



**DISEÑO UN MODELO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOGÍSTICA INVERSA
EN EL MANEJO DE RESIDUOS HOSPITALARIOS, BAJO UN ENFOQUE DE
PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA MULTICRITERIO.**

PRESENTADA POR:

Jackeline Murra Lara

DIRIGIDA POR:

Ing. MSc German Herrera Vidal

Tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
CARTAGENA DE INDIAS, 2017**

*A mi Dios a quien todo
se lo debo
“Eben-ezer: Hasta aquí
me ha ayudado el Señor”
1ª Samuel 7:12*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar doy gracias a Dios a quien todo se lo debo, a quien ha sido la motivación de mi vida; Él me ha permitido ver Su gracia y cuidado en cada momento de ella, y por eso he recibido su protección, provisión, y respaldo. He pasado por dificultades y crisis, pero han sido más bien oportunidades donde he visto la gloria del Señor y ha sido el desarrollo de esta maestría una de las oportunidades en las que he visto la mano de Él levantarme, apoyarme y llevarme a la meta. Cuando quise desistir siempre me habló: "... Ya te lo he ordenado: ¡Sé fuerte y valiente! ¡No tengas miedo ni te desanimes! Porque el Señor tu Dios te acompañará dondequiera que vayas... Josué 1:9". Gracias Dios, por tu fidelidad en el cumplimiento de esta promesa en mi vida.. Lo logré.. Muchas gracias

Gracias a mi madre, quien solidaria e incondicionalmente me acompañó en cada momento del proceso.

Gracias a los Ingenieros Arcelio Pérez y Germán Herrera, fueron de gran valor sus aportes al proyecto.

Gracias a Lina María, la amiga y compañera incondicional que fue instrumento en manos de Dios para animarme y motivarme cada vez que quise desistir; a Kevin Patrón mi joven compañero del que aprendí muchas cosas a pesar de su corta edad; a mi amiga Mónica y Jesús pues su aporte y apoyo fue de gran valor especialmente en los momentos difíciles que me tocó experimentar durante el proceso! A todos ellos muchas gracias, me ayudaron a lograrlo ;

Al Tecnológico de Comfenalco gracias, porque me brindó su apoyo económico para estudiar la maestría. Su contribución fue valiosa.

Al Dr Marlon Herrera, gracias porque por su gestión y relaciones fue posible abrir las puertas del Hospital Universitario del Caribe para permitirme realizar el proyecto con ellos.

Así mismo, de manera muy especial doy gracias al Hospital Universitario del Caribe de la ciudad de Cartagena, y en especial a Jesael Villareal comunicadora social del mismo y a Jackeline González Castro Coordinadora de Gestión Ambiental del Hospital, ya que me abrieron sus puertas incondicionalmente, gestionaron, me atendieron, me permitieron observar los procesos y me suministraron toda la información que se requirió para el proyecto.

A todos muchas gracias ;

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	4
1. CAPTULO I. ESTADO DEL ARTE LOGÍSTICA INVERSA Y MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA LA GESTIÓN DE CADENA DE SUMINISTRO	25
1.1 CONCEPTOS Y GENERALIDADES	25
1.2 OBJETIVOS DE LA LOGISTICA INVERSA	27
1.3 LOGÍSTICA INVERSA Y DIRECTA.....	29
1.4. IMPORTANCIA DE IMPLEMENTAR SISETMAS LOGISTICOS	31
1.4.1 Razones ambientales.....	33
1.4.2 Razones económicas.....	33
1.4.3 Razones de responsabilidad extendida y mercadeo.	33
1.4.4 Razones legislativas.....	33
1.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE LOGISTICA INVERSA	34
1.6. ACTORES DE LA LOGISTICA INVERSA.....	36
1.6.1. Actores principales.....	36
1.6.2. Actores especializados.....	36
1.6.3. Actores relacionados	37
1.7. CLASIFICACIÓN DE LO SISTEMAS DE LOGISTICA INVERSA.....	37
1.7.1. Sistemas propios de Logística Inversa.....	38
1.7.2. Sistemas ajenos de logística inversa	38
1.8. PROCESOS DE LOGISTICA INVERSA	39
1.9. HERRAMIENTAS DE LA LOGÍSTICA INVERSA	41
1.10. MODELO DE REFERENCIA DE FEITO.....	44
1.10.1. Conjuntos del modelo de Feito.....	45
1.10.2. Parámetros del modelo	45
1.10.3. Variables del modelo.....	46
1.10.4. Función objetivo del modelo	47
1.10.5. Restricciones del modelo	49
2. CAPÍTULO II. DIAGNÓSTICO DE LA LOGÍSTICA INVERSA EN SECTOR HOSPITALARIO: CASO HOSPITAL UNIVERSITARIO DEL CARIBE	51

2.1. PANORAMA GENERAL DE LA LOGÍSTICA INVERSA EN COLOMBIA	51
2.2. DIAGNÓSTICO GENERAL EN COLOMBIA DESDE LA ÓPTICA DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	52
2.3. CASO E.S.E. HOSPITAL UNIVERSITARIO DEL CARIBE EN CARTAGENA DE INDIAS	58
3. CAPÍTULO III. MODELO DE OPTIMIZACIÓN MULTI - CRITERIO PARA LA GESTIÓN LOGÍSTICA INVERSA DEL SECTOR HOSPITALARIO	72
3.1. OPTIMIZACION Y PROPUESTA DE MEJORA EN LA LOGISTICA DE LA GESTION HOSPITALARIA.....	72
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN.....	73
3.3. SUPUESTOS DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN	75
3.4. MODELAMIENTO DE LA LOGISTICA DE RESIDUOS HOSPITALARIOS	76
3.4.1. Conjuntos.....	76
3.4.2. Parámetros.....	77
3.4.3. Variables	77
3.4.4. Función objetivo.....	78
3.4.5. Restricciones del modelo propuesto	79
3.5. ANALISIS DE LA INFORMACION REQUERIDA EN EL MODELO DE OPTIMIZACION	81
4. CAPÍTULO IV. VALIDACIÓN DEL MODELO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN PLAN DE GESTION	86
4.1 RESULTADOS MODELO DE OPTIMIZACIÓN ARTICULADOS AL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA	86
4.2. SISTEMAS DEFINIDOS PARA EL HOSPITAL UNIVERSITARIO.....	87
4.2.1. . Conocimientos técnicos y gestión del talento humano dentro de la gestión de residuos sólidos.....	87
4.2.2. Estructura organizacional y gestión administrativa para el soporte de la gestión de residuos solidos.....	93
4.3. PROCESOS ASOCIADOS A LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	94
4.3.1. Procesos en la planeación de la gestión de residuos sólidos.....	94
4.3.2. Procesos en el hacer de la gestión de residuos sólidos.....	98
4.3.3. Procesos en la verificación y actuar de la gestión de residuos sólidos	101

CONCLUSIONES.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

LISTA DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1.1. Aspectos principales entre Logística Inversa y Directa

Tabla 1.2. Razones para introducción de material en flujo inverso, según tipo y origen

Tabla 1.3. Sumario de los beneficios de la logística Inversa

Tabla 1.4. Resumen principales autores y modelos desarrollados a través del tiempo

CAPITULO II

Tabla 2.1. Inventario generadores residuos hospitalarios

Tabla 2.2. Qué se hace con los residuos hospitalarios

Tabla 2.3 Costos disposición de residuos hospitalarios

Tabla 2.4. Participación porcentual de residuos según clasificación y dependencia

Tabla 2.5. Porcentaje de residuos según clasificación de acuerdo al total

Tabla 2.6. Porcentaje de residuos por dependencia de acuerdo al total.

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Definición de los conjuntos a utilizar en el modelo propuesto

Tabla 3.2 Definición de los parámetros a utilizar en el modelo propuesto

Tabla 3.3. Definición de las variables a utilizar en el modelo propuesto

Tabla 3.4. Máximo número de kilos de residuos que una persona puede recolectar en un intervalo de tiempo

Tabla 3.5. Demanda de productos de residuo tipo k en los departamentos i del hospital

Tabla 3.6. Tiempo que t un vehículo v atender la recolección de los productos k expresado en horas

Tabla 3.7. Tiempo empleado para ir de departamento i al departamento j (logística directa) expresado en horas.

Tabla 3.8 Tiempo empleado para ir del departamento j al departamento i (logística inversa) expresados en horas

Tabla 3.9. Costos de reproceso y retorno de cada producto k al sistema en j en \$/ kilos

Tabla 3.10. Costos de tratamientos de residuos sólidos de acuerdo a la clasificación moreno (2012) expresados en \$/kilos

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1 Número de operarios por piso

Tabla 4.2. Abreviaturas a utilizar en tablas

- Tabla 4.3. Variable de decisión de salir de la departamento i al departamento j con la persona v a recolectar el residuo tipo k en el viaje f.**
- Tabla 4.4. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v – Urgencias**
- Tabla 4.5. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v – Consulta externa**
- Tabla 4.6. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v – Cirugía**
- Tabla 4.7. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v – Hospitalización**
- Tabla 4.8. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v – Medicina Crítica**
- Tabla 4.9. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v – Servicio de diagnóstico**
- Tabla 4.10. Cantidades de residuo recuperado**
- Tabla 4.11. Objetivos del modelo**
- Tabla 4.12. Clasificación de los residuos, color de recipientes y rótulos respectivos**

LISTA DE FIGURAS

ASPECTOS METODOLÓGICOS

Figura 1. Manejo de los residuos Sólidos hospitalarios

Figura 2. Municipios que realizan la disposición final de residuos sólidos en Relleno

Figura 3. Mapa de ubicación de unidades de atención

Figura 4. Sistemas de disposición final según generación de residuos por departamento

CAPITULO I

Figura 1.1. Flujos de Logística Tradicional e inversa

Figura 1.2. Flujos Inversos

Figura 1.3. Evolución de los objetivos de la logística

Figura 1.4. Flujos de logística inversa y tradicional

Figura 1.5. Logística Directa y Logística Inversa

Figura 1.6. Procesos en la Logística Inversa

Figura 1.7. Pirámide de las opciones de recuperación de los residuos sólidos

Figura 1.8. Escala de tiempo Logística Inversa – Modelos matemáticos

CAPITULO II

Figura 2.1. Importancia de implementar sistemas de logística inversa y factores claves

Figura 2.2. Clasificación de los Residuos Hospitalarios en Colombia

Figura 2.3. Enfermedades por mala gestión de residuos hospitalarios en Colombia

CAPITULO III

Figura 3.1. Esquematización logística inversa

Figura 3.2. Modelo Conceptual

CAPITULO IV

Figura 4.1 Subsistemas dentro de la gestión de residuos sólidos

Figura 4.2 Proceso asociado a la generación de residuos sólidos PHVA

LISTA DE GRÁFICOS

CAPITULO II

Gráfico 2.1. Proporción por tipo de residuo

Gráfico 2.2. Control de Indicador IDD

Gráfico 2.3. Control de Indicador IDI

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Instrumento (1) recolección de información Hospital

Anexo 2: Instrumento (2) recolección de información Hospital

Anexo 3: Modelo Optimización (código)

INTRODUCCION

El mundo ha sufrido los impactos que han producido cambios continuos como la globalización, la revolución tecnológica y la responsabilidad social en los países. Es por esto, que las *“organizaciones se han visto forzadas a implantar mecanismos para poder responder a una competencia mundial, y adaptarse a nuevas maneras de hacer las cosas”* (Medina, 1999), ya que las empresas deben estar comprometidas con la transparencia, la eficacia de los procedimientos, y así como también la calidad en el servicio. Este fenómeno en las compañías actuales, se ha ido realizando paulatinamente y se han adoptado nuevas prácticas para aumentar la competitividad, que está relacionado con el diseño de sus procesos; algo importante para resaltar es que estas organizaciones, han cambiado su forma de pensar, porque ya su preocupación no es sólo la producción y la calidad de lo que producen, sino que además deben conocer, el destino al final del ciclo de vida de sus productos, tanto, que les ha motivado a tomarlo en cuenta desde la etapa del diseño de los mismos.

Haciendo referencia al sector salud, debido a que aún no existe una comprensión total y clara de todos los riesgos que se generan como consecuencia del mal manejo de los desechos hospitalarios, con frecuencia se implementan prácticas inadecuadas de la gestión de los mismos.

El presente trabajo de investigación representa un estudio para la toma de decisiones en la generación de residuos sólidos hospitalarios, basado en un modelo de gestión integral, influenciado por la modelación matemática desde un esquema de programación lineal entera, con variables de decisión orientadas a la asignación de personas a manejo de residuos en departamentos de un hospital considerando los instantes de tiempos de trabajo.

La logística es definida como un conjunto de actividades funcionales (transporte, control de inventarios, etc.), que se repiten muchas veces a lo largo del canal de flujo, mediante las cuales la materia prima se convierte en productos terminados y se añade valor para el consumidor. Dado que las fuentes de materias primas, las fábricas y los puntos de venta normalmente no están ubicados en los mismos lugares y el canal de flujo representa una secuencia de pasos de manufactura, las actividades de logística se repiten muchas veces antes de que un producto llegue a su lugar de mercado. Ballou, (2004).

Contemporáneo a esta definición Bastos Boubeta, (2007) define la logística inversa como el proceso de planificar, implantar y controlar el flujo de productos desde el punto de consumo hasta el punto de origen de una forma eficiente, con el propósito de recuperar su valor o el de la propia devolución y Rosas et al., (2009) la definen como el proceso de proyectar, implementar y controlar un flujo de materia prima, inventario en proceso, productos terminados en información relacionada desde el punto de consumo hasta el punto de origen de una forma eficiente y los más económica posible, con el propósito de recuperar su valor o el de la propia devolución. Se encarga de la recuperación y reciclaje de envases, embalajes y residuos peligrosos, así como de los procesos de

retorno de excesos de inventario, devoluciones e inventarios estacionales. Incluso se adelanta el fin de vida del producto, con el objeto de darle salida en mercados con mayor rotación.

Consecuente con lo anterior, la presente investigación coincide con la necesidad de demostrar cuantitativamente el efecto sobre los costos de los hospitales, para que, al ser contrastados con los informes de salubridad, se tomen acciones correctivas para la eliminación de focos de contaminación.

El estudio presenta un estado del arte para la definición de conceptos como los anteriores, tendencias y herramientas a usar frente a un caso de estudio de gestión de residuos sólidos hospitalarios, especialmente cómo, desde la aplicación de los modelos matemáticos, se pueden establecer relaciones con la salud de las personas y la razón de ser de las empresas.

En el estado del arte se plantea una revisión de modelos de optimización, en donde se ilustra las tendencias en cuanto a los métodos de resolución de problemas de asignación y distribución haciendo uso de la programación lineal entera, programación estocástica, entre otros, los cuales dejan un camino de soporte en la presente investigación en cuanto al modelamiento y codificación de un esquema de optimización para el manejo de residuos sólidos.

El capítulo 2 presenta un diagnóstico de la situación frente a las normativas legales referentes al tratamiento de los residuos, haciendo también un análisis de los tipos de residuos que se pueden presentar tales como residuos no peligrosos (residuos ordinarios) y residuos peligrosos (residuos biológico y químicos) contrastados frente a la operación de la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena.

En el capítulo 3 se hace un análisis para el diseño del modelo de optimización haciendo uso de programación lineal entera mixta y que posteriormente se codifica bajo el lenguaje GAMS, para que por ultimo sea validado en el capítulo 4 con la gestión de la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena, logrando de esta manera establecer un plan de trabajo de cada operador frente a las tareas de recolección y disposición final del residuo considerando la posibilidad de poder retornar al proceso aquellos resididos no peligros, a lo largo de cadena de operaciones de reciclaje, tratamiento, almacenamiento, transporte y retorno las operaciones del hospital.

Finalmente, en las conclusiones se consolida información relacionada con los resultados de la validación del modelo y sobre algunos beneficios que se generaron a partir de ello; el modelo de optimización que se diseñó y propuso para el subproceso de la logística inversa en la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena, planteó 3 escenarios objetivos, donde se buscó la minimización de los costos por tratamientos, tiempos de transporte y la maximización de los productos a ser reintegrados al sistema, lo cual también propicia el aumento de los costos por reproceso o reintegro al sistema; es importante decir que la herramienta de optimización sirvió de base fundamental para la constitución del modelo de gestión de residuos sólidos de la Institución; se considera importante resaltar que la gestión administrativa de la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena tiene mucho impacto sobre los resultados de las cantidades de residuos

sólidos, por lo cual, el modelo desde el ciclo de gestión PHVA, diseña una estructura de control en cada paso del proceso.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Desde los principios de la humanidad, el desarrollo del medio ambiente ha sido esencial para la vida. En este sentido, las preocupaciones acerca del equilibrio entre la vida humana y el medio ambiente se remonta desde hace ya algunas décadas, debido al manejo de los desechos en el mundo que genera la actividad humana.

En 1972 se celebró en Estocolmo la *Primera Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano*, evento que convirtió al medio ambiente en un tema relevante a considerar a nivel internacional; en esta por primera vez se planteó que el medio ambiente debía ser una preocupación global y de importancia estratégica, dentro del modelo convencional de desarrollo económico de las naciones; como resultado y conclusiones de la conferencia, surgió la primera declaración de principios y plan de acción con recomendaciones para abordar el problema, constituyéndose así en el primer documento conocido como una “*legislación blanda*” para el control a nivel internacional del manejo de los desechos que impactan el medio ambiente (PNUMA, 2002).

El ser humano a través del tiempo y su evolución, ha venido generando desechos cada vez más complejos y de alguna forma asociados a un riesgo físico, químico o biológico, para las personas que se expongan a ellos. Abarcando esta problemática desde la perspectiva logística, el proceso de la logística vincula el diseño de estrategias y métodos que permitan a las organizaciones ser cada día más competitivas, adaptándose cada vez más rápido a los cambios que exige el entorno.

En la actualidad, la continua preocupación de los seres humanos por la preservación de la vida y su entorno, ha modificado la forma de pensar de estos al momento de llevar a cabo la adopción y uso de los productos que compra, ya que no solo le importa la calidad del mismo, sino también que va a pasar con ellos cuando termine su ciclo de vida. En este sentido, le surgen un sin número de preguntas acerca de la disposición final de los diferentes materiales, empaques o embalajes de los productos utilizados. Por causa de este cambio de mentalidad se afianza en la logística, la rama denominada “Logística Inversa”, la cual es definida como “*las actividades que involucran la administración, procesamiento, reducción y disposición de residuos o productos desde producción, residuos de embalaje (cajas, pallets, bidones, entre otros) y/o bienes usados por el cliente hasta el punto de origen, reproceso o destrucción*” (Dyckhoff, 2004). De esta manera la logística inversa sirve de apoyo para dar respuestas a las dudas del consumidor, generando satisfacción no solo al cliente final, si no contribuyendo a la sociedad mediante la protección al medio ambiente, que se ve tan agobiado por el desarrollo tecnológico de la actualidad.

Uno de los sectores que se ha visto obligado a implementar el proceso de logística inversa hace ya más de 20 años, es el sector salud, donde se evidencia la necesidad de implementar un proceso

adecuado para el manejo de los residuos que se generan debido las actividades que se desarrollan en ellos, develándose el hecho que un manejo inadecuado de los mismos, termina produciendo un impacto negativo en la salud de la comunidad y el medio ambiente, siendo los hospitales, las instituciones que más desechos de alto riesgo generan: Residuos infecciosos o de riesgo biológico, químicos, radioactivos, provenientes de clínicas y centros médicos, laboratorios, centros de investigación en salud, enfermerías y centros de diálisis .

En general, la problemática ligada al manejo de los residuos generados en los centros hospitalarios, ha sido motivo de preocupación a nivel global, por su significativo impacto, desde la generación y propagación de enfermedades, hasta los riesgos ambientales derivados de los métodos utilizados en su tratamiento y disposición final, y por ello, las organizaciones tanto mundiales, como nacionales, regionales y locales, se han preocupado por clasificar los desechos por sus contenidos y peligrosidad, asociado a las opciones para su manejo con técnicas específicas y su confinamiento en un lugar apropiado. Consecuentemente se puede afirmar que los hospitales, las unidades prestadoras de servicio en salud y los centros de investigación en salud, se convierten potencialmente en focos infecciosos para la humanidad, si no se hace una buena gestión en el manejo de los desechos que generan.

En este contexto, es evidente que los desechos sólidos hospitalarios y la forma en que se manipulan, figuran entre una de las principales preocupaciones de la comunidad mundial, así como de los entes y/o personas responsables de las instituciones prestadoras de servicios de salud, debido a la cantidad de daños que estos pueden ocasionar a la salud y al medio ambiente. Sin embargo, por mucho tiempo la humanidad le restó importancia a los problemas ambientales que el manejo de este tipo de desechos produce, creándose así, en muchos casos, un círculo de enfermedades derivadas del tratamiento inadecuado de los residuos hospitalarios, las cuales son generadas con mayor o menor grado en las diferentes etapas del manejo de estos desechos: Generación, Segregación, Desactivación, Almacenamiento, Recolección, Tratamiento, Transporte y Disposición Final (Ver Figura 1).

En este sentido, los problemas asociados a los residuos generados en centros hospitalarios, han sido motivo de preocupación a nivel global, ya que su espectro en términos de impacto es muy amplio, comprendiendo desde la potencial propagación de enfermedades hasta los riesgos ambientales derivados de los métodos empleados para su tratamiento y disposición final, y es por esto que las organizaciones tanto locales como mundiales se han tomado la tarea de clasificar los desechos por sus contenidos y peligrosidad, así como las opciones para su manejo con técnicas específicas y su confinamiento en un lugar determinado. De lo anterior se infiere que los hospitales, las unidades prestadoras de servicio en salud y los centros de investigación en salud, son un foco de peligro potencialmente infeccioso para las personas, si no se hace un adecuado manejo de los desechos que generan

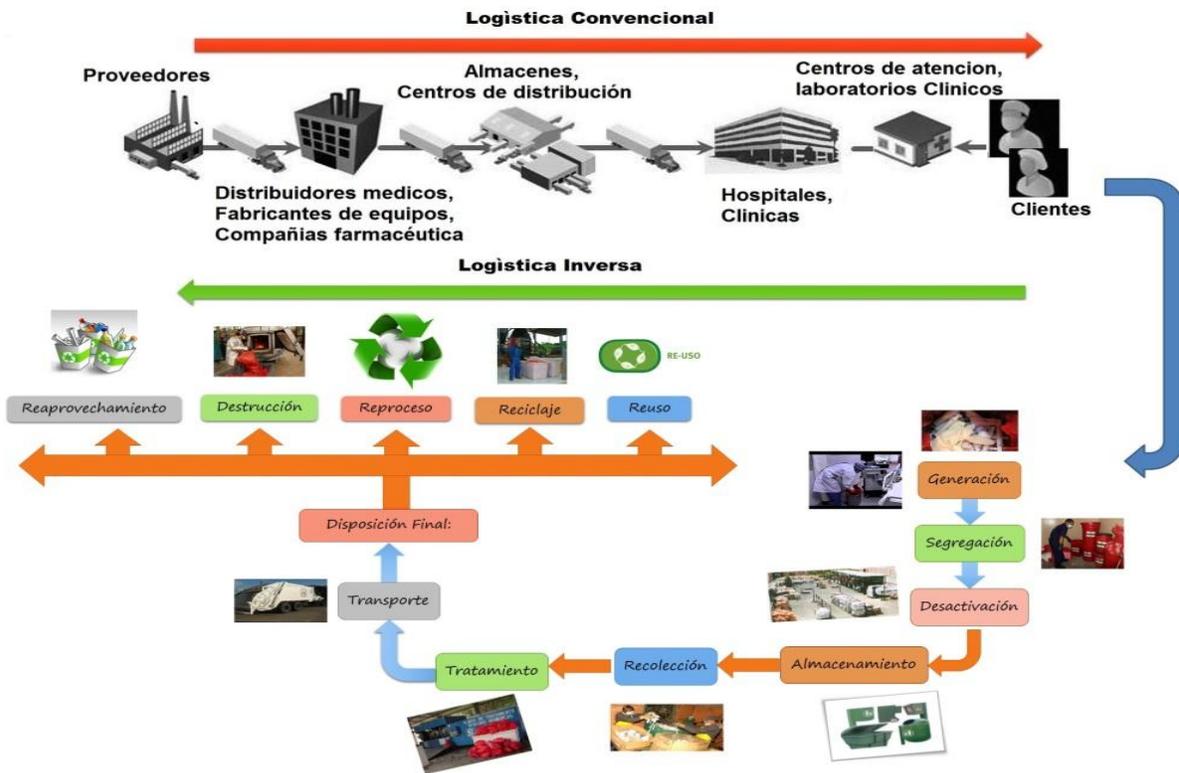


Figura 1. Manejo de los residuos Sólidos hospitalarios
Fuente: Elaboración propia

Los resultados de una utilización inadecuada de los desechos generados para fines hospitalarios pueden ser enormemente peligrosos para la comunidad. Un ejemplo común de estos son las jeringas, que según la Organización Mundial de la Salud, anualmente en el mundo se utilizan 16.000 millones de jeringas, pero que muchas de éstas no son desechadas de manera correcta lo que conlleva a un riesgo de contagio por los microorganismos que éstas puedan contener (OMS, 2011). Estimaciones de la OMS, igualmente indican que el 40% de los casos de hepatitis y el 12% de los casos de VIH en el mundo se deben a la exposición en el ámbito de trabajo. Este mismo organismo señala que el 80 por ciento de los desechos hospitalarios son materiales comunes, sin embargo el 20 por ciento puede ser tóxico o radioactivo (OMS, 2011).

Por casos como los mostrados anteriormente, se puede identificar cómo la problemática trasciende hasta involucrar aspectos sociales, económicos, políticos y ambientales, entre otros, lo que conlleva a que sea un factor clave para tener en consideración como una de las preocupaciones fundamentales en la actualidad.

Observando la problemática desde un contexto nacional, a pesar de que se tienen las herramientas adecuadas para lograr un correcto manejo de los residuos sólidos, existe un bajo cumplimiento frente a la puesta en marcha del plan de gestión de residuos hospitalarios y similares

por parte de hospitales, clínicas, laboratorios y demás establecimientos del sector de la salud, debido al desconocimiento y/o ignorancia de la normatividad, además de la falta de conocimiento técnico científico que permita la generación de modelos de gestión integral pertinentes para una apropiada trazabilidad por parte de los actores que intervienen en el manejo y generación de estos residuos en concordancia a lo establecido por las leyes colombianas, presentándose de esta forma dificultades para este tipo de actores, y por ende un problema de salud pública que le compete al Ministerio de la Protección Social, dado el manejo inadecuado de los desechos en el país, en donde más del 50% de los sitios de disposición final no cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la ley según estudios de la superintendencia de servicios públicos desarrollado en el año 2011.

Uno de los destinos más comunes que los residuos tiene en el país son los rellenos sanitarios (Ver Figura 2), los cuales son instalaciones diseñadas y operadas como una obra de saneamiento básico, que cuenta con elementos de control lo suficientemente seguros y cuyo éxito radica en la adecuada selección del sitio, en su diseño y, por supuesto, en su óptima operación y control (Pérez, 2008); el problema es que cuando estos van hacia estas instalaciones, la mayoría de las veces no es posible reaprovecharlos, un ejemplo muy claro es que en Colombia se generan por día aproximadamente cerca de 31 mil toneladas de residuos sólidos de los cuales un 85% que son aprovechables, están teniendo como destino los rellenos sanitarios (Ministerio de salud y medio ambiente, 2014). Esta gran cantidad de desechos hace recordar que en los hogares también puede haber una obtención de residuos sólidos hospitalarios, estos generados en el desarrollo de cualquier actividad cotidiana sin un manejo adecuado se convierten en un riesgo para la salud de la población, ocasionando la propagación de enfermedades, virus y/o contaminaciones ambientales. Estudios reportan que aproximadamente el 40% de los residuos recolectados presenta características infecciosas, pero debido a un manejo inadecuado de los desechos obtenidos se presentan una contaminación del 60% restante, generando un aumento de los costos de tratamiento y un incremento en los riesgos sanitarios y ambientales (E.S.E Ospina. C. E, 2014).

En respuesta a la problemática de los residuos hospitalarios, el gobierno determino en la agenda interministerial la ejecución de un Programa Nacional para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios, haciendo parte del Plan Nacional Ambiental 2000 – 2010 (Colombiana de Salud, 2010), en el cual se establecen claramente las competencias de las autoridades sanitarias y ambientales, quienes deben desarrollar un trabajo articulado en lo que se refiere a las acciones de inspección, vigilancia y control, en la actualidad el plan se ha desarrollado e implementando para cumplir con las expectativas referentes al control de los residuos.

A nivel nacional se encuentran noticias alarmantes asociadas al tema, donde se han hecho investigaciones acerca de la problemática, como el grupo editorial El Heraldó a través del cual se hicieron indagaciones y observaciones en campo, las cuales lograron demostrar que en las costas del departamento del atlántico se presentan algunas irregularidad frente al manejo de los desechos hospitalarios. En playas ampliamente distanciadas de este departamento se han visto jeringas,

bolsas de transfusiones sanguíneas y medicas de toda clase, además para dejar escapar dudas del grave problema que se presenta, se encontraron desechos hospitalarios incrustados en la arena en donde se pudo evidenciar una bolsa plástica que tenía como nombre “Diálisis” (Bernal Marín, I, 2011, Junio 09). Esta situación se presentó en las ruinas de las obras de canalización del platanal así como también en las playas grises de punta astilleros donde dichas bolsas médicas estaban acompañadas de diferentes elementos que son usados en actividades propias de los centros hospitalarios o de salud

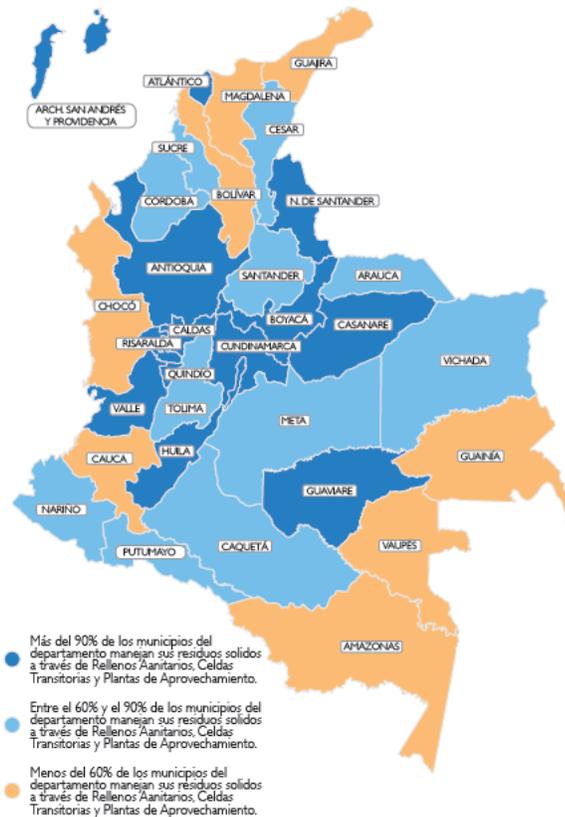


Figura 2. Municipios que realizan la disposición final de residuos sólidos en Relleno
Fuente: Superintendencia de servicios públicos, 2011

Por otra parte en la ciudad de Cali la tercera parte de los desechos hospitalarios son incinerados, mientras que la mayor parte es sometida a esterilización, la cual con base en un estudio biológico realizado por la Universidad del valle, la fundación Biodiversidad realizo una investigación sobre el manejo de los desechos quirúrgicos de la ciudad en donde finalmente manifestó que este proceso no se está aplicando de manera correcta. Uno de los mayores riesgos sanitarios para esta ciudad lo constituye el efecto contaminante por la inadecuada disposición de 1.800 toneladas diarias de residuos que se producen, entre las cuales se incluyen los desechos hospitalarios que pueden ser el 5% del total, es decir, aproximadamente 90 ton/diarias. Este volumen de basuras genera en promedio 1.080.000 litros de lixiviados, es decir, líquidos residuales generados por la descomposición biológica de los residuos, que corren por el canal CVC hacia el rio cauca donde está ubicada la bocatoma de puerto Mallarino, de donde toma el agua la planta que abastece el

75% de la población caleña (Ministerio medio ambiente, 2014). Lo anterior manifiesta que la comunidad toma agua del río cauca donde desemboca lixiviados producidos en el basurero de navarro justo por donde pasa el canal CVC.

En un contexto más específico, en la ciudad de Cartagena de Indias D.T.H y C, que posee aproximadamente 709 km² de área, el sector de las entidades prestadoras de servicio de salud para el año 2012, se veía representado por 74 Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud, 46 públicas de primer nivel (Puestos y centros de Salud), 28 de segundo nivel (Clínicas públicas y privadas), y 4 de tercer Nivel (Hospital Universitario, Clínica El Bosque (Antes San Juan de Dios), Hospital Naval, Hospital de Boca grande) (Beltrán Reales & Suárez Esquivia, 2010), los cuales atienden aproximadamente a 990.179 habitantes según las proyecciones realizadas por el DANE (Ver Figura 3). En el caso del Distrito de Cartagena de Indias los hospitales, clínicas, laboratorios, corporaciones, municipios y otras instituciones prestadoras del servicio de salud, tienen como obligación el preservar la salud pública y el medio ambiente, y por ende tienen responsabilidades con relación a los residuos que ellos generan o manejan; estas instituciones deben asegurarse que las actividades de manejo, tratamiento y disposición final de los residuos generados no tengan consecuencias adversas a la salud humana y al medio ambiente.



Figura 3. Mapa de ubicación de unidades de atención
Fuente: Beltrán Reales & Suárez Esquivia, 2010

En la actualidad los habitantes de la ciudad de Cartagena de Indias, están generando aproximadamente 285.182 ton/año de residuos sólidos entre ordinarios, hospitalarios y especiales. La producción per cápita de los residuos residenciales es de 0.75 kg/hab/día, dicha producción, es

alta respecto a ciudades como Bogotá, Medellín y Cali con 0.70, 0.43 y 0.59 kg/hab/día respectivamente. (Quiñones Bolaños, Mouthon Bello, & Eljaiek Urzola, 2011). Hoy en día en la ciudad todavía no existe separación en la fuente, es decir, todos los residuos tanto orgánicos como inorgánicos cuando son recibidos se encuentran mezclados en bolsas y son recolectados por dos diferentes empresas que transportan en camiones compactadores más de 23 765 ton por mes hacia el relleno sanitario Loma de los Cocos, en el cual el 100% de los residuos ordinarios son depositados sin ningún tipo de tratamiento o aprovechamiento (Quiñones et al., 2011). En un segundo relleno denominado La Paz se disponen los residuos especiales (hospitalarios y los peligrosos provenientes de la industria) (Ver Figura 4).

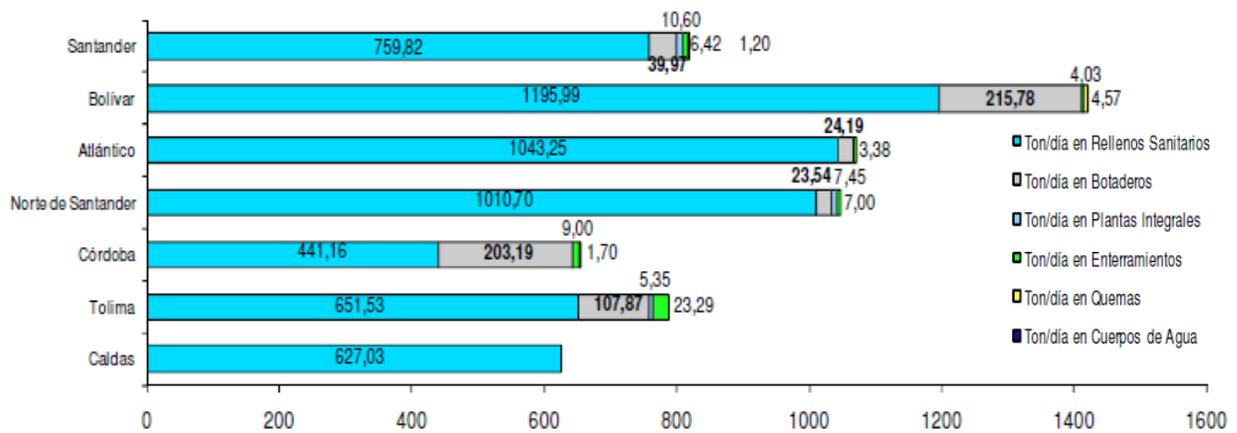


Figura 4. Sistemas de disposición final según generación de residuos por departamento
Fuente: Superintendencia de servicios públicos, 2009

En la ciudad, las instituciones prestadoras de servicios deberían asegurar que las diferentes actividades de manejo de los residuos generados, tengan una buena disposición que conlleve a anular consecuencias adversas a la salud humana y al medio ambiente, sin embargo, lo que se refleja en la realidad es todo lo contrario.

Medios de comunicaciones han servido como fuente para detectar sucesos irregulares relacionados con el tema. En la ciudad de Cartagena en 2010, en cercanías a un reconocido colegio de la ciudad, se pudieron identificar bolsas con contenidos de residuos hospitalarios, en donde los desechos estaban representados en jeringas de sangre y guantes quirúrgicos, que según testigos del evento, afirman que no es la primera vez que se hallan elementos de este tipo en el mismo sector, siendo un peligro inminente para niños y jóvenes pertenecientes al colegio y demás que por naturaleza son curiosos y no miden el peligro; el departamento administrativo distrital de salud (DADIS), reconoce toda la problemática pues a ellos ha llegado información de las diferentes comunidades afectadas y ha enviado equipos para inspeccionar la situación, y han encontrado cada vez más casos similares, uno de ellos fue el hallazgo de desechos totalmente dispersos en los

andenes de la avenida del lago, (diagonal al puente de las palmas) en la cual se observaron bolsas de suero y jeringas usadas (DADIS, 2010)

En el departamento de Bolívar en el año 2012 se halló una gran cantidad de desechos hospitalarios que contenían más de 500 agujas desechables, algodones, elementos quirúrgicos, entre otros. De igual forma, en la vía que conduce desde San Jacinto del Cauca a Nechi, Antioquia, algunos inspectores delgados por el departamento administrativo distrital de salud, DADIS, comprobaron que trabajadores de la ESE (hospital local de Cartagena), prendían fuego a los desechos hospitalarios en zonas inadecuadas que representaban peligro para la comunidad, lo que demuestra ausencia en la correcta gestión de los residuos generados por este hospital (DADIS, 2012).

Por todo lo anterior se puede concluir que cada día se hace más evidente la necesidad de implementar procesos de logística inversa en los hospitales de la ciudad y por ello el estudio que se presenta, realiza un diagnóstico sobre la disposición final de los residuos hospitalarios en Cartagena, diseña un modelo de gestión integral de logística inversa para el manejo adecuado de dichos desechos, basado en un modelo matemático, generando un caso de estudio en una institución de salud de la ciudad.

De esta manera el estudio se motivó por la pregunta: ***Cómo gestionar los recursos dentro de un esquema de logística inversa para el manejo de residuos sólidos en un centro hospitalario, integrando consideraciones de sostenibilidad y optimización?***

2. JUSTIFICACIÓN

Debido a que últimamente se ha venido observando, cómo las empresas de todo el mundo han tenido que adaptarse a mercados que son cada vez más exigentes y competitivos por causa de los cambios que trae la globalización y las nuevas tecnologías de información, esto conduce a que las organizaciones deban atender los requerimientos de los clientes la manera más rápida y efectiva posible. Es así, como cualquier empresa moderna debe tomar cada vez más en serio una gestión integral de su logística, combinada junto con la responsabilidad social que le compete para generar así una ventaja competitiva, y a su vez valor agregado a los servicios que ofrece

Haciendo referencia al sector salud, debido a que aún no existe una comprensión total y clara de todos los riesgos que se generan como consecuencia de los desechos hospitalarios, a menudo se implementan prácticas inadecuadas de manejo de los mismos. Lee et al., 2004; Silva et al, 2005; Blenkarn, 2006; Mostafa et al, 2010.; Tsakona et al., 2007, han realizado una serie de estudios en diversos contextos, para evaluar las prácticas de gestión de residuos sanitarios, los cuales han indicado que la planificación e implementación de prácticas de gestión de los residuos reducen los riesgos sanitarios y medioambientales.

En la actualidad, las instituciones prestadoras de servicio de salud (hospitales, clínicas, centros de salud, laboratorios clínicos y consultorios médicos, etc.), están obligados a velar por el buen manejo de los residuos peligrosos (infecciosos o de riesgo biológico, residuos químicos, etc.) que generan en su actividad, hasta su tratamiento y disposición final, por lo que se hace necesario establecer medidas que tiendan a prevenir la propagación de infecciones, y la contaminación ambiental. Por ello, es importante el manejo de los desechos hospitalarios, para minimizar las implicaciones en el medio ambiente y evitar en mayor medida riesgos potenciales que se derivan de la generación y disposición final de estos.

En Colombia, el manejo de los residuos hospitalarios y similares ha venido teniendo un nivel fuerte de organización y legislación, la cual está sujeta a un marco normativo que propende por la protección a la integridad del ser humano y del medio ambiente; sin embargo, se encuentran entes, personas y grupos que por falta de conciencia, desconocimiento de los procesos o por inexperiencia, hacen un mal manejo de estos desechos, generándose una serie de riesgos que van desde lo individual, hasta lo colectivo.

Resaltar la trazabilidad de los desechos sólidos hospitalarios, representa tomar un conjunto de acciones, medidas, y procedimientos técnicos, que permiten identificar y rastrear la cadena de prestación del servicio desde el origen, pasando por las distintas etapas del proceso hasta su disposición final, por consiguiente, facilita el control de la manipulación de estos residuos. Trabajar en este proyecto de investigación conducirá a indagar y explorar aún más a través del tiempo, la literatura, la experiencia y la práctica, la ruta que siguen los desechos hospitalarios desde la generación hasta su disposición final, lo que llevaría a evidenciar los impactos económicos y ambientales, asociados a este flujo, identificando de esta forma, la problemática relacionada que realmente será la que direcciona la reestructuración de los procesos y prácticas, para el beneficio a la comunidad al propiciar un mejor ambiente y disminución del nivel de riesgo que coloca en peligro la salud del ser humano.

Formular un plan de gestión integral de logística inversa para el manejo de residuos sólidos hospitalarios significaría pensar en una mejora continua en los procesos de cada una de las etapas que abarcan las actividades que la integran, tomando en cuenta la adopción de medidas que permitan prevenir y controlar los impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana, causados por un manejo inadecuado de los residuos generados por el desarrollo de las funciones propias de una entidad prestadora de servicios de salud; en definitiva la implementación adecuada de esta gestión, traerá beneficios tanto sociales como económicos y ambientales, al igual que reducirá los costos de recolección y transporte de los mismos.

Con la información obtenida a través de la revisión a través del tiempo que se hizo de todo lo relacionado con la logística y con el conocimiento directo del escenario real de las Instituciones prestadoras de servicio de salud, se puede afirmar que el modelado matemático, se constituye en

una apuesta para abordar el tema con la visión de mejorar la logística inversa de los desechos sólidos hospitalarios; se considera importante intervenir el contexto de las realidades encontradas, desde la óptica de un modelo integral de gestión el cual contribuiría a reducir riesgos asociados, al adoptarse flujos adecuados en el manejo de los residuos, así como también garantías en el cumplimiento de la normatividad vigente, sugiriendo programas de concientización y capacitación de los actores del proceso.

Por ello, este trabajo aportará significativamente desarrollo y actualización del conocimiento de la temática y además, permitirá mayor comprensión de la misma, tomando en cuenta que es poco tratado, sobre todo a nivel local; al mismo tiempo se constituye en antecedente para investigaciones futuras. El proyecto a realizar también servirá de apoyo para las entidades de salud que necesiten y estén dispuestas a profundizar en el manejo de la logística inversa de los residuos y la normatividad frente a estos.

3. OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo para la gestión integral de logística inversa en el manejo de residuos sólidos hospitalario, con un enfoque de programación lineal entera multicriterio, que permita la creación de los lineamientos básicos de un modelo de gestión de residuos sólidos en centros hospitalarios.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Realizar un estado del arte con las principales contribuciones en materia de logística inversa, identificando los conceptos, herramientas y aportes dentro de este campo para el establecimiento de una oportunidad de éxito dentro del manejo y optimización de la gestión de residuos sólidos.
- ✓ Diagnosticar el sistema de gestión de residuos sólidos de un centro hospitalario representativo del sector salud (Hospital Universitario del Caribe), para la identificación de los procesos de tratamiento de residuos sólidos, como caso de estudio, para establecer variables de flujos y parámetros asociados a los componentes ambiental y económico.
- ✓ Diseñar un modelo matemático multicriterio para la optimización del proceso de recolección y disposición de residuos sólidos, considerando los parámetros asociados a los componentes ambientales y económico.
- ✓ Validar los resultados del modelo de optimización multicriterio, para el establecimiento de un modelo de gestión de residuos sólidos, en el que se involucre los componentes económico y ambiental

4. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto de un sistema de logística inversa de los desechos sólidos generados en hospitales, clínicas y laboratorios, requiere definir una metodología de trabajo que conduzca al cumplimiento de los objetivos planteados. Por la naturaleza del mismo, se utilizarán investigación descriptiva y estudios de casos. El objetivo de la primera es identificar y presentar las características de la logística inversa en el sector hospitalario de la ciudad de Cartagena, tomando en cuenta aspectos que se relacionan con las instituciones prestadoras del servicio de salud, los residuos que éstas generan, los procesos y la legislación que rige su gestión.

Inicialmente se partirá de una investigación exploratoria centrada en recabar antecedentes generales, ideas y conocimientos, sobre cómo se maneja el proceso de la logística inversa de desechos sólidos en hospitales y clínicas de la ciudad, con el fin de identificar los aspectos fundamentales de una problemática determinada y definir procedimientos adecuados que permitan una investigación posterior.

Después de recopilada y registrada la información necesaria por medio de un estudio exploratorio, se realizará una investigación descriptiva para identificar y presentar las características específicas de la logística inversa de los desechos sólidos hospitalarios en uno de los hospitales más representativos del sector en la ciudad de Cartagena, Hospital Universitario del Caribe, considerando aspectos relacionados al cumplimiento de la normatividad vigente para este tipo de procesos en la legislación colombiana, para conocer y describir detalladamente los actores que están involucrados desde la generación del residuo, hasta su disposición final, y así se obtendrán datos e información que servirán de estudio acerca del tema, para el posterior análisis y diseño del proyecto de investigación. Será apropiado utilizar este tipo en la investigación, debido a que los resultados que se busca obtener están sometidos a la determinación de elementos causales y de relacionamiento, que permitirán el uso de la modelación matemática.

Una vez recabada toda la información necesaria e identificados los resultados potencialmente a mejorar, se realizará una investigación analítica concluyente con el fin de construir el modelo matemático de optimización. Será conveniente llegar a esta fase, porque permitirá determinar las variables críticas de estudio a controlar, para diseñar estrategias que permitirán a los actores, mejores resultados.

Para la recopilación de información, se utilizarán fuentes primaria y secundaria; entre las primarias se utilizará en primera instancia la observación directa en la generadora de residuos; luego se diseña un completo instrumento (Ver anexo 1 y 2), el cual se aplicará a la (s) persona (s) responsables de coordinación de la gestión de los residuos sólidos en la Institución; y por último, se validará esta información, mediante entrevistas con algunos de los responsables de la gestión y mediante informes, registros y demás documentación que facilite el hospital; entre las fuentes de

información secundaria se cuenta la consulta bibliográfica que se realizará para soporte y apoyo a los temas relacionados con la investigación.

La población objeto de estudio estará conformada por hospitales y clínicas de la Ciudad de Cartagena, sin embargo, se tomó una Institución representativa de este grupo, Hospital Universitario del Caribe, como se mencionó en el primer párrafo, por considerarla la más completa en cuanto a todos los servicios que presta y a su misma estructuración administrativa; así mismo, después de haber realizado un sondeo en el sector, fue una de las pocas que estuvo dispuesta a abrir las puertas y facilitar la información requerida; sobre ésta, se aplicará toda la metodología planteada con el fin de recopilar los datos que se necesitan.

Para la construcción, solución y validación del modelo que se propone como base al diseño del modelo de gestión integral para el manejo de desechos hospitalarios, bajo el enfoque de logística inversa, se seguirán las siguientes etapas:

Realizar un estado del arte con las principales contribuciones en materia de logística inversa:

Se realizará un rastreo en varias bases de datos, para preparar el estado del arte con respecto a las contribuciones en materia de logística inversa, identificando los conceptos, herramientas y aportes dentro de este campo, para el establecimiento de una oportunidad de éxito dentro del manejo y optimización de la gestión de residuos sólidos.

Diagnosticar el sistema de gestión de residuos sólidos de un centro hospitalario representativo del sector salud (Hospital Universitario del Caribe):

Se realizará un diagnóstico para la identificación de los procesos de tratamiento de los residuos sólidos hospitalarios, como caso de estudio, para establecer variables de flujos y parámetros asociados a los componentes ambiental y económico.

Diseñar un modelo matemático multicriterio para la optimización del proceso de recolección y disposición de residuos sólidos:

Se diseñará un modelo matemático, con un enfoque de programación lineal entera multicriterio, para permitir la creación de los lineamientos básicos de un modelo de gestión de residuos sólidos en centros hospitalarios, considerando los parámetros asociados a los componentes ambiental y económico y combinando el proceso con el método del ruteo.

Validación del modelo: Se validarán los resultados del modelo de optimización multicriterio para el establecimiento de un modelo de gestión de residuos sólidos donde se involucre los componentes ambiental y económico.

1. CAPÍTULO I

ESTADO DEL ARTE LOGÍSTICA INVERSA Y MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA LA GESTIÓN DE CADENA DE SUMINISTRO

Para la elaboración del estado del arte del presente proyecto de investigación, se hizo una revisión de múltiple bibliografía, para lo cual se consultaron diferentes bases de datos bibliográficas (Scienedirect, JSTOR, EBSCOhost Research Databases, SciELO y Dialnet). Se realizó un proceso en el que se encontraron registros referentes a los conceptos de Cadena de suministro, logística, logística inversa, modelos matemáticos, clasificación, herramientas y futuras contribuciones. A partir de dichas fuentes se revisaron los estudios y trabajos de los que se obtuvo información específica, con la que se elaboró un cuadro resumen que contiene un representativo número de los autores que abordaron la temática y las respectivas contribuciones, especialmente lo relacionado con la modelación matemática, que cada uno de ellos hizo a lo largo del tiempo.

1.1.CONCEPTOS Y GENERALIDADES

La gestión logística en las empresas, por tradición se ha visto identificada con el análisis, planificación, Operacionalización y control del flujo físico de los productos partiendo del productor hasta el consumidor final y del flujo de información relacionada (Bowersox & Closs, 1996; Ballou R, 1996; Stern et al., 1999). Alineado a la “teoría de los flujos” (Vaile et al., 1952), desde la academia se han interpretado de manera unidireccional, los sistemas logísticos: el movimiento físico de los productos, “hacia el consumidor final”. Pero, las empresas actualmente viven otra realidad, que muestra que la existencia de estos flujos de productos pero en sentido contrario (“Aguas arriba”) a la cadena de valor, van en aumento, y esto precisamente es lo que ha generado la “logística inversa” (Ver figura 1.1). El manejo eficiente y efectivo de estos flujos inversos, se convierte en una importante y poderosa arma competitiva y así mismo, se convierte en una puerta abierta a nuevas oportunidades de mercado. Sin embargo, a pesar de esto, el tema de logística inversa aún no se le ha dado la importancia que se merece.

De manera general, cuando se hace referencia al concepto de logística en la cadena de suministro de una empresa, se puede afirmar que existen diferentes tipos de acuerdo a las etapas del proceso para la satisfacción de los requerimientos de los clientes, es así, como se reconocen: la logística de abastecimiento, la logística de producción, la logística de distribución, la logística inversa y la logística verde (Chopra, 2008). El Consejo de Administradores Logísticos (Council of Logistics Management – CLM, 1985) definió la logística como “Una parte del proceso de la cadena de suministros que planea, implementa y controla, el eficiente y efectivo flujo y almacenamiento de bienes, servicios e información relacionada del punto de origen al punto de consumo, con el propósito de satisfacer los requerimientos del cliente”, concepto que fue mejorado por ellos

mismos en el 2003, al incluir el concepto de logística inversa, como una opción para considerar el flujo inverso de materiales.

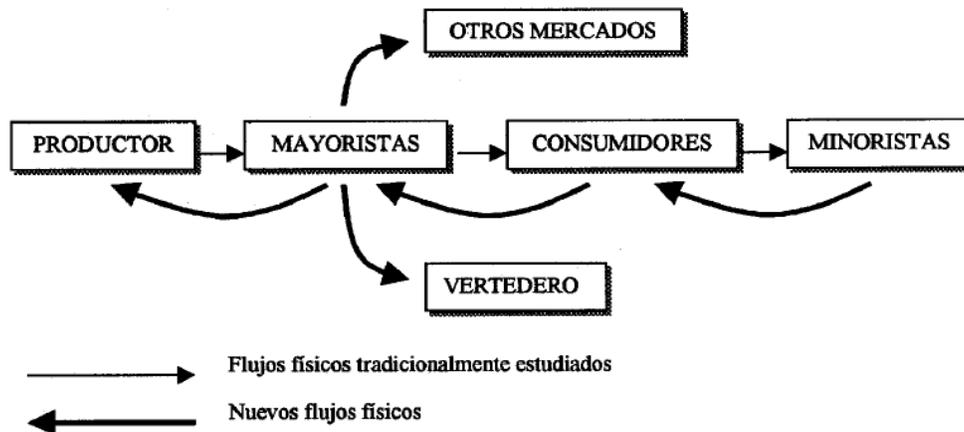


Figura 1.1. Flujos de Logística Tradicional e inversa

Fuente: González BJ, 2002

La nueva tendencia sobre logística inversa, se ha venido generando en los últimos tiempos y se puede decir que tiene entre sus orientaciones la protección del medio ambiente a través de la gestión adecuada de residuos o excedentes de productos generados en los procesos productivos o prestación de servicios, en las cadenas de suministro de los diferentes sectores empresariales, dentro de los cuales, se encuentra el sector salud. El Council of Logistics Management (CLM)¹, la definió formalmente en 1992 como: "...término comúnmente usado para referirse al rol de la logística en el reciclaje, disposición de desperdicios y el manejo de materiales peligrosos; y una perspectiva más amplia que incluye todo lo relacionado con las actividades logísticas llevadas a cabo en la reducción de entrada, reciclaje, sustitución y re-uso de materiales y su disposición final." Posteriormente Rogers & Tibben-Lembke (1999), amplían el concepto, y la describen como: "El proceso de planear, implementar y controlar eficientemente y el costo eficaz de los flujos de materias primas, inventarios en proceso, bienes terminados e información relacionada desde el punto de consumo al punto de origen con el propósito de recuperar el valor primario o disponer adecuadamente de ellos", mientras que el grupo Europeo de Logística Inversa (RevLog, 1998), sugirió un concepto más amplio, al considerar también que una parte no necesariamente regresa al mismo punto de donde salió, sino a cualquier punto de la cadena y en cualquier momento del proceso, así como desde cualquier punto se puede iniciar un proceso de logística inversa.

Por otra parte, Brito & Dekker (2002), representaron una variedad de flujos inversos al analizar lo planteado por varios autores de manera empírica (ver figura 1.2). De la figura se infiere que existen ciertos flujos que permiten una mayor recuperación de valor.

¹ La organización cambio de nombre a partir de Enero del 2005 a *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP), Loc Cit: <http://www.clm-dvrt.org>

En últimas, una concepción más moderna de logística inversa es la planteada por Cabeza, D. (2013), en la que resalta el conjunto de actividades logísticas de recogida, desmontaje y desmembramiento de productos ya usados o sus componentes, así como de materiales de distinto tipo y naturaleza con el objeto de maximizar el aprovechamiento de su valor, en sentido amplio de su uso sostenible y, en último caso, su destrucción.

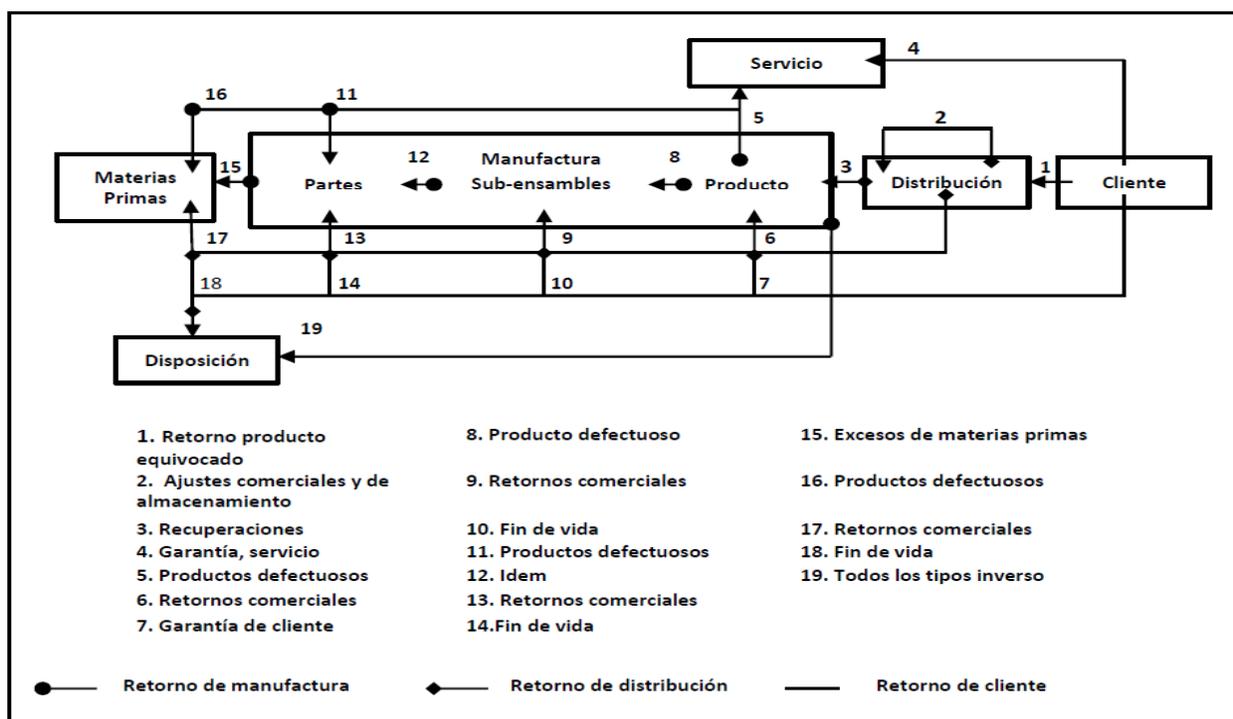


Figura 1.2. Flujos Inversos

Fuente: Brito & Dekker, 2002

Dentro de las empresas, la Logística Inversa ha tenido una connotación cada vez más relevante, dado que se han puesto los ojos en este proceso debido a los valores ocultos que se manejan y que afectan los resultados finales de las compañías; la gestión logística de los flujos inversos puede ser una ventaja competitiva, dado que al minimizar este proceso permite tener mejoras en toda la cadena de suministros (Pardo, J. 2014).

1.2. OBJETIVOS DE LA LOGÍSTICA INVERSA

La logística inversa, persigue un conjunto de objetivos, que pueden ser diferentes de acuerdo a las necesidades de las empresas, al sector, a la normatividad y los recursos disponibles (Gómez, R et al, 2014).

Es importante considerar que el diseño e implementación de los sistemas de logística inversa en general, dependen de los objetivos que establezcan las empresas y los actores asociados, los cuales marcan lineamientos y metas a alcanzar mediante el desarrollo eficiente y efectivo de los procesos de recuperación de los productos y materiales (Gómez, R et al, 2014); esta implementación ha crecido desde los ochenta y comenzó por la necesidad que había de devolver los productos defectuosos a las fábricas; el proceso se generalizó y luego evolucionó a nivel mundial, principalmente en Europa, porque se tomó en consideración el factor medio ambiente; en los noventa, las empresas americanas descubrieron los beneficios económicos que se generarían por la implementación; la escasez y el encarecimiento de materias primas presionaron a las empresas al punto que les llevó al fortalecimiento de los procesos de logística inversa y después se convierte en pilar estratégico para las mismas (ver Figura 1.3) (Alvarado A.M., et al., 2008; Monroy & Ahumada, 2006).

Vale entonces destacar de manera resumida los objetivos generales de la logística inversa de acuerdo a algunos autores:

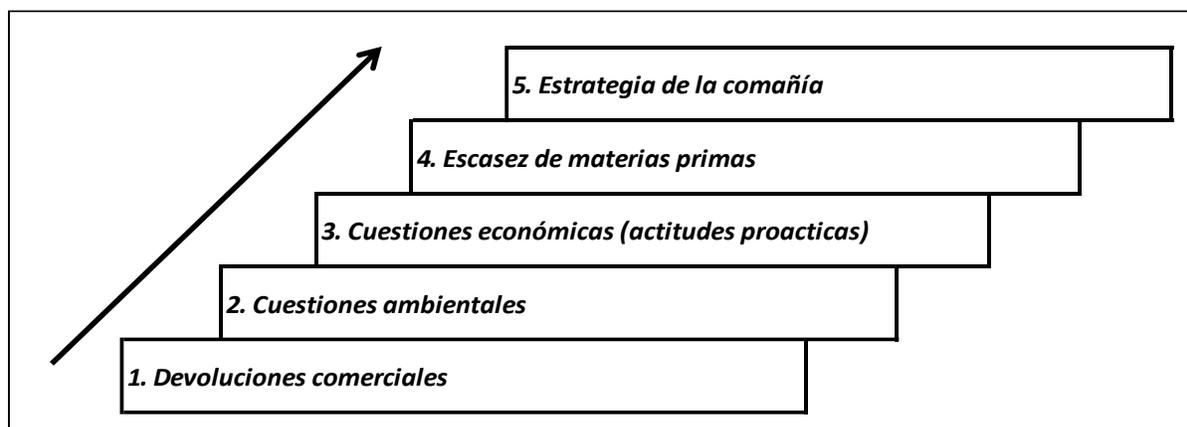


Figura 1.3. Evolución de los objetivos de la logística

Fuente: Alvarado A, et al., 2008

- ✓ Planear, ejecutar y controlar eficientemente el flujo de materiales, productos, información y recursos financieros, desde el lugar de origen hasta el consumo, con el fin de maximizar la recuperación del producto y minimizar los impactos en el medio ambiente, generando valor y reduciendo costos (Banomyong, R et al., 2008; Gómez R., 2010).
- ✓ Recuperar y gestionar adecuadamente los residuos, para facilitar su posible reintroducción en la cadena de suministro, obteniendo un valor agregado y/o consiguiendo una adecuada eliminación del mismo (Banomyong, R, et al., 2008).
- ✓ Reducir el impacto ambiental y mejorar el aprovechamiento de los recursos utilizado en los productos gestionados en los sistemas logísticos en la cadena de suministro (Vellojín, L, et al., 2006).

- ✓ Mejorar la productividad y eficiencia en la empresa y la cadena de suministro, a través de un sistema de logística inversa, para una adecuada gestión de productos defectuosos, retorno de exceso de inventario, devoluciones, productos obsoletos e inventarios (Vellojín, L, et al., 2006).
- ✓ Alinear y coordinar los procesos de la logística inversa con la logística tradicional y la cadena de suministro, utilizando Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) que permitan mejorar las relaciones entre los actores, minimizar costos de operación y mejorar el aprovechamiento de las materias primas y productos disponibles en el medio (Greeff & Ghoshal, 2004).
- ✓ Minimizar la cantidad de productos a recuperar en la cadena de suministro a través de la implementación de las herramientas propias de los sistemas de control de calidad de procesos, negociación con otros actores de la cadena de suministro como responsabilidad de los retornos de productos, fechas de vencimiento de garantías o recuperación de los productos (Richey R, et al., 2005)
- ✓ Identificar, diseñar, implementar y mejorar procesos para los productos gestionados en la logística inversa, con el fin de permitir su reparación para el reúso, recuperación, reciclaje o eliminación, y lograr así minimizar los impactos ambientales y maximizar los beneficios económicos (Greeff & Ghoshal, 2004).

1.3. LOGÍSTICA INVERSA Y DIRECTA

Consecuentes con los conceptos de logística tradicional e inversa expuestos y analizados hasta ahora, es importante hacer un paralelo entre ambas, mostrando las diferencias más notables entre las opciones que ofrecen, con varios caminos o flujos diferentes, frente al único que posee la logística directa, el cual tiene su origen en el proveedor y termina en el cliente final, pasando por los varios eslabones de la cadena de suministro (Ver tabla 1.1). De otra parte, cabe anotar que la logística inversa hoy por hoy está compuesta por un conjunto de procesos que tienen como finalidad facilitar el cumplimiento de los objetivos, utilizando adecuadamente los recursos de la empresa y coordinando a los actores involucrados. Para Dekker et al., (2014), dichos procesos suelen estar referenciados a: Recolección, Inspección-Selección-Clasificación, Almacenamiento, Transporte y Transformación o Tratamiento de los Productos Recuperados (Ver figura 1.4).

La diferenciación fundamental entre logística directa e inversa en numerosos sectores de actividad económica está en la demanda. Existe una común afirmación: “Nadie planifica las mermas y los rechazos”, la cual en muchos casos es verdad contundentemente. Por ejemplo, las plantas petroquímicas de fabricación de resina plástica, sólo pueden gestionar sus residuos y mermas sobre la base de una serie cronológica histórica, pero no pueden predecir exactamente qué cantidad de productos no cumplen con los requerimientos de calidad y la cantidad de mermas del proceso en un período determinado.

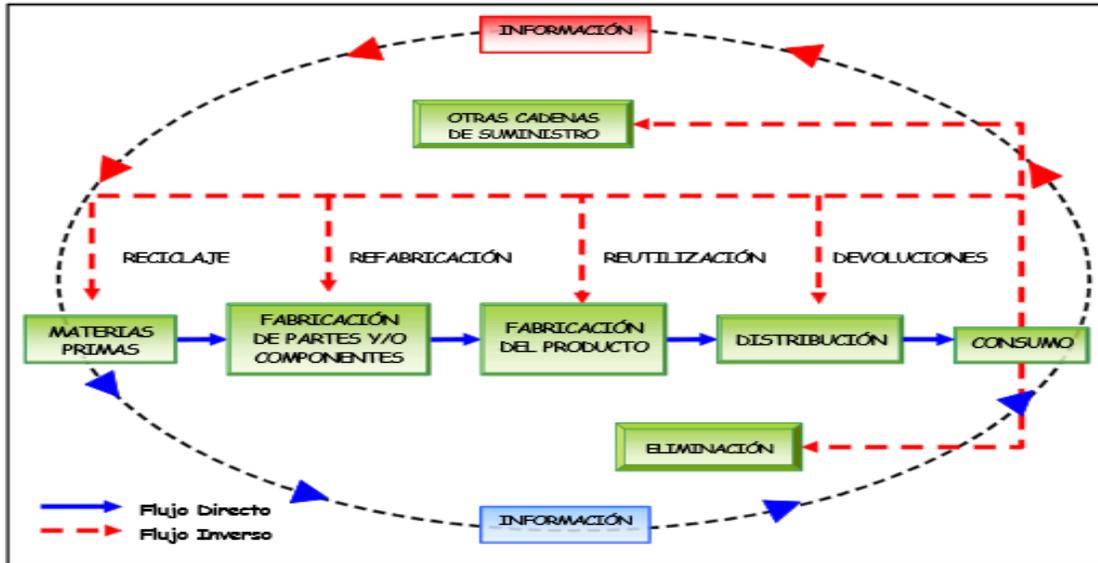


Figura 1.4. Flujos de logística inversa y tradicional

Fuente: Rubio S., 2003, Citado por Gómez, 2010

Tabla 1.1. Aspectos principales entre Logística Inversa y Directa

<i>Paralelo entre Logística Directa y Logística Inversa</i>		
<i>Aspecto</i>	<i>Logística Inversa</i>	<i>Logística Directa</i>
Estimación de demanda	Mas compleja y mucha incertidumbre	Relativamente cierta
Transporte	Generalmente de muchos a uno	Generalmente de uno a muchos
Calidad del producto	No uniforme	Uniforme
Envases del producto	No uniforme	Uniforme
Precio	En función de muchos factores	Relativamente uniforme
Rapidez de entrega	Poca importancia	Reconocida importancia
Costos	Menos visibles y no siempre son contabilizados	Definidos y monitorizados por sistemas de contabilidad
Gestión de inventarios	Compleja	Relativamente sencilla
Ciclo de vida	Complejo	Gestionable
Marketing	Complejo por varios factores	Aplicación Métodos conocidos

Fuente: Adaptado de Cabeza, D., 2012

Maeso G. E, (2002), expone que el retorno de productos y embalajes en la empresa puede ser planificado o presentarse de imprevisto y estas razones, se pueden agrupar en: Retorno de productos nuevos y Retorno de productos usados (Ver tabla 1.2).

1.4. IMPORTANCIA DE IMPLEMENTAR SISTEMAS LOGÍSTICOS

De acuerdo a Stock, (2001b) existen gran número de atributos logísticos de gran importancia, los cuales señalan a la logística inversa como parte de poca importancia dentro de las características en una empresa; así mismo, estas mismos atributos, omiten el hecho que atributos como calidad del producto, precios competitivos, consistencia tiempo de entrega de pedidos, entrega y recogida a tiempo y las bajas tasa de daño a la entrega son realmente el costo de entrada a algunos mercados.

Tabla 1.2. Razones para introducción de material en el flujo inverso, según tipo y origen

	<i>Fuente del flujo inverso</i>	
	<i>Miembros de la cadena de suministro</i>	<i>Usuarios finales</i>
Productos	Mercancía de primera calidad	
	Retornos para equilibrar las existencias retornos del mercado	Producto defectuoso no deseado Retornos en garantía
	Fin de vida/estación	Destrucción medioambiental
	Daño en el transporte	
Enavases y embalajes		
	Embalajes / Envases reutilizables	Reutilización
	Requerimientos de destrucción	Reciclaje
		Restricciones de destrucción

Fuente: Adaptado de Rogers & Tibben-Lembke, (1998)

De acuerdo a Stock J, (2001a), al diseñar un programa de logística inversa, se deben tener en cuenta algunos aspectos:

- ✓ Los programas de logística inversa deben ser desarrollados primariamente para manejar retornos incontrolables
- ✓ Los centros de distribución no han sido diseñados para manejar retornos
- ✓ Los inventarios de seguridad son más grandes en las compañías con ineficiencias en sus procesos
- ✓ Los productos con un ciclo de vida corto requieren una mayor inversión para manejar retornos
- ✓ Los programas comúnmente tratan de usar un solo proceso para los flujos en diferentes canales (hacia atrás y hacia delante)

- ✓ Una mejor optimización hacia delante (canal directo) reduce el número de retornos.

Stock J, (2004) señala adicionalmente en sus escritos relacionados con la Logística inversa, que los errores más comunes al diseñar un programa de este tipo son:

- ✓ No reconocer a la logística inversa, como un factor generador de ventajas competitivas.
- ✓ Afirmar que la responsabilidad de la empresa termina cuando los productos son entregados (para solucionar esto, se debe tomar en cuenta un enfoque del ciclo de vida ligado a la distribución final)
- ✓ Fallar al empalmar el sistema interno, externo y procesos asociados en el E-Commerce y el aspecto del retorno de productos en la cadena de suministros (asociado al mapeo de procesos, para comprender su alcance y complejidad)
- ✓ Asumir que los esfuerzos a medio tiempo son suficientes para lidiar con las actividades de la logística inversa (no se reconoce a la logística inversa como una acción compleja, que debe contar con sus propios recursos)
- ✓ Creer que los ciclos de tiempo de pedido por los productos retornados pueden ser mayores y más variables que los asociados con la venta o distribución de productos nuevos
- ✓ Asumir que los retornos de productos y reciclaje de empaque y reuso tomarán cuidado de ellos mismos, si se les da suficiente tiempo (asociado a la separación de productos, por ejemplo en muchos centros de distribución estos envíos llegan mezclados (cantidad, calidad y lugar de envío) en un solo pallet.
- ✓ Pensar que los retornos son relativamente no importantes en términos de costos, valuación de activos e ingresos potenciales (los retornos tienden a permanecer más tiempo, que los productos nuevos en los canales directos, resultando en costos altos de inventario, transportación y almacenaje, y al mismo tiempo los ingresos decrecen por costos asociados a la obsolescencia y la degradación).

Es importante resaltar las tres razones que citan Ackerman & Nieto, (2006) para que se dé la logística inversa:

- ✓ Protección al consumidor
- ✓ Protección al medio ambiente
- ✓ Preocupaciones económicas.

De acuerdo a Lacerda et al., (2003), las razones ambientales pueden surgir por: una legislación ambiental, que obliga a las empresas a respetar al medio ambiente, y una dada por la toma de conciencia ecológica de los clientes; pero es importante observar que de alguna forma se relacionan directamente la razón ambiental con la económica y la de mercadeo.

La logística inversa ha adquirido mayor importancia en los últimos años porque ha facilitado el cumplimiento y satisfacción de las normas, requerimientos ambientales y económicos y siendo consecuentes con lo que afirmaron Akerman & Nieto, (2006), Logozar, et al., 2006, se describe

que la logística inversa basa su importancia en aspectos generales: razones ambientales, razones económicas (directa e indirecta), razones responsabilidad extendida (Mercadeo), razones legislativas.

1.4.1. Razones ambientales.

Se hace referencia al impacto ambiental debido a que la empresa busca minimizar los efectos negativos sobre el medio ambiente con mínimos costos de operación logística y máxima satisfacción de necesidades de los clientes (Ackerman & Nieto, 2006; Logozar et al, 2006).

1.4.2. Razones económicas.

Con respecto a las razones económicas, éstas se justifican debido a que empresas de diversos sectores pueden utilizar productos reciclados como materia prima, permitiendo reducir costos de operación y generar ventajas competitivas, sobre todo cuando los insumos son escasos (Ackerman & Nieto, 2006; Logozar et al, 2006). Una vez que se han tratado de recuperar, representan una fuente de materia prima “barata”. El costo de la recuperación se supone que es menor al de la fabricación de nuevos productos o al de compra de materia prima y materiales vírgenes (Thierry et al., 2003).

1.4.3. Razones de responsabilidad extendida y mercadeo.

La responsabilidad extendida hace referencia a que cuando una empresa goza de buena imagen ambiental es preferida en muchos mercados, como en el caso de los mercados europeos; además permite estrechar vínculos con el cliente por la misma conciencia ambiental que maneja (Ackerman & Nieto, 2006; Logozar et al, 2006). Realmente la logística inversa se utiliza para buscar mejorar la imagen de la empresa y así su posición en el mercado. La creciente competencia puede llevar a las empresas a hacerse cargo de los productos usados de sus clientes y pagar al mismo tiempo, pagar por ellos. Además, la recuperación de productos usados es un elemento muy importante para crear una imagen “verde” de la empresa, a lo que las empresas cada día están dando mayor importancia (Thierry et al., 2003).

1.4.4. Razones legislativas.

Las razones legislativas, hacen referencia a que las empresas deben recuperar y gestionar adecuadamente los residuos en la cadena de suministro, para evitar sanciones económicas o inclusive, cancelaciones de licencias de operación (Ackerman & Nieto, 2006; Logozar et al., 2006). Esta razón está siendo cada vez más importante pues los gobiernos, en todos los niveles, se están haciendo cada vez más conscientes de cuán importante es la temática y por ello han venido promulgando leyes y disposiciones con miras a la logística inversa; es así, como la responsabilidad

del productor se ha venido convirtiendo en un elemento clave de las políticas ambientales públicas de muchos países (Thierry, et al., 2003).

Cabe enfatizar entonces, que una empresa puede aplicar Logística inversa dentro de sus actividades por cumplimiento de la legislación ambiental, por beneficio económico, por recuperación de materias primas difíciles de conseguir; por recuperación de información propia y de la competencia, por servicio al cliente y garantías, por responsabilidad social y por ventaja competitiva (Byrne & Deeb, 1993; Wu & Dunn, 1995; Doherty K, 1996); importante agregar que la logística inversa hace circular a la cadena de suministro, porque cierra el ciclo, mejorando el aprovisionamiento de los productos, servicios e información, reduciendo costos y el impacto ambiental (García A, 2006).

Para Alvarado et al. (2008), es necesario promover estrategias para reducir la contaminación que las empresas generan, facilitando herramientas efectivas y eficaces, sistemas de gestión que sean sencillos y rápidos de implementar sin incrementar sus costos de producción; la logística inversa implícitamente tiene un compromiso ambiental en la cadena de suministro, lo que finalmente facilita el desarrollo de una producción (o servicio) más limpia; a partir de sus procesos, se deriva el concepto de logística verde, que se dio como elemento integrador de la empresa con el componente medio ambiente y hace referencia a la adopción y eficacia de los requerimientos ambientales y el desempeño de los mismos entre las actividades logísticas tradicionales, que se realizan entre proveedores y clientes (Simpson D, 2007, citado en Gálvez, et al, 2008, p 93).

1.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE LOGÍSTICA INVERSA

De acuerdo a Cure, L et al., (2006), se pueden mencionar algunas ventajas o beneficios potenciales que se dan al implementar un programa de Logística Inversa:

- ✓ Disminución de la incertidumbre en la llegada de los productos fuera de uso (PFU).
- ✓ Reaprovechamiento de algunos materiales.
- ✓ Posibilidad de la empresa de abarcar otros mercados.
- ✓ Mayor confianza en el cliente al momento de tomar la decisión de compra.
- ✓ Mejora considerable de la imagen de la empresa ante los consumidores.
- ✓ Obtención de información de retroalimentación acerca del producto.

Tibben-Lembke & Dale, (1999) resaltan que a pesar de las ventajas que se han mencionado al hacer una buena gestión de Logística Inversa, existen algunos puntos críticos o posibles dificultades que se pueden presentar al implementar los sistemas de logística inversa y que muchos han llamado desventajas:

- ✓ La mayoría de los sistemas logísticos directos no están equipados para llevar a cabo el movimiento inverso de retorno y no pueden ser adaptados para su aplicación en ambos sentidos, por lo cual, los retornos pueden llegar mucho más rápidamente de lo que son procesados o destruidos y así, se tendría un inventario de retornos muy alto o su identificación no es correcta. En ambos casos, la empresa muestra un problema de mala gestión de sus retornos. Puede darse el caso que por inexperiencia en el campo, los tiempos de ciclo de procesado de los retornos sean largos.
- ✓ Los costos estimados asociados a la logística inversa son generalmente nueve veces superiores a los de la logística directa.
- ✓ Muchas veces, los productos retornados no pueden ser almacenados y transportados de la misma forma que los productos originales.
- ✓ Se requiere la realización de estudios previos para el establecimiento de políticas de decisión en el tema.
- ✓ No se trata sólo de una simple manipulación del producto.
- ✓ Todos los departamentos de la empresa están relacionados con las actividades que se pretendan implementar de Logística Inversa.
- ✓ Las entradas a un proceso de Logística Inversa son “impredecibles”.
- ✓ Las inspecciones deben ser realizadas en cada producto de forma individual y minuciosa.
- ✓ La nueva cadena (inversa) incluye un número de procesos inexistentes en logística directa.
- ✓ Se debe decidir si la empresa debe realizar las distintas actividades con sus propios recursos o si, por el contrario, requerirá los servicios de un operador especializado.
- ✓ Las devoluciones en pequeñas cantidades tienden a representar mayores costos al integrarlos al sistema.

Krikke et al., (2003) consideran necesario tener una visión más amplia sobre los beneficios o ventajas, en los servicios y el mercado, costos de operación y seguridad ambiental que trae la aplicación de la logística inversa (Ver tabla 1.3).

De cualquier forma, las ventajas y desventajas que se generan por la implementación de un programa de Logística inversa, dependerán de la naturaleza de dicho programa, y de la manera como se implemente, lo que quiere decir, que no todos los aspectos mencionados se aplican a todas las situaciones.

Tabla 1.3. Sumario de los beneficios de la logística Inversa

<i>Servicio/Mercadeo</i>	<i>Costos</i>	<i>Seguridad ambiental</i>
. El servicio de retorno mejora la satisfacción del cliente	. Reducción del riesgo	. Reducción del impacto ambiental
. Reducción del tiempo de investigación y desarrollo (Tiempo de introducción al mercado)	Recuperación del valor de los materiales y los componentes	. Cumplimiento de la legislación vigente
. Incremento de la disponibilidad de partes de repuestos	. Recuperación del valor de la mano de obra	. Recuperación mas confiable de productos defectuosos
. Retroalimentación oportuna a través de recuperación temprana	. Evita los costos de disposición	
. Mejora en la calidad del producto o a través de la reingeniería	Reducción del riesgo por obsolescencia a través de retornos oportunos	
. Reparaciones proactivas	. Menor producción nueva de prtes de repuestos	
Imagen verde	. Reducción de retornos	

Fuente: Krikke et al., 2003

1.6. ACTORES DE LA LOGÍSTICA INVERSA

Haciendo referencia a los procesos logísticos inversos, es importante destacar que para Dekker R, (2004), los actores que participan en éstos, se clasifican en: Principales, especializados y relacionados, cada uno de los cuales tiene una responsabilidad diferente dentro de dichos procesos, sin embargo todos direccionados, desde su perspectiva e intereses, al cumplimiento de los objetivos de la Logística Inversa.

1.6.1. Actores principales.

Estos actores son aquellos en los cuales se pueden generar y permanecer los productos a recuperar, por lo cual suelen ser los responsables de su gestión y trámites para comenzar las operaciones de la logística inversa. Generalmente, dichos actores son los clientes finales, seguido de los distribuidores minoristas y la empresa productora o responsable de gestionar el producto recuperado. En resumen, incluyen proveedores, distribuidores, minoristas, cliente y las empresas responsables de la recuperación del producto o productor.

1.6.2. Actores especializados.

Estos suelen ser contratados o gestionados por la(s) empresa(s) responsable del producto recuperado con el fin de que ejecuten los procesos de recolección, inspección, transformación o tratamiento, almacenamiento, transporte y demás, relacionados con la recuperación del uso del producto o su eliminación. Incluyen prestadores de servicio de transporte, almacenamiento, recicladores, operadores de reprocesamiento o eliminación de desechos.

1.6.3. Actores relacionados.

Son aquellos que pueden regular su operación a través de la normativa, exigencias de la calidad de los productos una vez recuperados y/o reprocesados o empresas sociales o de otra índole que pueden beneficiarse o no de los procesos de la logística inversa y sus objetivos. Incluyen organizaciones gubernamentales, ONG ambientalistas, empresas sociales o de otra índole que pueden beneficiarse o no de los procesos de la logística inversa, cada uno de los cuales con funciones específicas. (Ver Figura 1.5).

Para terminar, se puede afirmar que los actores de la logística inversa, algunas veces, son los responsables de los productos o materiales; otras veces, son actores relacionados, especializados o clientes y por eso, es importante conocer su rol, sus responsabilidades y los procesos de la logística inversa a participar y ejecutar para evitar problemas legales, operacionales y sociales.

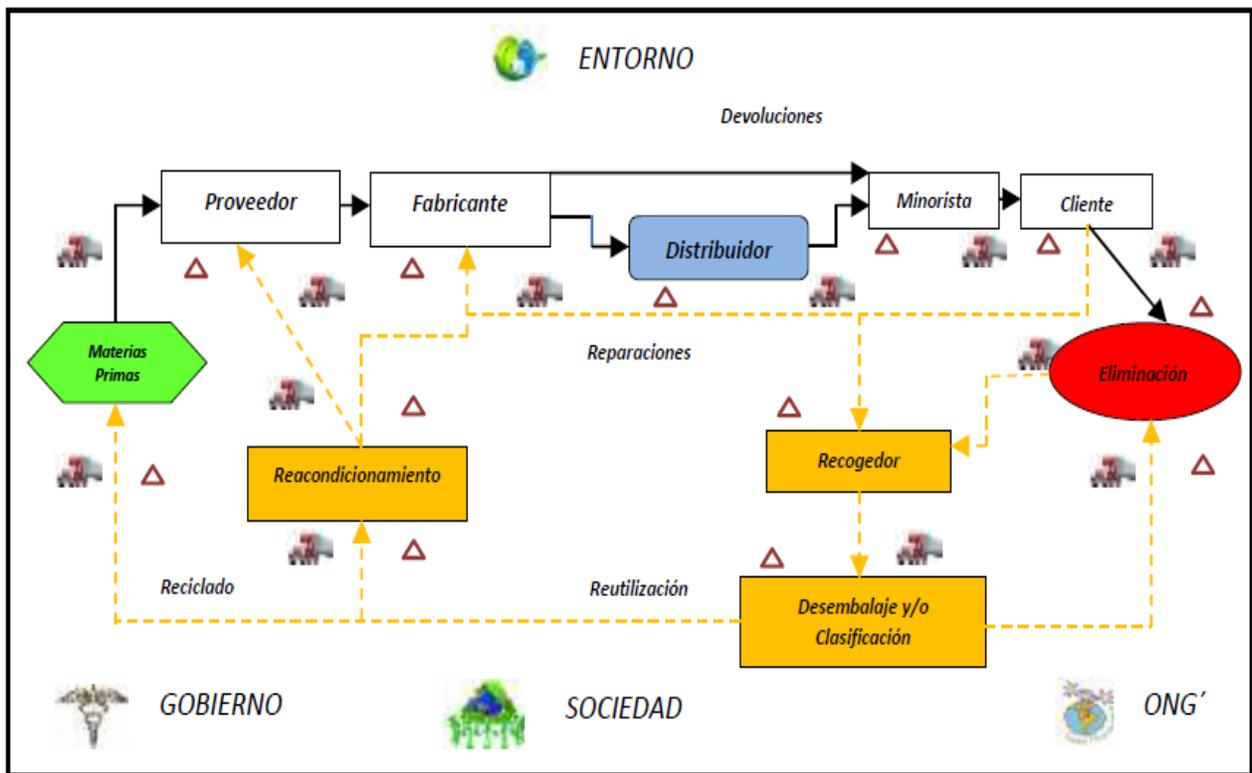


Figura 1.5. Logística Directa y Logística Inversa
Fuente: Adaptado de Maeso, G.E., 2002 y Flórez C.L., 2012

1.7. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LOGÍSTICA INVERSA

Existe una clasificación de los sistemas de Logística Inversa muy interesante, presentada por Bañegil & Rubio, (2005) tomando en cuenta quienes desarrollan y gestionan (actores) dicho sistema logístico: Sistemas propios de Logística Inversa, y Sistemas ajenos de Logística Inversa

1.7.1. Sistemas Propios de Logística Inversa.

En estos sistemas de logística inversa, la propia empresa diseña, gestiona y controla la recuperación y reutilización de sus productos fuera de uso; las organizaciones que desarrollan estos sistemas se caracterizan por sostener el liderazgo en sus mercados, manteniendo una clara y alta identificación entre empresa y producto; los productos que fabrican son complejos y tecnológicamente avanzados, diseñados para poder recuperar parte del valor añadido que incorporan. (Design For Environment, DFE; Design For Disassembly, DFDA United States Environmental Protection Agency, 1995).

Es importante anotar que estos sistemas, para recuperar los productos, desarrollan una red logística compleja, intensiva en mano de obra, tiene muchos eslabones, es descentralizada y en ella, el producto que se recupera entra nuevamente a la cadena de suministro original. Como ejemplo de estas empresas se cuentan: Xerox, IBM, Electrolux, Bosch, entre otras.

1.7.2. Sistemas Ajenos de Logística Inversa.

En estos sistemas, la empresa que es responsable del producto, no gestiona directamente la recuperación, sino que la realizan terceros ajenos a la empresa y se pueden presentar dos posibilidades:

- ✓ ***Adhesión a un sistema integrado de gestión.*** Un Sistema Integrado de Gestión (SIG) es una organización que se encarga de promover y gestionar la recuperación de productos fuera de uso para luego ser tratado o adecuado para suministro (proveedores, fabricantes y distribuidores), los cuales financian el sistema, de acuerdo con su participación en el mercado.

Las empresas que se adhieren a estos SIG, se caracterizan porque: fabrican productos muy homogéneos, poco complejos tecnológicamente y de valor unitario bajo (vidrio) o complejos y de mayor valor (vehículo fuera de uso, por ejemplo), en los cuales se recupera el material o materiales con los que está fabricado el producto. Las redes logísticas son estructuras centralizadas, de simples, con pocos eslabones y en las que el producto recuperado no se destina, necesariamente, a la cadena de suministro original, por lo que los productos originales y los recuperados no suelen compartir los mismos mercados finales.

- ✓ ***Profesionales u Operadores Logísticos.*** Las empresas tienen también la opción de contratar otras empresas especializadas, para la prestación de servicios de logística inversa; generalmente, lo hacen aquellas que diseñan la función inversa desde el final de la cadena de suministro, para atender a la legislación vigente (resíduos peligrosos o tóxicos), o para suplir las necesidades operativas (logística de devoluciones). Las redes logísticas son

sistemas logísticos simples, descentralizados, con pocos eslabones, en los que la función de transporte es importante y determinante.

1.8. PROCESOS DE LOGÍSTICA INVERSA

El proceso de Logística Inversa comienza con una fase de reconocimiento de la situación, en la que se conoce que se va a recibir la devolución de un producto por parte de un cliente interno o externo. Luego, se hace la recuperación o distribución inversa del producto, trasladándolo físicamente a un lugar donde la empresa pueda disponer de él (Carter & Ellram, 1998); se procede a la fase de revisión del producto para decidir qué hacer con él, tomando en cuenta los factores clasificación y consolidación, de forma que se facilite la ejecución de estas actividades por medio de la disminución del número de destinos de la mercancía y la reunión de los productos para buscar el mejor destino (Ver figura 1.6). Entre las opciones de decisión se mencionan: refabricación, renovación, reutilización, reciclaje, eliminación y reingeniería (Trebilcock B, 2002).



Figura 1.6. Procesos en la Logística Inversa

Fuente: Adaptado de Gómez R, 2010

Es importante tomar en cuenta que las actividades de Logística Inversa deben comenzar desde la etapa de diseño del producto. El principal objetivo de cualquier programa de Logística Inversa que quiera lograr efectividad en su aplicación, es la reducción de recursos. Otras opciones a considerar son: la reutilización de los artículos, el reciclaje, (Estas dos opciones no son mutuamente excluyentes entre sí, o con respecto a otras opciones). Una última opción es el desecho del producto del cual aún se puede sacar provecho, por ejemplo, aquellos de los cuales es posible recuperar algunas formas de energía.

Conocidas las causas que generan los procesos logísticos inversos, de acuerdo a lo descrito en párrafos anteriores del documento, es importante que se revise cuál es la jerarquía más adecuada que se da en cada alternativa para la recuperación de los residuos sólidos en cada caso, como se puede observar en la figura 1.7 (Morales B, 2009).

De manera general se dice que los procesos de logística inversa se pueden implementar en los sectores primario, secundario y terciario de la economía, lo que interna y externamente generaría beneficios en cada una de las empresas que lo implementen; es interesante resaltar, que dentro del sector terciario se clasifica la salud, representada en centros hospitalarios, clínicas y demás centros de atención de salud; vale anotar que a este sector se le atribuye una considerable importancia, debido a que es evidente la necesidad de implementar los procesos de logística inversa, debido principalmente a las normas que la rigen y a la responsabilidad social a la cual deben atender. Anteriormente, en el sector había preocupación por la seguridad de los productos y los pacientes, lo que motivó a trazar directrices para obtener niveles adecuados de seguridad que se requerían. (AECOC, 2007).



Figura 1.7. Pirámide de las opciones de recuperación de los residuos sólidos.

Fuente: Morales B, 2009

1.9. HERRAMIENTAS DE LA LOGÍSTICA INVERSA

De acuerdo a Maquera G, (2012) en el estudio de la logística inversa existen metodologías que propician el desarrollo de programas de implementación de dicha logística, las cuales pueden ser consideradas o tenidas en cuenta en los distintos procesos y etapas en que se encuentren las implementaciones, las cuales se describen a continuación:

- ✓ Costeo basado en actividades
- ✓ Mapeo de procesos
- ✓ Evaluación del ciclo de vida del producto
- ✓ Proceso de desarrollo de nuevos productos
- ✓ Product Stewardship (Cuidar del producto desde la creación hasta su disposición)
- ✓ Modelos matemáticos de optimización

Ahora bien, de acuerdo a lo anterior, la presente investigación profundizará el estudio de los modelos matemáticos de optimización por lo cual se considera pertinente definir algunos de los conceptos que se relacionan con esta temática. La Modelación matemática es un proceso involucrado en la obtención de un modelo cuantitativo, que a su vez es un conjunto de símbolos y relaciones matemáticas que representa, de alguna manera, un fenómeno en cuestión. El modelo permite no sólo obtener una solución particular, sino también servir de soporte para otras aplicaciones o teorías. En la práctica, ese conjunto de símbolos y relaciones puede estar vinculado a cualquier rama de las matemáticas, en particular, a los instrumentos fundamentales de las aplicaciones matemáticas (Biembengut M, 1999).

Kroon y Vrijens (1997), utilizan el término Sistema Logístico de Devoluciones (Return Logistics System) para la gestión del concepto de logística inversa dentro de un canal directo, mediante la incorporación de un modelo de simulación y un modelo de Programación Lineal Entera Binaria que intenta determinar el número de contenedores disponibles.

Krikke et al. (1999) plantea que un sistema de logística inversa puede ser modelado como un sistema Pull, ya que es el cliente quien determina el flujo de producto para un canal inverso, soportados sobre los modelos de localización y distribución, los cuales son una pequeña parte dentro de su diseño, sin perder la esencia de las formas de dar con una solución óptima, tratando de maximizar la cobertura de zonas, problema que es abordado por Toregas et al., (1971) que busca recubrir a todos los clientes ubicando el mínimo de instalaciones y Church & ReVelle, (1974).

Fleischmann, M. (2001) formula un modelo que considera los dos flujos dentro de un sistema logístico, este tiene en cuenta variables X_{ijk}^f para medir el flujo hacia adelante desde una planta i hacia una planta j considerando la demanda k , así mismo como variables X_{kli}^f para medir los productos que son recolectados en un centro de recuperación l para ser procesados en la planta i .

Rubio B, (2003) realiza un estudio soportado en los trabajos de Bloemhof-Ruwaard, (1995); Fleischmann et al., (1997); Daganzo & Erera, (1999); Krikke et al, (1999); Guide Jr, (2000) y Fleischmann, (2001), entre otros para determinar que existen 4 tipos de fuentes que son generadoras de la incertidumbre de la oferta de un mercado, las cuales son:

- ✓ Cantidad de productos fuera de uso: Incertidumbre Cuantitativa.
- ✓ Calidad de los productos fuera de uso: Incertidumbre Cualitativa.
- ✓ Momento en el que se recuperan: Incertidumbre Temporal.
- ✓ Lugar de recuperación: Incertidumbre Espacial o de Localización.

Fuentes que propician el desarrollo de modelos de optimización – simulación para la generación de escenarios asertivos dentro de una función de costos u objetivos.

A Zamali et al. (2009), se les atribuye la expansión de un nuevo método MCDM (MultiCriteria Decision Making) bajo el enfoque de cobertura, dando énfasis a la diversa naturaleza de los datos de entrada en el procedimiento de evaluación para seleccionar la mejor manera de eliminar los residuos sólidos urbanos (RSU), mediante el uso tanto de la técnica de solución ideal difusa, como del proceso de jerarquía analítica (analytic hierarchy process, AHP); los resultados revelaron que su metodología era eficaz en el tratamiento de la incertidumbre de los datos primarios y simplificaba y organizaba la toma de decisiones; Vego et al. (2010), modelan la eficacia del desarrollo de un sistema de gestión de residuos en la parte costera de Croacia, utilizando dos criterios de toma de decisiones MCDM (Multiple-criteria decision-making), con los métodos GAIA y PROMETHEE, para el análisis y evaluación de las opciones, de acuerdo a aspectos sociales, económicos y ecológicos, lo que originó nueva conciencia sobre la planificación del manejo de los residuos (Waste management planning, WMP) a nivel estratégico, y ayudó a replantear los documentos actuales sobre el manejo estratégico de residuos en ese país.

Calderón et al., (2012) hacen una revisión del estado del arte de la logística inversa, destacando la aplicación de modelos de programación lineal entera mixta que consideraban la capacidad, costos y flujos dentro de la cadena de suministro y realizando un análisis de los principales autores y modelos desarrollados, de acuerdo a la Tabla 1.4.

Mar-Ortiz J eta al., (2012) plantean un modelo basado en búsqueda local para el problema de gestión de cadenas de suministro bajo logística inversa, considerando un modelo de ruteo de vehículo simple.

Complementando con la tabla 1.4 y para mostrar una síntesis ilustrativa, se realizó un resumen de la logística inversa y modelos desarrollados desde 1996 hasta 2016, de acuerdo a la revisión del estado del arte que se hizo para esta investigación.

Tabla 1.4: Resumen principales autores y modelos desarrollados a través del tiempo

<i>Autor</i>	<i>Año Publicación</i>	<i>Tipo de problema</i>	<i>Método de solución</i>
<i>MILP</i>			
<i>Spengier et al.</i>	1997	DRPS/MSMPCFCP	(LINDO) descomposición de Benders. Caso2:(GAMS)
<i>Barros et al.</i>	1998	MLCLP	Heurísticas (GAMS)
<i>Fleischmann</i>	2001	MIP	Programación lineal entera
<i>Hu et al.</i>	2002	MPMP	Lindo(linear, Interactive and discrete optimizer)
<i>Jayaraman et al.</i>	2003	PLP	Heuristic concentration and Heuritic expansion (CPLEX) AMPL
<i>Schultmann et al.</i>	2006	CLSC SCVRP	Búsqueda Tabú
<i>Lu & Bostel</i>	2007	Two-level LP	Relajación Langranglana
<i>Gomes et al.</i>	2007	CMPRLU	Técnicas de Branch & Bound (CPLEX)
<i>Yongsheng & Shouang</i>	2008	FLP	Técnicas de Branch & Bound (Lingo)
<i>Cruz & Ertel</i>	2008	FCFLP	Relajación Langranglana (SITATION)
<i>Srlvastava</i>	2008	MPME	GAMS
<i>Ortega</i>	2008	STPNTCLP	Algoritmos genéticos, búsqueda dispersa
<i>Fan Wang WelHsu</i>	2009	CLSC	Arbol de expansión-Algoritmos genéticos
<i>PlsHvae et al.</i>	2009	UCLSC	ILOG CPLEX 10.1
<i>Zamali</i>	2009	MIP	decisiones MCDM (Multiple-criteria decision-making),
<i>Mar-Ortiz J et al</i>	2012	Local search	modelo basado en búsqueda local para el problema de gestión de cadenas de suministro
<i>SMIP</i>			
<i>Llstes</i>	2007	CLSC/re-manufacturing	branch-and-cut, Integer L-shaped method
<i>MINLP</i>			
<i>Figuereido & Mayerle</i>	2008		Multiplicadores de Lagrange, bisección, series de fibonacci,
<i>Feito C et al.,</i>	2016		Modelo de optimización multiproductos para un sistema de cadenas de suministro de reciclaje que contempla varios subproductos, centros de recolección, plantas de producción, clientes y un flujo directo e inverso de productos e información
<i>MOP - MOMIP</i>			
<i>Sheu et al.</i>	2004	MODM	
<i>Du & Evans</i>	2007	CFLP	Simplex dual-búsqueda dispersa
<i>Frota Neto et al.</i>	2008	MODM	Frontera de Pareto
<i>Dehghanlan & Mansour</i>	2009	MODM. CFLP	Algoritmos genéticos, Frontera Pareto (Matlab)
<p><i>MILP mixed integer linear programming; SMIP stochastic mixed integer programming; MINLP mixed integer non-linear programming; MOP multi-objetive programming; MOMIP multi-objetive mixed integer programming; sp location problem; FLP facility location and distribution problems; MLCLP capacitated Facility location problem, Location allocation problems; FCFLP Fixed Charge Facility Location Problems; MSMPCFCP Multistaged, multiproduct, capacited fixed charge problem; MPME Multi-product, multi-echelon; DRPS dismantling and recycling planning system; MPMP multi-time-step, multi-type hazardous-waste; SCVRP smetric capacited vehicle routing problem; Two-level LP two-level location problem; CLSC closed.loop supply chain; UCLSC uncertainty closed-loop supply chain; UCLSC uncertainty closed-loop supply chain; CMPRLU capacitated multicapacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty; STPNTCLP Single Treatment Plant and necessary Transfer Centers Location Problem; MODM multiple-objetive decision-making</i></p>			

Fuente: Elaboración propia

Escala de tiempo logística inversa

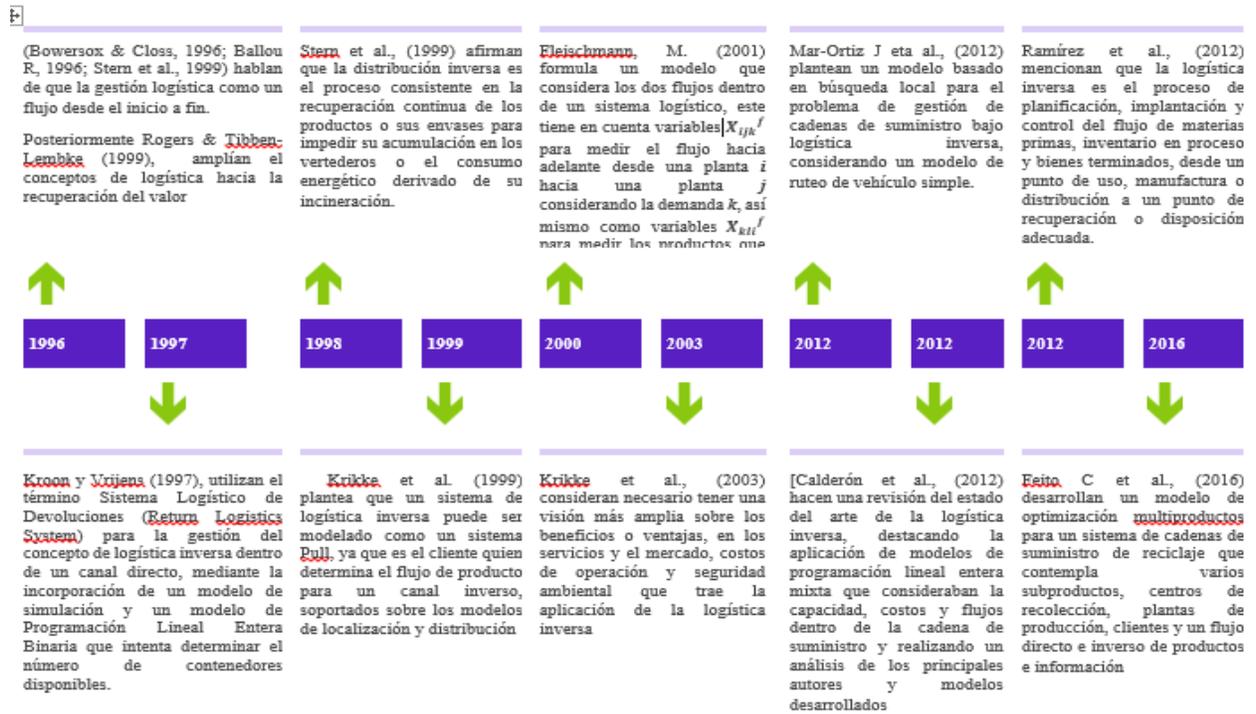


Figura 1.8. Escala de tiempo Logística Inversa – Modelos matemáticos.

Fuente: Elaboración propia

1.10. MODELO DE REFERENCIA DE FEÍTO.

Feito C et al., (2016) desarrollan un modelo de optimización multiproductos para un sistema de cadenas de suministro de reciclaje que contempla varios subproductos, centros de recolección, plantas de producción, clientes y un flujo directo e inverso de productos e información, así mismo, los autores plantean la siguiente estructura del modelo buscando la satisfacción del cliente, la reducción de los costos de operación y la reducción del impacto ambiental del sistema y basado en este modelo es que se desarrolla el presente proyecto de investigación, pero con un enfoque de programación lineal.

Para comprender con claridad el modelo, es importante definir cuáles elementos que conforman realmente el modelo, es decir, los conjuntos en los que se basa el mismo, los parámetros, las variables de decisión, las funciones objetivo y las respectivas restricciones que le limitan.

1.10.1. Conjuntos del modelo de Feíto.

Los conjuntos para el modelo Feíto se pueden definir de la siguiente forma. Son ellos los que enmarcan el contexto del modelo.

Los conjuntos a saber se definen así:

I : Conjunto de locales de proveedores generadores de residuos reciclables ($i = 1, 2, \dots, I$).

J : Conjunto de locales potenciales de centros de recolección ($j = 1, 2, \dots, J$).

K : Conjunto de plantas de procesamiento potenciales ($k = 1, 2, \dots, K$).

L : Conjunto de clientes ($l = 1, 2, \dots, L$).

M : Conjunto de medios de transporte potenciales ($m = 1, 2, \dots, M$).

P : Conjunto de productos a reciclar ($p = 1, 2, \dots, P$).

1.10.2. Parámetros del modelo.

Los parámetros del modelo hacen referencia a los datos que son imprescindibles y direccionan para evaluar o valorar las situaciones que se presentan en el modelo y representan los valores conocidos del sistema o que se pueden controlar.

Parámetros a saber para este modelo:

G_{ip} : Cantidad de producto p del suministrador i generado en el período.

CT_{mp} : Capacidad del transporte m para transportar el producto p .

C_{kp} : Capacidad de la planta k para procesar el producto p .

D_{lp} : Demanda de cada cliente l del producto p .

N_{vm} : Cantidad de viajes disponibles v en el período para cada medio de transporte m .

Parámetros utilizados para las funciones objetivo:

I_p : Impacto ecológico por producir una unidad nueva del producto p .

IT: Impacto ecológico por transportar una tonelada kilómetro.

IE: Impacto ecológico por consumir un kilowatt hora en el sistema.

IP: Impacto ecológico por utilizar una planta de reciclaje.

IA : Impacto ecológico por consumir un kg de agua en el sistema.

IV_p : Impacto ecológico por desechar en un vertedero una unidad del producto p luego de su consumo. Todos los impactos se determinan a través de LCA (life cycle analysis) ya realizados y publicados en las bases de datos Ecoinvent (Base de datos)

Cfe_k : Consumo fijo eléctrico de la planta de reciclaje k (depende de los equipos consumidores eléctricos que no son directos a la producción necesarios para operar la planta).

Cfe_j : Consumo fijo eléctrico del centro recolector j .

Cve_p : Consumo variable de electricidad necesaria para procesar una unidad del producto p .

$Cvap$: Consumo variable de agua necesaria para procesar una unidad del producto p .

α y β : Proporción de la capacidad de la planta de reciclaje k y centro recolector j respectivamente, de la planta de reciclaje tipo utilizada en la base de datos Ecoinvent.

d_{jk}^{RP} : Distancias entre el suministrador i y cada centro de recolección j .

d_{ij}^{SR} : Distancias entre el centro de recolección j y cada planta de procesamiento k .

d_{kl}^{PC} : Distancias entre la planta k y cada cliente l .

Costos:

CUR_{jp} : Costo unitario del producto p en el centro de recolección j en \$/Unidad.

CUP_{kp} : Costo unitario del producto p en la planta k en \$/Unidad.

CUT_m : Costo variable por km del medio de transporte m en \$/km.

CFR_j : Costo fijo por utilizar el centro de recolección j en \$/período.

CFR_k : Costo fijo por utilizar la planta k en \$/período.

CFT_m : Costo fijo por utilizar el medio de transporte m en un viaje en \$/viaje.

1.10.3. Variables del modelo.

Es importante resaltar que Las variables de decisión del modelo son cada una de las incógnitas cuyo valor se busca con la solución de dicho modelo.

Variables de decisión:

QSR_{ijmp} : Cantidad de producto p entre proveedor i y el centro de recolección j transportados en el medio m .

QRP_{jkmp} : Cantidad de producto p entre el centro de recolección j y la planta k transportados en el medio m .

$QPCK_{lmp}$: Cantidad de producto p entre la planta k y el cliente l transportados en el medio m .

VSR_{ijm} : Cantidad de viajes entre el suministrador i y el centro de recolección j transportados en el medio m .

VRP_{jkm} : Cantidad de viajes entre el centro de recolección j y la planta k transportados en el camión m .

VPC_{klm} : Cantidad de viajes entre la planta de producción k y el cliente l transportados en el camión m .

HSR_{ijm} , HRP_{jkm} , HPC_{klm} , son variables para representar las cantidades por exceso y defecto producto de la diferencia entre la capacidad de los medios de transporte y las cantidades a transportar entre dos niveles.

R_j : 1 Si el centro de recolección j es utilizado, 0 si no es utilizado.

P_k : 1 Si la planta k es utilizada, 0 si no lo es.

1.10.4. Función Objetivo del modelo.

La función objetivo es realmente la relación matemática que se da entre las variables de decisión, los parámetros y una cantidad que representa el objetivo mismo del sistema. En otras palabras se puede afirmar que la función objetivo lo que hace es medir que tan efectivo es el modelo que se formula en función de las variables que se definieron y determina lo que se va a optimizar (Maximización o minimización).

✓ *Ecuación minimización costos.*

Esta es considerada la ecuación No 1 de la operación del sistema para la minimización de los costos de operación del mismo, en donde la función Objetivo estará expresada como f_1 , a la cual, por sus propias características se buscará llevarla a su mínimo nivel posible en el modelo:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min} f_1 (QSP_{ijmp}, QRP_{ijmp}, QSR_{ijmp}, VSP_{ijmp}, VPC_{klm}, P_k, R_j) = \\
 & \sum_m CFT_m \left(\sum_i \sum_j VSR_{ijm} + \sum_j \sum_k VRP_{jkm} + \sum_k \sum_l VPC_{klm} \right) \\
 & + \\
 & \sum_M CUT_m \left(\sum_i \sum_j VSR_{ijm} * d_{ijm}^{SR} + \sum_j \sum_k VRP_{jkm} * d_{jk}^{RP} + \sum_k \sum_l VPC_{klm} * d_{ij}^{PC} \right) \\
 & +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_k CFP_k P_k + \sum_k \sum_p CUP_{kp} \sum_l \sum_m QPC_{klmp} + \sum_j CFR_j R_j \\ & \quad + \sum_k \sum_p CUR_{jp} \sum_k \sum_m QRP_{jkmp} \end{aligned}$$

✓ *Ecuación cuantificación del impacto ambiental.*

Esta es la ecuación No 2 de la operación del sistema para la cuantificación del impacto ambiental en la operación del mismo, en donde la función Objetivo estará expresada como f_2 , a la cual, por sus propias características se buscará llevarla a su máximo nivel posible en el modelo:

$$\begin{aligned} \mathbf{max} f_2 &= (QPC_{klmp}, QRP_{jkmp}, QSR_{ijmp}, VSR_{ijm}, VRP_{jkm}, VPC_{klm}, P_k, P_j) \\ &= \sum_p L_p \sum_k \sum_l \sum_m QPC_{klmp} - \left[IT \left(\sum_i \sum_j \sum_m VSR_{ijm} * d_{ij}^{SR} \sum_i \sum_j \sum_m \sum_p QSR_{ijmp} \right) \right. \\ & \quad \sum_j \sum_k \sum_m VRP_{jkm} * d_{jk}^{RP} \sum_i \sum_j \sum_m \sum_p QRP_{jkmp} \\ & \quad \left. \sum_k \sum_l \sum_m VPC_{klm} * d_{kl}^{PC} \sum_i \sum_j \sum_m \sum_{pb} QPC_{klmp} \right] \\ &+ IE \left(\sum_k Cfe_k P_k + \sum_j Cfe_j R_j + \sum_p Cve_p \sum_k \sum_l \sum_m QPC_{klmp} \right. \\ &+ IP \left(\sum_k a_k P_k + \sum_j B_j R_j \right) + IA \left(\sum_p Cva_p \sum_k \sum_l \sum_m QPC_{klmp} \right. \\ & \quad \left. + \sum_p IV_p \sum_i \sum_j \sum_m QSR_{ijmp} \right) \\ \mathbf{Max} f_3(QPC_{klmp}) &= \sum_k \sum_l \sum_m \sum_p QPC_{klmp} \end{aligned}$$

1.10.5. Restricciones del modelo.

Como se conoce normalmente, las restricciones son las relaciones que se dan entre los recursos de los que se dispone y las variables de decisión; ellas son las que limitan el valor de las variables de decisión y realmente se generan cuando los recursos disponibles son limitados.

Las funciones objetivo para este modelo estarán sujetas a:

$$\sum_j \sum_m QSR_{ijmp} \leq G_{ip}, \forall i, p$$

$$\sum_k \sum_m QRP_{jkmp} \leq \sum_i \sum_m QSR_{ijmp}, \forall k, p$$

$$\sum_l \sum_m QPC_{klmp} \leq \sum_j \sum_m QRP_{jkmp}, \forall k, p$$

$$\sum_l \sum_m QPC_{klmp} \leq C_{kp}, \forall k, p$$

$$\sum_k \sum_m QPC_{klmp} \leq D_{lp}, \forall l, p$$

$$\sum_p \frac{QSR_{ijmp}}{CT_{mp}} + HSR_{ijm} = VSR_{ijm}, \forall i, j, m$$

$$\sum_p \frac{QRP_{jkmp}}{CT_{mp}} + HRP_{ijm} = VRP_{jkm}, \forall j, k, m$$

$$\sum_p \frac{QPC_{jkmp}}{CT_{mp}} + HPC_{klm} = VPC_{klm}, \forall k, l, m$$

$$VSR_{ijm} + HSR_{ijm} \geq 0$$

$$VRP_{jkm} + HRP_{ijm} \geq 0 \quad \forall j, k, m \quad -1 < HRP_{ijm} < 1$$

$$VPC_{klm} + HPC_{klm} \geq 0 \quad \forall j, k, m \quad -1 < HPC_{klm} < 1$$

$$\sum_i \sum_j VSR_{ijm} + \sum_j \sum_k VRP_{jkm} + \sum_k \sum_l VPC_{klm} \leq Nv_m, \forall m$$

$$\sum_k \sum_m \sum_p QRP_{jkmp} = R_j \sum_k \sum_m \sum_p QRP_{jkmp}$$

$$\sum_l \sum_m \sum_p QPC_{klmp} = R_j \sum_l \sum_m \sum_p QPC_{klmp}$$

Después de haber realizado una revisión en las bases de datos, se observó que se han hecho excelentes e importantes contribuciones, pero entre éstas, se consideró que una de las más completas y acertadas, desde el punto de vista de modelamiento matemático de optimización multicriterio, es la que desarrolló Feito C, (2016), con el aporte de otros autores y la cual aplicó a sistemas de cadenas de suministro de reciclaje como se había mencionado anteriormente; por ello, debido a que era el que más se acercaba y se ajustaba a la realidad del presente proyecto, se decidió tomarlo como base de referencia para la construcción de un nuevo modelo pero con enfoque de Programación lineal y combinado con el método del ruteo, para alcanzar los objetivos y resolver el problema planteado.

2. CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO DE LA LOGÍSTICA INVERSA EN SECTOR HOSPITALARIO: CASO HOSPITAL UNIVERSITARIO DEL CARIBE

2.1. PANORAMA GENERAL DE LA LOGÍSTICA INVERSA EN COLOMBIA

Ramírez B, (2007) afirma que es importante la creación de mercados de recuperación, apoyado en los estudios de Stock J, (1998); Fundación Entorno, (1998) y Rogers & Tibben-Lembke, (2002), los cuales dan lugar al establecimiento de los siguientes puntos de control para la mejora de sistemas logísticos:

- ✓ Motivos legales, que en Colombia surgen como una iniciativa para mejorar el panorama general, desde el establecimiento de la Ley 9ª de 1979, de protección del medio ambiente, Decreto 0459 93, por el cual se aprueba el acuerdo número 007 del 10 de febrero de 1993, emanado por la junta directiva del Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química – Ingeominas; Ley 99 de 1993, que regula el Sistema Nacional Ambiental (SINA); Decreto 1933 94, que reglamenta la creación del Ministerio del Medio Ambiente. Decreto 0883 97, por el que se regulan actividades y se definen los instrumentos administrativos para la prevención o el control de los factores de deterioro ambiental; Ley 430 de 1998, sobre desechos peligrosos.
- ✓ Motivos económicos para incentivar la competitividad: Teniendo en cuenta los estudios de Celys M, (2013) soportado en estudios previos, afirma que la logística Inversa podría llegar a ser un factor determinante de la competitividad del estado colombiano y que los desafíos para la empresa logísticas radican en la implementación de un sistema logístico inverso que permita controlar los tiempos de entregas, los inventarios en cada uno de los eslabones y la eliminación de errores y defectos que conlleven a la maximización de los clientes.

Gómez, Correa & Vásquez, (2012) afirman que el 80% de las empresas asociadas a procesos logísticos en Colombia, manifiestan la importancia de la implementación o esquemas para un sistema de logística inversa como práctica de responsabilidad social, enunciando los siguientes resultados y factores que motivan al desarrollo de esquemas para la maximización de dichos factores (Ver Figura 2.1).

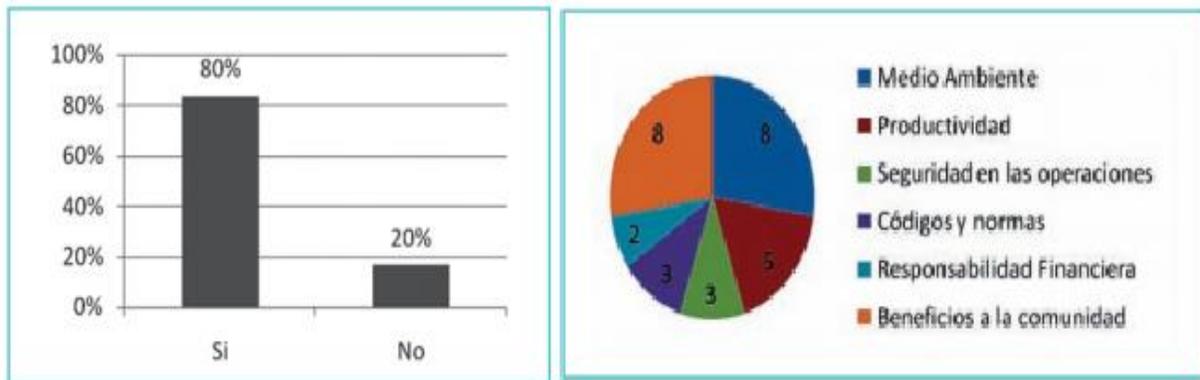


Figura 2.1. Importancia de implementar sistemas de logística inversa y factores claves
Fuente: Gómez & Vásquez, 2012

2.2. DIAGNÓSTICO GENERAL EN COLOMBIA DESDE LA ÓPTICA DE RESIDUOS SÓLIDOS

En Colombia existen normativas legales referentes al tratamiento de los residuos; una de ellas es la que ha emitido el ministerio del medio ambiente: “*Política para la Gestión Integral de Residuos*”, en ella, se hace un análisis detallado sobre cómo los habitantes del país no tenían consciencia y contaminaban indiscriminadamente suelos, ríos, lagunas y humedales sin considerar que era necesario no continuar con esta práctica e ignorando que muchas de las enfermedades surgían del mal manejo de los cada vez mayores volúmenes de residuos peligrosos y no peligrosos que se generaban.

Es importante resaltar que esta política exige que se dé solución a la problemática de la protección del medio ambiente, ya que la gestión de los residuos es parte fundamental dentro de la gestión ambiental. Sin embargo, en Colombia, el manejo de los residuos sólidos históricamente se ha tomado en función de la prestación del Servicio de Aseo y de consideraciones de tipo higiénico y sanitario, pero no se ha tomado en cuenta el destino final de los residuos y por ello se disponen en los rellenos sanitarios sin considerar las consecuencias ambientales.

En lo relacionado con los residuos peligrosos, el documento del Ministerio alerta sobre lo siguiente: el país desconoce la magnitud del problema de los residuos peligrosos. Inclusive, en ocasiones los generadores o los responsables del manejo o la disposición final no tienen conocimiento de que su actividad está relacionada con este tipo de residuo; las evaluaciones no permiten establecer quiénes son los generadores, dónde están o cuál es su contribución, de tal manera que se pudiera establecer, a partir del conocimiento del problema, una estrategia apropiada a las condiciones socioeconómicas del país, que tenga en cuenta el riesgo asociado; esta situación, sumada a la debilidad del control, ha propiciado el manejo inadecuado de los residuos con graves consecuencias para los recursos naturales, en especial para el agua y el suelo. Basta citar el libre

vertimiento de aguas industriales y el depósito de residuos en los cuerpos de agua, y los numerosos enterramiento de desechos químicos realizados, en su mayoría, en forma clandestina unos y con autorización otros, lo cual está comenzando a repercutir en la calidad de los suelos, del agua y de la salud humana.

Haciendo referencia al diagnóstico de la situación actual del manejo de los residuos hospitalarios, se presenta a continuación parte del Manual De Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares en Colombia – MPGIRH, emanado por el Ministerio de Salud y el Ministerio del Medio Ambiente, en el cual se indica que, en respuesta a la problemática, los Ministerios de Salud y Medio Ambiente determinaron, en la Agenda Interministerial, ejecutar un Programa Nacional para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios haciendo parte del Plan Nacional Ambiental PLANASA 2000 – 2010, con tres componentes fundamentales: el primero, lo constituye el Decreto 2676 de 2000 y sus modificaciones; el segundo lo constituyen los instrumentos reglamentarios para la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares, en los cuales se establecen claramente las competencias de las autoridades sanitarias y ambientales, quienes deben desarrollar un trabajo articulado en lo que se refiere a las acciones de inspección, vigilancia y control. Así mismo, el tercer componente es el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares en Colombia MPGIRH, elaborado y ajustado a las necesidades del país y que adicional a éste, se viene desarrollando guías de apoyo para el personal médico y personal técnico, que tienen a cargo el manejo de los residuos en las instituciones, incluyendo videos de sensibilización. Tanto el manual como las guías, desarrollan los elementos técnicos de la gestión interna y externa.

Haciendo referencia al diagnóstico, se puede explicar que actualmente un porcentaje significativo de los residuos generados en los servicios de salud y similares, especialmente en las salas de atención de enfermedades infectocontagiosas, salas de emergencia, laboratorios clínicos, bancos de sangre, salas de maternidad, cirugía, morgues, radiología, entre otros, son peligrosos por su carácter infeccioso, reactivo, radioactivo inflamable. De acuerdo con los estudios realizados, casi el 40%, presenta características infecciosas pero debido a su inadecuado manejo, el 60% restante se contamina, incrementando los costos de tratamiento, los impactos y los riesgos sanitarios y ambientales (Ministerio ambiente, 2013).

Es necesario hacer énfasis en cómo se clasifican los residuos hospitalarios y que confirma lo que se expresó antes, que el país desconoce la magnitud del problema de los residuos peligrosos (Ver Figura 2.2). En estas condiciones, es pertinente indicar cuáles son las enfermedades asociadas a la inadecuada gestión de los residuos hospitalarios en Colombia, lo cual se puede observar en la Figura 2.3.

Es válido anotar que no existen datos históricos que permitan hacer análisis estadísticos sobre la tendencia que tiene cada una de estas enfermedades en Colombia; por información del DADIS

se conoce que existen y que son frecuentes en Cartagena de Indias, debido a que se llevan registros sobre algunas de éstas, como los casos de infección por VIH los cuales se registran desde 1991; y hasta el año 2010, se registraron 1.646 casos de los cuales 936 fueron hombres y 443 fueron mujeres.

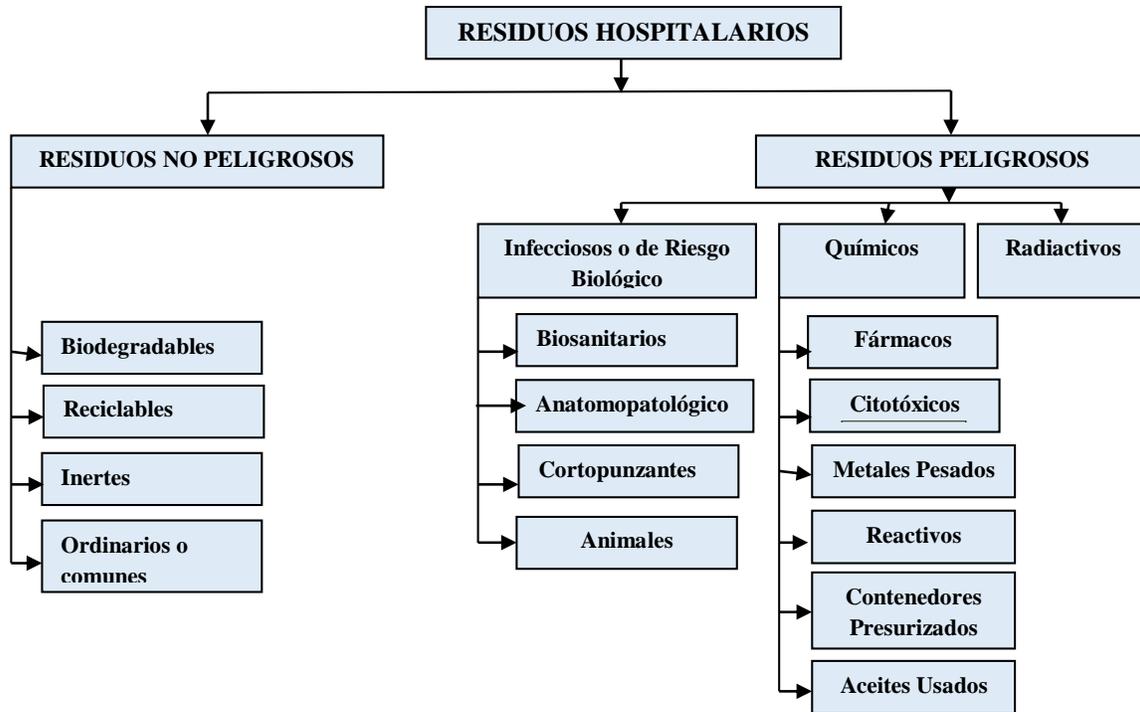


Figura 2.2. Clasificación de los Residuos Hospitalarios en Colombia

Fuente: Ministerio Medio Ambiente, 1998

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Fundación Swisscontact en los últimos años, han cooperado con muchos países de Latinoamérica, con el fin de desarrollar e implementar proyectos dirigidos a mejorar la Gestión Integral de Residuos Sólidos Hospitalarios; realizaron un estudio en el cual su propósito fue actualizar el conocimiento sobre el estado de la gestión integral de los residuos sólidos hospitalarios en establecimientos y entidades de salud de Colombia, con el fin establecer, planear y formular alternativas de solución, estrategias y servir de parámetro y base para la formulación de proyectos de cooperación internacional.

De acuerdo al informe referenciado, para el estudio que se realizó no se tomó una muestra estadísticamente representativa de las instituciones que existen, pero sí, un grupo de instituciones de tal manera que estuvieran representadas por regiones. Tomando en cuenta las ciudades con mayor número de IPS, los servicios asistenciales prestados (con toda la gama de gestión de los diferentes tipos de residuos), facilidad de acceso, que correspondieran a diferentes regiones del país y niveles de atención, se visitaron 15 ciudades en diferentes regiones del país y en cada una ellas, 2 IPS de común acuerdo con criterios del Ministerio de Protección Social y la Consultoría, para que fueran representativas de las categorías de grandes, medianas y pequeñas, públicas y

privadas. En total fue una muestra de 30 IPS, estratificadas y de diferentes niveles de atención y clase de persona prestadora.

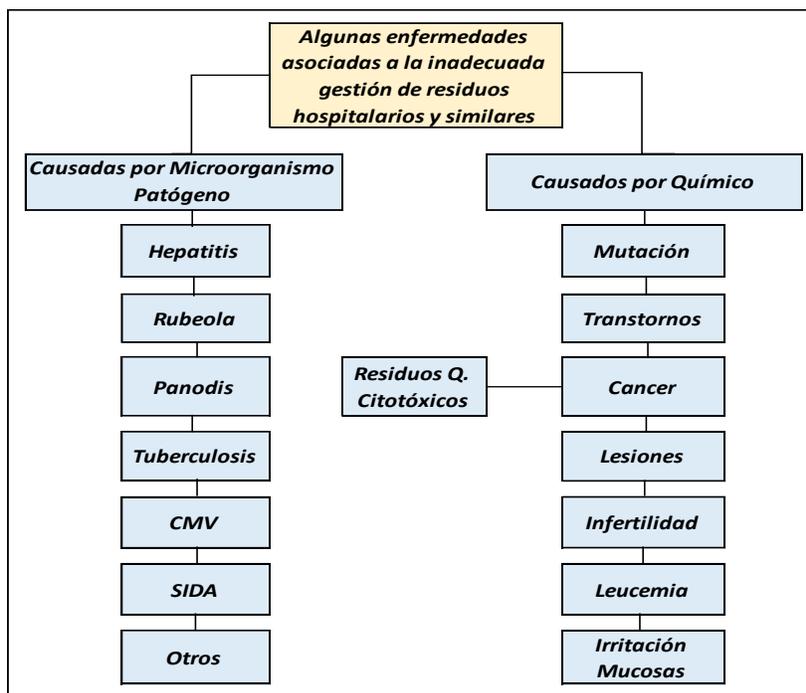


Figura 2.3. Enfermedades por mala gestión de residuos hospitalarios en Colombia
Fuente: Decreto 2676 de 2000

A nivel de Colombia de acuerdo al estudio para diagnóstico, se obtuvo información sobre Autoridades y Corporaciones Ambientales del País, sobre el inventario de los generadores de residuos hospitalarios y similares y sus principales características; los generadores se clasificaron basados en la Normatividad Colombiana (Decreto 2676 de 2000) y de acuerdo a las bases de datos de las Autoridades y Corporaciones Ambientales; muestra además el porcentaje de los generadores que tienen plan de gestión, los que implementan el manual de procedimientos, los que han sido sancionados por incumplimiento.

Con respecto a la recolección y transporte de residuos hospitalarios y similares, el estudio destaca que: La mayoría de empresas transportan residuos de carácter infeccioso; algunas autoridades ambientales manifiestan no tener el suficiente conocimiento sobre la actividad de transporte, por cuanto no es su función el control de la misma; se deben establecer nuevos servicios y mercados para el transporte de residuos como los radiactivos, reactivos, contenedores y aceites usados.

Haciendo referencia a la gestión externa de los residuos, se puede establecer falta relevante de coordinación entre las autoridades de vigilancia y control, así como con las de transporte; además, se observó la necesidad de normas para nuevas alternativas de recolección y transporte de residuos

hospitalarios y similares, especialmente para aquellas zonas geográficas que por sus condiciones de ubicación no pueden cumplir con los actuales lineamientos que están establecidos; se concluyó también que se deben mejorar los mecanismos de certificación de la destrucción de los residuos, los tiempos de entrega así como la información que debe contener y establecer un registro único Nacional de los gestores externos que tienen a cargo la recolección y transporte de residuos hospitalarios.

En cuanto al tipo de tratamiento se observó que el método más utilizado es la incineración, debido a que tiene ventajas como la posibilidad de tratamiento de numerosos tipos de residuo, la eliminación de tóxicos y una reducción del volumen de residuos en un 90% aproximadamente; aunque tiene la desventaja por su potencial de generación y emisión de contaminantes peligrosos para el medio ambiente y la salud humana; otro método menos utilizado es la esterilización de los residuos por autoclave (Desactivación), siendo de fácil operación y alto grado de efectividad y sobre todo, no produce emisiones gaseosas peligrosas.

Tabla 2.1. Inventario generadores residuos hospitalarios.

CONDICIONES	GENERADORES													
	IPS 1 NIVEL	IPS 2 NIVEL	IPS 3 NIVEL	CONSULTORIOS	DROGUERIAS O FARMACIAS	HOSPITALARIA O DE ESTERILIZACION DE MATERIAL	CENTROS DE PIGMENTACION Y/O TATUAJES	BIOTERIOS Y LABORATORIOS DE BIOTECNOLOGIA	DOCENCIA CON ORGANISMOS VIVOS O CADAVERES	VETERINARIAS, CENTROS DE ZOONOSIS Y ZOOLOGICOS	LABORATORIOS VETERINARIOS	FUNERARIAS	PLANTAS DE BENEFICIO ANIMAL	OTRO - CUALES
Número de generadores identificados	1.804	469	78	3.130	2.230	12	103	4	18	387	47	656	237	521
Porcentaje de los Generadores que poseen Plan de Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares.	0,73	0,9	0,95	0,31	0,38	8%	11%	0%	56%	14%	57%	14%	10%	17%
Porcentaje de los Generadores que implementan el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares.	66%	85%	95%	36%	39%	8%	10%	0%	50%	11%	60%	13%	8%	18%
Porcentaje de los Generadores que han sido sancionados por incumplimiento a los lineamientos del plan.	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	0%
Porcentaje de los Generadores que están inscritos en el registro de generadores de RESPEL.	33%	44%	54%	3%	2%	8%	1%	25%	67%	14%	9%	5%	3%	47%

Fuente: Moreno R. et al., 2012

De acuerdo a las encuestas que se hicieron a las Secretarías de Salud departamental, distrital y municipal durante el estudio, se resumió en la Tabla 2.1, un consolidado de la generación de residuos sólidos. Según datos suministrados por las secretarías de salud, se reportan 3.736 IPS las cuales están generando 2.219 toneladas mensuales de residuos hospitalarios, de los cuales el 52.8% son de carácter no peligroso y el 47.2% peligroso. Sin incluir Bogotá el 55% son de carácter no peligroso y el 45% peligroso; esta ciudad incluye a las IPS más pequeñas, lo cual afecta el promedio nacional; de los residuos no peligrosos, se reporta un 29% de reciclables.

Con respecto a lo que se hace con los residuos hospitalarios, también se obtuvo información de las secretarías de salud, la cual está contenida en la Tabla 2.2; con respecto a los residuos infecciosos, cortopunzantes, Anatomopatológicos, amalgamas, radiactivos y fármacos se puede decir que casi todos los residuos peligrosos se incineran, por no existir gestores con otro tipo de servicio de inactivación y tratamiento. Aunque se hace la inactivación, de todas formas se envía para incineración, excepto en Bogotá; los líquidos de revelado y fijado se entregan a gestor externo especializado; los fármacos son devueltos a proveedor.

Tabla 2.2. Qué se hace con los residuos hospitalarios

<i>Tipo de residuos</i>	<i>Procedimiento</i>
<i>Infeciosos</i>	
Biosanitarios:	En su mayoría incineración y unas pocas desactivaciones con autoclave.
Anatomopatológicos:	Incineración en su mayoría, almacenamiento en refrigeradores.
Cortopunzantes:	La mayoría incineración, solo uno realiza recolección en guardianes y desactivación.
De animales:	Incineración
<i>Químicos</i>	
Fármacos:	Incineración
Citotóxicos:	incineración
Metales pesados:	En su mayoría recuperación, sin embargo también se realiza incineración o se llevan al proveedor.
Reactivos:	En su mayoría incineración y en menor grado desnaturalización
Contenedores presurizados:	Devolución al proveedor, celdas de seguridad o incineración
Aceites usados:	Muy pocos recuperación o incineración
<i>Radiactivos</i>	
Fuentes selladas y abiertas:	No reportan este caso, para los demás generados en medicina nuclear, se hace decaimiento y se entrega al gestor externo como no peligroso.

Fuente: Moreno R et al (2012)

Haciendo referencia a los costos, se obtuvo muy poca información, pues se consideró en el estudio que no era muy confiable; la poca información se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Costos disposición de residuos hospitalarios

<i>Costos</i>	<i>Valor en \$/Kg</i>
Costo por Kg dispuesto	No se especifica valor
Costo por Kg dispuesto con incineración	3.844
Costo por Kg dispuesto en relleno sanitario	1.513
Costo por Kg dispuesto en celdas de seguridad	De 1.500 a 3.700
Costo por Kg recogido, tratado y dispuesto	2.964

Fuente: Construcción propia

Las secretarías informan que el 97% de los establecimientos tienen ruta sanitaria con gestor externo y un 3% lo hace por su cuenta y además reportan que el 97% de los establecimientos utilizan gestor externo para la disposición final de los residuos. El 38% de secretarías de salud encuestadas tienen su propio PGIRH, el 56% no cuenta con PGIRH propio; sólo en el 6% de los departamentos que cuentan con su propio PGIRH, funciona en su totalidad, en el 50% funciona parcialmente y en el 25% no funciona; el 13% de instituciones tienen el PGIRH implementado completamente y de manera parcial en el 47%, sin embargo un 27% de las secretarías de salud no están implementando el plan, ni los programas.

Importante resaltar que ninguna de las secretarías de salud encuestada cuenta con equipos para toma y análisis de muestras de ambientes con RH; se evidencia también que no cuentan con equipos para cumplir adecuadamente las funciones de vigilancia y control; que el personal dedicado a la gestión de RH en su mayoría es Técnico, seguido por ingenieros y otro personal, en proporciones menores se encuentran otros profesionales; del personal dedicado a la gestión de RH el 95% afirma estar capacitado, sin embargo durante las visitas se evidenciaron debilidades en los conceptos y conocimiento de las normas.

2.3. CASO HOSPITAL UNIVERSITARIO DEL CARIBE EN CARTAGENA DE INDIAS

La Empresa Social del Estado – ESE Hospital Universitario del Caribe, es una institución pública descentralizada, prestadora de servicios de salud de mediana y alta complejidad, dotada de personería jurídica, patrimonio propio y autonomía administrativa, sometida al régimen jurídico previsto en la Ley 100 de 1993 y por el derecho privado en materia de contratación. La estructura

orgánica contempla tres áreas fundamentales, una de ellas de Dirección integrada por la Junta Directiva y la Gerencia. La Empresa se concibe dentro de la red de prestadores de servicios de salud del Departamento como la cúspide de la referencia de pacientes. Su funcionamiento está fundamentado en una fuerte alianza con la Universidad de Cartagena y la interrelación con proveedores externos de servicios.²

La misión declarada como “Mejorar la calidad de vida de la población usuaria del Caribe y Latinoamérica, mediante la oferta de servicios en salud de mediana y alta complejidad, generando asistencia humanizada y ética, en un ambiente de coordinación administrativa, técnica, académica e investigativa; basado en la transparencia administrativa, la calidad de los procesos, el uso de tecnología apropiada y la excelente formación profesional y moral de un talento humano comprometido e involucrado en el desarrollo continuo de los servicios y la sostenibilidad institucional; integrando la participación pública y privada, para dignificar la vida, aliviar el sufrimiento y generar confianza gubernamental” al ser analizada no presenta elementos que estén relacionados con el manejo de los residuos sólidos para la preservación del medio ambiente y la salud

Así mismo como la visión descrita como” En año 2020 la E.S.E. Hospital Universitario del Caribe será la institución hospitalaria, que dentro de una organización autónoma y empresarial, ha potencializado la especialización operativa y estratégica de los servicios asistenciales en salud de mediana y alta complejidad en el Caribe y Latinoamérica. Consagrada como entidad líder en cobertura, rentabilidad institucional y social, ha construido el escenario ideal para la generación de servicios especializados asistenciales e investigativos para la población usuaria y la formación del talento humano del sector, mediante procesos de óptima calidad, centrados en la excelencia de la atención, la innovación tecnológica, el respeto a la dignidad humana, la cultura de la calidad, la actividad docente e investigativa permanente y la concertación Inter-testamentaria e Inter-institucional” no incorpora un compromiso a futuro con el medio ambiente y la gestión de todos los residuos sólidos presentados.

Ahora bien, antes de ilustrar lo desechos que guardan relación con E.S.E. Hospital Universitario del Caribe, es importante destacar que los desechos de la atención sanitaria (conocidos como desechos o residuos hospitalarios), proceden básicamente de hospitales y otros establecimientos asistenciales, de laboratorios y centros de investigación, centros de autopsias y servicios mortuorios, laboratorios de investigación y pruebas con animales, bancos de sangre y centros de donación, residencias de ancianos (OMS, 2013).

De acuerdo a la OMS³ (1999), los desechos provenientes de las actividades de atención a la salud se clasifican en:

² ESE Hospital Universitario del Caribe. Disponible en <http://www.hucaribe.gov.co/quienes.php>

³ Organización Mundial de la Salud

✓ Desechos infecciosos

Son los desechos contaminados con sangre o derivados sanguíneos, cultivos o cepas de agentes infecciosos; desechos de pacientes ingresados en salas de aislamiento; muestras de diagnóstico desechadas, con sangre o líquidos corporales; animales de laboratorio infectados; y material (hisopos, vendajes) o equipo (como instrumental médico desechable) contaminado.

✓ Desechos de anatomía patológica y laboratorio:

Son partes corporales y cadáveres de animales, que pueden estar contaminados.

✓ Desechos objetos punzocortantes:

Conformados por jeringas, agujas, bisturís y cuchillas desechables, etcétera.

✓ Desechos productos químicos:

Conformados por mercurio, disolventes y desinfectantes.

✓ Desechos farmacéuticos:

Conformados por medicamentos caducados, no utilizados o contaminados; vacunas y sueros.

✓ Desechos genotóxicos:

Son desechos muy peligrosos, mutágenos, teratógenos o cancerígenos, como los medicamentos citotóxicos utilizados para tratar el cáncer, así como sus metabolitos.

✓ Radioactivos:

Conformados por material de vidrio contaminado con material radioactivo de diagnóstico o material de radioterapia.

✓ Desechos con metales pesados y recipientes presurizados:

Conformados, por ejemplo, por termómetros de mercurio rotos.

Otra clasificación de residuos hospitalarios es la que presenta el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2007):

- ✓ Peligroso
- ✓ No peligrosos
- ✓ Radiactivos.

De igual manera, los Ministerios del Medio Ambiente y de Salud, a través del Decreto 2676 de 2000, establecen una clasificación de los residuos hospitalarios y similares de una manera detallada, la cual se debe aplicar al momento de diseñar los diferentes planes de gestión integral de residuos hospitalarios en las instituciones prestadoras de servicio de salud:

✓ *Residuos No peligrosos: Son aquellos producidos por el generador en cualquier lugar y en desarrollo de su actividad, que no presentan ningún riesgo para la salud humana y/o el medio ambiente*

- Biodegradables: Restos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente, en los que se encuentran los vegetales, residuos alimenticios, papeles no aptos para reciclaje, jabones y detergentes biodegradables, papel higiénico, madera y otros residuos que puedan ser transformados fácilmente en materia orgánica.
- Reciclables: No se descomponen fácilmente y pueden volver a utilizarse en procesos productivos como materia prima (ejemplos: papel, cartón, plástico, chatarra, telas, radiografías y vidrio).
- Inertes: No permiten su descomposición, ni su transformación en materia prima y su degradación natural requiere de grandes periodos de tiempo (ejemplos: icopor, papel carbón y los plásticos).
- Ordinarios o comunes: Generados en el desempeño normal de las actividades; no representan peligro para la salud y sus características son similares a las que presentan los desechos domésticos comunes (); se producen en oficinas, pasillos, áreas comunes, cafeterías y en general en todos los sitios del establecimiento del generador (ejemplos: Papeles, cartones, cajas, plásticos, restos de alimento y materiales de la limpieza de patios y jardines, el barrido de pasillos, papelería no reciclables, empaques de medicamentos, entre otros).

✓ *Residuos peligrosos: Son los producidos por el generador con alguna de las siguientes características: infecciosas, combustibles, inflamables, explosivas, reactivas, radiactivas, volátiles, corrosivas y/o tóxicas, que pueden causar daño a la salud humana y/o al medio ambiente. Así mismo se consideran peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.*

- Residuos infecciosos o de riesgo biológico: contienen microorganismos tales como bacterias, parásitos, virus, hongos, virus oncogénicos y recombinantes como sus toxinas, con el suficiente grado de virulencia y concentración que pueden producir una enfermedad infecciosa en huéspedes susceptibles
 - Biosanitarios: Elementos o instrumentos utilizados durante la ejecución de los procedimientos asistenciales que tienen contacto con materia orgánica, sangre o fluidos corporales del paciente tales como: gasas, apósitos, aplicadores, algodones, drenes, vendajes, mechas, guantes, bolsas para transfusiones sanguíneas, catéteres, ondas, material de laboratorio como tubos capilares, de ensayo, láminas porta objetos y laminillas cubre objetos, recipientes para cultivos, recipientes para

- desarrollo de fármacos, sistemas cerrados y sellados de drenajes y ropas desechables o cualquier otro elemento desechable que la tecnología médica utilice
- Anatomopatológicos: Proviene de restos humanos, muestras para análisis, incluyendo biopsias, tejidos orgánicos amputados, partes y fluidos corporales, que se remueven durante cirugías, necropsias u otros.
 - Cortopunzantes: (Infestados o no) Por sus características punzantes o cortantes pueden originar un accidente percutáneo infeccioso. Ejemplo: agujas (hipodérmicas, de suturas, etc.), jeringuillas, pipetas de Pasteur, láminas de bisturís o vidrio, mangueras, limas, lancetas, cuchillas, restos de ampollas, pipetas, placas de cultivo, cristalería entera o rota, etc. Se consideran cualquier corto punzante desechado, aun cuando no haya sido usado.
 - Animales: Proviene de animales de experimentación, inoculados con microorganismos patógenos y/o los provenientes de animales portadores de enfermedades infectocontagiosas o cualquier elemento o sustancia que haya estado en contacto con estos.
- Residuos Químicos: Restos de sustancias químicas y sus empaques o cualquier otro residuo contaminado con éstos, los cuales, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición pueden causar la muerte, lesiones graves o efectos adversos a la salud y al medio ambiente
 - Fármacos parcialmente consumidos, vencidos y/o deteriorados: Medicamentos vencidos, deteriorados y/o excedentes de las sustancias que han sido empleadas en cualquier tipo de procedimiento.
 - Citotóxicos: Excedentes de fármacos provenientes de tratamientos oncológicos y elementos utilizados en su aplicación tales como: jeringas, guantes, frascos, batas, bolsas de papel absorbente y demás material usado en la aplicación del fármaco
 - Metales Pesados: Cualquier objeto, elemento o restos de éstos en desuso, contaminados o que contengan metales pesados como: Plomo, Cromo, Cadmio, Antimonio, Bario, Níquel, Estaño, Vanadio, Zinc, Mercurio.
 - Reactivos: Por sí solos y en condiciones normales, al mezclarse o al entrar en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos, generan gases, vapores, humos tóxicos, explosión o reaccionan térmicamente, colocando en riesgo la salud humana o el medio ambiente.
 - Residuos Radiactivos: Sustancias emisoras de energía predecible y continua en forma alfa, beta o de fotones, cuya interacción con la materia, puede dar lugar a la emisión de rayos x y neutrones. Materiales radiactivos o contaminados con radio nucleidos con baja actividad, provenientes de laboratorios de investigación química y biológica, de laboratorios de análisis clínicos, y servicios de medicina nuclear; son normalmente sólidos o líquidos (jeringas, papel absorbente, frascos líquidos derramados, orina,

heces, etc.); los residuos radiactivos, con actividades medias o altas deben ser acondicionados en depósitos de decaimiento, hasta que sus actividades se encuentren dentro de los límites permitidos para su eliminación

- Contenedores Presurizados: Empaques presurizados de gases anestésicos, medicamentos, óxidos de etileno y otros que tengan esta presentación, llenos o vacíos; los principales gases usados en las entidades de salud son: Anestésicos: Óxido nitroso, hidrocarburos halogenados volátiles, éter y cloroformo; Óxido de etileno: Aplicaciones para esterilización de equipos médicos y quirúrgicos; Oxígeno: es normalmente usado para la inhalación de los pacientes; Aire comprimido: usado en trabajo de laboratorio, equipo de mantenimiento, y sistemas de control ambiental (Ministerio de ambiente, 2002).
- Aceites usados: Son aquellos aceites con base mineral o sintética que se han convertido o tornado inadecuados para el uso asignado o previsto inicialmente, tales como: lubricantes de motores y de transformadores, usados en vehículos, grasas, aceites de equipos, residuos de trampas de grasas (Ministerio de ambiente, 2002).

Se puede decir entonces que, en materia de clasificación de residuos hospitalarios, no existe uniformidad total y esto claramente se observa en el detalle de la clasificación presentada por la OMS, quienes no los agrupan, sino, que los despliegan de manera detallada; la explícita en el decreto 2676 de 2002 y la del PNUMA, quienes los agrupan de manera diferente; en la primera sólo existen dos grandes grupos: Peligrosos y no peligrosos, mientras que en la segunda, existen tres grupos: peligrosos, no peligrosos y radioactivos debido a que consideraron que estos, necesitaban mayor atención por su grado de peligrosidad y consideraron darles un tratamiento especial, clasificándolos de manera independiente.

De todos los desechos generados por esas actividades, de acuerdo a la Organización Mundial de la salud, aproximadamente un 80% corresponde a desechos comunes, semejantes a los residuos domésticos. El restante 20% se considera material peligroso que puede ser infeccioso, tóxico o radioactivo; de éstos, los desechos infecciosos y de anatomía patológica constituyen el grueso de los desechos peligrosos, hasta un 15% del total de los desechos resultantes de las actividades de atención sanitaria. Los objetos punzocortantes representan aproximadamente un 1% del total, pero cuando no se gestionan debidamente son uno de los principales vehículos de transmisión de enfermedades. Los productos químicos y farmacéuticos representan cerca de un 3% de los desechos de la atención sanitaria, mientras que los genotóxicos y los que contienen material radioactivo o metales pesados suponen alrededor del 1% del total.

Después de revisar y analizar la información contenida en el decreto 2676 de 2000, se observa que hace detalladas clasificaciones de los desechos sólidos, información que se ha venido tomando

en cuenta hasta el momento, sin embargo, se ha considerado necesaria para el desarrollo de este documento, sólo la clasificación, de acuerdo con sus características físicas, químicas y biológicas, en residuos peligrosos y no peligrosos, debido a que es la clasificación más generalizada y usada en los establecimientos de salud.

De esta forma, se definen los residuos **NO peligrosos**, de acuerdo al Plan de Gestión Integral de Residuos Peligrosos, basado en el decreto 2676 (2007, p 9) como: los producidos por el generador en cualquier lugar y en desarrollo de su actividad, que no presentan riesgo para la salud humana y/o el medio ambiente:

Los No peligrosos se clasifican a su vez en:

- ✓ **Biodegradables:** Restos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente. En estos restos se encuentran los vegetales, residuos alimenticios no infectados, papel higiénico, papeles no aptos para reciclaje, jabones y detergentes biodegradables, madera y otros residuos que puedan ser transformados fácilmente en materia orgánica.
- ✓ **Reciclables:** Aquellos que no se descomponen fácilmente y pueden volver a ser utilizados en procesos productivos como materia prima. Entre estos residuos se encuentran: algunos papeles y plásticos, chatarra, vidrio, telas, radiografías, partes y equipos obsoletos o en desuso, entre otros.
- ✓ **Inertes:** Aquellos que no se descomponen ni se transforman en materia prima y su degradación natural requiere grandes períodos de tiempo. Entre estos se encuentran: el icopor, algunos tipos de papel como el papel carbón y algunos plásticos.
- ✓ **Ordinarios o comunes:** Son aquellos generados en el desempeño normal de las actividades. Estos residuos se generan en oficinas, pasillos, áreas comunes, cafeterías, salas de espera, auditorios y en general en todos los sitios del establecimiento del generador.

Los **Residuos peligrosos** hace referencia a los residuos producidos por el generador con alguna de las siguientes características: infecciosos, combustibles, inflamables, explosivos, reactivos, radiactivos, volátiles, corrosivos y/o tóxicos; los cuales pueden causar daño a la salud humana y/o al medio ambiente. Así mismo se consideran peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos. A su vez pueden ser:

- **Residuos Infecciosos o de Riesgo Biológico:** Son los que contienen microorganismos patógenos tales como bacterias, parásitos, virus, hongos, virus oncogénicos y recombinantes como sus toxinas, con el suficiente grado de virulencia y concentración que pueda producir una enfermedad infecciosa en huéspedes susceptibles.

Los infecciosos o de riesgo biológico se clasifican en:

- ✓ **Biosanitarios:** Aquellos elementos o instrumentos utilizados durante la ejecución de los procedimientos asistenciales que tienen contacto con materia orgánica,

sangre o fluidos corporales del paciente humano o animal tales como: gasas, apósitos, aplicadores, algodones, drenes, vendajes, mechas, guantes, bolsas para transfusiones sanguíneas, catéteres, sondas, material de laboratorio como tubos capilares y de ensayo, medios de cultivo, láminas porta objetos y cubre objetos, laminillas, sistemas cerrados y sellados de drenajes, ropas desechables, toallas higiénicas, pañales o cualquier otro elemento desechable.

- ✓ Anatomopatológicos: Son los provenientes de restos humanos, muestras para análisis, incluyendo biopsias, tejidos orgánicos amputados, partes y fluidos corporales, que se remueven durante necropsias, cirugías u otros procedimientos, tales como placentas, restos de exhumaciones entre otros.
 - ✓ Cortopunzantes: Son aquellos que por sus características punzantes o cortantes pueden dar o rigen a un accidente percutáneo infeccioso. Dentro de estos se encuentran: limas, lancetas, cuchillas, agujas, restos de ampollitas, pipetas, láminas de bisturí o vidrio, y cualquier otro elemento que por sus características cortopunzantes pueda lesionar y ocasionar un riesgo infeccioso.
 - ✓ De animales: Son aquellos provenientes de animales de experimentación, inoculados con microorganismos patógenos y/o los provenientes de animales portadores de enfermedades infectocontagiosas.
- Residuos Químicos: Son los restos de sustancias químicas y sus empaques o cualquier otro residuo contaminado con estos, los cuales, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición tienen el potencial para causar la muerte, lesiones graves o efectos adversos a la salud y el medio ambiente. A su vez se pueden clasificar en:
 - ✓ Fármacos parcialmente consumidos, vencidos y/o deteriorados: Son medicamentos vencidos, deteriorados y/o excedentes de sustancias que han sido empleadas en cualquier tipo de procedimiento, dentro de los cuales se incluyen los residuos producidos en laboratorios farmacéuticos y dispositivos médicos que no cumplen los estándares de calidad, incluyendo sus empaques.
 - ✓ Residuos de Citotóxicos: Son los excedentes de fármacos provenientes de tratamientos oncológicos y elementos utilizados en su aplicación tales como: jeringas, guantes, frascos, batas, bolsas de papel absorbente y demás material usado en la aplicación del fármaco.
 - ✓ Metales Pesados: Son objetos, elementos o restos de estos en desuso, contaminados o que contengan metales pesados como: Plomo, Cromo, Cadmio, Antimonio, Bario, Níquel, Estaño, Vanadio, Zinc, Mercurio. Este último procedente del servicio de odontología en procesos de retiro o preparación de amalgamas, por rompimiento de termómetros y demás accidentes de trabajo en los que esté presente el mercurio.
 - ✓ Reactivos: Son aquellos que por sí solos y en condiciones normales, al mezclarse o al entrar en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos,

generan gases, vapores, humos tóxicos, explosión o reaccionan térmicamente colocando en riesgo la salud humana o el medio ambiente. Incluyen líquidos de revelado y fijado, de laboratorios, medios de contraste, reactivos de diagnóstico in vitro y de bancos de sangre.

- ✓ Contenedores Presurizados: Son los empaques presurizados de gases anestésicos, medicamentos, óxidos de etileno y otros que tengan esta presentación, llenos o vacíos.
- ✓ Aceites usados: Son aquellos aceites con base mineral o sintética que se han convertido o tornado inadecuados para el uso asignado o previsto inicialmente, tales como: lubricantes de motores y de transformadores, usados en vehículos, grasas, aceites de equipos, residuos de trampas de grasas.
- ✓ Residuos Radiactivos: Son sustancias emisoras de energía predecible y continua (alfa, beta o de fotones), cuya interacción con materia puede dar lugar a rayos X y neutrones. Estos residuos contienen o están contaminados por radionúclidos, en concentraciones o actividades superiores a los niveles de exención establecidos por la autoridad competente para el control del material radiactivo, y para los cuales no se prevé ningún uso.

Basados en estas definiciones y decretos el hospital establecido los departamentos de Urgencias, Consulta Externa, Servicio de Apoyo a Diagnóstico, Cirugía de Mediana y Alta Complejidad, Medicina Crítica y Servicios de Hospitalización, los cuales son focos de generación de residuos sólidos y son importantes al momento de resaltar que cada uno de estos departamentos son factores claves dentro de la logística inversa del hospital como fuentes de generación de residuos de acuerdo a la clasificación pasada, y se puede afirmar que se desarrolla dentro de su modelo de logística inversa, de forma empírica y sin criterio de valor estandarizado o estipulado; es por ello que de acuerdo a su gestión genera los siguientes residuos sólidos:

- ✓ Residuos No peligrosos
 - Residuos ordinarios
- ✓ Residuos Peligrosos
 - Residuos Biológicos
 - Residuos Biosanitarios
 - Residuos anatómicos
 - Residuos cortopunzantes
 - Residuos Químicos
 - Residuos de orden fármaco
 - Residuos citotóxicos
 - Metales pesados
 - Reactivos
 - Aceites usados

Por toda la información que suministró la Institución, se puede observar que existe gran diversidad de residuos hospitalarios como se acaba de mostrar en el párrafo anterior; sin embargo, es importante conocer con qué proporción participa cada uno de ellos en la gestión de residuos del Hospital, con el fin de determinar acciones dentro del Modelo que se propone.

Se consideró necesario, con base en la información de volúmenes de residuos generados, recibida del hospital, hacer un análisis de esto, para observar los porcentajes de participación de cada tipo residuo hospitalario del total de residuos hospitalarios y al mismo tiempo, conocer la participación de los mismos, por dependencia. (Ver Tabla 2.4). De acuerdo a lo esto, se puede ver que los residuos ordinarios se producen en mayor porcentaje en tres dependencias: hospitalización, medicina crítica y servicio de diagnóstico, 20.9%, 20.2% y 18.6% respectivamente.

Tabla 2.4: Participación porcentual de residuos según clasificación y dependencia.

	Ordinarios	%	Biodegradables	%	Anatomopatológicos	%	Cortopunzantes	%	Fármacos	%	Citotóxicos	%	Metales pesados	%	Reactivos	%	Aceites usados	%	TOTAL
Urgencias	259,2	15,7	431,9	18,4	9,7	19,0	2,0	14,5	2,5	17,7	0,1	8,5	1,3	19,5	4,0	12,8	1,2	18,2	711,8
Consulta externa	196,7	11,9	291,6	12,4	7,7	15,0	2,5	18,0	2,1	15,2	0,1	18,3	1,2	18,4	6,5	20,8	0,8	12,2	509,1
Cirugías	211,8	12,8	188,7	8,0	6,8	13,4	1,9	14,2	1,4	10,0	0,2	23,9	0,7	10,4	5,6	18,0	1,4	20,9	418,4
Hospitalización	346,2	20,9	496,6	21,2	7,2	14,0	2,7	19,7	3,5	25,2	0,1	16,9	1,3	20,1	6,1	19,7	1,5	21,7	865,2
Medicina crítica	334,4	20,2	471,4	20,1	6,8	13,2	2,8	20,2	1,9	13,9	0,1	8,5	1,4	21,5	3,0	9,7	0,7	10,4	822,3
Servicios diagnóstico	307,2	18,6	467,6	19,9	12,9	25,3	1,8	13,4	2,5	18,0	0,2	23,9	0,7	10,0	5,9	18,9	1,1	16,6	799,8
Total	1.655,5	100,0	2.347,7	100,0	51,0	100,0	13,6	100,0	13,8	100,0	0,7	100,0	6,5	100,0	31,0	100,0	6,7	100,0	4.126,7

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, en la tabla 2.5 se observa que el 40.1% del total de residuos corresponde a residuos ordinarios y el 59.2% corresponde a Biosanitarios. Cabe anotar que el grupo de ordinarios corresponde a la producción de residuos que se pueden reciclar.

De la misma manera, se calcularon los porcentajes de residuos, por dependencia de acuerdo al total (Ver tabla 2.6). Se pudo observar que, hospitalización es la dependencia que genera mayor porcentaje de residuos hospitalarios (21%); en su orden le siguen Medicina crítica y servicio de diagnóstico con 19.9% y 19.4% respectivamente; Urgencias presenta también un porcentaje significativo del 17.2% frente al total.

Tabla 2.5: Porcentaje de residuos según clasificación de acuerdo al total.

<i>Residuos</i>	<i>Kg/mes</i>	<i>% del tot</i>
Ordinarios	1.655,5	40,1
Biosanitarios	2.347,7	56,9
Anatomopatológicos	51,0	1,2
Cortopunzantes	13,6	0,3
Fármacos	13,8	0,3
Citotóxicos	0,7	0,0
Metales pesados	6,5	0,2
Reactivos	31,0	0,8
Aceites usados	6,7	0,2
Total	4.126,7	100,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.6: Porcentaje de residuos por dependencia de acuerdo al total.

<i>Departamento</i>	<i>Kg/mes</i>	<i>% del tot</i>
Urgencias	711,8	17,2
Consulta externa	509,1	12,3
Cirugías	418,4	10,1
Hospitalización	865,2	21,0
Medicina Crítica	822,3	19,9
Servicios diagnóstico	799,8	19,4
Total	4.126,7	100,0

Fuente: Elaboración propia

Continuando con el análisis de los datos suministrados por el hospital, se pueden corroborar las conclusiones de las tablas 2.4, 2.5 y 2.6, apreciando en el Gráfico 2.1, que el hospital presenta mayor proporción de residuos en los ordinarios y Biosanitarios por la cantidad de kilogramos generados en el mismo, donde la cantidad generada de ambos tiene un promedio de 300 kg diarios generados en el mismo; seguidos de los residuos Anatomopatológicos, reactivos y fármacos cuya proporción respectiva de residuos es de 11.5, 18 y 3 kg. Estos comportamientos de generación de residuos indican, que el Hospital tiene gran número de kilogramos de residuos generados en toda su gestión.

Teniendo en cuenta Gráfico 2.2, se deduce que el Hospital respecto al indicador IDD (indicador de destinación desactivación) presenta fechas en las cuales se destinan residuos a desactivación en Kg más de lo debido, conllevando a hacer mayores esfuerzos para la gestión de estos mismos que recaen sobre los residuos cortopunzantes, Anatomopatológicos y reactivos. Este indicador tiene un comportamiento para los periodos de análisis de 0,03, por consiguiente los puntos o fechas que se encuentran fuera de los límites de control con respecto al indicador podrá ser debido a que en esos tiempos de análisis se presentó mayor número de casos clínicos.

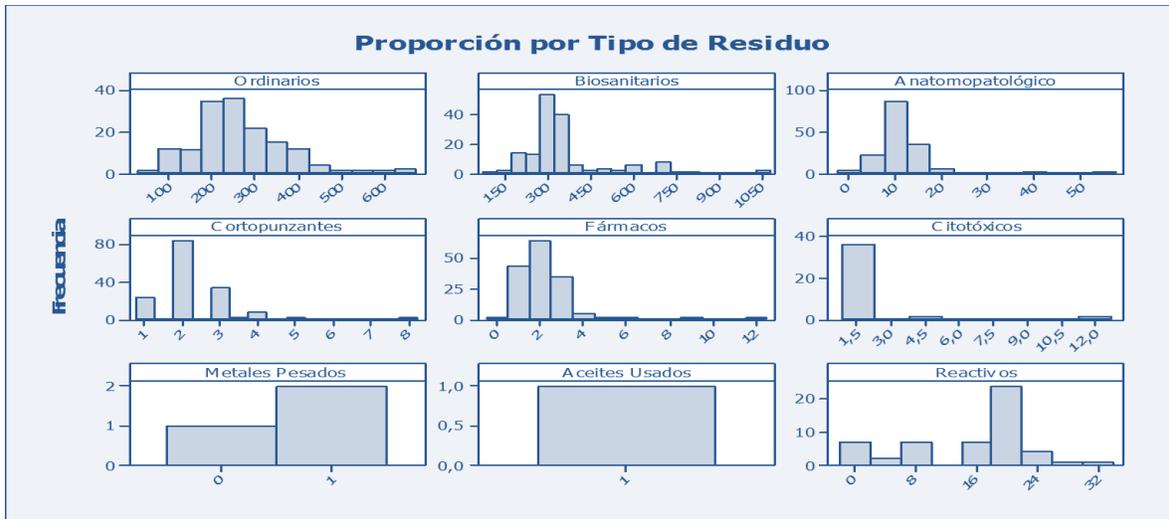


Gráfico 2.1. Proporción por tipo de residuo

Fuente: Construcción propia con información dada por el Hospital, y Software Minitab.16

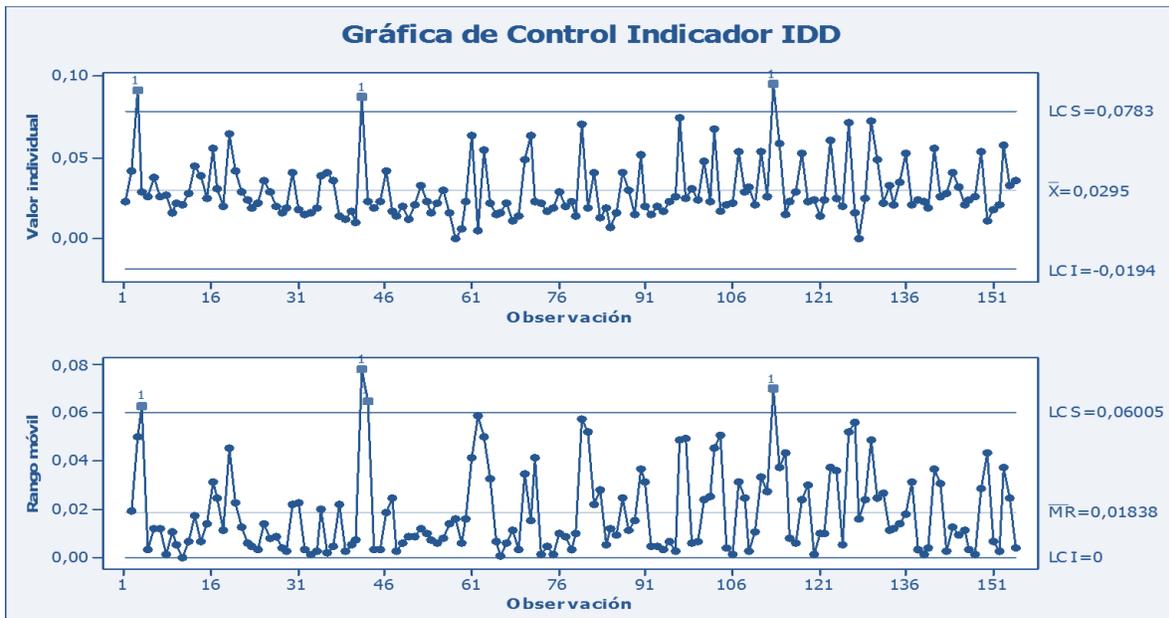


Gráfico 2.2. Control de Indicador IDD

Fuente: Construcción propia con información dada por el Hospital y Software Minitab.16

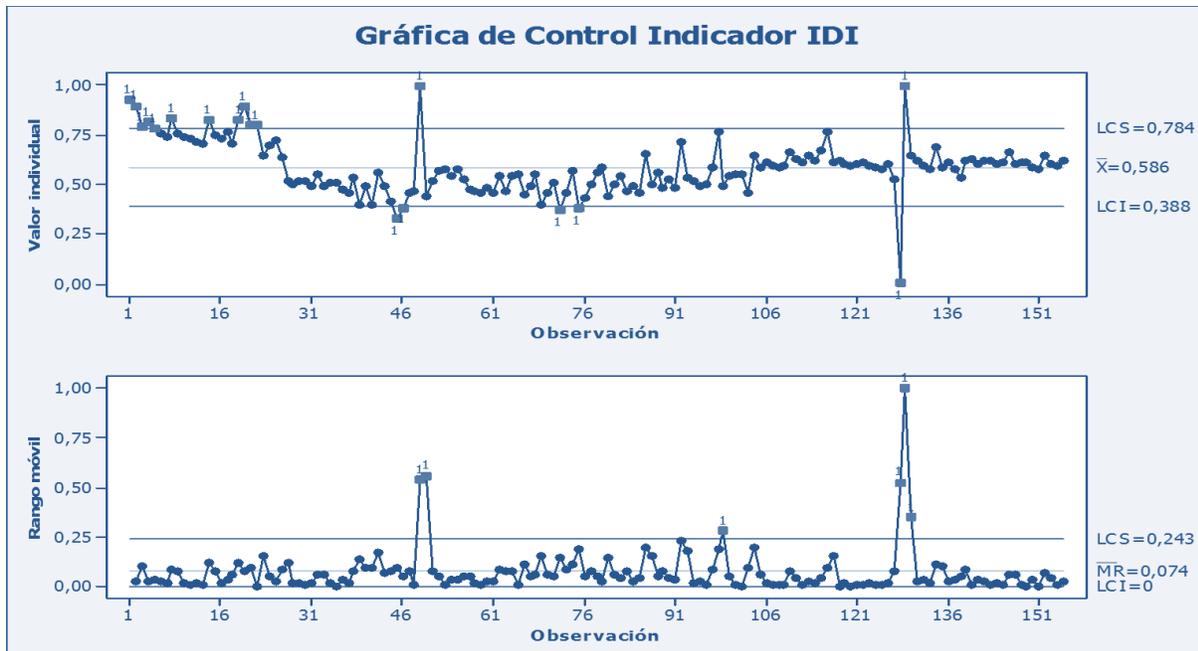


Gráfico 2.3. Control de Indicador IDI

Fuente: Construcción propia con información dada por el Hospital y Software Minitab.16

Por otro lado, en lo que respecta al indicador IDI de destinación para incineración el Hospital presenta mucha variación o en su defecto mucho ruido. Este indicador denota que tanta proporción de residuos peligrosos son incinerados al total de residuos generado en el Hospital. Partiendo de lo anterior, el hospital está generando una cantidad considerable de residuos peligrosos y esto condiciona a que se deban incinerar; este efecto se ve evidenciado en la gráfica. Debido a que existen fechas que incineran en kg más residuos peligrosos que lo establecido y su indicador es de 0,59.

Estos comportamientos indican que el Hospital está haciendo muchos esfuerzos en la gestión de estos tipos de residuos, debido a que estos están incrementando, pero presenta bajas leves ya que en tiempos determinados el Hospital no trabaja en tu totalidad debido a aspectos relacionados con paros de los trabajadores. En términos de costos, el Hospital al presentar estas variaciones, denota que tienen un incremento en los costos por el manejo generado en ello, por consiguiente, el hospital tiene que generar acciones que mitiguen la generación de estos residuos.

El Hospital, al generar demasiados residuos, tiene como punto de referencia la generación de enfermedades, tanto al ambiente laboral como a los pacientes mismos; sin embargo, cabe resaltar que, desde hace aproximadamente un año, la Coordinación de gestión Ambiental del hospital, quien es la responsable de la gestión de los residuos, ha mostrado más compromiso y disposición para mejorar dicha gestión; por ello, esto, unido a toda la problemática expuesta, se consideran elementos de juicio que muestran la pertinencia a desarrollar el presente proyecto de investigación, en el que la consideración del caso de estudio, permite un escenario habilitador para proponer un

modelo de optimización, que ayude a gestionar y minimizar los costos de generación y manejo de residuos sólidos hospitalarios.

3. CAPÍTULO III

MODELO DE OPTIMIZACIÓN MULTI - CRITERIO PARA LA GESTIÓN LOGÍSTICA INVERSA DEL SECTOR HOSPITALARIO

3.1. OPTIMIZACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA EN LA LOGÍSTICA DE LA GESTIÓN HOSPITALARIA

Es importante antes de proceder a ilustrar el diseño del modelo de optimización, definir algunos conceptos usados en la modelación del proceso que se propone; se puede decir que logística inversa es el proceso de planear, implementar y controlar eficientemente, y a un costo apropiado, los flujos de materias primas, inventario en proceso, bienes terminados e información relacionada desde el punto de consumo al punto de origen con el propósito de recuperar el valor primario o disponer adecuadamente de ellos.” (Iniestra G, 2009). Así mismo, se conoce el proceso de planificar, implantar y controlar el flujo de productos desde el punto de consumo hasta el punto de origen de una forma eficiente, con el propósito de recuperar su valor o el de la propia devolución.” (Bastos B, 2007).

Stern et al., (1999) afirman que la distribución inversa es el proceso consistente en la recuperación continua de los productos o sus envases para impedir su acumulación en los vertederos o el consumo energético derivado de su incineración. Ésta amplía las responsabilidades de los integrantes del canal de distribución, porque éstos se hacen responsables de los productos con posterioridad a su venta y después de lo que los consumidores los hayan utilizado.

Ramírez et al., (2012) mencionan que la logística inversa es el proceso de planificación, implantación y control del flujo de materias primas, inventario en proceso y bienes terminados, desde un punto de uso, manufactura o distribución a un punto de recuperación o disposición adecuada, ahora bien, esta disposición puede ser esquematizada mediante la figura 3.1.

Ahora bien, teniendo en cuenta la figura, se propone una aplicación programada en el software General Algebraic Modeling System o GAMS®, con la finalidad de modelar y analizar los resultados en términos de restauración y reutilización directa de productos catalogados como residuos sólidos generados como desperdicios de los procesos del E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena.

Este capítulo presenta un modelo matemático para una red de recolección y disposición de residuos sólidos a lo largo del hospital universitario, que a su vez se valida en el E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena, soportado en los modelos de Kroon & Vrijens (1997), Fleischmann, M. (2001) y Feito et al. (2016), los cuales sugieren enfoques de programación lineal y entera para la modelación de cadenas o fragmentos de cadenas de suministro desde la óptica de logística inversa.

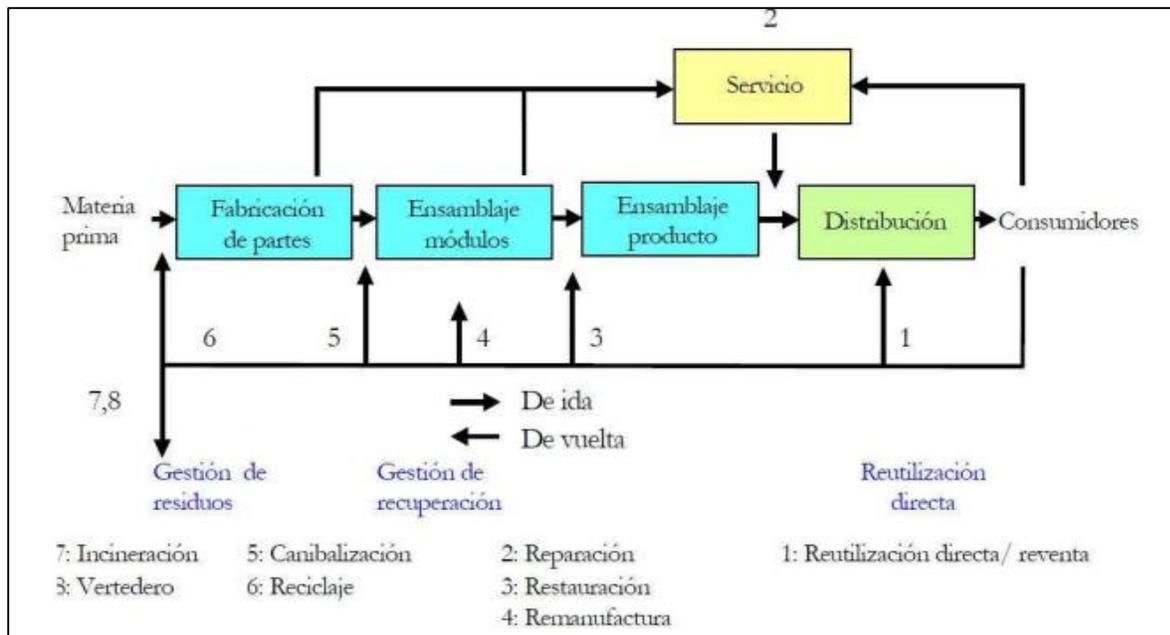


Figura 3.1. Esquematización logística inversa.

Fuente: Tomado de Thierry, (1995) y de Pérez A y Rodríguez M, (2003)

A partir de lo anterior, se proponen el uso de variables de decisión de tipo binario y entero mediante un problema de programación entera mixta (por sus siglas en inglés MIP) para el problema de ruteo de los recolectores de residuos sólidos entre los departamentos del hospital, por lo tanto el modelo se describe entre la caracterización, supuestos y modelamiento del proceso.

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN

Es importante tomar en cuenta que la información suministrada por el hospital Universitario del Caribe en la ciudad de Cartagena, permitió tener una visión global de las características del modelo a plantear y por ello se consideró que antes de comenzar a formular las ecuaciones que permitirían generar soluciones, las cuales serían modeladas, se deben considerar algunos aspectos importantes:

- ✓ En la Institución se cuenta con seis (6) departamentos en los que se desarrollan actividades relacionadas con la gestión del hospital; se discriminan de la siguiente forma:
 - Urgencias
 - Consulta externa
 - Cirugías
 - Hospitalización
 - Medicina crítica

- Servicios de Diagnostico
- ✓ En la definición del modelo se toman en cuenta los productos a ser recolectados durante el ejercicio de la gestión de residuos hospitalarios, discriminados de la siguiente forma:
- Residuos No peligrosos
 - Residuos ordinarios
 - Residuos Peligrosos
 - Residuos Biológicos
 - Residuos Biosanitarios
 - Residuos anatomatológicos
 - Residuos Cortopunzantes
 - Residuos Químicos
 - Residuos de orden fármaco
 - Residuos citotóxicos
 - Metales pesados
 - Reactivos
 - Aceites usados
- ✓ Los residuos son recolectados en cada uno de los departamentos establecidos en el hospital, por un conjunto de operarios, los cuales están limitados con respecto al tiempo y capacidad de atención.
- ✓ Las personas tienen la opción de ir varias veces a un departamento a realizar la recolección, teniendo en cuenta la ruta más corta y los productos que sean recolectados

Cabe anotar que cada uno de estos aspectos mencionados, se pueden observar en detalle en la figura 3.2, que corresponde al modelo conceptual, que muestra el proceso de funcionamiento o lógica llevada a código GAMS más adelante en el proyecto.

De acuerdo a la figura 3.2 se plantea un modelo de programación lineal entera mixta, dado que las variables que se pueden inferir en el modelo conceptual son variables que toman no valores reales, sino que obedecen a variables de tipo binarias que representan decisiones de traslado de personas con residuos sólidos dentro la red interna de desplazamiento del hospital. Ahora bien, este modelo es trasladado a un entorno de codificación matemática en el software GAMS.

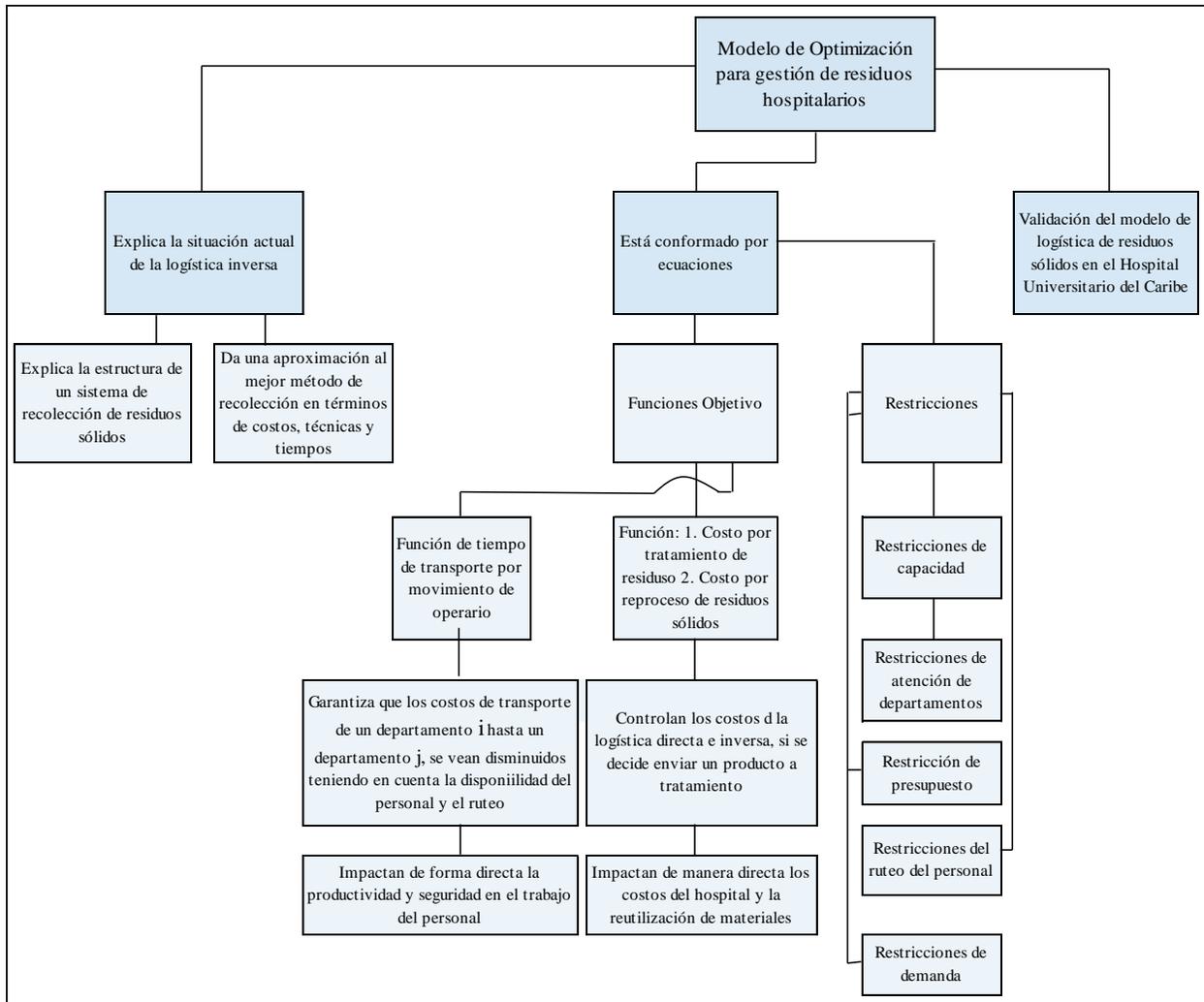


Figura 3.2. Modelo Conceptual

Fuente: Elaboración propia

3.3 SUPUESTOS DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN

Los modelos de programación lineal o entera mixta, al ser modelos robustos, tratan de incorporar altos componentes de la realidad para poder encontrar una solución óptima, es por ello que se crean los supuestos, con el fin de delimitar el alcance de la realidad sin perder una buena aproximación a la respuesta. De acuerdo a ello para el presente modelo se crean los siguientes supuestos:

- ✓ Las distancias en el modelo se calculan de forma lineal, aunque se estudiaron las pendientes de las escaleras, no se consideraron las curvas para efectos de poder tener un valor equivalente en tiempo.
- ✓ Los tiempos de recolección por parte del proveedor de basuras no son considerados, dado que lo que pretende es establecer una política dentro del Hospital Universitario.

- ✓ Los costos asociados a los reprocesos y de retorno son tomados de acuerdo al estudio de (Moreno, 2012) y comparados con los tipos de residuos que genera el Hospital para poder establecer dichos valores que son tomados por el modelo.
- ✓ Se asume que los tiempos de la logística inversa son iguales a la logística inversa en las tablas de tiempos, dado que no se consideran los tiempos externos y solo se evalúa la gestión dentro del hospital.

3.4. MODELAMIENTO DE LA LOGISTICA DE RESIDUOS HOSPITALARIOS

Tomando como base el modelo conceptual del modelo de optimización ilustrado en el presente proyecto (Ver figura 3.2), se plantea el modelo de programación lineal entera multi – criterio, para el problema de recolección, envíos, tratamiento y retorno al proceso del hospital. El modelo se considera multicriterio dado que incorpora varias funciones objetivos sujetas a un mismo conjunto de restricciones de acuerdo a (Valero, 1977) y que a continuación se presentan los elementos del modelo mediante la descripción de los conjuntos, parámetros, tablas, variables y ecuaciones.

3.4.1 Conjuntos

Los conjuntos, que son los que enmarcan el contexto para el modelo que se propone, se definen de la siguiente forma en la tabla 3.1:

Tabla 3.1 Definición de los conjuntos a utilizar en el modelo propuesto

<i>i</i>	Departamentos hospital de Cartagena que toman los valores de Urgencias, Consulta Externa, Cirugías, Hospitalización, Medicina Critica, Servicios de Diagnostico. De forma paralela se establece un conjunto <i>j</i> , el cual toma los mismos valores de <i>i</i> , con el fin de establecer el ruteo de las personas dentro del hospital.
<i>k</i>	Los productos a ser recolectados desagregados entre Ordinarios, Biosanitarios, Anatomopatológico, Cortopunzantes, Fármacos, Citotóxicos, Metales Pesados, Reactivos y Aceites usados
<i>v</i>	La cantidad de personas asignadas a la recolección de residuos de cada una de los departamentos en el presente modelo que toman valores desde 1 hasta 10.
<i>f</i>	Viajes o instantes de tiempo para desarrollar las actividades

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Parámetros

Los parámetros del modelo propuesto hacen referencia a los datos que son imprescindibles y direccionan para evaluar o valorar las situaciones que se presentan en dicho modelo y representan los valores conocidos del sistema o los que se pueden controlar (Ver tabla 3.2)

Tabla 3.2 Definición de los parámetros a utilizar en el modelo propuesto

$C(v)$	Máximo número de departamentos del hospital que puede atender una persona
$Demanda(i,k)$	Demanda de productos de residuo tipo k en los departamentos i del hospital
$Tc(v)$	Tiempo máximo del vehículo o persona para terminar su jornada de recolección
$Ta(v,k)$	Tiempo que le toma a un vehículo o persona v atender la recolección de los productos k
$Tv1(i,j)$	Tiempo empleado para ir de departamento i al departamento j (logística directa)
$Tv2(j,i)$	Tiempo empleado para ir del departamento j a la departamento i (logística inversa)
$repro(k,j)$	Costos de reproceso y retorno de cada producto k al sistema en j
$ctrata(k)$	Costos de tratamientos de residuos sólidos de acuerdo a la clasificación Moreno, (2012)

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Variables

Es importante resaltar que las variables de decisión del modelo que se propone, son cada una de las incógnitas cuyo valor se busca con la solución de dicho modelo. En la tabla 3.3 se están definiendo en detalle cada una de ellas.

Tabla 3.3. Definición de las variables a utilizar en el modelo propuesto

$X1(i,j,v,k,f)$	Variable de decisión de salir del departamento i al departamento j con la persona v a recolectar el residuo tipo k en el viaje f .
$X2(j,i,v,k,f)$	Variable de decisión de ir del departamento j al departamento i con la persona v a recolectar el residuo tipo k en el viaje f .
$X3(k,j,f)$	Cantidad producto k es retornado al sistema en la vuelta f
$S(j,v,k,f)$	Cantidad de residuos tipo k en el departamento j en el viaje f con el vehículo v .

Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Funciones objetivo

La función objetivo es realmente la relación matemática que se da entre las variables de decisión y los parámetros que se han definido, y una cantidad que representa el objetivo mismo del sistema, es decir, que la función objetivo lo que hace es medir que tan efectivo es el modelo propuesto, en función de las variables que se definieron y determina lo que se va a optimizar (Maximización o minimización).

Ecuación (1): Garantiza que los que los tiempos de transporte de un departamento **i** hasta un departamento **j** se vean disminuidos teniendo en cuenta la disponibilidad del personal y el ruteo determinado por el modelo en las variables de decisión incorporadas tipo X1, X2 y X3.

(1)

$$\begin{aligned}
 \text{Minimizar } Z1 = & \sum_i^I \sum_j^J \sum_k^K \sum_v^V \sum_f^F X1_{ijkvf} * tv1_{ij} \\
 & + \\
 & \sum_i^I \sum_j^J \sum_k^K \sum_v^V \sum_f^F X2_{jikvf} * tv2_{ji} \\
 & + \\
 & \sum_j^J \sum_v^V \sum_k^K \sum_f^F S_{jvkf} * ta_{vk}
 \end{aligned}$$

Ecuación (2) y (3): Controlan los costos de la logística directa e inversa, si se decide enviar un producto a tratamiento, la variable de decisión X_3 gestiona su ubicación de acuerdo a los costos de disposición y reincorporación al proceso

(2)

$$\text{Minimizar } Z2 = \sum_k^K \sum_j^J \sum_f^F s_{jvfk} * \text{ctrata}_k$$

(3)

$$\text{Maximizar } Z3 = \sum_k^K \sum_j^J \sum_f^F X3_{kjf} * \text{repro}_{kj}$$

3.4.5 Restricciones del modelo propuesto

Ecuaciones y restricciones:

(4)

$$\sum_v^V \sum_k^K \sum_f^F X1_{ijvfk} = 1 \quad \forall i, j$$

Esta ecuación garantiza que todos los departamentos sean atendidos por la persona v en el instante de tiempo f para recolectar el producto k

(5)

$$\sum_v^V \sum_k^K \sum_f^F X2_{jivkf} = 1 \quad \forall i, j$$

Esta ecuación garantiza que todos los departamentos sean atendidos y despachados por la persona v en el instante de tiempo f para recolectar el producto k

(6)

$$\sum_v^V \sum_f^F s_{jvfk} = \text{demanda}_{jk} * \sum_j^J \sum_k^K X1_{ijvfk} \quad \forall j, k$$

Esta condición garantiza que los productos a ser recolectados en el departamento j con la persona v en la vuelta sean iguales a la demanda de productos en cada departamentos de acuerdo a su volumen de operaciones.

(7)

$$\sum_j^J \sum_k^K \sum_f^F s_{jvkf} \leq c_v$$

Esta ecuación garantiza que la cantidad de residuos sólidos recolectados por la persona v deben ser menor que lo que puede transportar cada uno de ellos.

(8)

$$\sum_i^I \sum_j^J \sum_k^K x_{1ijvkf} \leq 1 \quad \forall i, j$$

Con esta ecuación se garantiza que se cada persona v en cada instante de tiempo f realice la actividad de recolección en los departamentos asignados al Hospital Universitario.

(9)

$$\sum_i^I x_{1ijvkf} - \sum_i^I x_{2jvikf} = 0 \quad \forall j, v, k, f$$

También es importante establecer una política para que garantice una sola dirección en la gestión de residuos sólidos, es por ello que esta ecuación determina que una persona v puede ir desde un departamento i hasta j , pero no puede devolverse en el mismo instante de tiempo, esto para evitar reprocesos en cuanto al tiempo disponible.

(10)

$$\sum_j^J \sum_v^V \sum_k^K \sum_f^F x_{1ijvkf} \geq 1 \quad \forall i$$

(11)

$$\sum_i^I \sum_v^V \sum_k^K \sum_f^F x_{2jivkf} \geq 1 \quad \forall j$$

Las restricciones 10 y 11, tienen como función controlar las salidas y llegadas a cada departamento i o j , logrando así que todos los departamentos puedan ser atendidos por diferentes personas.

(12)

$$\sum_j^J \sum_f^F X3_{kjf} * Matrizdevolucion_{kj} \leq demanda_{ik} \quad \forall i, k$$

La ecuación (12) garantiza que el modelo tome la decisión si el producto k es retornado al sistema en la vuelta f y las cantidades a retornar, de acuerdo a los costos de disposición final o retorno a proceso del hospital.

(13)

$$\sum_k^K \sum_j^J \sum_f^F X3_{kjf} * repro_{kj} + \sum_k^K \sum_i^I \sum_f^F X3_{kif} * ctrata_k \leq \$ 70,000,000.00$$

Esta ecuación (13), limita el presupuesto de los costos asociados a la logística inversa; sin embargo, como no se tiene un presupuesto asignado, se estima un valor de \$ 70,000,000.00, como si fuera una big M de control para poder establecer valor límite en dinero para el hospital.

(14)

$$X3_{kjf}, S_{jvkf} \geq 0$$

$$0 \leq X1_{ijvkf}, X2_{jivkf} \leq 1$$

Por último la restricción (14) garantiza el principio de positividad de las variables del modelo a través de las variables X3 y S, así mismo como las variables X1 y X2, las cuales son variables binarias de decisión

3.5. ANALISIS DE LA INFORMACION REQUERIDA EN EL MODELO DE OPTIMIZACION.

Los datos para el desarrollo de la presente investigación fueron tomados mediante entrevistas con las directivas Gestión Ambiental del Hospital Universitario del Caribe, mediante un instrumento diseñado para poder hacer un buen muestreo, el cual conto con la siguiente estructura:

✓ Encuesta 1

- Tipos de residuos de acuerdo a la clasificación usada en la presente investigación.
- Cantidad de residuos recolectados en kilogramos por mes

✓ **Encuesta 2**

- Tipos de residuos
- Promedio de emisiones de residuos
- Frecuencia de recolección de los residuos
- Tipo de bolsas usadas para la recolección
- Dotaciones usadas por el personal encargado.

Lo anterior permitió el tratamiento y presentación de los siguientes datos importantes en la constitución del modelo de optimización que se propone.

Estos datos (Tabla 3.4), fueron estimados teniendo en cuenta un valor alto para que sea el modelo el que determine las cantidades mínimas o máximas a transportar, teniendo en cuenta las capacidades individuales y los tiempos asociados a la logística.

Los datos de tabla 3.5 fueron estimados, de acuerdo a los registros de producción de residuos sólidos que proporcionó el hospital y con los cuales se desagregó, en cada uno de los departamentos para efectos de validar la gestión matemática del modelo.

Tabla 3.4. Máximo número de kilos por mes de residuos que una persona puede recolectar en un intervalo de tiempo

<i>Persona encargada de la recolección</i>	<i>Kilos máximos de residuos a transportar/persona</i>
<i>v1</i>	500
<i>v2</i>	500
<i>v3</i>	500
<i>v4</i>	500
<i>v5</i>	500
<i>v6</i>	500
<i>v7</i>	500
<i>v8</i>	500
<i>v9</i>	500
<i>v10</i>	500

Fuente: Elaboración propia datos estimados

Tabla 3.5. Demanda mensual en Kg de productos de residuo tipo k en los departamentos i del hospital

	Ordinarios	Biodegradables	Anatomopatológicos	Cortopunzantes	Fármacos	Citotóxicos	Metales pesados	Reactivos	Aceites usados
<i>Urgencias</i>	259.21	431.87	9.70	1.98	2.45	0.06	1.27	3.98	1.23
<i>Consulta externa</i>	196.71	291.59	7.68	2.45	2.10	0.13	1.20	6.46	0.82
<i>Cirugías</i>	211.76	188.71	6.82	1.94	1.38	0.17	0.68	5.57	1.41
<i>Hospitalización</i>	346.23	496.61	7.16	2.69	3.49	0.12	1.31	6.12	1.46
<i>Medicina crítica</i>	334.38	471.36	6.75	2.75	1.92	0.06	1.40	3.02	0.70
<i>Servicios diagnóstico</i>	307.16	467.60	12.93	1.82	2.49	0.17	0.65	5.87	1.12

Fuente: Elaboración propia datos estimados

Tabla 3.6. Tiempo en que un vehículo *v* le toma atender la recolección de los productos *k* expresado en horas por mes

	Ordinarios	Biodegradables	Anatomopatológicos	Cortopunzantes	Fármacos	Citotóxicos	Metales pesados	Reactivos	Aceites usados
<i>v1</i>	0.40	1.00	1.20	1.00	1.80	0.40	0.40	0.70	0.40
<i>v2</i>	0.70	1.40	0.30	0.10	0.70	0.70	1.60	0.70	0.40
<i>v3</i>	0.50	0.90	0.90	1.90	0.40	1.40	0.80	1.90	0.10
<i>v4</i>	1.10	0.40	0.80	1.90	0.70	0.50	0.30	0.80	0.70
<i>v5</i>	0.30	0.90	1.60	1.70	0.90	0.80	0.90	1.10	0.30
<i>v6</i>	0.20	0.90	0.10	0.60	0.40	0.50	0.90	0.90	0.60
<i>v7</i>	0.70	0.70	0.80	1.30	0,00	0.30	1.30	0.20	1.70
<i>v8</i>	0.80	0.10	0.90	1.90	0.50	0.70	0.90	0.70	1.70
<i>v9</i>	0.10	0.60	0.40	0.90	0.10	0.70	1.40	1,00	0.30
<i>v10</i>	0.60	2,00	0.70	1.50	0.80	0.30	0.40	0.80	0.20

Fuente: Elaboración propia datos estimados

Tabla 3.7. Tiempo empleado para ir de departamento *i* al departamento *j* (logística directa) expresado en horas por mes

	<i>Urgencias</i>	<i>Consulta Externa</i>	<i>Cirugías</i>	<i>hospitalización</i>	<i>Medicina Crítica</i>	<i>Servicios diagnostic</i>
<i>Urgencias</i>	0,00	0.66	0.64	0.29	1.93	2.00
<i>Consulta externa</i>	0.34	0.00	0.99	1.08	1.91	0.05
<i>Cirugías</i>	0.15	0.26	0.00	0.24	0.48	0.05
<i>Hospitalización</i>	0.67	1.81	0.79	0.00	0.50	1.86
<i>Medicina crítica</i>	0.45	0.36	1.52	1.80	0.00	1.11
<i>Servicios diagnóstico</i>	1.94	1.49	1.42	1.94	1.74	0.00

Fuente: Elaboración propia

Los tiempos de las tablas 3.6, 3.7 y 3.8, fueron estimados de acuerdo a la distancia entre cada uno de los departamentos, incluyendo las inclinaciones en las escaleras y las capacidades de las personas encargadas.

Tabla 3.8 Tiempo empleado para ir del departamento j al departamento i (logística inversa) expresados en horas por mes

	<i>Urgencias</i>	<i>Consulta Externa</i>	<i>Cirugías</i>	<i>hospitalización</i>	<i>Medicina Crítica</i>	<i>Servicios diagnostic</i>
<i>Urgencias</i>	0,00	0.66	0.64	0.29	1.93	2.00
<i>Consulta externa</i>	0.34	0.00	0.99	1.08	1.91	0.05
<i>Cirugías</i>	0.15	0.26	0.00	0.24	0.48	0.05
<i>Hospitalización</i>	0.67	1.81	0.79	0.00	0.50	1.86
<i>Medicina crítica</i>	0.45	0.36	1.52	1.80	0.00	1.11
<i>Servicios diagnóstico</i>	1.94	1.49	1.42	1.94	1.74	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.9. Costos de reproceso y retorno de cada producto k al sistema en j en \$/ kilos.

	<i>Urgencias</i>	<i>Consulta Externa</i>	<i>Cirugías</i>	<i>Hospitalización</i>	<i>Medicina Crítica</i>	<i>Servicio Diagnóstico</i>
<i>Ordinarios</i>	3.000,0	3000.0	3000.0	3000.0	3000.0	3000.0
<i>Biodegradables</i>	0,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Anatomopatológicos</i>	0,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cortopunzantes</i>	3.000,0	3000.0	3000.0	3000.0	3000.0	3000.0
<i>Fármacos</i>	0,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Citotóxicos</i>	0,0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Metales pesados</i>	3.000,0	3.000,0	3.000,0	3.000,0	3.000,0	3.000,0
<i>Reactivos</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Aceites usados</i>	3.000,0	3.000,0	3.000,0	3.000,0	3.000,0	3.000,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10. Costos de tratamientos de residuos sólidos de acuerdo a la clasificación Moreno, (2012) expresados en \$/kilos

	<i>Costo/kg</i>
<i>Ordinarios</i>	3.000,0
<i>Biodegradables</i>	4.000,0
<i>Anatomopatológicos</i>	4.000,0
<i>Cortopunzantes</i>	4.000,0
<i>Fármacos</i>	4.000,0
<i>Citotóxicos</i>	4.000,0
<i>Metales pesados</i>	4.000,0
<i>Reactivos</i>	3.000,0
<i>Aceites usados</i>	3.000,0

Fuente: Elaboración propia

Finalmente estos parámetros y tablas presentados en la presente investigación son el soporte numérico del modelo matemático de optimización para la generación de la solución óptima y real dentro de la región factible, lugar de soluciones para la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena.

4. CAPÍTULO IV

VALIDACIÓN DEL MODELO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN PLAN DE GESTION

4.1. RESULTADOS MODELO DE OPTIMIZACIÓN ARTICULADOS AL MODELO DE LOGÍSTICA INVERSA

El modelo planteado fue resuelto bajo la plataforma GAMS bajo el compilador IBM ILOG CPLEX desarrollado en 0.36 segundos, con 583 iteraciones para poder establecer un valor óptimo.

Teniendo en cuenta que la herramienta de optimización bajo programación lineal entera multicriterio presentada solo muestra un enfoque cuantitativo, es necesario ilustrar un soporte de gestión administrativo, para el apoyo en las decisiones tomadas dentro del proceso de recolección y disposición de residuos sólidos generados por el hospital.

Para la presente investigación se definieron los sistemas de gestión de la logística inversa dentro del Hospital Universitario del Caribe, considerando cuatro escenarios los cuales se ilustran en la figura 4.1:

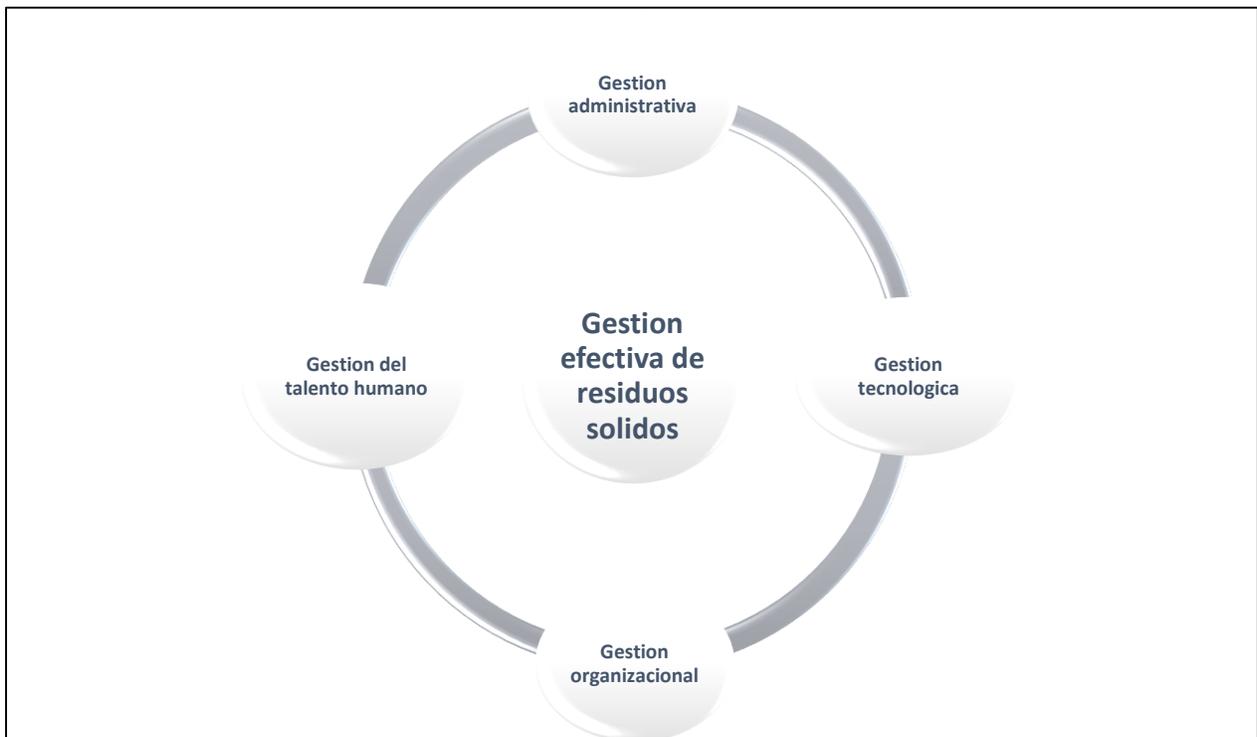


Figura 4.1 Subsistemas dentro de la gestión de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia

4.2. SISTEMAS DEFINIDOS PARA EL HOSPITAL UNIVERSITARIO

4.2.1 Conocimientos técnicos y gestión del talento humano dentro de la gestión de residuos sólidos.

En este ítems, se propone que la división de planeación del hospital utilice el modelo de optimización propuesto, considerando los aspectos de costos que tiene éste, los cuales son atribuibles desde los tiempos y programación del hospital, tal como se muestra a continuación con los 10 operarios promedio que se mantienen por día en el hospital (Ver tabla 4.1)

Tabla 4.1 Número de operarios por piso

<i>Piso</i>	<i>No Operarios</i>				<i>Piso</i>	<i>No Operarios</i>				<i>Piso</i>	<i>No Operarios</i>			
	<i>Mañana</i>					<i>Tarde</i>					<i>Noche</i>			
<i>1o</i>	5	1 cir		2 jar	<i>1o</i>	2	1	1 urg	<i>1o</i>	2 urg	1 cir/urg			
<i>2o</i>	4				<i>2o</i>	2			<i>2o</i>	2 cir				
<i>3o</i>	2 cir	1 uci	1		<i>3o</i>	2 cir	1 uci		<i>3o</i>	1 uci				
	13			2		8				6				
	<i>Mañana</i>					<i>Tarde</i>					<i>Noche</i>			
<i>4o</i>	6	1 cui			<i>4o</i>	4	1 cui		<i>4o</i>	2	1 cui			
<i>6o</i>	6				<i>6o</i>	2			<i>6o</i>					
<i>7o</i>	6				<i>7o</i>	2			<i>7o</i>					
	18					7				3				
<i>cir: cirugía uci: Unidad de cuidados intensivos urg: Urgencia cui: Cuidados intermedios jar: Jardín</i>														

Fuente: Elaboración propia

Se considera importante dar a conocer las convenciones de abreviaturas que se utilizarán en las tablas de resultados, para mayor comodidad y practicidad (ver tabla 4.2)

Tabla 4.2. Abreviaturas a utilizar en tablas

	<i>Convenciones de Abreviaturas a usar en tablas de resultados</i>
<i>Ordinarios</i>	ordi
<i>Biodegradables</i>	bio
<i>Anatomopatológicos</i>	ana
<i>Cortopunzantes</i>	cor
<i>Fármacos</i>	far
<i>Citotóxicos</i>	cit
<i>Metales pesados</i>	mpe
<i>Reactivos</i>	rea
<i>Aceites usados</i>	aus

Fuente: Elaboración propia

El modelo permite establecer la decisión de tomar una ruta para iniciar la recolección de residuos sólidos en cada uno de los departamentos del hospital, considerando los tiempos de transportación medidos durante un estudio de movimientos basados en observación directa de forma aproximada a los estándares o tiempos definidos por el hospital, las cantidades de residuos a transportar en un instante de tiempo y al final de la jornada laboral de acuerdo a los resultados registrados en la tabla 4.3

Tabla 4.3. Variable de decisión de salir del departamento i al departamento j con la persona v a recolectar el residuo tipo k en el viaje f.

<i>Departamento origen</i>	<i>Departamento destino</i>	<i>Persona</i>	<i>Residuo a ser recolectado</i>	<i>Instante de tiempo</i>
<i>Consulta externa</i>	<i>Hospitalización</i>	7	rea	1
<i>Cirugías</i>	<i>Hospitalización</i>	9	cit	1
<i>Hospitalización</i>	<i>Servicios diagnostico</i>	7	rea	1
<i>Medicina critica</i>	<i>Servicios diagnostico</i>	6	bio	1
<i>Servicios diagnostico</i>	<i>Consulta externa</i>	1	rea	1
<i>Urgencias</i>	<i>Urgencias</i>	6	ana	2
<i>Hospitalización</i>	<i>Cirugías</i>	1	ordi	2
<i>Medicina critica</i>	<i>Urgencias</i>	2	cit	2
<i>Urgencias</i>	<i>Cirugías</i>	1	cit	3
<i>Consulta externa</i>	<i>Medicina Critica</i>	9	rea	3
<i>Urgencias</i>	<i>Consulta externa</i>	8	rea	4
<i>Cirugías</i>	<i>Urgencias</i>	2	bio	4
<i>Cirugías</i>	<i>Cirugías</i>	1	ordi	4
<i>Servicios diagnostico</i>	<i>Hospitalización</i>	9	bio	4
<i>Consulta externa</i>	<i>Cirugías</i>	1	ordi	5
<i>Cirugías</i>	<i>Medicina Critica</i>	4	rea	5
<i>Medicina critica</i>	<i>Consulta externa</i>	6	cit	5
<i>Servicios diagnostico</i>	<i>Cirugías</i>	2	ana	5
<i>Servicios diagnostico</i>	<i>Servicios diagnostico</i>	8	rea	5
<i>Urgencias</i>	<i>Servicios diagnostico</i>	1	ordi	6
<i>Hospitalización</i>	<i>Hospitalización</i>	3	rea	6
<i>Medicina critica</i>	<i>Cirugías</i>	10	cit	6
<i>Urgencias</i>	<i>Medicina Critica</i>	1	ordi	7

<i>Hospitalización</i>	<i>Consulta externa</i>	5	cit	8
<i>Medicina critica</i>	<i>Hospitalización</i>	7	far	8
<i>Consulta externa</i>	<i>Urgencias</i>	10	ana	9
<i>Consulta externa</i>	<i>Consulta externa</i>	6	rea	9
<i>Hospitalización</i>	<i>Urgencias</i>	9	mpe	9
<i>Servicios diagnostico</i>	<i>Urgencias</i>	8	mpe	9
<i>Hospitalización</i>	<i>Medicina Critica</i>	1	mpe	10
<i>Medicina critica</i>	<i>Medicina Critica</i>	3	rea	10
<i>Urgencias</i>	<i>Hospitalización</i>	3	far	11
<i>Consulta externa</i>	<i>Servicios diagnostico</i>	8	aus	12
<i>Cirugías</i>	<i>Consulta externa</i>	1	rea	12
<i>Cirugías</i>	<i>Servicios diagnostico</i>	3	aus	12
<i>Servicios diagnostico</i>	<i>Medicina Critica</i>	6	cit	12

Fuente: Elaboración propia

Es importante considerar los desplazamientos de un departamento a otro; para ello, se requieren estudios de tiempos y movimiento actualizados, especialmente los estudios de tiempos predeterminados, los cuales son aplicables a este entorno; de acuerdo a Maynard et al., (1948), se afirma que se proporciona valores de tiempo a los movimientos fundamentales de alcanzar, girar, agarrar, posicionar, soltar y dejar, y que se define como un procedimiento para analizar una operación manual o un método desde los movimientos básicos a fin de estandarizarlos.

Vale anotar, que la definición dada se ajusta a la labor de recolección de residuos sólidos, la cual es una operación totalmente manual y que se realiza en un pequeño espacio considerando los movimientos fundamentales.

El modelo de optimización propuesto presenta una manera de hacer la programación de las operaciones de recolección de residuos sólidos y para ello se crean las plantillas de recolección basadas en los tiempos y consideraciones de dicho modelo.

De los resultados mostrados en la tabla 4.3 se pudieron determinar los bloques de tiempo de trabajo de cada uno de las 10 personas asignadas para la recolección de los residuos sólidos; en la tabla se puede apreciar que todos los departamentos son atendidos y que todos los residuos son recolectados, usando al máximo cada uno de los recursos.

Ahora bien, cada departamento podrá contar con una asignación y la programación de las actividades de recolección de la siguiente forma:

✓ *Urgencias*

Tabla 4.4. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v - Urgencias

<i>Persona/Residuos</i>		<i>Instante de tiempo vs cantidad recolectada</i>											
<i>Persona asignada</i>	<i>residuo a ser recolectado</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	cit	0.06											
3	mpe												2.547
4	ana						19.391						
9	bio					431.871							

Fuente: Elaboración propia

✓ *Consulta externa*

Tabla 4.5. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v – Consulta externa

<i>Persona/residuo</i>		<i>Instante de tiempo vs cantidad recolectada</i>											
<i>Persona asignada</i>	<i>Residuo a ser recolectado</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	Cit					0.270							
6	Rea										25.840		

Fuente: Elaboración propia

✓ *Cirugía*

Tabla 4.6. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v – Cirugía

<i>Persona/residuo</i>		<i>Instante de tiempo vs cantidad recolectada</i>											
<i>Persona asignada</i>	<i>residuo a ser recolectado</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	Ordi												219.392
2	Ana												6.819
3	Ordi								415.886				
7	Cit												0.330

Fuente: Elaboración propia

✓ *Hospitalización*

Tabla 4.7. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v – Hospitalización

<i>Persona/residuo</i>		<i>Instante de tiempo vs cantidad recolectada</i>											
<i>Persona asignada</i>	<i>residuo a ser recolectado</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Bio										222.882		
1	Cit									0.121			
2	Bio												273.731
4	Rea												12.233
7	Far												6.984

Fuente: Elaboración propia

✓ *Medicina crítica*

Tabla 4.8. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v – Medicina Crítica

<i>Persona/residuo</i>		<i>Instante de tiempo vs cantidad recolectada</i>											
<i>Persona asignada</i>	<i>residuo a ser recolectado</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	Cit												0.059
3	Mpe												1.397
5	Ordi												334.384
6	Rea												9.073

Fuente: Elaboración propia

✓ *Servicio de diagnóstico*

Tabla 4.9. Cantidades de residuos tipo k a recolectar en el departamento j en el viaje f con la persona v – Servicio de diagnóstico

<i>Persona/residuo</i>		<i>Instante de tiempo vs cantidad recolectada</i>											
<i>Persona asignada</i>	<i>residuo a ser recolectado</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Ordi								274.759				
1	Aus												2.237
6	Rea												11.732
10	Ordi												32.403
10	Bio												467.597

Fuente: Elaboración propia

Todos estos resultados mostrados en cada una de las tablas anteriores, ilustran la programación de cada uno de los departamentos en términos de recolección de residuos sólidos, lo cual representa un impacto positivo del modelo en términos de Operacionalización o programación de las actividades concernientes a la logística inversa.

Es importante a su vez destacar el impacto ambiental que se produce junto con los costos asociados al modelo, el cual se puede observar cuando se analizan los residuos ordinarios emitidos por el hospital; se contabilizan alrededor de 860.938 kilogramos/año de residuos y se recuperan 199.874 Kilogramos, lo que equivale a un porcentaje de recuperación del sistema del 23.23%, tal como se ilustra en la tabla 4.10:

Tabla 4.10. Cantidades de residuo recuperado

<i>Departamento/residuo</i>		<i>Instante de tiempo vs cantidad recolectada</i>											
<i>Departamento</i>	<i>Residuo a ser recolectado</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Servicios de diagnóstico	Ordi												196.707
Servicios de diagnóstico	Ordi												1.825
Servicios de diagnóstico	Ordi												0.645
Servicios de diagnóstico	Ordi												0.697

Fuente: Elaboración propia

Vale resaltar que estos resultados representan el soporte para los objetivos del modelo los cuales se cuantifican en la tabla 4.11

Tabla 4.11. Objetivos del modelo

<i>Objetivo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Valor</i>
Z1	Minimización de los tiempos de transporte a los departamentos	\$ 2526.566
Z2	Minimización de los costos de tratamientos de los residuos generados	\$ 9,750,059.625
Z3	Maximización de costos de los residuos sólidos retornados al sistema	\$ 599, 621.86

Fuente: Elaboración propia

Finalmente en relación a los resultados de la funciones objetivo se puede decir que el modelo matemático de optimización desarrollado satisface las expectativas de ser una herramienta de toma decisión debido a la alta complejidad por la gran cantidad de datos, variables de decisión y las interrelaciones múltiples entre las variables que existen en la programación de las operaciones de recolección de los residuos sólidos y brinda a su vez información confiable para la gestión de tomar decisiones en el caso de estudio E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena.

4.2.2 Estructura organizacional y gestión administrativa para el soporte de la gestión de residuos solidos

La gestión administrativa y la estructura organizacional de la logística inversa, especialmente en la recolección de residuos sólidos de la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena, aunque se cuenta con una persona encargada de la gestión de los residuos sólidos, es importante crear una organización mixta donde la gestión ambiental y de logística inversa se vea a través de todos los departamentos de la siguiente forma en la Figura 4.2:

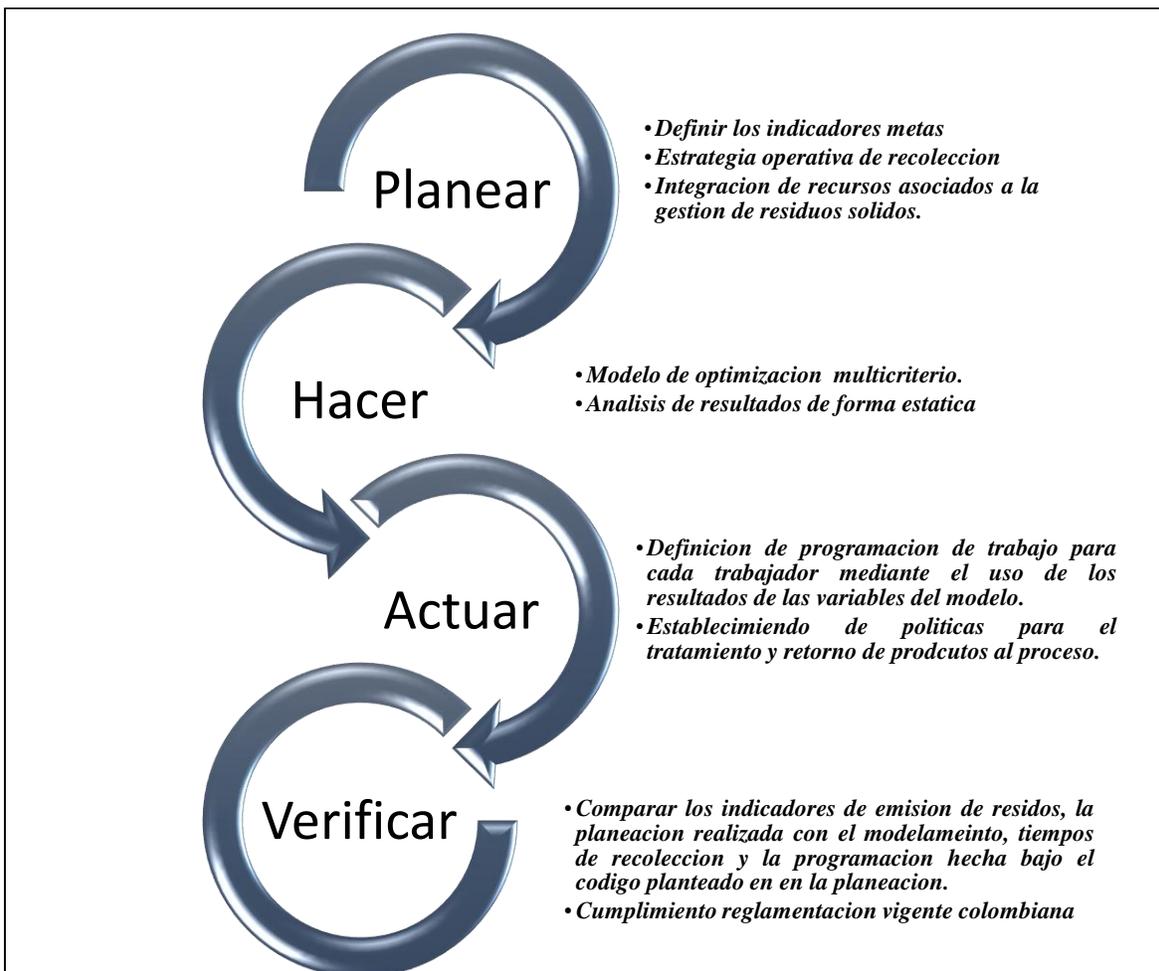


Figura 4.2 Proceso asociado a la generación de residuos sólidos PHVA

Fuente: Elaboración propia

4.3. PROCESOS ASOCIADOS A LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

4.3.1. Procesos en la planeación de la gestión de residuos sólidos

Dentro del proceso de planeación es importante tener en cuenta que la Organización Mundial de la Salud (2013), considera que el término desechos hospitalarios, incluye todos los que se generan en los centros de salud, centros de investigación y laboratorios relacionados con los procedimientos médicos, incluyendo además, el tipo de residuos procedentes de fuentes menores y dispersos, incluyendo los residuos producidos en el curso de la atención de la salud realizados en el hogar.

De acuerdo al Ministerio del medio ambiente y el Ministerio de Salud, en su Decreto 2676 de 2000, se define residuos hospitalarios y similares como las sustancias, materiales o subproductos sólidos, líquidos o gaseosos, generados por una tarea productiva resultante de la actividad ejercida por el generador.

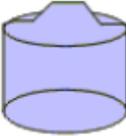
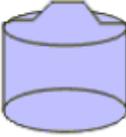
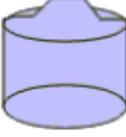
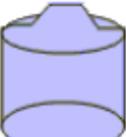
Conforme al Manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares en Colombia MPGIRH, es importante utilizar recipientes separados e identificados, acordes con el código de colores estandarizado. En todas las áreas del establecimiento generador se deben instalar recipientes para el depósito inicial de residuos. Algunos recipientes son desechables y otros reutilizables, todos deben estar perfectamente identificados y marcados, del color correspondiente a la clase de residuos que se va a depositar en ellos.

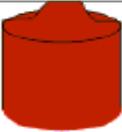
Se ha evidenciado la necesidad de adoptar un código único de colores que permita unificar la segregación y presentación de las diferentes clases de residuos, para facilitar su adecuada gestión y por ello, en el Manual se adopta una gama básica de cuatro colores, para identificar los recipientes como se muestra más adelante. Esto no prohíbe que, quienes adicionalmente quieren utilizar una gama complementaria más amplia de colores, lo puedan hacer.

El Código de colores debe implementarse: para los recipientes rígidos reutilizables y para las bolsas y recipientes desechables. A excepción de, Los recipientes tanto retornables como las bolsas deberán ser rotulados, excepto los recipientes para residuos biodegradables y ordinarios, para los cuales su rotulación no es obligatoria.

Se puede observar en la Tabla 4.12, la clasificación de los residuos, color de la bolsa y recipientes, con los respectivos rótulos que deben llevar.

Tabla 4.12. Clasificación de los residuos, color de recipientes y rótulos respectivos

NO PELIGROSOS Reciclables Plástico	Bolsas de plástico, vajilla, garrafas, recipientes de polipropileno, bolsas de suero y polietileno sin contaminar y que no provengan de pacientes con medidas de aislamiento.	 Gris	Rotular con:  RECICLABLE PLÁSTICO.
NO PELIGROSOS Reciclables Vidrio	Toda clase de vidrio.	 Gris	Rotular con:  RECICLABLE VIDRIO
NO PELIGROSOS Reciclables Cartón y similares	Cartón, papel, plegadiza, archivo y periódico.	 Gris	Rotular con:  RECICLABLE CARTÓN PAPEL.
NO PELIGROSOS Reciclables Chatarra	Toda clase de metales	 Gris	Rotular:  RECICLABLE CHATARRA
NO PELIGROSOS Ordinarios e inertes	Servilletas, empaques de papel plastificado, barrido, colillas, icopor, vasos desechables, papel carbón, tela, radiografía.	 Verde	Rotular con: NO PELIGROSOS ORDINARIOS Y/O INERTES
PELIGROSOS INFECCIOSOS Biosanitarios, Cortopunzantes y Químicos Citotóxicos	Compuestos por cultivos, mezcla de microorganismos, medios de cultivo, vacunas vencidas o inutilizadas, filtros de gases utilizados en áreas contaminadas por agentes infecciosos o cualquier residuo contaminado por éstos.	 Rojo	Rotular con:  RIESGO BIOLÓGICO

QUIMICOS	Residuo de sustancias químicas y sus empaques o cualquier otro residuo contaminado con estos.	 Rojo	 RIESGO QUIMICO
QUIMICOS METALES PESADOS	Objetos, elementos o restos de éstos en desuso, contaminados o que contengan metales pesados como: plomo, cromo, cadmio, antimonio, bario, níquel, estaño, vanadio, zinc, mercurio.	 Rojo	Rotular: METALES PESADOS [Nombre del metal contenido] RIESGO QUIMICO
RADIATIVOS	Estos residuos deben llevar una etiqueta donde claramente se vea el símbolo negro internacional de residuos Radiactivos y las letras, también en negro RESIDUOS RADIATIVOS.	 Púrpura semitranslúcida	Rotular:  RADIATIVOS

Fuente: Multimedia Sena salud

Los residuos proceden de diferentes dependencias de las instituciones prestadoras de servicio de salud como lo es el caso de la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena (Ver anexo 1 Cuadro consolidado E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena); así mismo, una vez se ha estudiado su clasificación, se considera importante conocer cómo se encuentran estructurados y clasificados los centros hospitalarios y los diferentes servicios de salud que se prestan en ellos; es así como se presenta la clasificación de las instituciones según el acuerdo 20 de 1990 dentro del territorio colombiano; por ello, la Organización Operativa de las instituciones prestadoras de servicio de salud estará constituida por tres Niveles de Atención:

- ✓ *Primer Nivel de Atención: Cuenta con los servicios de consulta externa médica y odontológica*
 - *Unidades Básicas de Atención (U.B.A)*
 - *Centros de Salud*
 - *Hospitales de nivel 1*
 - *Centro de atención médica inmediata CAMI 1*

- ✓ *Segundo Nivel de Atención: Cuenta con médicos generales y especialistas básicos*
 - *Hospitales de nivel 2*
 - *Centro de atención médica inmediata CAMI 2.*

- ✓ *Tercer Nivel de Atención:* Cuenta con médicos generales, especialistas básicos y sub-especialistas (cardiólogos, neurólogos, nefrólogos, gastroenterólogos y otros de acuerdo a disponibilidad de recursos).
- ✓ *Hospitales del Nivel III*

Es importante resaltar que para cada una de estas instituciones, se deberá diseñar un Plan de Gestión Integral de residuos hospitalarios y similares (PGIRS) diferente, debido a que el grado de atención y de complejidad en la prestación del servicio es diferente en cada uno de ellos y por consiguiente los residuos que se generan, cuya destrucción o vida final es diferente, y por ello, la logística inversa, además de ser herramienta de apoyo al PGIRS, para una correcta destrucción o reintegración de estos (ver tabla 5), es una obligación contraída por el objeto social de las entidades de salud, para mitigar el riesgo en la prestación del servicio y verificar la seguridad del paciente y su familia (Aguirre J. et al, 2012).

De la misma manera, internamente dentro de las instituciones, se pueden clasificar los diferentes servicios de salud que se prestan a los usuarios; a continuación se presenta la estructuración hecha por el Ministerio de Salud y Protección Social, a través de su resolución 1441 de 2013, con el fin de facilitar la organización de los servicios de salud y permitir la incorporación al Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud -REPS- de manera homologada:

- *Grupo:* Más alto nivel de clasificación de los servicios de salud
- *Servicio:* unidad básica habilitable del Sistema Único de Habilitación de Prestadores.
- *Modalidad:* Hace referencia a algunas formas en la prestación del servicio a las cuales el prestador se vincula para lograr las características enunciadas:
 - ✓ *Intramural:* atención ambulatoria y hospitalaria en la misma estructura de salud.
 - ✓ *Extramural:* servicios que se ofrecen en espacios temporales destinados a salud o espacios de salud de áreas de difícil acceso.
 - ✓ *Telemedicina:* prestación de servicios de salud, realizados a distancia (promoción, prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación), utilizando tecnologías de la información y la comunicación.

Como se observa, cada área respectivamente se encarga de una función diferente y así mismo, en cada una de ellas se puede generar residuos de diferente calidad, cuya destrucción o vida final es diferente, y por ello, la logística inversa representa una herramienta de apoyo al PGIRS, para una correcta destrucción o reintegración de estos, según sea el caso; ahora bien, cabe resaltar que no solo se utiliza como herramienta, sino que además constituye una obligación contraída por el objeto social de las entidades de salud, cuya responsabilidad es mitigar el riesgo en la prestación del servicio y verificar la seguridad del paciente y su familia (Aguirre J, Laverde S., Vélez V, 2012).

4.3.2. Procesos en el hacer de la gestión de residuos sólidos

Al hablar de del hacer en la gestión de residuos, considera importante, mostrar lo que dice el Manual de procedimientos para la Gestión integral de los residuos hospitalarios y similares en Colombia, con respecto al manejo mismo de los residuos, desde el punto de generación hasta su destino final.

✓ *Generación y segregación de residuos*

De acuerdo al Manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares en Colombia MPGIRH Manual se indica que en la generación y separación de residuos, se presentan tres acciones básicas que se describen a continuación, aplicadas a la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena: Reducción y reciclaje, Indicadores y Separación

- ***Reducción y Reciclaje***

- Se debe intentar la reducir la generación de residuos a través de la estimación dentro del consumo de los departamentos de Urgencias, Consulta Externa, Servicio de Apoyo a Diagnóstico, Cirugía de Mediana y Alta Complejidad, Medicina Crítica y Servicios de Hospitalización
- Algunos objetos como tubos, guantes y sondas pueden ser reutilizados, siempre y cuando se garantice su esterilización
- El reciclaje permite recuperar algunos insumos para la industria como el papel, vidrio y plástico dentro de la clasificación de los residuos ordinarios.
- Otros residuos orgánicos generados en hospitales como residuo de alimentos, pueden usarse en abonos para mejora de jardines.

- ***Indicadores***

- Se establecen controles sobre indicadores de generación de residuos sólidos por Kg en Hospitales, con el fin de medir volúmenes y facilitar actividades de monitoreo y control posterior.
 - **IDD** = Indicadores de destinación desactivación Kg./ mes.
 - **ÍDR** = Indicadores de destinación para reciclaje.
 - **RR** = Cantidad de residuos reciclados en Kg./ mes.
 - **ÍDI** = Indicadores de destinación para Incineración.
 - **RI** = Cantidad de residuos incinerados en Kg./ mes.
 - **ÍDRS** = Indicadores de destinación para relleno sanitario.
 - **RRS** = Cantidad de residuos dispuestos en relleno Sanitario en Kg./ mes.

- **ÍDos** = Indicadores de destinación para otros sistemas de disposición final aceptada por la legislación.
- **RT** = Cantidad total de Residuos producidos por el Hospital o establecimiento en Kg./mes.
- **Rd**= Cantidad de residuos sometidos a desactivación en Kg./ mes.

De acuerdo a estos indicadores con los resultados del modelo se miden dividiendo los volúmenes de cada residuo solidos frente al total de la emisión de los productos.

- ***Separación:***

- Los residuos deben ser clasificados y separados inmediatamente después de su generación, es decir, en el mismo lugar en el que se originan.
- En cada uno de los servicios, son responsables de la clasificación y separación, los médicos, enfermeras, odontólogos, tecnólogos, auxiliares de enfermería, de farmacia y de dietética, los cuales los deben depositar en recipientes de almacenamiento, tales como, bolsas, canecas, etc.
- La separación tiene la siguiente ventaja de aislar los residuos peligrosos tanto infecciosos como especiales, que constituyen apenas entre el 10% y 20% de toda la basura.
- Esta actividad de separación permite reducir los riesgos de contagio de enfermedades y generación de contaminación.

Se observa que las acciones básicas de la generación de residuos, son la reducción/reciclaje, los indicadores y la separación, los cuales son la base de una adecuada gestión de residuos hospitalarios.

- ***Almacenamiento y movimiento interno de residuos***

Después de hacer la separación de residuos y depositados en recipientes específicos, estos se localizan en los sitios de generación para evitar su movilización excesiva y la consecuente dispersión de los gérmenes contaminantes. Durante las actividades de almacenamiento, se generan movimientos internos de residuos, los cuales deben realizarse de forma planeada y controlada para evitar contaminaciones (Ministerio de la Salud (Protección Social) y Ministerio de Ambiente, 2009)

- ***Tratamiento***

El tratamiento de los residuos infecciosos y especiales se ejecuta en cada departamento de la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena, con el objetivo de disminuir el riesgo de

exposición tanto a gérmenes patógenos como a productos químicos tóxicos y cancerígenos. Por estos motivos, el tratamiento suele consistir en la desinfección o inactivación de los residuos infecciosos y en la neutralización del riesgo químico de los residuos especiales. Adicionalmente, existe la posibilidad de reducir el volumen, hacer que su aspecto sea menos desagradable e impedir la reutilización de agujas, jeringas y medicamentos.

De la misma manera, el tratamiento de la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena se puede clasificar en:

- Tratamiento inmediato/primario, haciendo el tratamiento de los residuos en cada uno de los departamentos con los recursos que están actualmente vinculados al hospital de forma inmediata, una vez realizada la operación que dio como consecuencia la generación de un residuo sólido.
- Tratamiento externo, dado que el hospital no cuenta con las especificaciones para realizar tratamientos y retornarlos al proceso logístico, sino que toca tercerizarlo.

- ***Disposición Final y Transporte***

Este último proceso del programa de manejo de residuos hospitalarios, tiene como objetivo definir la disposición final de los residuos, de tal manera que se cumplan los lineamientos de la norma que se enfocan en maximizar la seguridad del personal, minimizar los riesgos al medio ambiente y optimizar sus costos de gestión.

Los diferentes componentes del proceso de disposición final de residuos hospitalarios para la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena, se muestran a continuación, los cuales comprenden actividades, tales como reciclaje y transporte.

- *Reciclaje*

- ❖ De acuerdo a los resultados del modelo de optimización se establece una norma para recolectar materiales potencialmente reciclables, siempre y cuando se garantice que esta práctica no represente riesgo alguno para las personas que los manipulen ni para las que los convierten en productos útiles.

- *Transporte*

- ❖ Consiste en la recolección y el traslado de los residuos desde los sitios de generación hasta el almacenamiento temporal y final.

- ❖ El modelo permite establecer un horario de recolección y transporte, que incluya rutas y frecuencias para evitar interferencias con el resto de actividades de la unidad.
- ❖ La recolección se efectuará de acuerdo al volumen de generación de residuos y al nivel de complejidad de la unidad de salud; y será en las horas definidas en la presente investigación.

Es importante observar que el proceso de disposición final de residuos hospitalarios, depende de su tipo y disponibilidad de recursos y ubicación de las entidades prestadoras de salud. Además, el tipo de residuos y condición final después de su uso, determinan si debe ser llevado a rellenos sanitarios tradicionales, locales, si puede ser reciclado o ser llevado a un cementerio, por ser una parte, del ser humano. Por último, se debe considerar que el transporte desde la institución generadora de residuos al sitio de disposición final, es crítica en el programa debido a que su mala gestión puede conllevar a contaminación del ambiente y afectación de la salud pública (Gómez, R et al, 2014).

Después de revisar el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares en Colombia – MPGIRH, se observa que muestra una estructura integral, que coordina los componentes internos y externos relacionados con los actores involucrados en la gestión de residuos hospitalarios, de tal manera que se minimice su impacto ambiental y protección de la salud pública, basándose en el desarrollo de un plan de gestión de residuos. Por otra parte, se identificó que algunos de sus directrices, se ajustan a los procesos de logística inversa, debido a que incluyen actividades de identificación y tipificación de residuos, segregación, almacenamiento, transporte interno, tratamiento, disposición final y transporte (Gómez, R et al, 2014).

4.3.3. Procesos en la verificación y actuar de la gestión de residuos sólidos.

Dentro de la verificación y actuar, es importante destacar las los principales documentos, normas, leyes y decretos relacionados con la gestión de los residuos hospitalarios, que serán para poder efectuar un control sobre cada una de las actividades llevadas a cabo en la gestión de residuos sólidos realizada por la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena se pueden relacionar los siguientes:

- ✓ Decreto 2811 de 1974 expedida por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Código nacional de recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente. Para recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos.
- ✓ Decreto 2676 del 2000, expedido por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. Gestión integral de los residuos hospitalarios y similares, para Reglamentar ambiental y sanitariamente la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares, generados por personas naturales o jurídicas.

- ✓ Decreto 1295 de 1994, por el cual se crea el Sistema general de Riesgos Profesionales.
- ✓ Decreto 1831 de 1994, establece la tabla de clasificación de actividades económicas dentro del Sistema General de Riesgos.
- ✓ Ley 9 de 1979, expedida por el Ministerio de Salud - Ley nacional sanitaria. El gobierno, como respuesta a la problemática de contaminación, promulgo esta Ley y con sus decretos reglamentarios, comenzó a establecer las normas sanitarias para el manejo de los residuos tanto sólidos como líquidos a nivel municipal para edificaciones, instituciones públicas fábricas alimentos, entre otras; lo cual ha permitido una mejoría en forma progresiva. A partir de allí han sido numerosas las reglamentaciones expedidas al respecto.
- ✓ Decreto 1594 de 1984: establece la exigencia del permiso de vertimientos líquidos otorgado por la Autoridad Ambiental competente.
- ✓ Decreto 4741 del 2005, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.
- ✓ Decreto 4126 de 2005, expedido por el Ministerio de la Protección Social y por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: mediante el cual se modifica parcialmente el Decreto 2676 de 2000 sobre la Gestión Integral de los residuos Hospitalarios y similares.
- ✓ Decreto 312 de 2006, expedido por la Alcaldía Mayor de Bogotá: por el cual se adopta el Plan Maestro para el manejo integral de Residuos Sólidos para Bogotá Distrito Capital.
- ✓ Decreto 1669 del 2002, expedido por el Ministerio del Medio Ambiente y por el Ministerio de Salud: por el cual se modifica el decreto 2676 de 2002, en cuanto a las obligaciones del generador y la cobertura del decreto.
- ✓ Decreto 2763 del 20 de Diciembre de 2001 prorroga por 8 meses el plazo para la implementación del PGIRSHYS a partir de la fecha de su publicación. Al Ministerio de salud y a los demás organismos que contempla el presente Libro, compete ejercer la función que corresponde al estado garantizar el libre e igualitario acceso a las acciones de promoción, protección y recuperación de la salud y de rehabilitación de la persona enferma; así como coordinar, controlar y cuando corresponda, ejecutar tales acciones.
- ✓ Decreto 1220 de 2005 Artículo 40. Régimen de transición. Los proyectos a los que son competencia del ministerio del medio ambiente y de las corporaciones regionales, que hayan iniciado actividades con anterioridad a la expedición de la ley 99 de 1993 y no cuenten con autorización ambiental para su operación podrán continuar, para lo cual deberán presentar ante la autoridad ambiental competente un plan de manejo ambiental
- ✓ Decreto 605 de 1996: Establece las disposiciones sanitarias y prestación de servicios de aseo. También establece que las entidades que manejan residuos sólidos peligrosos deben contar con un servicio especial dadas las características de los residuos producidos.
- ✓ Constitución Nacional de Colombia 1991: (Art. 31) Todo ser humano tiene derecho a tener un ambiente sano.

- ✓ Ley 99 de 1993: por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente. Se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA y se dictan otras disposiciones.
Ley 99 de 1993 y artículo 1220 de abril de 2005, se establece la necesidad de implementar un plan de manejo ambiental en las empresas, que nos permita hacer un manejo sostenible de las actividades que se realizarán.
- ✓ Resolución 619 de 1997, expedida por el Ministerio del Medio Ambiente: establece factores a partir de los cuales se requiere permiso de emisión atmosférica para fuentes fijas y establece los criterios y clasificación para industrias que requieren permiso.
- ✓ Ley 373 de 1997, expedida por el Congreso de Colombia: por la cual se reglamenta el Programa de Ahorro y Uso eficiente del Agua.
- ✓ Ley 430 de 1998: por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
- ✓ Resolución 415 de 1998, expedida por el Ministerio del Medio Ambiente. Por la cual se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de los aceites de desechos y las condiciones técnicas para realizar la misma.
- ✓ Resolución 1164 del 2002, expedido por el Ministerio del Medio Ambiente y Salud: por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los Residuos Hospitalarios y Similares.
- ✓ Resolución 1773 de 2002, expedida por el DAMA: por la cual se adopta el Certificado Único de Emisión de Gases Vehiculares.
- ✓ Resolución 1208 de 2003, expedida por el DAMA: normas técnicas y estándares ambientales para la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire en el perímetro urbano de la ciudad de Bogotá D.C.
- ✓ Resolución 1362 de 2007, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se establece los requisitos y el procedimiento para el Registro de los Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27° y 28° del Decreto 4741 del 30 de septiembre de 2005.
- ✓ Resolución 062 de 2007, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por el cual se plantean los protocolos de muestreo y análisis y caracterización residuos peligrosos.
- ✓ Resolución 909 de 2008, expedida por Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.
- ✓ Resolución 3957 de 2009, expedida por la Secretaría Distrital de Ambiente: por la cual se establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados a la red de Alcantarillado público en Cartagena.
- ✓ Resolución 2309 de 1986, del Ministerio de Salud, establece denominación de Residuos Especiales.

- ✓ Resolución 2400 de 1979, del Ministerio de Trabajo, establece disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.
- ✓ Resolución 1016 de 1989, Ministerio de Trabajo, reglamenta la organización y funcionamiento de los programas de Salud Ocupacional.
- ✓ Resolución 4445 de 1996, Ministerio de Salud, sobre disposiciones generales de establecimientos hospitalarios y similares.
- ✓ Resolución 04288 de 1996, Ministerio de Salud, define y reglamenta el Programa de Atención Básica (PAB).
- ✓ Ley 100 de 1993, sobre Sistema general de Seguridad Social.
- ✓ Ley 142 de 1994, sobre servicios públicos domiciliarios.

Lo anterior como puntos de control y verificación de cumplimiento de estándares para la el perfecto funcionamiento del sistema de logística inversa de la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena.

CONCLUSIONES

El estado del arte desarrollado en la presente investigación representa una situación ante la gestión e investigación frente a la logística inversa; cabe resaltar que los modelos de gestión de la logística inversa, específicamente en el caso de los residuos sólidos existe poca literatura directamente relacionada con la utilización de modelos matemáticos y técnicas de optimización que apoyen la evaluación y control de parámetros dentro de un proceso de recolección de residuos sólidos.

En la revisión se pudo definir cuáles son los componentes o elementos de un proceso de logística inversa, específicamente en la gestión de residuos sólidos, la evolución del concepto y de cómo este difiere en su homólogo denominado logística directa. Así mismo, se incorporaron componentes de tipo legal que rigen o garantizan el perfecto funcionamiento de cadenas logísticas bajo el enfoque inverso, los sistemas que componen a la logística inversa y por último, las herramientas como Costeo basado en actividades, mapeamiento de procesos, Evaluación del ciclo de vida del producto, Proceso de desarrollo de nuevos productos, Product Stewardship (Cuidar del producto desde la creación hasta su disposición) y Modelos matemáticos de optimización que son el pilar de la presente investigación.

Es importante resaltar que a nivel de Colombia se pudo identificar, que la gestión de residuos hospitalarios, se encuentra muy bien reglamentado mediante el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares en Colombia (MPGIRH) y el decreto 2676 de 2000, los cuales son integrales y es obligatorio implementarlas en todas Instituciones prestadoras de servicio de salud del país; no menos importante es decir que también dentro los objetivos que se persiguen con su implementación es la de coordinar el rol que juegan todos los actores que hacen parte en la gestión de residuos hospitalarios, con el fin de que cada vez sea se logre la minimización del impacto ambiental y la protección de la salud pública, apoyado en un plan de gestión de residuos.

El panorama general de la logística inversa deja ver qué tanto las empresas Colombianas, incorporan esquemas de logística inversa dentro de su sistema y la importancia manifestada en el uso de estrategias y herramientas que permitan a las compañías tener mayor aprovechamiento de los residuos que son enviados al medio ambiente, logrando así cumplir con la mejora del medio ambiente. Así mismo, se puede ver cómo estos los residuos, producto de los procesos hospitalarios, son fuentes generadoras de enfermedades críticas, que en lo posible deberían ser mitigadas mediante esquemas modernos de operación.

Pero más asombroso es que a pesar de esta aparente “Rígida legislación”, se pudo observar que a nivel mundial no se cumple totalmente, generando grandes riesgos de enfermedades, daño al medio ambiente, pérdida de oportunidad de aprovechar residuos reciclables; y a nivel nacional, e inclusive local, todos los estudios que se han hecho, muestran que no somos la excepción con el incumplimiento de la normatividad; lo más preocupante es que es muy poco el control que se

ejerce sobre esto, al punto de no encontrarse literatura que hable sobre las sanciones permanentes que se les hace a las Instituciones por su incumplimiento. Muy aisladamente se ha conocido de algunas leves sanciones que se le hizo en una oportunidad a una empresa recolectora de residuos, mas no a una IPS, pero después de algunos meses, dicha sanción fue levantada y aún siguen las irregularidades en el manejo de los residuos hospitalarios.

El diagnóstico realizado a la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena, como institución representativa del sector, permite obtener información acerca del estado de los hospitales frente a los retos de la logística inversa; con la información suministrada por la Institución y el tratamiento de dichos datos, se pudo colocar en evidencia una problemática que para el hospital, como para cualquier otro, no es relevante porque no se han concientizado de la importancia de los riesgos que se están generando por ello; se identificó una alta producción de residuos sólidos, específicamente los residuos ordinarios los cuales representan el 40.1% del total, lo que muestra que al no implementar un sistema de logística inversa y al no dar cumplimiento a la normatividad vigente para ello, se está perdiendo la oportunidad de recuperar materiales reciclables, ya que estos hacen parte de los residuos ordinarios, que en la actualidad van indiscriminadamente a rellenos sanitarios; pero, más preocupante aún es que aproximadamente el 59.7% corresponde a residuos peligrosos, los cuales no se pueden reciclar por su misma naturaleza, pero sí deben recibir un tratamiento especial para evitar riesgo de enfermedades y daños al medio ambiente, antes de ser dispuestos al final de su ciclo de vida; en ausencia de un sistema formal de gestión de logística inversa y por el incumplimiento de la legislación se hace muy difícil superar esta problemática.

Ante esta situación identificada a nivel local, específicamente en el hospital Universitario del Caribe como institución representativa del sector salud en la ciudad y después de haber realizado la revisión del estado del arte sobre logística inversa y la modelación matemática a través del tiempo, se identificó una excelente oportunidad para mostrar el modelado matemático como una apuesta para abordar el tema con la visión de mejorar la logística inversa de los desechos sólidos hospitalarios; se considera importante tomar en cuenta contexto de las realidades encontradas, desde el punto de vista de un modelo integral de gestión el cual contribuiría a reducir los riesgos relacionados, al implementar un sistema integral de gestión para el manejo de los residuos hospitalarios y garantizar el cumplimiento de la normatividad vigente, sugiriendo programas de concientización y capacitación de los actores del proceso.

El estado del arte permitió el análisis de las tendencias de resolución de modelos de optimización que soportaron el diseño de un modelo multicriterio de optimización, dado que en lo estudiado, se observa un camino hacia el modelamiento basado en criterios de la búsqueda de un óptimo en un periodo corto de tiempo computacional y en el horizonte de planeación de los sistemas, es decir, la búsqueda de soluciones que sean fácilmente adaptable a los indicadores de los centros hospitalarios y no tan complicadas de generar como lo fuera el caso de metaheurísticas.

La herramienta cuantitativa usada para modelar el proceso de recolección y disposición de residuos sólidos, se configuró conforme a un problema, con componentes de asignación y ruteo de vehículos con capacidades y ventanas de tiempo, que fue modelo bajo programación entera mixta en el software GAMS licenciado profesionalmente; es relevante resaltar que la problemática de alta producción de residuos hospitalarios y los altos costos que generan su gestión, solo fueron identificados a partir de la información suministrada por el hospital Universitarios del Caribe, lo que se convirtió en una buena oportunidad para la validación del modelo que se propone.

El modelo planteado para el subproceso de la logística inversa dentro de la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena, planteó 3 escenarios objetivos, donde se buscó la minimización de los costos por tratamientos, tiempos de transporte y la maximización de los productos a ser reintegrados al sistema, lo cual también propicia el aumento de los costos por reproceso o reintegro al sistema.; además, permitió establecer la mejor programación para los operarios encargados de la logística de recolección y disposición de residuos sólidos, donde se ilustra una secuencia de trabajos compacta para la utilización de los 10 trabajadores promedios en horarios de trabajo distintos. Se puede observar que cada departamento del hospital tiene asignado una persona y las instrucciones de las cantidades a recolectar para su disposición final; así mismo, se logró rutear de la mejor forma considerada, la recolección de los residuos, minimizando el tiempo de transporte entre cada departamento, logrando estipular como los mayores esfuerzos a la primera hora del día y la mitad de tiempo, para poder contar con ritmos de trabajo apropiados.

La herramienta de optimización sirvió de base fundamental para la constitución del denominado modelo de gestión de residuos sólidos, con la cual se sentaron los lineamientos del sistema de conocimientos técnicos y gestión del talento humano dentro de la gestión de residuos sólidos, en términos de programación del personal y uso de una herramienta tecnológica que ayude a la toma de decisiones en cuanto a los residuos generados por el hospital.

La gestión administrativa de la E.S.E Hospital Universitario del Caribe en Cartagena tiene mucho impacto sobre los resultados de las cantidades de residuos sólidos, por ello es que el modelo desde el ciclo de gestión PHVA, diseña una estructura de control en cada paso.

Dentro de la planeación se enfatiza sobre los usos de las canecas desde los 3 niveles de atención, ahora bien para la parte operativa del hacer se propuso reducir la generación de residuos a través de la estimación dentro del consumo de los departamentos de Urgencias, Consulta Externa, Servicio de Apoyo a Diagnóstico, Cirugía de Mediana y Alta Complejidad, Medicina Crítica y Servicios de Hospitalización, evidenciando en el modelo que de los residuos ordinarios emitidos por el hospital se contabilizaron alrededor de 860.938 kilogramos/año frente un volumen de recuperación 199.874 Kilogramos, lo que equivale a un porcentaje de recuperación del sistema del 23.23%.

Dentro del marco legal, más específicamente en el manual de residuos sólidos referenciado en la presente investigación, se debe tener en cuenta que el almacenamiento y tratamiento de residuos

sólidos debe hacerse de acuerdo a la clasificación y tipos de recipientes con que cuenta el hospital, basados en su posterior envío a reciclaje, un subproceso clave dentro de la logística inversa, que es reflejado en el modelo de optimización mediante la variable de retorno de productos al sistema con la maximización de estos en términos de costos.

La normatividad existente, a la cual por obligatoriedad deben regirse todas las empresas prestadoras de servicio de salud, por leyes internas y externas para el control y cumplimiento de lo pactado entre otros, contiene los siguiente aspectos: leyes y guías para elaboración de Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, para proteger la diversidad del ambiente, para prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental y el derecho de todas las persona a gozar de un ambiente sano.

Basado en lo anterior, los indicadores son planteados desde lo que el hospital ha venido trabajando, pero aun así se establece un control riguroso sobre la generación y recuperación de residuos sólidos, con el fin de medir volúmenes y facilitar actividades de monitoreo y control posterior, esto hace posible que se puedan tomar acciones correctivas frente las mediciones hechas en distintos periodos de tiempo para activación de alarmas y cambios en los procedimientos y acciones del hospital.

Finalmente se considera pertinente para investigaciones futuras la posibilidad de buscar la incorporación de modelos de optimización más complejos, que involucren variables de decisión de reutilización directa, reparación, restauración, re manufactura, carnalización, reciclaje, incineración y vertedero, es decir, todos los pasos propuestos por los autores en la gestión de la logística inversa, llevando así, a la creación de herramientas tecnológicas, tales como softwares de optimización que puedan ser usados por los centros hospitalarios para mejorar su gestión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AECOC Recomendaciones para la Trazabilidad en el Sector Salud: Manual de implementación del sistema GS1. (2007). España
2. Ackerman, K y Nieto A. (2006) Almacenamiento productivo: herramienta de logística internacional. KB Ackerman Company Editions. Williams Blinn Communications Columbus, Ohio
3. Alvarado, M., Rivas, A., de la Paz, S., & Fuentes, C. M. (2008). Diseño de un modelo de logística inversa para mejorar la competitividad de las empresas del sector farmacéutico en El Salvador (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).
4. Ballou, R; Gilbert, S; Mukherjee, A. (2000). New material challenges from supply chain opportunities. *Industrial Marketing Management*. Vol. 29, p. 7-18.
5. Banomyong R., Veerakachen V. y Supatn N. (2008). Implementing legality in reverse logistics channels. *International Journal of Logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, Vol 11, nº 1, p 31-47 (11).
6. Bañegil T & Rubio, S (2005) Sistemas de logística inversa en la empresa. Dirección y Organización, DYO, ISSN 1132-175X, No 31 p91 – 116 CEPADE. Madrid España
7. Beltrán, A., & Suárez, L. (2010). Diagnóstico ambiental de los cuerpos internos de agua de la ciudad de Cartagena de Indias. Eumed. 172p. Disponible desde internet en: <http://www.eumed.net/libros> (con acceso el 10/11/10).[Links].
8. Biembengut, M., & Hein, N. (1999). Modelación matemática: Estrategia para enseñar y aprender matemáticas. México. Educación matemática, 11(1), 119 – 134 p.
9. Blenkarn, J.I., (2006). Medical wastes management in the south of Brazil. *Waste Manage.* 26, 315–317.
10. Bloemhof-Ruwaard, J. M., Koudijs, Z. H., & Vis, J. C. (1995). Environmental impacts of fat blends. *Environmental and Resource Economics*, 6(4), 371-387.
11. Boubeta, A. I. B. (2007). Distribución logística y comercial. Ideaspropias Editorial SL.
12. Bowersox, D.J.; Stank, T.P.; Daugherty, P.J. (1999): Lean launch: Managing product introduction risk through response-based logistics. *Journal of Product Innovation Management*. Vol 16(6), pp. 557-568.
13. Brito, M. y Dekker, R. (2003). A Framework for Reverse Logistics. Erasmus University Rotterdam. Erasmus Research Institute of management. Rotterdam.
14. Byrne, P.M. y Deeb, A. (1993): “Logistics Must Meet the ‘Green’ Challenge”, *Transportation and Distribution*, Vol. 34 (febrero), p. 33(5)
15. Cabeza, D. (2012). Logística Inversa en la gestión de la cadena de suministro 1ª Edición, Editorial Marge Books, Valencia España p 26,34
16. Calderón, L. Á. F., Ocampo, E. M. T., & Echeverry, M. G. (2012). Diseño de redes de logística inversa: una revisión del estado del arte y aplicación práctica. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, Vol. 22 No 2 pp 153 - 177 ISSN 0124-8170.

17. Carter, CR. & Ellram, LM. (1998) Reverse logistics: A review of the literature and framework for future investigation. *Journal of business logistics*, Vol. 19, N° 1, p. 85.
18. Chopra, S. (2008). *Administración de la cadena de suministro estrategia, planeación y operación*. Pearson Educación, México, Vol. 3
19. Volz, R. A. (1971). Optimum ambulance location in semi-rural areas. *Transportation Science*, 5(2), 193-203.
20. Church, R., & Velle, C. R. (1974). The maximal covering location problem. *Papers in regional science*, 32(1), 101-118.
21. Council of Logistics Management (1985), Oak Brook, IL: Council of Logistics Management.
22. Council of Logistics Management (1992), Oak Brook, III: Council of Logistics Management.
23. Council of Logistics Management (2003), URL: <http://www.clm1.org>.
24. Cure, L, Meza, JC, Amaya, R (2006) *Rev Ingeniería y desarrollo: Journal of Engineering Division of Universidad del Norte No 20 ISSN:0122-3461*
25. Departamento administrativo distrital de salud (DADIS). Informe ejecutivo de gestión, 2010. Cartagena (Colombia)
26. Departamento administrativo distrital de salud (DADIS). Informe ejecutivo de gestión, 2012. Cartagena (Colombia)
27. Daganzo, C. F., & Erera, A. L. (1999). On planning and design of logistics systems for uncertain environments. In *New Trends in Distribution Logistics* (pp. 3-21). Springer Berlin Heidelberg.
28. Dekker, R., Fleischmann, M., Inderfurth, K., & Van Wassenhove, L. N. (2004). Quantitative models for reverse logistics decision making. In *Reverse Logistics* (pp. 29-41). Springer Berlin Heidelberg
29. Design For Environment, DFE; Design For Disassembly, DFDA United States Environmental Protección Agency, 1995.
30. Doherty, K. (1996). What Goes Around Comes Back, *US Distribution Journal*, Vol.223, n. 10, p. 40(4).
31. Entorno, F. (1998). Libro blanco de la gestión medioambiental en la industria española (No. 04; HD30. 255, L5.)
32. Feitó Cespón, M., Cespón Castro, R., & Rubio Rodríguez, M. A. (2016). Modelos de optimización para el diseño sostenible de cadenas de suministros de reciclaje de múltiples productos. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, Vol 24 No 1, pp 135-148.
33. Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., Van der Laan, E., Van Nunen, J. A., & Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European journal of operational research*, 103(1), 1-17.
34. Fleischmann, M., Krikke, H. R., Dekker, R., & Flapper, S. D. P. (2000). A characterisation of logistics networks for product recovery. *Omega*, 28(6), 653-666.

35. Fleischmann, M. (2001). Quantitative models for reverse logistics: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems.
36. Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-ruwaard, J. M., & Wassenhove, L. N. (2001). The impact of product recovery on logistics network design. *Production and operations management*, 10(2), 156-173.
37. Fleischmann, B., van Nunen, J. A., Speranza, M. G., & Stähly, P. (Eds.). (2012). *Advances in distribution logistics* Vol. 460. Springer Science & Business Media.
38. Flórez, L., Toro, E. & Granada, M. (2012). Diseño de redes de logística inversa: una revisión del estado del arte y aplicación práctica. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, Vol 22-2, pp 153 -177, Bogotá, Colombia.
39. García, A. A., & Olivares, A. A. G. (2006). Recomendaciones táctico-operativas para implementar un programa de logística inversa, estudio de caso en la industria del reciclaje (No. 33 330). e-libro, Corp. México
40. Gil, G. P., & Gálvez, R. (2008). *Medicina preventiva y salud pública*. Barcelona: Elsevier Masson.
41. Gómez, R. A. (2010). Logística inversa un proceso de impacto ambiental y productividad. *Producción+ Limpia*, 5(2), 63-76.
42. Gómez, R., Correa, A. & Vásquez, L. (2012). Logística inversa, un enfoque con responsabilidad social empresarial. *Criterio libre*, 10(16), 143-158.
43. Gómez R., Zuluaga A & Correa A, (2014) Propuesta de sistema de logística inversa para el sector hospitalario: un enfoque teórico y práctico en Colombia *Ing. USB Med*, Vol. 5, No. 1
44. González-Benito, J. (2002). Effect of the characteristics of the purchased products in JIT purchasing implementation. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(8), 868-886.
45. González, E. M. (2002). Logística Inversa: Realidad o Desafío. In *II Conferencia de Ingeniería de Organización* (pp. 573-579).
46. Greeff, G., & Ghoshal, R. (2004). *Practical E-manufacturing and supply chain management*. Newnes.
47. Guide, V. D. R. (2000). Production planning and control for remanufacturing: industry practice and research needs. *Journal of operations Management*, 18(4), 467-483.
48. Iniestra, J. G., & Gutiérrez, J. G. (2009). Multicriteria decisions on interdependent infrastructure transportation projects using an evolutionary-based framework. *Applied Soft Computing*, 9(2), 512-526
49. Krikke, H.; Le Blanc, I.; Van De Velde, S. (2003), Creating value from returns, Center Applied Research working paper no.2003-02 16 Krikke Harold, le Blanc Ieke, van de Velde Steff, (2003), Creating value from returns, Center Applied Research working paper.
50. Krikke, H. R., van Harten, A., & Schuur, P. C. (1999). Business case Océ: reverse logistic network re-design for copiers. *OR-Spektrum*, 21(3), 381-409.

51. Kroon, L., & Vrijens, G. (1995). Returnable containers: an example of reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(2), 56-68.
52. Lacerda, C. F., Cambraia, J., Cano MAO, Oliva, M. A., Ruiz, H. A., & Prisco, J. T. (2003). Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environmental and Experimental Botany*, 49(2), 107-120.
53. Lee et al., (2004). Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical wastes. *Waste Manage.* 24, 143–151
54. Lezama, H. R., Téllez, M. R., Lozada, M. Á. R., Gutiérrez, J. L. C., & López, A. T. (2013). Logística Inversa: una alternativa para la gestión de productos fuera de uso (PFU). *Revista Internacional La Nueva Gestión Organizacional*, 0 (9).
55. Logozar K., Radonjic G y Bastic M (2006). Incorporation of reverse logistics model into in-plant recycling process: a case of aluminum industry. *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 49, No 1, pp. 49-67.
56. Maeso, E. (2002). Logística Inversa: Realidad o Desafío. In *II Conferencia de Ingeniería de Organización* (pp. 573-579).
57. Mahadevan, B., Pyke, D. F., & Fleischmann, M. (2003). Periodic review, push inventory policies for remanufacturing. *European Journal of Operational Research*, 151(3), 536-551.
58. Mar-Ortiz, J., González-Velarde, J. L., & Adenso-Díaz, B. (2012). Reverse Logistics Models and Algorithms: Optimizing WEEE Recovery Systems. *Computación y Sistemas*, Vol 16 No 4, pp 491-496 ISSN 1405-5546
59. Maeso, E. (2002). Logística Inversa: Realidad o Desafío. Universidad de Málaga Campus El Ejido s/n 29071.
60. Maquera, G. (2012). Logística verde e inversa: responsabilidad universitaria socioambiental corporativa y productividad. *Apuntes Universitarios*, 2(1), 31-54.
61. Mihi-Ramírez, A., Arias-Aranda, D., & García-Morales, V. J. (2012). La gestión de la logística inversa en las empresas españolas: Hacia las prácticas de excelencia/Reverse logistics management in the Spanish firms: Towards practices of excellence. *Universia Business Review*, (33), 70.
62. Ministerio de Salud (1979) Ley 9 de 1979, Ley nacional sanitaria, Enero 24
63. Ministerio del Medio Ambiente (1994) Decreto 1933 94 por el cual se reglamenta el artículo 45 de la Ley 99 de 1993, Agosto 5
64. Ministerio de Minas y Energía (1993) Decreto 0459 1993, por el cual se aprueba el acuerdo número 007 del 10 de febrero de 1993
65. Ministerio Medio ambiente (1998). Política para la gestión integral de residuos. Bogotá, Colombia, Julio 28
66. Ministerio del medio ambiente (1997) Decreto 0883 97, por el que se regulan actividades y se definen los instrumentos administrativos para la prevención o el control de los factores de deterioro ambiental, Marzo 31
67. Ministerio del Medio Ambiente (1998) Ley 430 de 1998, sobre desechos peligrosos, Enero 16

68. Ministerio de ambiente y Ministerio de Salud (2000) Decreto 2676 de 2000, capítulo II y III, artículo 4º y 5º: Por el cual se reglamenta la gestión integral de residuos hospitalarios y similares. Bogotá, Colombia, Diciembre 22 de 2000.
69. Ministerio de ambiente y Ministerio de Salud (2002). Manual de procedimiento para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares. Bogotá, Colombia, Julio 25
70. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2002) Decreto 1713 de 2002. Capítulo I, Artículo 1º: Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bogotá, Colombia, Agosto 06 de 2002.
71. Ministerio de ambiente. Resolución (2002) 1164 de 2002. Por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los residuos hospitalarios y similares. Bogotá, Colombia, Noviembre 25 de 2002.
72. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Transporte (2005) Decreto 4741 de 2005. Capítulo I, Artículo 3º: Reglamenta parcialmente la prevención y manejo de residuos o desechos peligrosos generados en marco de gestión integral. Bogotá, Colombia, Dic. 30 de 2005.
73. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial (2007) Dirección de desarrollo sectorial sostenible. Gestión Integral de Residuos o desechos peligrosos. Bases Conceptuales. Bogotá Colombia, Diciembre 2.
74. Monroy, N. y Ahumada M. (2006). Logística reversa: Retos para la Ingeniería Industrial. Revista de Ingeniería, Vol. 23, pp. 23-33.
75. Montoya, R. A. G., Mazo, A. Z., & Espinal, A. A. C. (2015). Propuesta de sistema de logística inversa para el sector hospitalario: un enfoque teórico y práctico en Colombia. Ingenierías USBMed, Vol. 5, No. 1, pp. 35-52. ISSN: 2027-5846
76. Morales, B. (2009). La logística reversa o inversa: aporte al control de devoluciones y residuos en la gestión de la cadena de abastecimiento. Recuperado el 10 de Septiembre de 2014, de Revista de Logística: <http://www.revistadelogistica.com/La-logistica-reversa-o-inversa.asp>
77. Mustafa, et al. (2010). "Ranking efficient decision-making units in data envelopment analysis using fuzzy concept." Computers and Industrial Engineering 59(4): 712-719
78. Organización Mundial de la Salud OMS (2004). Departamento de Protección del Medio Humano Agua, Saneamiento y Salud. Gestión sin riesgo de los desechos generados por la atención de salud. Ginebra, Suiza.
79. Organización Mundial de la Salud OMS (2011). Desechos de las actividades de atención sanitaria. Nota descriptiva n.º 253. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs253/es/>
80. Organización Mundial de la Salud OMS (2013). Informe sobre la salud en el mundo 1999: Cambiar la situación. ISSN 1020-6760

81. Pardo, J. (2014). Modelo de logística inversa para la recuperación y aprovechamiento de residuos plásticos ABS en Cali (Colombia). Tesis Maestría Logística Integral.
82. PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2010) “Declaración Ministerial de Malmo”. Consulta realizada en noviembre de 2010. Disponible en página web: <http://www.pnuma.org/docamb/ms2000.php>.
83. PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2002) “Ley blanda”. Consulta realizada en noviembre de 2002. Disponible en página web: <http://www.pnuma.org/docamb/ms2000.php>.
84. Quiñones, E., Mouthon, J., & Eljaiek, M. (2011). Evaluación de alternativas para el manejo de residuos sólidos ordinarios en la ciudad de Cartagena de Indias mediante la metodología del análisis del ciclo de vida, 187–192.
85. Ramírez, B Arias D. & García, V (2012). La gestión de la logística inversa en las empresas españolas: Hacia las prácticas de excelencia/Reverse logistics management in the Spanish firms: Towards practices of excellence. *Universia Business Review*, (33), 70.
86. Revlog, the European working group on reverse logistics (2005). <http://www.fbk.eur.nl/OZ/REVLOG/>, 1998-. Richey R. Glenn, Chen Haozhe, Genchev Stefan E. and Daugherty Patricia J. Developing effective reverse logistics programs.
87. Richey R. G, Chen H, Genchev S. & Daugherty PJ. (2005) Developing effective reverse logistics programs. *Industrial Marketing Management* 34(8), S. 830-240
88. Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. S. (1999). *Going backwards: reverse logistics trends and practices* (Vol. 2). Pittsburgh, PA: Reverse Logistics Executive Council.
89. Tibben-Lembke, R. S., & Rogers, D. S. (2002). Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(5), 271-282.
90. Rubio, S., Chamorro, A., & Miranda, F. J. (2008). Characteristics of the research on reverse logistics (1995–2005). *International journal of production Research*, 46(4), 1099-1120.
91. Silva, C.E.D. & Hoppe, A.E., (2005). Diagnóstico dos resíduos de serviços de saúde no interior do Rio Grande do Sul. *Engenharia Sanitária Ambiental*. 10, 146–151.
92. Simpson, D., Power, D., & Samson, D. (2007). Greening the automotive supply chain: a relationship perspective. *International Journal of Operations & Production Management*, 27(1), 28-48.
93. Stern et al., 1999. A value-believe-norm theory suporto for social movement: The case of environmental concern, *Human ecology review*, 6, 81-97
94. Stern, L.W., EL-Ansary, A.I., Coughlan, A.T. y Cruz, I. (1999): *Canales de Comercialización*, 5.ª edición, Prentice Hall, Madrid.
95. Stock, J.R. (1998). *Development and Implementation of Reverse Logistics Programs*. Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.
96. Stock James R., (2001a), "Reverse Logistics in the supply chain", *Global Purchasing & Supply Chain Strategies*, October, pp 44-48

97. Stock James R., (2001b) "The 7 Deadly Sins of Reverse Logistics", Material Handling Management, Cleveland.
98. Stock, J. R. (2004). *Product returns/reverse logistics in warehousing: Strategies, policies and programs*. Warehousing Education and Research Council.
99. Thierry, M.C.; Salomon, M.; Van Nunen, J.A.E.E.; (1995) "Strategic issues in product recovery management"; *California Management Review*, 37(2); pp. 114-135
100. Tibben-Lembke, R.S. y Dale S. R. (1999). *Going backwards: reverse logistics trends and practices* Paperback Rogers (Vol. 2). Pittsburgh, PA: Reverse Logistics Executive Council.
101. Toregas, C., Swain, R., ReVelle, C., & Bergman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operations Research*, 19(6), 1363-1373.
102. Trebilcock, B (2002). *Warehousing management: Return to sender*. Radnor. P 24-27 Estados Unidos.
103. Tsakona et al., 2007 "Hospital waste management and toxicity evaluation: a case study". *Waste Management* 27(7):912-20 · Enero DOI: 10.1016/j.wasman.2006.04.019 · Source: PubMed.
104. Vaile, R.S., Grether, E.T. & Cox, R. (1952): *Marketing in the American Economy*, The Ronald Press Co., New York
105. López, F. J. V. (1977). La programación lineal multicriterio. *Revista Española de financiación y contabilidad*, 6(22), 61-76.
106. Vego G, Kucar-Dragicevic S, Koprivanac N. (2010). Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia. *Waste Manag J* 2008; 28:2192–201.
107. Vego, G., Kucar-Dragicevic, S., & Koprivanac, N. (2008). Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia. *Waste management*, 28(11), 2192-2201.
108. Vellojín L., Meza J. y Maya R. (2006) *Logística Inversa: una herramienta de apoyo a la competitividad de las organizaciones*. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte, 2006, vol. 20, pp. 184-202.
109. Wu, H. J., & Dunn, S. C. (1995). Environmentally responsible logistics systems. *International journal of physical distribution & logistics management*, 25(2), 20-38.
110. Zamali Tarmudi A., Abdullah, M. L., Tap, M., & Osman, A. (2009). A new fuzzy multi-criteria decision making approach for municipal solid waste disposal options. *Journal of Sustainability Science and Management* 2009, 4(1), 20-37

ANEXOS (VER CARPETA ADJUNTA)

ANEXO 3

Ver en medio magnético adjunto

