dual simplex pricing strategy set to 'Devex'.
bfp_factorize: Resolving 1 singularity at refactor 95, iter 2235
bfp_factorize: Resolving 1 singularity at refactor 124, iter 2971
bfp_factorize: Resolving 1 singularity at refactor 140, iter 3392
bfp_factorize: Resolving 1 singularity at refactor 143, iter 3452
The model is INFEASIBLE
lp_solve unsuccessful after 3692 iter and a last best value of 1e+030
MEMO: lp_solve version 5.5.2.0 for 32 bit OS, with 64 bit REAL variables.
In the total iteration count 3692, 0 (0.0%) were bound flips.
There were 155 refactorizations, 0 triggered by time and 0 by density.
... on average 23.8 major pivots per refactorization.
The largest LUSOL v2.2.1.01 fact<B> had 13948 NZ entries, 1.0x largest b
sis.
The constraint matrix inf-norm is 33000, with a dynamic range of 33000.
Time to load data was 0.692 seconds, presolve used 0.051 seconds,
... 19.885 seconds in simplex solver, in total 20.628 seconds.
```

Así pues se procedió a incluir los parámetros reales del modelo y tras 3692 iteraciones el programa no pudo dar solución al modelo de optimización. La imagen muestra que efectivamente el modelo se generó con éxito.

Figura 18. Resultados de correr el programa en LP Solve, Restricciones y Variables



Como muestra la imagen el modelo incluía 2640 variables. Las variables X_{ijk} , binarias, estaban definidas por 21 clientes y un depósito de origen (i), 21 clientes y un depósito destino (j), y 5 carros (k). Además se incluyeron otras variables (S_{ik} y S_{ij}) que aumentaron el número de variables que intervienen en el modelo.

Además se crearon 5317 restricciones resultantes de la descomposición de los términos de la formulación compacta descrita anteriormente. Todos estos factores influyeron en que no se pudiera llegar a una solución óptima. Aunque parecía un modelo relativamente sencillo, las características propias de la evacuación de residuos hospitalarios hicieron que el modelo fuera de gran tamaño, haciéndolo imposible de resolver por medio de los actuales programas computacionales.

Debido a esto, y para dar solución a la problemática planteada en el presente documento se decidió hacer una metaheurística, Búsqueda Tabú.

Según la Metaheurística la solución que presenta un tiempo de recolección muy reducido es la siguiente: 0-6-7-5-4-3-2-1-0. EL recorrido siguiendo esta ruta se demora 625.8 segundos. El modelo debe considerar que los carros deben partir y regresar al cuarto de almacenamiento final, es por esto que todas las soluciones contempladas en la Metaheurística inician y terminan en el cliente 0 (CAF).

La Metaheurística como se definió anteriormente se hizo de manera general para cualquier tipo de desperdicio. Así entonces el modelo bajo este escenario quedó definido de la siguiente manera:

1. Se hace el recorrido recogiendo la basura gris una vez pues las cantidades de basura acumulada al momento de hacer la ruta sanitaria a la mitad del primer turno es del 60% de la capacidad total del carro.
2. Se hace el recorrido recogiendo la basura verde una vez pues las cantidades de basura acumulada al momento de hacer la ruta sanitaria a la mitad del primer turno es del 96% de la capacidad total del carro.
3. Se hace el recorrido recogiendo la basura roja una vez pues las cantidades de basura acumulada al momento de hacer la ruta sanitaria a la mitad del primer turno es del es del 96% de la capacidad total del carro.
4. Se desinfecta el ascensor.

El tiempo de la ruta sanitaria definida con este modelo sería:

Tiempo	Segundos
Gris	625.8
Verde	625.8
Roja	625.8
Desinfección	180
Total	2057.4

Como las consideraciones de las capacidades de los carros las hicimos para lapso de tiempo más crítico, es decir la tarde, el modelo tendrá validez para los demás turnos.

Con el modelo actual la ruta sanitaria de un turno se demora, incluyendo la desinfección, aproximadamente 79 minutos. Con el modelo propuesto las rutas sanitarias en un turno de

trabajo se demora 68.6 minutos, tomando como datos de entrada los tiempos promedio, esto incluyendo las dos desinfecciones que deben realizarse. Esto reduce el tiempo en el que el ascensor está siendo ocupado en un 13.9% para efectos de la ruta sanitaria, además el hecho que la recolección se haga dos veces al turno reduce la acumulación de residuos, factor crítico para la operación del hospital.

Como la actividad del hospital es continua en la mayoría de sus áreas la generación de basura se considera igual a lo largo del turno de trabajo por lo que la acumulación de basura para medio turno quedaría así:

Tabla 25. Acumulación de basura en cada uno de los pisos

COLOR	Turno	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	Piso 6	Piso 7	Total
Rojo	Mañana 1	0.97	0.78	0.79	1.16	0.73	0.96	1.34	6.75
	Mañana 2	0.97	0.91	0.93	1.35	0.86	1.12	1.57	7.71
	Tarde 1	1.14	0.91	0.93	1.35	0.86	1.12	1.57	7.87
	Tarde 2	1.14	0.91	0.93	1.35	0.86	1.12	1.57	7.87
	Noche 1	0.97	0.78	0.79	1.16	0.73	0.96	1.34	6.75
	Noche 2	0.97	0.78	0.79	1.16	0.73	0.96	1.34	6.75
Verde	Mañana 1	1.11	0.95	0.86	0.89	0.73	1.02	0.96	6.52
	Mañana 2	1.11	0.95	0.86	0.89	0.73	1.02	0.96	6.52
	Tarde 1	1.30	1.11	1.00	1.04	0.86	1.19	1.12	7.61
	Tarde 2	1.30	1.11	1.00	1.04	0.86	1.19	1.12	7.61
	Noche 1	1.11	0.95	0.86	0.89	0.73	1.02	0.96	6.52
	Noche 2	1.11	0.95	0.86	0.89	0.73	1.02	0.96	6.52
Gris	Mañana 1	0.88	0.66	0.31	0.34	0.87	0.49	0.32	3.87
	Mañana 2	0.88	0.66	0.31	0.34	0.87	0.49	0.32	3.87
	Tarde 1	1.02	0.78	0.36	0.40	1.01	0.57	0.38	4.52
	Tarde 2	1.02	0.78	0.36	0.40	1.01	0.57	0.38	4.52
	Noche 1	0.88	0.66	0.31	0.34	0.87	0.49	0.32	3.87
	Noche 2	0.88	0.66	0.31	0.34	0.87	0.49	0.32	3.87

Nota: Datos en número de canecas de basura

Una vez definidos que se harán dos recorridos en cada turno consideramos que para que la acumulación no fuera crítica esta recolección debería hacerse a las siguientes horas:

5:00 am, 9:00 am, 1:00 pm, 5:00 pm, 9:00 pm y 2:00 am.

Al igual que para el modelo que se diseñó para ser optimizado, el micro-ruteo no fue necesario redefinirlo, pues la basura estaba siendo recogida a tiempo, pues nunca se evidenciaban canecas con basura que excedía su capacidad, y además la basura llegaba al cuarto de almacenamiento con el tiempo suficiente para que se acumulara. Haciendo referencia a esto no era posible definir un modelo que considerara que las señoras de Sodexo recogieran la basura de una manera que retrasara su llegada al cuarto de almacenamiento intermedio pues por disposiciones de seguridad la basura en los cuartos, salas de cirugía etc. no puede permanecer un tiempo prolongado en la fuente. Por esto mismo las capacidades de los carritos recolectores en los pisos no fueron considerados en el modelo propuesto.

El modelo actual responde además a las restricciones de capacidad del hospital, los cuartos de almacenamiento intermedio conservan su capacidad, es decir conservan el mismo número de canecas, al igual que se conservó las capacidades del ascensor y el número de estos.

Además el modelo actual implica que un solo señor puede realizar la ruta sanitaria pues solo se requiere manipular un solo carro, mientras el otro puede dedicar su tiempo a otras tareas que le sean asignadas.

El modelo propuesto presenta una mejora adicional para ser solucionado en LP-SOLVE donde se había puesto como consideración el uso exclusivo del ascensor 2 para la ruta sanitaria. Este modelo propuesto permite que el ascensor esté disponible 85.7% del tiempo para otras actividades importantes del hospital, como lavandería, cafetería, farmacia y traslado de pacientes. Este porcentaje actualmente estaba en 78% de tiempo disponible para otros procesos.

Aunque debido a la magnitud del problema no se pudo solucionar de manera optima, o no se puede resolver en un tiempo razonable, por medio de la Metaheurística se llegó a una solución muy satisfactoria, que no solo soluciona el problema de la acumulación de basuras sino muchos otros ligados a la gestión de residuos, como el tiempo de uso del ascensor.

5.2 Carro Modelo Propuesto

La figura que se muestra a continuación muestra el carro, que será usado en el modelo propuesto. Este carro es de Colempaques, de la referencia Practiwagon, tamaño Jumbo. Sus dimensiones son:

	Centímetros
Largo	185
Ancho	135
Alto	123

Y su capacidad está definida de la siguiente manera:

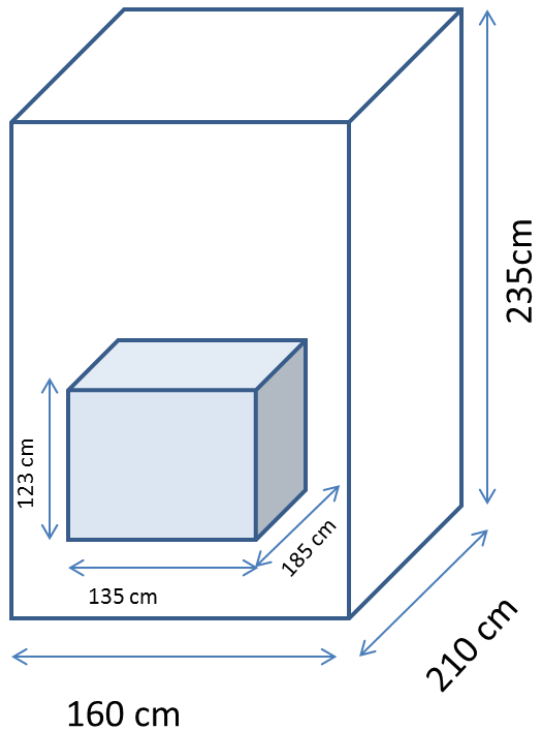
Jumbo	
Capacidad	
Volumen	1528 Lt
Carga	200 Kg

Figura 19. Dimensiones carro Practiwagon Jumbo



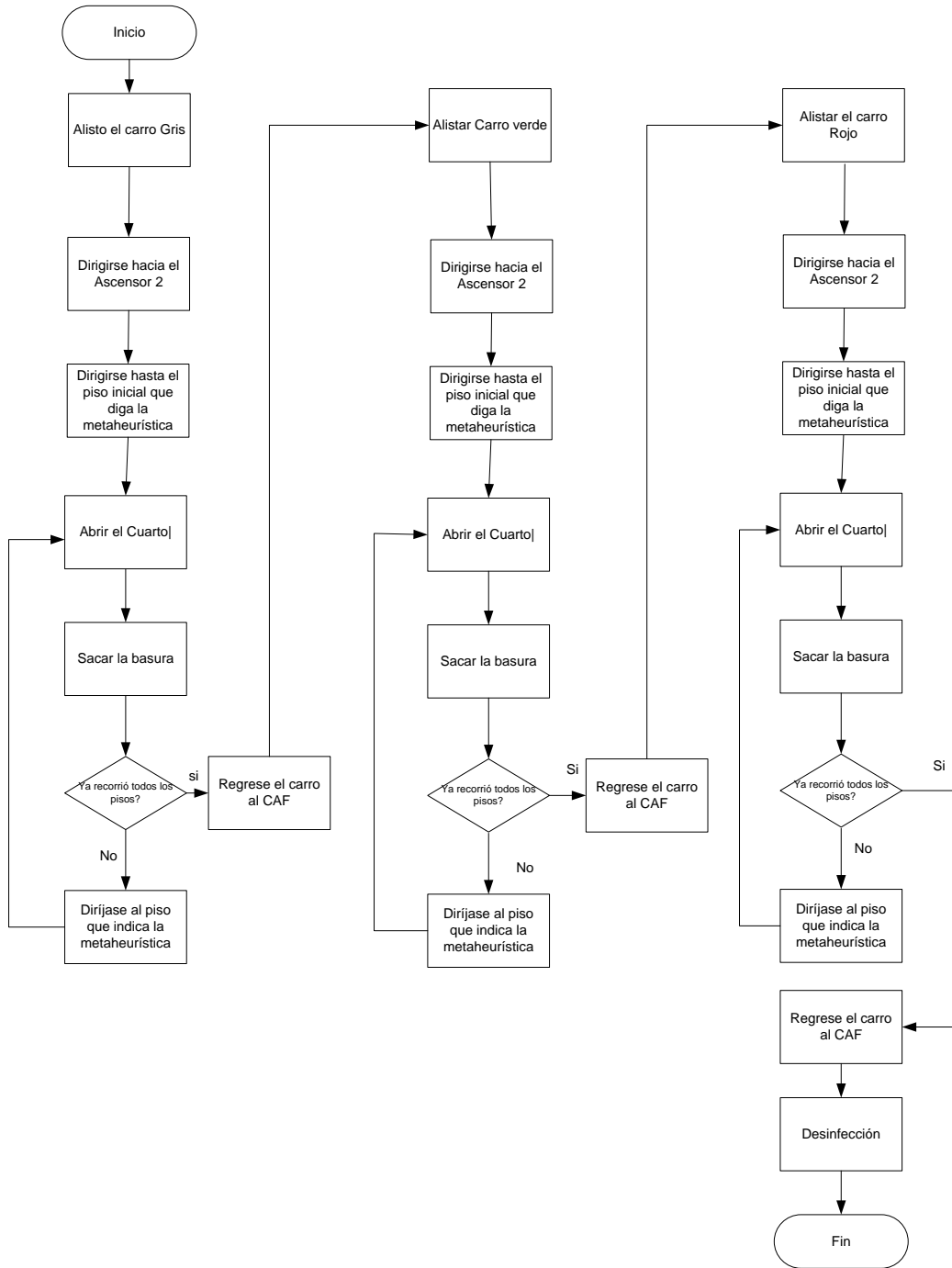
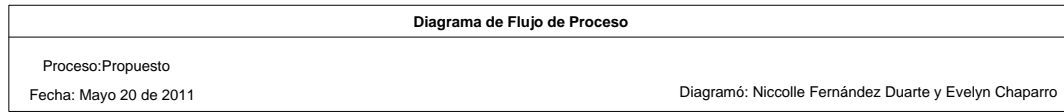
A manera de ilustración se presenta el siguiente diagrama donde además de las dimensiones del carro se incluyen las dimensiones del ascensor del hospital.

Figura 20. Dimensiones del carro y del ascensor.



Este carro está hecho de polietileno lo que lo hace resistente para soportar el trabajo pesado y además lo hace higiénico pues es de limpiar. Como ventajas adicionales incluyen tapas segmentadas, cuentan con un marco estructural liviano y es de fácil manejo para su desplazamiento.

5.3 Proceso de Recolección de Basuras



Para dar comienzo al proceso de la Ruta Sanitaria en primera se debe alistar el carro gris, pues la evacuación de la basura en cada uno de los pisos se sigue haciendo desde lo más limpio a lo más sucio debido a los protocolos exigidos por el Ministerio de Salud. Luego de que se alista el carro gris la persona encargada debe dirigirse hacia el ascensor número 2, que en el momento en que se realiza la ruta sanitaria, se utiliza únicamente para este proceso. El ascensor numero 1 se usa a su vez, para la ruta “limpia”, es decir la ruta de comida, farmacia y ropa limpia.

Luego de encontrarse en el ascensor, la persona encargada de la ruta debe dirigirse al piso que diga la Metaheurística, al llegar al piso, esta persona debe dirigirse al cuarto de almacenamiento intermedio, abrirlo y de esta manera sacar la basura, esto mismo debe hacerse en todos los pisos en el orden que indique la Metaheurística, si ya se recorrieron todos los pisos, el carro debe ser regresado al Cuarto de Almacenamiento Final, y así continuar con el proceso.

El proceso continúa con la basura verde, por este motivo se debe alistar el carro verde, y realizar las mismas actividades que se realizaron en el proceso de la basura gris, es decir, dirigirse al ascensor 2, para dirigirse al piso que indique la Metaheurística, luego abrir el cuarto para sacar la basura, depositarla en el carro, hacer lo mismo con todos los pisos y si ya los recorrió todos debe regresar el carro al Cuarto de Almacenamiento Final para continuar.

Luego se prosigue a alistar el carro rojo, y seguir con la realización de las mismas actividades que se describieron anteriormente. Para finalizar se realiza la desinfección del ascensor.

A continuación se presenta una tabla donde se resumen los tiempos de las operaciones de la ruta Sanitaria del modelo propuesto:

Tabla 26. Tiempos de las operaciones de la ruta sanitaria del modelo propuesto

	Tiempo Promedio (s)
Traslado desde y hacia el cuarto de almacenamiento Intermedio	196
Tiempo de vaciado de Canecas	40
Tiempo de vaciado de Carros CAF	72.6
Tiempo de retiro se carros del ascensor	9.62
Tiempo de Apertura de los cuartos	9.3

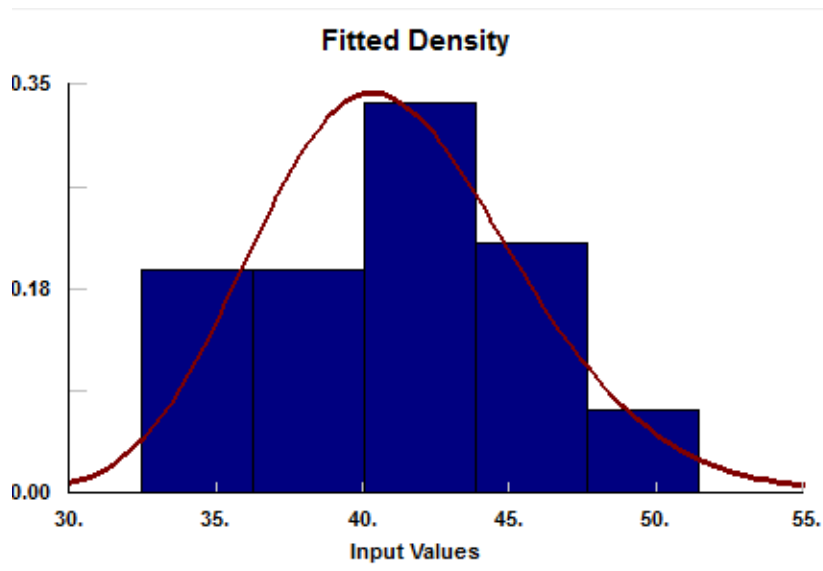
5.4 Análisis de Escenarios Modelo Propuesto

Para realizar el análisis de escenarios se tuvo en cuenta la información recolectada en el HUSI. Los tiempos en segundos de vaciado de las canecas medidos en el Hospital universitario San Ignacio se resumen en la tabla que se presenta a continuación:

39.9	54.3	35.7
37.9	45.4	44.7
37.3	31.7	42.9
32.5	42.3	32.2
45.7	33.8	38.4
39.5	41.2	44.2
35.1	33.7	43.9
42	37.9	38.6
47.8	44.6	38.3
42.1	46.3	32.4
42.1	38.3	41.1
45	40.4	38.3
35.7	42.3	49.2
43.2	42.7	44.9

La figura muestra la distribución de densidad de dichos datos, donde se puede ver que los datos tienen un comportamiento normal.

Figura 21. Distribución de densidad de los datos.



Así entonces los tiempos de vaciado de las canecas tienen un comportamiento normal con media 40.62 y desviación estándar de 4.94 segundos. Este tiempo incluye el tiempo que se demoran en sacar el carro del ascensor e ingresarlo de nuevo.

Una vez definido el comportamiento de los datos se procedió a evaluar la validez del modelo propuesto haciendo un análisis de escenarios. Se definieron tres escenarios. El primero tomando el tiempo promedio, el segundo es el escenario pesimista en el que el tiempo que se utilizó fue el de la media mas 3 desviaciones estándar. Por otro lado, el tercer escenario, el optimista está definido como la media menos tres desviaciones estándar. Las tres desviaciones estándar se tomaron pues según la distribución de los datos se considera que el grado de confianza con estas medidas es alto.

Así entonces se evaluó el resultado de la metaheurística con estos tres escenarios.

Escenario 1:

Tabla 27. Parámetros del algoritmo para el escenario 1

	0	1	2	3	4	5	6	7
0		163	165.3	169.9	176.8	186	197.5	215.9
1	163		42.3	44.6	46.9	49.2	51.5	58.4
2	165.3	42.3		42.3	44.6	46.9	49.2	56.1
3	169.9	44.6	42.3		42.3	44.6	46.9	49.2
4	176.8	46.9	44.6	42.3		42.3	44.6	51.5
5	186	49.2	46.9	44.6	42.3		42.3	49.2
6	197.5	51.5	49.2	46.9	44.6	42.3		46.9
7	215.9	58.4	56.1	53.8	51.5	49.2	46.9	

0	6	7	5	4	3	2	1	0
	197.5	46.9	49.2	42.3	42.3	42.3	42.3	163

Segundos	Minutos
625.8	10.43

Tabla 28. Distribución de tiempos para el escenario 1

Tiempos	
Total (1 Ruta)	31.29 Minutos
Total (turno)	62.58 Minutos
Desinfección	6 Minutos
Tiempo Total por Turno	68.58 Minutos

Tomando el promedio de los tiempos, el tiempo invertido en la ruta sanitaria en un turno de trabajo sería de 68.58 minutos. Se consideró este escenario teniendo en cuenta que la basura a mitad del turno es menor, el tiempo del ascensor se mantiene constante y la reducción del tiempo en el vaciado de la caneca se compensa con el posible tiempo que suma la manipulación de un carro mas grande.

Escenario2:

Este escenario está definido como el pesimista, para tal fin se definió que los tiempos estarían dados por la media mas tres desviaciones estándar

Tabla 29. Parámetros del algoritmo para el escenario 2

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	177.824	180.124	184.724	191.624	200.824	212.324	230.724
1	177.824	0	57.12402	59.42402	61.72402	64.02402	66.32402	73.22402
2	180.124	57.12402	0	57.12402	59.42402	61.72402	64.02402	70.92402
3	184.724	59.42402	57.12402	0	57.12402	59.42402	61.72402	64.02402
4	191.624	61.72402	59.42402	57.12402	0	57.12402	59.42402	66.32402
5	200.824	64.02402	61.72402	59.42402	57.12402	0	57.12402	64.02402
6	212.324	66.32402	64.02402	61.72402	59.42402	57.12402	0	61.72402
7	230.724	73.22402	70.92402	68.62402	66.32402	64.02402	61.72402	0

0	6	7	5	4	3	2	1	0
	212.324	61.72402	64.02402	57.12402	57.12402	57.12402	57.12402	177.824

Segundos	Minutos
744.392191	12.40654

Tabla 30. Distribución de tiempos para el escenario 2

Tiempos	
Total (1 Ruta)	37.21961 Minutos
Total (turno)	74.43922 Minutos
Desinfección	6 Minutos
Tiempo Total por Turno	80.43922 Minutos

Este escenario se definió considerando que el tiempo de la recolección de la basura aumentará por efectos del manejo del carro de mayores proporciones y al uso de un solo operario para la recolección. Así entonces quedó definido que en un escenario pesimista el tiempo de la ruta sanitaria por turno sería de 80.43 segundos.

Escenario 3:

El tercer escenario, que decidimos denominarlo como el optimista. Fue definido como la media menos tres desviaciones estándar.

Tabla 31. Parámetros del algoritmo para el escenario 3

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	148.176	150.476	155.076	161.976	171.176	182.676	201.076
1	148.176	0	27.47598	29.77598	32.07598	34.37598	36.67598	43.57598
2	150.476	27.47598	0	27.47598	29.77598	32.07598	34.37598	41.27598
3	155.076	29.77598	27.47598	0	27.47598	29.77598	32.07598	34.37598
4	161.976	32.07598	29.77598	27.47598	0	27.47598	29.77598	36.67598
5	171.176	34.37598	32.07598	29.77598	27.47598	0	27.47598	34.37598
6	182.676	36.67598	34.37598	32.07598	29.77598	27.47598	0	32.07598
7	201.076	43.57598	41.27598	38.97598	36.67598	34.37598	32.07598	0

0	6	7	5	4	3	2	1	0
	182.676	32.07598	34.37598	27.47598	27.47598	27.47598	27.47598	148.176

Segundos	Minutos
507.207809	8.453463

Tabla 30. Distribución de tiempos para el escenario 3

Tiempos	
Total (1 Ruta)	25.36039 Minutos
Total (turno)	50.72078 Minutos
Desinfección	6 Minutos
Tiempo Total por Turno	56.72078 Minutos

En este escenario se puede ver en el caso en que la cantidad de basura sea la proporcional a la mitad de turno, y que el tiempo de manipulación del carro no aumente debido a las dimensiones del carro recolector.

En términos generales el tiempo para los tres escenarios está definido así:

Tabla 33. Resumen de tiempos de los 3 escenarios

	Tiempo por recorrido(min)	Tiempo por Ruta(min)	Tiempo Por Turno(min)
Escenario 1	31.29	62.58	68.58
Escenario 2	37.21960955	74.4392191	80.4392191
Escenario 3	25.36039045	50.7207809	56.7207809

Se puede ver que para los dos primeros escenarios el tiempo que lleva el proceso de evacuación de residuos está por debajo del tiempo de proceso actual. Y aunque el tercer escenario muestra un tiempo mayor en aproximadamente un minuto, el modelo propuesto con lleva una reducción en la acumulación de basura, problema de alto impacto dentro del Hospital. Esto nos lleva a validar el modelo entonces para el proceso de evacuación de basuras del Hospital Universitario San Ignacio.

Capítulo V: Comparación del Modelo Actual y Propuesto

1. Cuadro Resumen

A continuación se presenta el cuadro que resume los aspectos claves del modelo Actual y el modelo propuesto.

Tabla 34. Tabla de resumen para el modelo actual y propuesto

	Actual	Propuesto		
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario3
Ruta de Microruteo	La ruta actualmente está definida de lo mas lejos a lo mas cerca de CAI.	Por motivos expuestos a lo largo del presente trabajo, se decidió que el microruteo no era una operación crítica del proceso de manejo de residuos, por lo que la ruta en el modelo propuesto se mantiene constante.		
Carro microrueto	Capacidad 80 Lt.	Capacidad 80 Lt.		
# Carros microruteo	2 rojas, 2 verdes, 1 Gris	2 rojas, 2 verdes, 1 Gris		
Canecas (servicios)	20 Lt. Tres colores	20 Lt. Tres colores		
Número de personas recolectoras por piso	4	4		
Capacidad Del CAI	2 rojas, 2 verdes, 1 Gris	2 rojas, 2 verdes, 1 Gris		
Capacidad Carro Ruta Sanitaria	382 Lt.	382 Lt.		
Ascensores de Carga	2	2		
Cuarto de Almacenamiento Intermedio	En los Pisos 9,6,5,4,3,2,1	En los Pisos 9,6,5,4,3,2,1		
Horario Ruta Sanitaria	6:00 am 1:00 pm 6:00 pm	5:00 am 1:00 pm 9:00 pm	9:00 am 5:00 pm 2:00 am	
Ruta sanitaria	De lo mas lejos a lo mas cerca	9-6-5-4-3-2-1		
Tiempo de Ocupación del Ascensor	16%	14%	17%	12%
Número de señores ruta Sanitaria	2	1	1	1
Horas Hombre del proceso	7.9	3.42	4.02	2.83
Ocupación de la basura roja en el momento de la ruta (número de canecas)	2.28	1.14	1.14	1.14
Ocupación de la basura verde en el momento de la ruta (número de canecas)	2.12	1.06	1.06	1.06
Ocupación de la basura gris en el momento de la ruta (número de canecas)	0.95	0.475	0.475	0.475
Costo del proceso	\$ 799,968.81	\$ 347,226.97	\$ 407,271.31	\$ 287,182.63

Como complemento a la tabla anterior se puede decir que en términos generales todo lo relacionado con los procesos de micro-ruteo, es decir el despapeleo se mantiene en el modelo propuesto. Por eso elementos como carros de micro-ruteo, personas encargadas del despapeleo, las canecas, el tipo y número de bolsas y las rutas de recolección de mantienen constantes.

Así haciendo referencia a lo anterior se presenta la tabla a continuación que resume como son los tiempos en el despapeleo actualmente y en el modelo propuesto:

Tabla 35. Tiempos de despapeleo en el modelo actual y propuesto

	Actual	Propuesto
	Tiempo Promedio (s)	Tiempo Promedio (s)
Preparación	110	110
Recolección de Bolsa	23.3	23.3
Sellado se la Bolsa	16.3	16.3
Disposición de la bolsa en el carrito	13.4	13.4
Postura de la Bolsa en la caneca	11.6	11.6
Aplicación del Líquido Desinfectante	11.3	11.3
Traslado al cuarto de Almacenamiento Intermedio	1.03	1.03
Vaciado del carrito en el CAI	60.5	60.5

En cuanto al proceso de la ruta Sanitaria, fue en este que se enfocaron las propuestas de mejora, pues era el factor crítico del proceso general de evacuación de residuos del Hospital Universitario San Ignacio. Aunque el modelo propuesto fue escrito en el capítulo anterior, la tabla al inicio del presente numeral ilustra los cambios y las similitudes que presentan el modelo propuesto y el actual. La tabla muestra que la capacidad de los cuartos de almacenamiento intermedio, el número de estos y el número de ascensores de carga se mantiene constante en los dos casos. Esto debido a las restricciones propias de la infraestructura del hospital. Muestra además que para la Ruta Sanitaria el modelo propuesto incluye la compra de un carro de cada color de mayor capacidad. Adicional a este cambio se presenta un cambio en los horarios de la ruta sanitaria. Actualmente las rutas se llevan a cabo en tres horas diferentes; el modelo propuesto por su parte propone un cambio en este aspecto al sugerir que la ruta se realice en 6 horarios diferentes. Es importante aclarar que en cada una de las rutas se hará la evacuación de los tres tipos de

desperdicios con el fin de evitar la acumulación que hoy en día se presenta. El procedimiento presenta más cambios adicionales a los anteriormente mencionados. En el modelo propuesto se establece que cada uno de los colores va a ser evacuado de manera independiente, siguiendo el orden de limpio a sucio (gris-verde-rojo) que está definido por política, difiriendo del modelo actual. Pues en este el procedimiento indica que debe hacerse una evacuación para la basura verde y gris y otra para la basura roja. Además, el modelo propuesto establece el orden en que deben irse recogiendo las bolsas de basura, a diferencia del orden que existe actualmente, el cual indica que deben ir recogiendo del noveno piso hacia abajo.

Otra diferencia notable entre el proceso actual y el propuesto, es que la Ruta sanitaria la podrá realizar un solo operario, no dos como actualmente ocurre. Esto no quiere decir que el hospital pueda prescindir de un de los dos señores por turno. Los señores seguirán dedicándose a las labores que les corresponda en momentos en que no se esté realizando la ruta.

La implementación del modelo propuesto traerá una reducción de la basura acumulada, así como también una reducción en el tiempo que se ocupa el ascensor para la Ruta sanitaria. En este orden de ideas, evaluando los costos del proceso de evacuación de la ruta sanitaria, se puede ver que el modelo propuesto presenta una reducción en costos de alrededor de 49% frente al proceso actual.

2. Indicadores

La falta de indicadores era uno de los problemas de la gestión de residuos del Hospital Universitario San Ignacio, la falta de estos hace difícil la medición de la gestión, por lo que en el trabajo se diseñaron y midieron indicadores de tal manera que se pudiera dar seguimiento a la gestión y a los procesos. Estos indicadores se diseñaron de tal manera que su uso fuera sencillo y en efecto se implementaran largo plazo. La importancia de estos nos llevo a medir como serían estos indicadores en el modelo propuesto, y los resultados se encuentran en la tabla a continuación.

Nombre	Escala			Valores			
	Malo	Aceptable	Bueno	Actual	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Número de veces que se llena el carro	>7 Veces	5 - 6 Veces	<=4 Veces	8	3	3	3
Porcentaje de Ocupación de basura en las canecas de los cuartos de almacenamiento intermedio	>100%	90% - 100%	<90%	114%	57%	57%	57%
Tiempo en el que el ascensor se encuentra funcionando para la ruta sanitaria	>70 min	50-70 min	40-50 min	79	68.58	80.43	56.7
Cantidad de basura verde, gris o roja versus el total de basura recolectada al final del proceso	NA	NA	NA	Color Rojo: 45%	Color Rojo: 45%	Color Rojo: 45%	Color Rojo: 45%
	NA	NA	NA	Color Verde: 42%	Color Verde: 42%	Color Verde: 42%	Color Verde: 42%
	NA	NA	NA	Color Gris: 13%	Color Gris: 13%	Color Gris: 13%	Color Gris: 13%
Tipo de basura recolectada en cada horario de la ruta sanitaria	NA	NA	NA	Mañana: 147	Mañana: 73	Mañana: 73	Mañana: 73
	NA	NA	NA	Tarde: 272	Tarde: 136	Tarde: 136	Tarde: 136
	NA	NA	NA	Noche: 126	Noche: 63	Noche: 63	Noche: 63

La comparación de los indicadores se hizo entre el modelo actual y los tres escenarios planteados. De esta manera no solo se ilustran las diferencias que se presentan entre el modelo actual y estos, sino que además nos permite ver como será el comportamiento de estos indicadores en cada uno de los escenarios. Así entonces se puede decir lo siguiente:

El número de veces que debe irse al CAF a desocupar los carros disminuye de 8 a 3 por ruta. Es importante mencionar que estas tres veces corresponden a la única vez que se debe evacuar el carro de cada color en cada una de las rutas por el número de carros (3).

Además en el modelo propuesto el porcentaje promedio de basura ocupada ya no va a ser de mas del 100% sino que estará alrededor de un 57%, lo que le da un margen de confianza al modelo en caso que se genere mas basura de la acostumbrada

El tiempo de ocupación del ascenso disminuye en dos de los tres escenarios frente al modelo actual. Y en el escenario que mas tiempo toma, este solo excede por algo mas de un minuto al modelo actual, tiempo que si se compara con los problemas ahorrados por evitar la acumulación de basuras en los CAI.

Es importante mencionar que los indicadores para el modelo propuesto estos están en los rangos de bueno y aceptable. A diferencia de os niveles malos que presenta el modelo actual.

Como la operación regular del HUSI no está sujeto a modificaciones, los indicadores sobre la cantidad de basura generada y la proporción de cada uno de los desperdicios se mantiene igual a los datos del modelo actual para cada uno de los escenarios del modelo propuesto.

Capítulo VI: Evaluación Económica del Modelo

1. Generalidades

Para empezar con lo que tenía que ver con el análisis económico se prosiguió con determinar los recursos y además los costos del proceso en la actualidad, la siguiente tabla los resume:

Tabla 36. Costos del proceso actual de la ruta sanitaria

ACTUAL	
Salario Mínimo	\$ 535.600
Prestaciones sociales	21%
Salario + Prestaciones	\$ 648.076
Total Horas Día	8
Total Horas Mes	192
Valor Hora	\$ 3.375,40
Modelo Actual	
Recursos	2
Tiempo por recurso (Turno)	79
Tiempo por recurso (Día)	237
horas hombre proceso	7,9
Costo del proceso (día)	\$ 26.665,63
Costo del proceso (Mes)	\$ 799.968,81

Seguidamente se prosiguió con el análisis de escenarios y de esta manera poder determinar los costos de cada uno dependiendo del tiempo que se demora la Ruta Sanitaria. Para ello, sobre el análisis que obtuvimos con la investigación de tiempos promedio, se aumentaron y disminuyeron 3 desviaciones estándar a la media, debido a la distribución normal que presentan los datos. Con estos datos, y disminuyendo en 1 persona a los que hacen parte de la Ruta Sanitaria se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 37. Costos del Escenario 1, modelo propuesto

Escenario 1	
Recursos	1
Tiempo por recurso (Turno)	68,58
Tiempo por recurso (Día)	205,74
horas hombre proceso	3,429
Costo del proceso (día)	\$ 11.574,23
Costo del proceso (Mes)	\$ 347.226,97

Tabla 38. Costos del Escenario 2, modelo propuesto

Escenario 2	
Recursos	1
Tiempo por recurso (Turno)	80,4392191
Tiempo por recurso (Día)	241,3176573
horas hombre proceso	4,021960955
Costo del proceso (día)	\$ 13.575,71
Costo del proceso (Mes)	\$ 407.271,31

Tabla 39. Costos del Escenario 3, modelo propuesto

Escenario 3	
Recursos	1
Tiempo por recurso (Turno)	56,7207809
Tiempo por recurso (Día)	170,1623427
horas hombre proceso	2,836039045
Costo del proceso (día)	\$ 9.572,75
Costo del proceso (Mes)	\$ 287.182,63

Con los costos del modelo actual y los costos de modelo propuesto, teniendo en cuenta esos 3 escenarios, se encontró la diferencia con cada uno de ellos, lo cual se definió como el ahorro. Esta diferencia se resume en la siguiente tabla:

Tabla 40. Ahorro mensual de cada de los 3 escenarios.

	Ahorro Mensual
Escenario 1	\$ 452.741,84
Escenario 2	\$ 392.697,51
Escenario 3	\$ 512.786,18

Estos ahorros son cada uno de los flujos positivos, para cada periodo, en este caso meses; y de esta manera poder calcular el valor presente neto y la tasa interna de retorno.

En este orden de ideas, para realizar el análisis económico se empezó por encontrar la tasa sobre la cual se trajeron los flujos a valor presente neto y de esta manera determinar la viabilidad del proyecto. La siguiente tabla muestra estas tasas, y la que se uso para el cálculo, que es la Efectiva Mensual (EM).

Tabla 41. Tasa para el cálculo del VPN

Tasa	Valor	Periodo	Valor	Periodo
DTF	3,79%	EA		
Inflación Esperada	3,90%			
	7,69%	EA	0,641%	EM

Esta tabla muestra la distribución de la inversión inicial. Esta se encuentra dada por la compra de 3 carros Practiwagon Jumbo, cada uno a \$1.596.540, es decir una inversión de \$4.789.620 en los carros para la evacuación de basura, durante la ruta sanitaria.

Tabla 42. Inversión inicial en los carros

	Cantidad	Precio Unitario	Total
Carros	3	\$ 1.596.540	\$ 4.789.620

Así mismo se debe realizar una inversión inicial de \$50.000 pesos, pues la persona que realizará esta capacitación tiene un salario de \$2.000.000 de pesos. Él trabaja 20 días de la semana, es decir 160 horas en el mes, por lo que el costo de cada hora es de \$25.000 pesos, la capacitación tendrá una duración de 2 horas por lo que en total serán \$50.000 pesos.

Para el cálculo del valor presente neto y la tasa interna de retorno se tomo como tasa, el 0,641% EM, una inversión inicial de \$4.839.620 y los ahorros de cada escenario como los flujos. Las siguientes tablas ilustran estos resultados.

2. Análisis Costo Beneficio

El modelo contempla la adquisición de un carro de Colempaques de referencia Practiwagon Jumbo. Tras varias cotizaciones encontramos una empresa llamada Sanisa en donde el carro en cuestión tiene un costo de \$1.596.540.

Al principio del proyecto también debe realizarse la capacitación correspondiente a las personas involucradas en el proceso. Esta capacitación tiene un costo de \$50.000 pesos, pues el salario devengado por la persona que dictará la capacitación es de \$2.000.000. Calculando el valor de la hora de esta persona, siendo este un valor de \$25.000. La capacitación tendrá una capacitación de 2 horas, por lo que en total serán \$50.000.

La inversión inicial es entonces la suma del valor de los 3 carros, más el valor de la capacitación, es decir \$4.839.620.

Para obtener el costo se tendrán en cuenta las tasas sobre la cuales se realizó el análisis. Estas son: la inflación esperada en el escenario más pesimista entre diferentes fuentes, con un valor del 3.9%. Además se incluirá el DTF, Depósito a Término Fijo, que es el promedio ponderado de las diferentes tasas de interés de captación utilizadas por las diferentes entidades financieras. El valor del DTF es del 3.79% EA, por lo que el valor total del interés es del 7.69% EA. Con esto se puede obtener el costo de la inversión

La tabla a continuación resume los datos descritos anteriormente.

Tabla 43. Resumen del análisis económico

DTF	3.79%
Inflación Esperada	3.90%
Interés	7.69%

Inversión	
Carros	\$ 4,789,620.00
Capacitación	\$ 50,000.00
Inversión Neta	\$ 4,839,620.00
Costo Anual de la Inversión	\$ 372,166.78

--	--

El beneficio está dado por el ahorro para cada uno de los escenarios, estos ahorros se ven reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 44. Ahorros para cada uno de los escenarios

Ahorro Anual	
Escenario 1	\$ 5,432,902.08
Escenario 2	\$ 4,712,370.12
Escenario 3	\$ 6,153,434.16

Así pues la inversión neta de la propuesta esta definida por:

Inversión Neta = Costo de los carros Jumbo =

\$4.839.620

*Costo Anual de la Inversión = Inversión Neta * i = \$372.166*

No se contemplaron pérdidas por costos de oportunidad, pues la inversión propuesta no afecta los demás procesos del hospital, y su desarrollo no entorpece otros procesos.

Con esta información se calculó la relación COSTO/BENEFICIO para cada uno de los escenarios:

$$\text{Relación Costo Beneficio} = \frac{\text{Beneficio Neto}}{\text{Costos}}$$

Tabla 45. Relación costo-beneficio para cada uno de los escenarios

	Ahorro Mensual	Ahorro Anual	Relación
Escenario 1	\$ 452.741,84	\$ 5.432.902,08	14,60
Escenario 2	\$ 392.697,51	\$ 4.712.370,12	12,66
Escenario 3	\$ 512.786,18	\$ 6.153.434,16	16,53

El resultado de la relación Costo beneficio es el primer indicador de la viabilidad de la propuesta, pues el cálculo da en todos los casos mayor a 1.

3. Valor Presente Neto y Tasa Interna de Retorno

Tabla 46. Análisis Económico del escenario 1, VPN y TIR

Flujos

0	1	2	3	4	5
\$ (4.839.620)	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84
	6	7	8	9	10
	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84
	11	12	13	14	15
	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84

VPN	\$ 1.615.636,26
TIR	5%

Tabla 47. Flujos acumulados, Periodo en el que se recupera la inversión para el escenario 1

Periodos	0	1	2	3	4	5
Ahorro	\$ (4.839.620)	\$ 452.742	\$ 452.742	\$ 452.742	\$ 452.742	\$ 452.742
Acumulado		\$ 452.741,84	\$ 905.483,69	\$ 1.358.225,53	\$ 1.810.967,37	\$ 2.263.709,22

Periodos		6	7	8	9	10
Ahorro		\$ 452.742	\$ 452.742	\$ 452.742	\$ 452.742	\$ 452.742
Acumulado		\$ 2.716.451,06	\$ 3.169.192,90	\$ 3.621.934,75	\$ 4.074.676,59	\$ 4.527.418,43
Periodos		11	12	13	14	15
Ahorro		\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84	\$ 452.741,84
Acumulado		\$ 4.980.160,27	\$ 5.432.902,12	\$ 5.885.643,96	\$ 6.338.385,80	\$ 6.791.127,65

Tabla 48. Análisis Económico del escenario 2, VPN y TIR

Flujos

0	1	2	3	4	5
\$ (4.839.620)	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51
	6	7	8	9	10
	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51
	11	12	13	14	15
	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51

VPN	\$ 759.515,72
TIR	3%

Tabla 49. Flujos acumulados, Periodo en el que se recupera la inversión para el escenario 2

Periodos	0	1	2	3	4	5
Ahorro	\$ (4.839.620)	\$ 392.698	\$ 392.698	\$ 392.698	\$ 392.698	\$ 392.698
Acumulado		\$ 392.697,51	\$ 785.395,01	\$ 1.178.092,52	\$ 1.570.790,02	\$ 1.963.487,53
Periodos		6	7	8	9	10
Ahorro		\$ 392.698	\$ 392.698	\$ 392.698	\$ 392.698	\$ 392.698
Acumulado		\$ 2.356.185,03	\$ 2.748.882,54	\$ 3.141.580,04	\$ 3.534.277,55	\$ 3.926.975,05
Periodos		11	12	13	14	15
Ahorro		\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51	\$ 392.697,51
Acumulado		\$ 4.319.672,56	\$ 4.712.370,06	\$ 5.105.067,57	\$ 5.497.765,07	\$ 5.890.462,58

Tabla 50. Análisis Económico del escenario 3, VPN y TIR

Flujos

	0	1	2	3	4	5
\$	(4.839.620)	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18
		6	7	8	9	10
		\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18
		11	12	13	14	15
		\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18

VPN	\$ 2.471.756,79
TIR	6%

Tabla 51. Flujos acumulados, Periodo en el que se recupera la inversión

Periodos	0	1	2	3	4	5
Ahorro	\$ (4.839.620)	\$ 512.786	\$ 512.786	\$ 512.786	\$ 512.786	\$ 512.786
Acumulado		\$ 512.786,18	\$ 1.025.572,36	\$ 1.538.358,54	\$ 2.051.144,72	\$ 2.563.930,91
Periodos		6	7	8	9	10
Ahorro		\$ 512.786	\$ 512.786	\$ 512.786	\$ 512.786	\$ 512.786
Acumulado		\$ 3.076.717,09	\$ 3.589.503,27	\$ 4.102.289,45	\$ 4.615.075,63	\$ 5.127.861,81
Periodos		11	12	13	14	15
Ahorro		\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18	\$ 512.786,18
Acumulado		\$ 5.640.647,99	\$ 6.153.434,17	\$ 6.666.220,36	\$ 7.179.006,54	\$ 7.691.792,72

La siguiente tabla muestra un resumen de los resultados obtenidos en cada uno de los 3 escenarios:

Tabla 52. Resultados de los escenarios

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
VPN	\$ 1.615.636,26	\$ 759.515,72	\$ 2.471.756,79
TIR	5%	3%	6%
Recuperación de la inversión	Entre el periodo 10 y 11	Entre el periodo 12 y 13	Entre el periodo 9 y 10

Según esta tabla se evidencia que aunque los tiempos se aumenten o disminuyan en 3 desviaciones estándar, el análisis económico sigue siendo positivo, es decir que el proyecto sigue siendo viable aunque se modifiquen las condiciones en los tiempos de recolección, pues el valor presente neto y la tasa de retorno arrojan resultados favorables, incluso en el peor escenario.

.
El ahorro o el Retorno sobre la inversión debe mirarse también desde otra perspectiva o enfoque pues se deben tener en cuenta también las Disposiciones Legales que rigen la gestión de residuos en el Hospital. Esta disposición dictamina las multas que se aplican a todos aquellos que no cumplen con la norma. Esta multa es de un valor equivalente a 10.000 salarios mínimos diarios legales vigentes. Además del pago de indemnizaciones debido a los riesgos que representa el manejo constante de basura sin las precauciones necesarias.

Capítulo VI: Conclusiones

Se puede concluir que para dar solución a un problema de este tipo, es necesario la comprensión de la situación actual, las decisiones tomadas para realizar el modelo propuesto no hubiesen sido acertadas si no se hubiese hecho la definición de la cadena de abastecimiento. Este paso permitió evaluar cuales de las operaciones eran las verdaderamente críticas. Por ejemplo tras la evaluación de las operaciones se decidió que el microruteo no representaba problemas pues la basura era recogida en momentos adecuados y llegaba a los cuartos de almacenamiento intermedio con el suficiente tiempo de anterioridad. Es importante mencionar que para validar el modelo propuesto se analizaron y evaluaron tres escenarios, uno de comportamiento promedio otro pesimista y uno optimista.

Para dar solución al problema y definir una propuesta de modelo tuvo que ser usado una Metaheurística, pues debido al tamaño y las muchas consideraciones que incluía el modelo ningún programa computacional iba a ser capaz de solucionarlo en un tiempo racional. Toda Metaheurística busca encontrar la mejor solución dentro de una serie de opciones, aunque la solución alcanzada no es óptima es lo suficientemente buena pues arrojó una disminución del tiempo de evacuación de residuos hospitalarios de 13% frente al procedimiento actual. Este resultado demuestra que aunque existe la posibilidad que haya una solución mejor, esta solución es muy satisfactoria puesto que no solo se redujo el tiempo de ocupación del ascensor sino que también se redujo el problema de la acumulación de desperdicios. Además arrojó resultados en la evaluación económica que lo hacen viable.

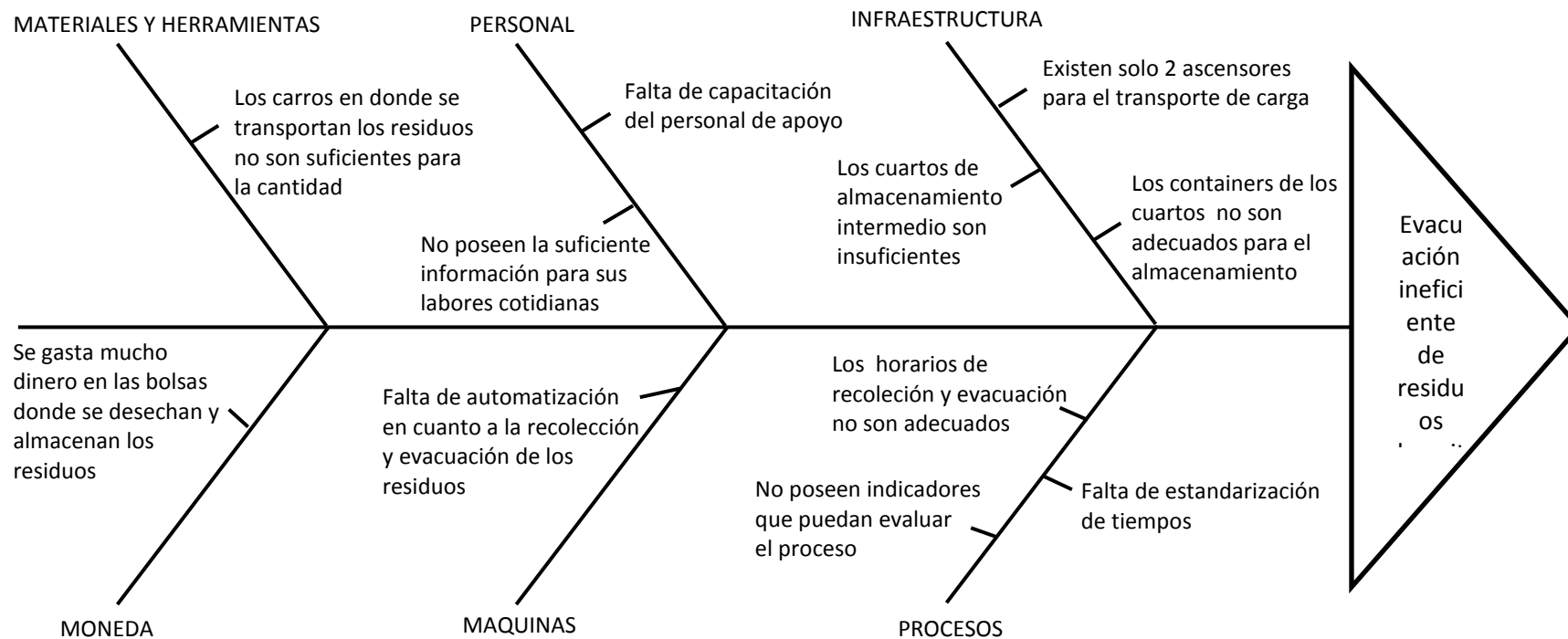
En términos generales la solución se logró por medio del uso de una metaheuristicca, que según la investigación, la consulta a expertos y el tipo de problema debía ser Búsqueda Tabú o Algoritmo Genético pues eran las mejores opciones. Con la implementación del modelo se reducirá la acumulación de residuos que representaba graves problemas de seguridad para quienes la manipulaban, además la mala gestión hacía que la multa al hospital por parte de las autoridades fuera un riesgo latente.

Bibliografía

- Tomado del Manual de Procedimientos de Gestión de Residuos – Hospital Universitario San Ignacio
- BALLOU, Ronald. Business Logistics Management: Planning, Organizing and Controlling the supply Chain. 4 Ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999
- Kallehaug Brian, Larsen Jasper. Vehicle Routing problem with time window
- PRAWDA, Juan. Métodos y Modelos de Investigación de Operaciones: Volumen 1 Modelos Determinísticos. México: Editorial Limusa, 2004
- Vigo, Daniele, Universidad de Bologna, “Introduction to VRP, 1. Basic Concepts”, 15 de Abril de 2008.
- VOGT, John J. Business Logistics Management: Theory and Practice. 2 Ed. Oxford, UK ; New York : Oxford University Press, 2007
- Sergio Alonso, Oscar Cordón, Iñaki Fernández de Viana, Francisco Herrera, “La metaheurística de Optimización basada en Colonias de Hormigas: Modelos y nuevos enfoques”
- <http://eddyalfaro.galeon.com/geneticos.html> Consultado el 11 de Marzo de 2011
- Sergio Alonso, Oscar Cordón, Iñaki Fernández de Viana, Francisco Herrera, “La metaheurística de Optimización basada en Colonias de Hormigas: Modelos y nuevos enfoques”
[http://sci2s.ugr.es/publications/ficheros/OCH%20Modelos%20y%20Nuevos%20Enfoques%20\(Chapter\).pdf](http://sci2s.ugr.es/publications/ficheros/OCH%20Modelos%20y%20Nuevos%20Enfoques%20(Chapter).pdf)
- Resolución 300 de 1998 de la Secretaria de Salud de Bogotá
- http://www.investigacion-operaciones.com/Curso_inv-Oper_carpeta/Clase1.pdf
- <http://eddyalfaro.galeon.com/geneticos.html>
- Sergio Alonso, Oscar Cordón, Iñaki Fernández de Viana, Francisco Herrera, “La metaheurística de Optimización basada en Colonias de Hormigas: Modelos y nuevos enfoques”

- [http://sci2s.ugr.es/publications/ficheros/OCH%20Modelos%20y%20Nuevos%20Enfoques%20\(Chapter\).pdf](http://sci2s.ugr.es/publications/ficheros/OCH%20Modelos%20y%20Nuevos%20Enfoques%20(Chapter).pdf)
- <http://enciclopedia.us.es/index.php/Heur%C3%ADstica>
- www.fing.edu.uy/inco/grupos/invop/mh/material/pres4.ppt
- [http://leeds-faculty.colorado.edu/glover/TS%20-%20Intro%20-%20Metaheuristics%20in%20Econ%20&%20Bus%20-%20w%20Belen%20%20\(Spanish\).pdf](http://leeds-faculty.colorado.edu/glover/TS%20-%20Intro%20-%20Metaheuristics%20in%20Econ%20&%20Bus%20-%20w%20Belen%20%20(Spanish).pdf)
- http://es.wikipedia.org/wiki/B%C3%BAsqueda_tab%C3%BA
- http://io.us.es/cio2006/docs/000028_final.pdf
- http://www.uaa.mx/investigacion/memoria/ponencias/mesa_ieisc/pdf/ponce_gallegos.pdf
- http://elavio2005.uniandes.edu.co/ResumenesParticipantes/Jueves/ToroEliana_P.ppt
- <http://www.monografias.com/trabajos7/anfi/anfi.shtml>
- <http://www.monografias.com/trabajos16/metodos-evaluacion-economica/metodos-evaluacion-economica.shtml>
- <http://www.inei.gob.pe/biblioineipub/bancopub/inf/lib5006/cap3-6.htm>
- <http://www.crecenegocios.com/retorno-sobre-la-sobre-inversion-roi/>
- <http://finanzascubo.com/invertir/roi-retorno-sobre-la-inversion.html>
- <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=819>

ANEXO 1. Diagrama de Espina de Pescado



ANEXO 2. Fotos de la Situacion actual de la acomulacion de Basura



ANEXO 3. Fotografías de los Agentes que componen la Cadena Logística del Proceso.



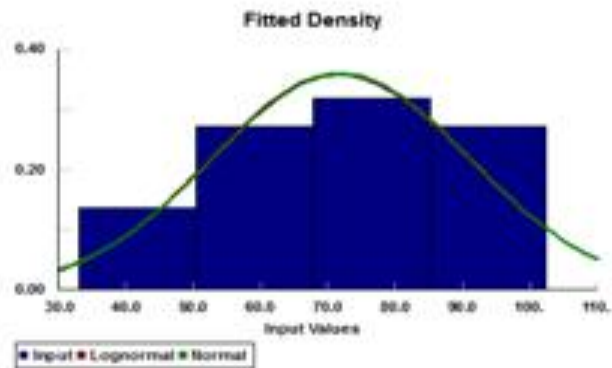
ANEXO 4. Análisis de Tiempos de Despapeleo

ANÁLISIS DE DATOS EN STATFIT

BASURA ROJA DÍA 1

Auto:Fit of Distributions

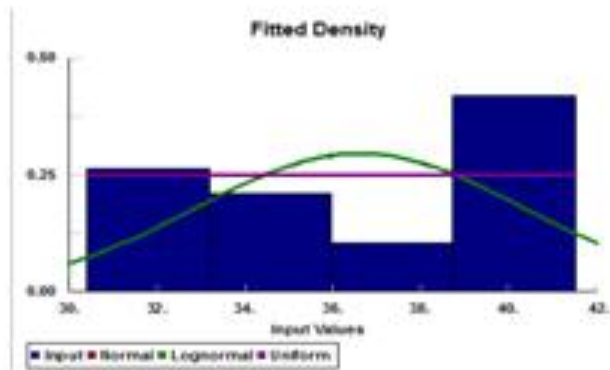
distribution	rank	acceptance
Lognormal[1.17e+003, 7.12, 1.55e-002]	100	do not reject
Normal[72., 19.2]	99.5	do not reject
Uniform[33.1, 102]	22.6	do not reject



Tiempo entre caneca y caneca

Auto:Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Normal[36.6, 3.73]	100	do not reject
Lognormal[719, 6.63, 4.95e-003]	99.6	do not reject
Uniform[30.4, 41.5]	35.5	do not reject

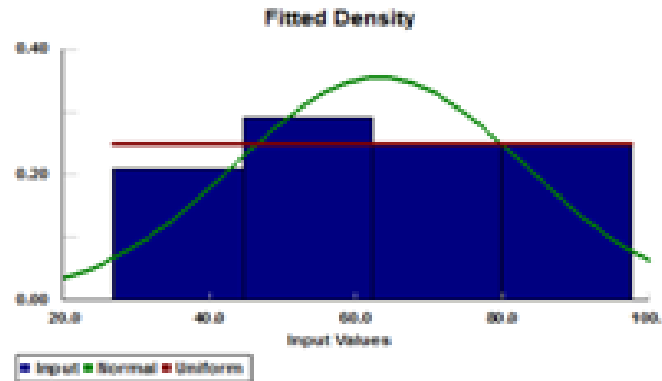


BASURA ROJADÍA 2

Tiempo de desperdicio

Auto:Fit of Distributions

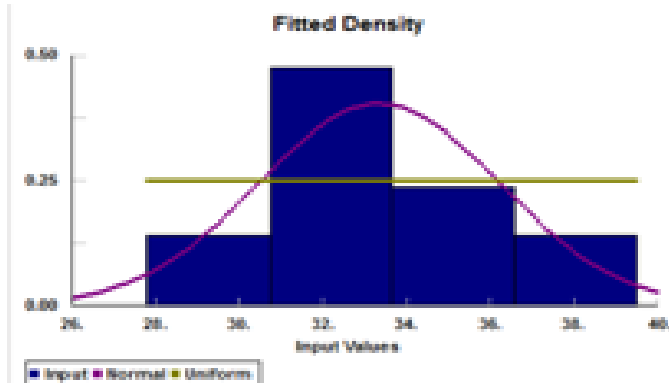
distribution	rank	acceptance
Lognormal(1.17e+003, 7.12, 1.61e-002)	100	do not reject
Normal(63.2, 19.6)	99.2	do not reject
Uniform(26.5, 97.5)	67.	do not reject



Tiempo entre canecoy caneca

Auto:Fit of Distributions

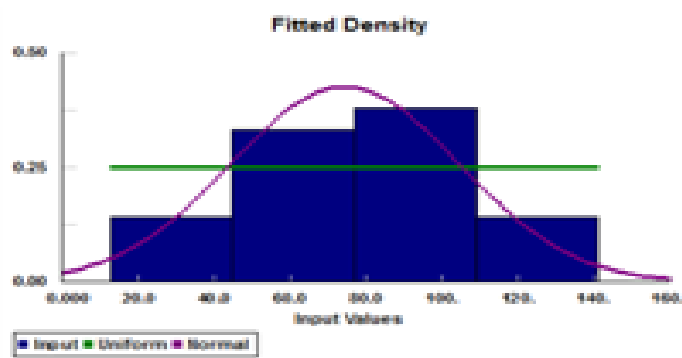
distribution	rank	acceptance
Lognormal(7.09, 3.26, 0.11)	100	do not reject
Normal(33.3, 2.89)	71.5	do not reject
Uniform(27.8, 39.5)	3.93	do not reject
Exponential(27.8, 5.54)	0.249	do not reject



BASURA ROJA DÍA 3

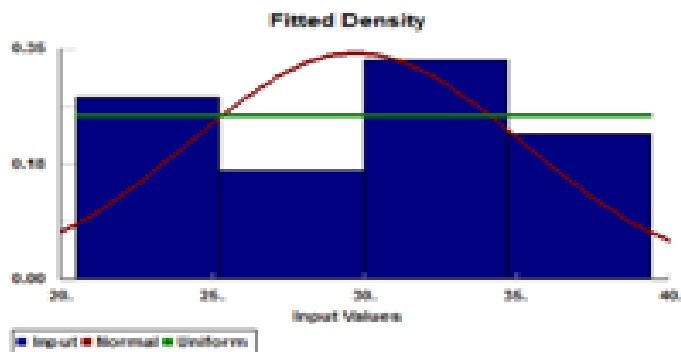
Tiempo de despaqueo

AutoFit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Lognormal[1.91e+003, 7.59, 1.51e-002]	99.9	do not reject
Normal[74.4, 38.]	99.5	do not reject
Uniform[12.6, 141]	8.97	do not reject



Tiempo entre canales consec

AutoFit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Normal[29.7, 5.48]	100.	do not reject
Lognormal[138, 5.12, 3.28e-002]	98.9	do not reject
Uniform[20.5, 39.4]	83.9	do not reject
Exponential[20.5, 9.21]	4.91	do not reject

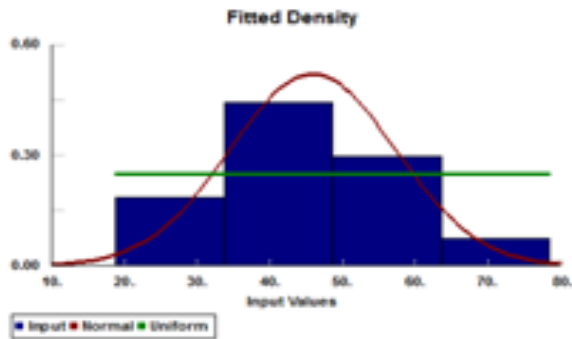


BASURA VERDE DÍA 1

Tiempo de despapado

Auto:Fit of Distributions

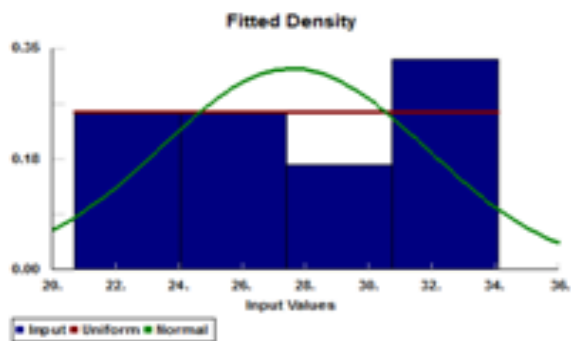
distribution	rank	acceptance
Normal[45.9, 11.4]	97.2	do not reject
Lognormal[187, 5.03, 7.43e-002]	82.8	do not reject
Uniform[18.8, 78.4]	7.72e-002	reject
Exponential[18.8, 27.1]	4.47e-004	reject



Tiempo entre caneca y caneca

Auto:Fit of Distributions

distribution	rank	acceptance
Uniform[28.7, 34.1]	100	do not reject
Lognormal[728, 6.63, 5.55e-003]	68.2	do not reject
Normal[27.6, 4.19]	68.1	do not reject

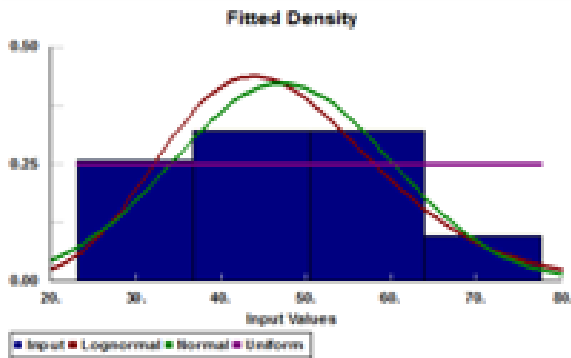


BASURA TERRE DÍA 2

Tiempo de despapado

Auto:Fit of Distributions

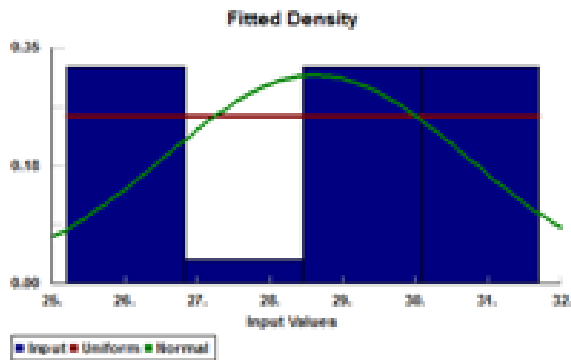
distribution	rank	acceptance
Lognormal[24.6, 4.26, 0.178]	100	do not reject
Normal[47.2, 12.8]	80.1	do not reject
Uniform[23.1, 77.5]	0.221	reject
Exponential[23.1, 24.1]	7.88e-002	reject



Tiempo entre conexiones

Auto:Fit of Distributions

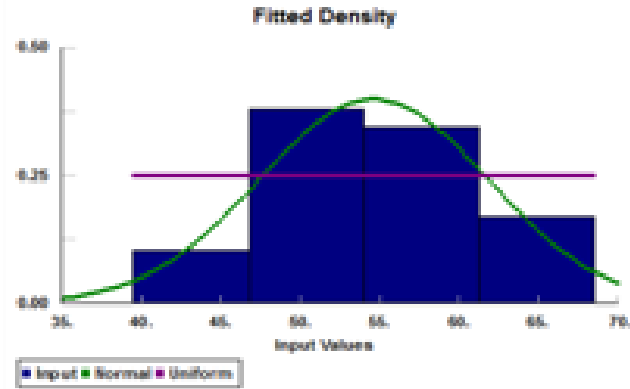
distribution	rank	acceptance
Uniform[25.2, 31.7]	78.9	do not reject
Normal[28.6, 2.09]	67.3	do not reject
Lognormal[1.17e+003, 7.09, 1.74e-003]	66.6	do not reject



BASURA VERDE DÍA 3

Tiempo de despegado

AutoFit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Lognormal[19.5, 4.3, 9.74e-002]	100	do not reject
Normal[54.8, 7.22]	91.4	do not reject
Uniform[39.5, 68.5]	5.46	do not reject
Exponential[39.5, 15.1]	2.73e-003	reject



Tiempo entre cancey cance

AutoFit of Distributions		
distribution	rank	acceptance
Normal[31.5, 2.13]	100	do not reject
Lognormal[-1.17e+003, 7.09, 1.77e-003]	99.6	do not reject
Uniform[28.1, 34.5]	62.6	do not reject

