

**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA UBICACIÓN DE DEPÓSITOS
INTERMEDIOS Y/O FINALES DE RESIDUOS NO DESEADOS GENERADOS POR CENTROS
DE ATENCIÓN HOSPITALARIOS**

Autor:

**MAYRA LIZETH PARDO
Estudiante de Ingeniería Industrial
Universidad del Valle**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística
Ingeniería Industrial
2011**

**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA LA UBICACIÓN DE DEPÓSITOS
INTERMEDIOS Y/O FINALES DE RESIDUOS NO DESEADOS GENERADOS POR CENTROS
DE ATENCIÓN HOSPITALARIOS**

Autor:

MAYRA LIZETH PARDO
Estudiante de Ingeniería Industrial
Universidad del Valle

Director:

M. Sc. PABLO CÉSAR MANYOMA
Docente programa de Ingeniería Industrial

UNIVERSIDAD DEL VALLE
Escuela de Ingeniería Industrial y Estadística
Ingeniería Industrial
2011

AGRADECIMIENTOS

Un día, después de recorrer un largo camino lleno de retos y obstáculos, una persona se da cuenta que el final de la aventura que decidió emprender en busca de un sueño se encuentra más cerca de lo que pensaba y decide sentarse al lado a contemplar todo lo que ha tenido que sobrepasar para llegar a donde está.

Al echar una mirada hacia atrás observa que junto a sus huellas, las que ha dejado plasmadas en la arena durante su trasegar en busca de sus sueños, hay otras huellas que no se ajustan al tamaño de sus pies, estas huellas también siguen sus propios caminos, estos caminos forman una enredada telaraña, que por cosas del azar hace que algunos caminos sean paralelos durante largas distancias y otros no. Esas huellas y esos caminos pertenecen a las personas con las que se ha topado a lo largo de su recorrido, estas personas fueron quienes le regalaron una palabra de aliento para seguir adelante, le ayudaron a levantarse cuando desfalleció, le enseñaron que uno más uno es dos, o que el amor, la amistad y la lealtad de verdad existen.

Es en ese momento es cuando concluye que a pesar de estar recorriendo un camino en busca de sus sueños personales nunca estuvo sola, y que hubieron muchas personas que también se aventuraron con o como ella a tomar un camino en busca de sus sueños y que mutuamente se alentaron para seguir adelante, y llega a la reflexión que es hora de agradecer a todos y cada una de esas personas (padres, hermanos, familiares, amigos, profesores y compañeros), que se tomaron la molestia de regalar un pedacito de su vida y sabiduría, para ayudar a seguir adelante por ese camino que la llevo a convertir sus sueños en realidad.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	- 9 -
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	- 10 -
OBJETIVOS.....	- 12 -
General.....	- 12 -
Específicos	- 12 -
1. PLANEACIÓN DE INSTALACIONES.....	- 13 -
1.1 Planeación de instalaciones no deseadas	- 14 -
1.2 Principios de la Planeación de Instalaciones no Deseadas	- 14 -
1.3 Modelos de Localización Asignación para Instalaciones no Deseables	- 16 -
1.3.1 Localización de centros en un plano	- 18 -
1.3.2 Localización de un centro sobre un grafo.....	- 20 -
1.3.3 Localización de varios centros sobre un grafo	- 21 -
1.3.4 Localización de centros repulsivos y atractivos.....	- 23 -
2. ANÁLISIS DE LA DECISIÓN MULTICRITERIO.....	- 25 -
2.1 Introducción	- 25 -
2.2 Proceso de toma de decisiones	- 25 -
2.1 Análisis de la Decisión Multicriterio.....	- 26 -
2.2 Clasificación de las técnicas de Decisión Multicriterio.....	- 28 -
2.2.1 Métodos de Decisión Multicriterio Discretos	- 29 -
2.3 Métodos de decisión multicriterio y la localización de instalaciones.....	- 33 -
3. RESIDUOS SÓLIDOS.....	- 35 -
3.1 Contexto Nacional	- 36 -
3.2 Definición de Residuo	- 37 -
3.3 Residuos o Desechos Peligrosos	- 38 -
3.4 Clasificación de los Residuos o Desechos Peligrosos.....	- 38 -
3.5 Fuentes Generadoras	- 41 -
3.6 Gestión Integral de Residuos Hospitalarios	- 41 -
3.6.1 Gestión Externa	- 42 -
3.6.2 Gestión Interna.....	- 42 -

4. PROPUESTA METODOLOGICA.....	- 46 -
5. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA (Desarrollo del caso estudio)	- 48 -
5.1 Estructuración de Problema	- 48 -
5.1.1 Definición del Problema.....	- 48 -
5.1.1.1 Descripción General.....	- 48 -
5.1.1.1.1 Portafolio de servicios	- 50 -
5.1.2 Descripción específica	- 50 -
5.1.2.1 Análisis de Factores.....	- 50 -
5.1.2.1.1 Factor Edificio.....	- 50 -
5.1.2.1.2 Factor procesos	- 52 -
5.1.2.1.3 Factor Material.....	- 54 -
5.1.2.1.4 Factor maquinaria.....	- 54 -
5.1.2.1.5 Factor Mano de obra	- 55 -
5.1.2.1.6 Factor de Movimiento	- 56 -
5.1.2.1.7 Factor de Espera.....	- 56 -
5.1.2.1.8 Factor Servicio	- 57 -
5.1.2.2 Formulación técnica del problema	- 57 -
5.1.3 Identificación de criterios	- 59 -
5.1.3.1 Criterio Medio Ambiente.....	- 59 -
5.1.3.2 Criterio Facilidad de acceso al punto de almacenamiento	- 59 -
5.1.3.3 Criterio Distancia al puerto de acceso	- 60 -
5.1.3.4 Criterio Flujo de pacientes o personal al punto de almacenamiento	- 60 -
5.1.3.5 Criterio Distancia al punto de lavado de carritos	- 60 -
5.1.3.6 Criterio Adecuaciones necesarias para ubicación	- 60 -
5.1.4 Formulación de alternativas	- 61 -
5.2 Análisis del Problema de decisión.....	- 61 -
5.2.1 Evaluación de Alternativas.....	- 61 -
5.2.1.1 Desarrollo de MAXIMIN y MAXISUM con criterios cuantitativos.....	- 61 -
5.2.1.2 Desarrollo del Problema con Criterios Cualitativos.....	- 63 -
5.2.1.3 Combinación de Metodologías Cualitativas y Cuantitativas.....	- 72 -

CONCLUSIONES..... - 74 -
BIBLIOGRAFIA - 76 -
ANEXOS..... - 81 -

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Proceso de Toma de Decisiones	- 27 -
Ilustración 2 Modelo de Métodos Multicriterio	- 28 -
Ilustración 3 Estrategia Jerárquica para la gestión de RESPEL Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia (2005).....	- 37 -
Ilustración 4 Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares.....	- 42 -
Ilustración 5 Propuesta Metodológica	- 47 -
Ilustración 6 Red de Salud Centro E.S.E.....	- 49 -
Ilustración 7 Pasos del método TOPSIS.....	- 64 -
Ilustración 8 Matriz de decisión TOPSIS	- 64 -

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Asignación de áreas generales “CS Diego Lalinde”.....	- 51 -
Tabla 2 Distribución espacial edificio 1	- 51 -
Tabla 3 Distribución espacial edificio 2.....	- 52 -
Tabla 4 Tipo de contenedores (nomenclatura de la anexo 3).....	- 55 -
Tabla 5 Detalle de la mano de obra requerida para la ejecución de la Ruta Sanitaria.....	- 55 -
Tabla 6 Distancia de la Ruta Sanitaria (Por Edificio)	- 56 -
Tabla 7 Coordenadas y áreas de localizaciones.....	- 58 -
Tabla 8 Cantidad de residuos generados por localización	- 59 -
Tabla 9 Coordenadas de las alternativas factibles	- 61 -
Tabla 10 Resultados del Criterio MAXIMIN.....	- 62 -
Tabla 11 Resultados del Criterio MAXISUM	- 62 -
Tabla 12 Lista de criterios.....	- 65 -
Tabla 13 Vector de prioridades de criterios.....	- 66 -
Tabla 14 Escala fundamental de comparación pareada propuesta por Saaty	- 66 -
Tabla 15 Vector de prioridades totales.....	- 72 -
Tabla 16 Resultados del MAXIMIN y MAXISUM tomando como pesos ponderantes el calculo de distancias relativas de las altenativas a la solución idel positiva y negativa del TOPSIS	- 73 -
Tabla 17 Resultados del MAXIMIN y MAXISUM tomando como pesos ponderantes el vector de prioridades totales del AHP	- 73 -

INDICE DE MATRICES

Matriz 1 Matriz de decisión del problema de localización del centro de recolección de residuos peligrosos.....	- 67 -
Matriz 2Matriz de decisión normalizada.....	- 67 -

Matriz 3 Matriz normalizada ponderada.....	- 68 -
Matriz 4 Conjunto de valores de la solución ideal positiva e ideal negativo	- 68 -
Matriz 5 Calculo de las distancias de cada alternativa a la solución ideal positiva y negativa respectivamente	- 69 -
Matriz 6 Calculo de las distancias relativas entre cada alternativa y la solución ideal.....	- 69 -
Matriz 7 Ranking de alternativas	- 69 -
Matriz 8 Matriz de valoración	- 71 -

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Planta.....	- 81 -
Anexo 2 Planta Distribución Cestos de Basura.....	- 81 -
Anexo 3 Nomenclatura Cestos de Basura.....	- 81 -
Anexo 4 Ruta Sanitaria.....	- 81 -
Anexo 5 Alternativas Factibles	- 81 -

INTRODUCCIÓN

La planeación de instalaciones, en su expresión más simple, pretende resolver el problema de ubicación de locaciones en lugares que faciliten a las organizaciones cumplir con los objetivos planteados ya sea a nivel técnico, financiero, productivo, logístico, o una combinación de estos. Cualquiera sea el caso, dicho problema puede considerarse externo cuando de localización de una instalación se trata (ubicación geográfica de una planta, hospital, etc.), o interno cuando se refiere a diseño de instalaciones (ubicación de una nueva máquina dentro del área de manufactura de una empresa, ubicación del área administrativa, etc.). En la práctica la toma de decisiones referentes a ambos casos, no se realiza de manera trivial, dado que el entorno es afectado de modo favorable o desfavorable, por lo que se han planteado diferentes estrategias, algoritmos y metodologías, que pretenden proporcionar soluciones óptimas que faciliten la toma de decisiones relacionadas a la planeación de instalaciones.

Dado que la instalación nueva que se pretende ubicar o existente que se quiere reubicar, puede tener carácter deseada o indeseada, (clasificadas dependiendo de la reacción que tenga la comunidad, o el ambiente circundante con respecto a ella); (Guerrero 2007), los métodos de solución se han venido tipificando de acuerdo a cada una de las divisiones de la planeación de instalaciones (localización y diseño); (Tomkins et al. 2006) y se diferencia por el objetivo buscado, es decir, la medida (ó indicador) de utilidad que se quiera optimizar (Canós et al. 2006).

Algunas de estas propuestas integran objetivos multi-criterios a la solución del problema de localización de instalaciones, y se han planteado basadas en la premisa de justicia, proponiendo soluciones que no solo beneficien económicamente a las organizaciones, sino que también beneficien al ambiente, a la comunidad y a los procesos entre otros (Canós et al. 2006).

La presente propuesta de investigación se basa en las metodologías de solución bi-criterio, MINISUM, MIMIMAX y MAXIMIN, las cuales serán analizadas desde la perspectiva aplicativa y el tipo de problema que resuelve. Posteriormente se ahondará en el problema de localización de instalaciones no deseadas y las propuestas de solución que existen para este problema, para finalmente desarrollar una propuesta de metodología que integre las bondades de los métodos bi-criterio ya mencionados a las propuestas de solución existentes para la localización de instalaciones no deseadas, propuesta que será validada mediante su aplicación a un caso estudio (hipotético) enfocado al problema de localización de lugares de disposición de residuos sólidos infectocontagiosos de un hospital.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha visualizado una creciente preocupación sobre el riesgo de infecciones en la comunidad asociadas a los desechos hospitalarios. Esta preocupación surge por la aparición de enfermedades infecto contagiosas como el VIH y del descubrimiento de agentes microbianos de alta peligrosidad o con resistencia a los antimicrobianos lo que les conferiría alto riesgo, existentes en los residuos peligrosos, más exactamente los de tipo hospitalario. [Disposición de desechos hospitalarios infectantes. Posición conjunta de la sociedad chilena de control de infecciones y epidemiología hospitalaria y de la sociedad chilena de infectología]. Estas percepciones han motivado que en distintos países se elaboren guías, recomendaciones y legislación relativas al manejo de desechos hospitalarios considerados infectantes, y Colombia no es la excepción.

El manejo integral de los residuos hospitalarios se ha constituido en una de las prioridades del Programa de Calidad de Vida Urbana y del Plan Nacional para el impulso de la Política de Residuos del Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, formulando el Programa de Gestión Integral de Residuos Hospitalarios, que tiene como propósito de prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales y sanitarios. Así mismo, el Plan Nacional de Salud Ambiental (Planasa) del Ministerio de Salud Colombiano, en este aspecto, está orientado a desarrollar Planes de Acción Sectorial para minimizar los factores de riesgo a la salud. (Manual de procedimientos, para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares en Colombia 2002)

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, radiactivo inflamable. De acuerdo con los estudios realizados, en Colombia aproximadamente el 40% estos residuos presentan 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. (Diario Oficial Del Ministerio Del Medio Ambiente Colombiano, publicación del lunes 25 de noviembre de 2002).

Como parte de la Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos del Ministerio del Medio Ambiente y del Plan Nacional de Salud Ambiental del Ministerio de Salud, se identificó la necesidad de diseñar e implementar estrategias de manejo integral de los residuos hospitalarios con el fin de solucionar los conflictos ambientales y sociales para así prevenir los riesgos a la salud de las comunidades, en consideración a que este tipo de residuos, que se generan en todos los municipios del país, presuponen un factor de riesgo

sanitario y ambiental significativo. Por lo que se creó el Manual de procedimientos, para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares en Colombia (2002).

La gestión interna consiste en la planeación e implementación articulada de todas y cada una de las actividades realizadas al interior de la entidad generadora de residuos hospitalarios y similares, con base en este manual; incluyendo las actividades de generación, segregación en la fuente, desactivación, movimiento interno, **almacenamiento** y entrega de los residuos al prestador del servicio especial de aseo, sustentándose en criterios técnicos, económicos, sanitarios y ambientales; asignando recursos, responsabilidades y garantizando, mediante un programa de vigilancia y control el cumplimiento del Plan.

Ahora, dado que dentro de la gestión interna se debe disponer de un lugar de almacenamiento (intermedio¹⁰ o final¹¹ dependiendo el caso) para dichos desperdicios, se generan diferentes preguntas, como ¿Dónde ubicar dicho lugar de almacenamiento dentro de un área específica?, ¿Cómo decidir?, ¿Existen herramientas o metodologías que den soporte a una solución que se considere óptima?.

Teniendo en cuenta que estos lugares de almacenamiento, son locaciones no deseadas (fóbicas), por la naturaleza misma de los desechos que serán dispuestos en este lugar, lo que se pretende es proponer un método que permita responder:

¿Dónde ubicar un lugar de disposición intermedia y/o final de residuos sólidos hospitalarios, que cumpla con los diferentes criterios que se deben de tener en cuenta para que la ubicación sea lo más acertada posible?

¹⁰ La Norma Técnica De Manejo De Residuos Sólidos Hospitalarios define que, “los establecimientos de salud que por su complejidad y magnitud, generen durante la jornada grandes cantidades de residuos sólidos deben contar con un almacenamiento intermedio que concentre temporalmente los residuos de los servicios cercanos, además de afirmar que:

¹¹ Todo establecimiento de salud, debe contar con una instalación adecuada para centralizar los residuos provenientes de todos los servicios y áreas del establecimiento de salud, que permita almacenar los residuos sin causar daños al medioambiente y al personal que allí labora.

OBJETIVOS

General

Proponer una metodología para determinar la mejor ubicación de depósitos intermedios y finales de residuos no deseados generados por centros de atención hospitalarios, que minimice la existencia de factores de riesgo que representan los residuos peligrosos sobre la salud humana.

Específicos

- Realizar una comparación de metodologías cuantitativas y/o cualitativas que solucionen el problema de localización de instalaciones no deseadas, que contemplen diferentes criterios en el planteamiento de sus objetivos.
- Identificar la necesidad de los centros hospitalarios, de gestionar de manera integral los residuos que ellos generan, para así garantizar el tanto el cumplimiento de las diferentes normas que los rigen, como cumplir con el deber ético con la sociedad de cuidar el ambiente.
- Diseñar una herramienta que permita determinar la mejor ubicación para puntos de almacenamiento de residuos generados por centros de atención hospitalaria, que se base en técnicas existentes cualitativas y/o cuantitativas que solucionen el problema de instalaciones no deseadas.
- Desarrollar un caso hipotético, que ilustren las diferentes variables tenidas en cuenta para validar la herramienta formulada.

1. PLANEACIÓN DE INSTALACIONES

La planeación de instalaciones es una “ciencia inexacta” en la cual las organizaciones se apoyan para tomar decisiones de tipo estratégico, relacionado con aspectos de gran importancia, que pueden llevar a una empresa al éxito o al fracaso, [Tomkins et al 2006], esta corresponde a la elección (óptima) de ubicaciones dentro de un contexto espacial, ejemplos de esas opciones incluyen localización de fábricas, almacenes, escuelas, hospitales, servicios de emergencia y máquinas o departamentos dentro de una planta de producción. [Domschke y Krispin 1996]

La planeación de instalaciones puede subdividirse en dos ramas principales, en ubicación y diseño. La planificación de la ubicación de las instalaciones se refiere a la determinación de la ubicación de las empresas, plantas (de fabricación) o almacenes, así como la ubicación de instalaciones consideradas como públicas, como lo son las escuelas, hospitales, estaciones de bomberos, entre otras. La planificación del diseño de las instalaciones pretende determinar la ubicación (relativas) de las instalaciones (departamentos, máquinas, etc.) dentro de un edificio, planta o un almacén. [Domschke y Krispin 1996]

El problema de la planeación de instalaciones se resuelve desde la teoría de la localización, que puede ser aplicada a cualquier tipo de espacio [Guerrero 2007], pero se hace necesaria la diferenciación entre ubicación y diseño, ya que cada una de estas intenta de alguna manera, mejorar u optimizar (maximizar o minimizar), alguna medida de desempeño o indicador en específico, lo que está estrechamente relacionado con el objetivo de la instalación. [Colebrook 2003]

Los objetivos, cualquiera sea el caso (localización y diseño), también presentan una clasificación, que depende directamente de la naturaleza de la instalación, o mejor de los efectos o impactos que esta instalación tenga sobre el ambiente circundante, por lo que las instalaciones se pueden ser deseadas o no deseadas (fóbicas) [Bosque et. al 1999], aunque algunos autores como E. Melachrinoudis [1999], exponen que las instalaciones no deseadas no existen y deben mejor clasificarse entre deseadas y semi-deseadas, ya que estas instalaciones son de alguna manera necesarias.

Desde hace varias décadas se ha investigado diferentes metodologías que permitan facilitar la decisión de ubicaciones que puedan considerarse óptimas, desde el punto de vista matemático, cuando de alguna manera es posible cuantificar los objetivos, criterios y restricciones, o por lo menos que la solución que dicha metodología arroje se considere la mejor, ya que en cualquier problema real, se presentan limitaciones como la dificultad de cuantificar objetivos que influyen de una considerable manera con el problema a tratar.

1.1 Planeación de instalaciones no deseadas

Como consecuencia al desarrollo industrial y científico de la humanidad, han aparecido diferentes de centros de servicios o lugares de almacenamiento que pueden llegar a causar daños o perjuicios a la salud, o, que pueden de alguna manera deteriorar el medio ambiente o que pueden construir una amenaza al bienestar o estilo de vida de las personas. En definitiva, centros de servicio que queremos tener lo más alejado posible, así ocurre con la ubicación de centrales nucleares, cementerios de residuos radioactivos, fábricas que producen contaminación ambiental por gases, ruidos o radiaciones, plantas de tratamiento de desechos de los centros urbanos (basureros), incluso otro tipo de centros de servicio, como centros para el tratamiento y rehabilitación de pacientes drogadictos y cárceles.

De hecho, aunque la teoría de la localización se puede decir que tiene sus comienzos en el siglo XVII, la mayoría de los trabajos se han realizado en los últimos 40 años y no es hasta finales de los años 70 cuando aparecen los primeros trabajos sobre localización de centros peligrosos, es decir, cuando la sociedad comienza a tener conciencia de este tipo de problemas.

Con el nombre de centros no deseados se engloban a los centros nocivos (que causan o pueden llegar a causar daños a la salud o al medio ambiente), y a los centros considerados como peligrosos (que pueden producir una catástrofe), y a los centros detestables (que constituyen una amenaza para el bienestar y el estilo de vida de las personas que interactúan con ellos). [Muñoz M. et al 1996].

Es difícil encontrar soluciones satisfactorias para este tipo de problemas, pues los objetivos de la personas afectadas se contraponen a estar distribuidas en diferentes puntos, a pesar de tener todas el mismo deseo, que estén lo más lejos posible. [Muñoz José 1996]

1.2 Principios de la Planeación de Instalaciones no Deseadas

Las investigaciones con respecto a la planeación de instalaciones se han en gran medida, focalizado en el modelo del economista Alfred Weber quien formuló una teoría en 1909, para explicar la localización de las industrias, el objetivo del modelo de Weber, posteriormente llamado criterio MINISUM, era minimizar los costos totales de las instalaciones empresariales, lo que concentró los esfuerzos de los investigadores por muchos años. Luego a mediados de los años sesenta 60´ Hakimi retomó el objetivo MINISUM e introdujo uno nuevo, el MINIMAX, y acuñó los nombres de las soluciones de estos problemas, los cuales se han estado utilizando hasta ahora: p-mediana y p-centro respectivamente. Durante muchos años estos fueron los dos criterios utilizados. [Cano et al 2006].

Pero dado la creciente preocupación ecológica y social, manifestada en gran parte de las comunidades mundiales, nació el concepto de locaciones nocivas, fóbicas o no deseadas, ya que estas traían consecuencias nocivas a la comunidad vecina de tal instalación.

Los primeros modelos de centros de servicios nocivos o parcialmente nocivos, de este modo nacieron los criterios MAXISUM (maximiza la suma de las distancias mínimas) y MAXIMIN (maximiza la mínima de las distancias). [Goldman, 1975] y [Church y Garfinkel, 1978]

Los modelos de localización de actividades indeseables (Obnoxious Locations Models) se caracterizan por tener dos criterios que optimizar, el primero requiere que la actividad a la cual esté destinada la instalación se localice lo más lejos posible para evitar las consecuencias que pueda esta repercutir sobre la comunidad circundante, y el segundo requiere que la actividad se localice lo más cerca posible para lograr algún tipo de eficiencia operativa (mejorar algún tipo de medida de desempeño o indicador). [Medina y Cerda 2007].

Según la literatura, los modelos de localización para actividades no deseadas consideran dos principios, conceptos introducidos por McAllister [1976], Morrill y Symons [1977] y Savas [1978], en los que trataron de definir, por primera vez, los conceptos de eficiencia y equidad (justicia) espacial relacionados con la ubicación de servicios.

El principio de eficiencia espacial se refiere al volumen global de desplazamientos que deben efectuarse desde las instalaciones existentes, para darle uso a la nueva instalación que se considera no deseada, e intenta de alguna manera medir el costo que esto representa, en tiempos de recorridos o distancias. Esta distancia evidentemente representa un costo monetario, que se busca reducir en la mayor medida posible. [Bosque Sendra 1992]. Esta eficiencia también puede ser medida en función de los beneficios netos y, en términos de economías de escala, será mayor en la medida que se logre el tamaño y emplazamiento que maximice el consumo del servicio. [McAllister 1976].

La justicia espacial se refiere al grado de igualdad en la distribución de los servicios que presta cada instalación entre la población, depende de la mayor o menor facilidad de acceso y depende de las distancias que separan a cada "individuo" de la instalación "problema" más próxima, del tamaño de la oferta existente en dicha instalación y de la disponibilidad temporal de los servicios. [Bosque 1992].

En el caso de instalaciones no deseadas estos criterios se plantean en unos términos específicos:

- La eficiencia espacial, depende de dos tipos de distancias, la que separa las instalaciones demandantes, que como se mencionó anteriormente está estrechamente relacionados con los costos, los cuales se busca que sean reducidos al máximo, y, por otra parte, la distancia que separa las instalaciones de puntos

vulnerables (susceptibles a contaminación), que como ha mencionado, se requiere que este lo más alejado posible.

- La justicia espacial, en localización de instalaciones no deseables se mide, básicamente, por el grado en que un área determinada comparte riesgos y molestias que dichas instalaciones representan. La localización más justa es aquella en que existan las menores diferencias en la forma en que los diversos sectores del área circundante se ven afectados por la repercusión de una instalación. A pesar de su indiscutible relevancia en el proceso de localización de instalaciones no deseadas, la justicia espacial es un concepto difícil de medir y más complicado de aplicar. Aunque generalmente tiende a estimarse mediante estándares mínimos socialmente impuestos (distancias críticas, normas impuestas, etc.) o mediante la maximización entre la población o las áreas afectadas y las instalaciones. [Morrill y Symons, 1977].

1.3 Modelos de Localización Asignación para Instalaciones no Deseables

En la segunda mitad del siglo XX han ido apareciendo diferentes tipos de centros de servicios o lugares de almacenamiento que pueden causar daños o perjuicios a la salud; que deterioran el medio ambiente o que pueden construir una amenaza a nuestro bienestar o estilo de vida. En definitiva, centros de servicio que queremos tener lo más alejado posible. Así ocurre con la ubicación de centrales nucleares, cementerios de residuos radioactivos, fábricas que producen contaminación ambiental por gases, ruidos o radiaciones, plantas de tratamiento de desechos de los centros urbanos (basureros), incluso otro tipo de centros de servicio, como centros para el tratamiento y rehabilitación de pacientes drogodependientes y cárceles, que producen la movilización de las personas afectadas tan pronto como se enteran de la posibilidad de tener cerca un centro de este tipo, como bien conocemos por medios de comunicación.

De hecho, aunque la teoría de la localización podemos decir que tiene sus comienzos en el siglo XVII, la mayoría de los trabajos se han realizado en los últimos 40 años y no es hasta finales de los años 70 cuando aparecen los primeros trabajos sobre localización de centros peligrosos, es decir, cuando la sociedad comienza a concienciarse de estos problemas.

El problema de localización de centros peligrosos más conocidos es el problema 1-maximin, este intenta ubicar un centro peligroso de tal manera que el centro afectado más cercano quede lo más lejos posible. Drezner y Wesolosky [1980], estudian el problema sobre el plano con distancias euclidianas ponderadas, imponiendo que el punto no deseado esté dentro de una distancia predeterminada de cada centro afectado y proponen un algoritmo para determinar la solución, el problema 1-MAXIMIN es trivial, es por eso que no se ahondó sobre el mismo.

La mayoría de los artículos publicados utilizan la distancia euclidiana y enumeran todos los óptimos locales basándose en las condiciones de KARUSH-KUHN-TUCKER. Así, el primer

artículo que sugiere este método es el de Dasarathy y White [1980]. Este trabajo se prueba la existencia de puntos candidatos para la solución óptima se propone un algoritmo combinatorio que se compara con los existentes en la programación convexa.

Ahora una modificación del trabajo de Dasarathy y White fue realizada por E. Melachrinoudis y T. Cullinane [1985] ellos abordan el problema sobre un polígono convexo con regiones circulares dentro de los cuales no se permite la ubicación del centro peligroso, estos también utilizan el principio de KARUSH-KUHN-TUCKER para enumerarlos óptimos locales.

Drezner y wesolowsky [1983], proponen dos métodos para resolver el problema con distancia rectangular; el primero realiza una búsqueda binaria desde el punto de vista geométrico; y el segundo, se basa en la división de la región factible en segmentos rectangulares al trazar líneas verticales y horizontales por cada centro afectado, resolviendo un problema de programación lineal para cada segmento.

Melachinoudis [1985] demuestra que una solución óptima del problema se encuentra o en un vértice de la región factible; o en un lado de ella equidistante de dos centros afectados; o en su interior, equidistante de tres centros afectados.

En 1991 Erlut y Oncu introducen una versión paramétrica en los pesos, incorporando diferentes niveles de repulsión y probando que este problema es equivalente a un problema MINIMAX donde los costos son funciones decrecientes de la distancia.

Fernandez [1994] considera zonas poligonales de seguridad en torno a los centros afectados y propone un algoritmo para su solución.

Cuando se sigue el criterio de maximizar la suma total de las distancias desde cada centro afectado al centro no deseado tenemos el criterio MAXISUM. Este problema ha sido por Hasen, Peeters y Thissen [1981] sobre subconjuntos acotados del plano. Esos autores caracterizan el conjunto de puntos remotos y proponen un algoritmo de ramificación y acotación para su resolución. Tellier y Polanski [1989] y Drezner y Wesolowsky [1990] han estudiado este problema con pesos positivos y negativos, es decir, contemplando simultáneamente centros repulsivos y atractivos. Chen, et. al [1992] reducen el problema a uno de minimización de una función cóncava sobre un conjunto convexo y proponen un algoritmo de aproximación exterior. Velasco [1991] estudia también este problema y lo resuelve por medio de algoritmos genéticos.

Saameño [1992] considera una función objetivo genera que contempla los criterios MAXISUM, MAXIMIN y una combinación lineal de estos, e identifica el conjunto dominante finito.

El problema MAXISUM sobre un grafo fue estudiado por Church y Garfinkel [1978] cuando los centros afectados son los vértices del grafo. Determinaron el conjunto dominante finito constituido por los vértices y los puntos de cuello de botella de los arcos. Ting [1984] propone un algoritmo con tiempo de cómputo $O(n)$ para árboles. Minieka [1983] estudia el problema 1-maximin sobre grafos dirigidos.

Tamir [1991] estudia varios modelos sobre grafos, probando que son problemas NP-Hard y Hooker, Garfinkel y Chen identifican los conjuntos dominantes finitos en diferentes problemas sobre grafos.

Erkut y Neuman [1989] presentan una revisión de todos estos modelos de localización haciendo énfasis en las similitudes y diferencias.

Sin embargo, en la vida real, el problema de localizar un centro peligroso es claramente un problema de decisión multiobjetivo donde dentro de la región factible existirán zonas prohibidas, como parques naturales protegidos, lagos, zonas de seguridad, etc. En este sentido, tenemos el artículo de Mehrez, Sinuany-Stern y Stulman [1985] quienes consideran una función objetivo ponderado que combina los criterios MINIMAX y MAXIMIN y utilizan la distancia rectangular. Desarrollan un procedimiento que produce una gráfica de la localización óptima para cualquier peso y obtiene el conjunto de puntos eficientes.

1.3.1 Localización de centros en un plano

Considere un conjunto de localizaciones afectadas en R^n $V = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, donde S es una porción o área de R^n , en la que se debe ubicar una localización no sesgada que será denominada P , de manera que se maximice una cierta función real f isótona¹², de las n distancias $d(P, P_i) = \|P - P_i\|$ donde $i = 1, 2, 3, \dots, n$, siendo $\| * \|$ una cierta norma. Es decir,

$$\max_{P \in S} f(\|P - P_1\|, \dots, \|P - P_n\|),$$

Ecuación 1

El conjunto S puede ser un conjunto convexo, una región poligonal o, en general puede venir dado como una unión de conjuntos convexos, que en muchos casos es una aproximación más realista, pues la región S puede venir determinada por regiones prohibidas.

Cuando se formulan las preferencias de los puntos afectados $V = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, al momento de determinar la ubicación de la localización P , se genera un conflicto, ya que cada uno de estas quiere que este se encuentre en el punto más alejado de S , sin embargo

¹² Una función real f definida en R^n es isótona si para cualquier $x, y \in R^n, x \leq y \rightarrow f(x) \leq f(y)$.

estas preferencias en la mayoría de los casos no van a coincidir, por ende se suele seguir con los siguientes criterios:

- a) El criterio MAXIMIN que consiste en elegir el punto que maximiza la distancia ponderada al centro afectado más cercano, es decir:

$$f(\|P - P_1\|, \dots, \|P - P_n\|) = \min_{1 \leq i \leq n} \{w_i \|P - P_i\|\}$$

Ecuación 2

Y por lo tanto, se trata de resolver el problema

$$\max_{P \in S} \{ \min_{1 \leq i \leq n} \{w_i \|P - P_i\|\} \}$$

Ecuación 3

- b) El criterio MAXISUM, el cual consiste en elegir un punto que maximice la suma total de las distancias ponderadas a los centros afectados

$$f(\|P - P_1\|, \dots, \|P - P_n\|) = \sum_{i=1}^n w_i \|P - P_i\|,$$

Ecuación 4

Lo que se traduce en:

$$\max_{P \in S} \left\{ \sum_{i=1}^n w_i \|P - P_i\| \right\}$$

Ecuación 5

Como la norma es una función convexa y los pesos son positivos, la función objetivo es convexa por lo tanto su máximo en S será un punto de la frontera S , si este conjunto es convexo [Muñoz José 1996]. En otras palabras, si S es una región poligonal, la solución óptima será un vértice de S .

Se considera a continuación una función f general para contemplar los criterios MAXISUM, MAXIMIN y el criterio basado en una combinación lineal de dichos criterios.

Se considera el problema siguiente:

$$\max_{P \in R^2} Z(P) = \sum_{i=1}^n k_i w_{\sigma(i)} d(P, P_{\sigma(i)})$$

Ecuación 6

Donde $P \in R^2, P_i \in R^2, i = 1, 2, \dots, n; k_1, k_2, \dots, k_n$, son números reales positivos y σ es la permutación del conjunto $\{1, 2, \dots, n\}$ tal que:

$$w_{\sigma(i)}d(P, P_{\sigma(i)}) \leq w_{\sigma(i+1)}d(P, P_{\sigma(i+1)}), i = 1, 2, \dots, m - 1$$

Ecuación 7.

Se ha comprobado que cuando $k_i = 1, i = 1, 2, \dots, n$ el problema al que obedece es a MAXISUM, para $k_1 = 1, k_i = 0, i = 2, 3, \dots, n$, tenemos el problema MAXIMIN, y para $k_1 = 1, k_i = \lambda, i = 2, 3, \dots, n$, la función objetivo es una combinación lineal de los criterios anteriores.

La función Z es continua pero no es convexa, por lo que se complica su resolución. Sin embargo, el siguiente resultado permite resolver fácilmente este problema cuando P es una región poligonal, pues identifica un *conjunto dominante finito* para el mismo.

Un punto P se dice w –equidistante de los puntos P_i , y P_j si,

$$w_i d(P, P_i) = w_j d(P, P_j)$$

Ecuación 8

1.3.2 Localización de un centro sobre un grafo

Considere un grafo $G = (V, E)$ no dirigido, siendo $V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$ el conjunto de vértices y E el conjunto de ejes.

Sea $|E| = m$ y $A(G)$ el conjunto continuo de puntos de los ejes de G . La longitud de los ejes induce una función distancia sobre $A(G)$; $d(x, y)$ es la longitud del camino más corto que conecta el punto x de $A(G)$ con el punto y de $A(G)$.

Ahora se supone que los centros afectados esta ubicados en los vértices de la red y sea w_i el peso asociado al centro afectado $P_i, i = 1, 2, \dots, n$. Ello no suponer perdida de generalidad pues si existieran centros afectados ubicados en puntos interiores de los ejes de G se consideraría un nuevo grafo G^* , similar a G , pero donde los centros afectados serían nuevos vértices.

Para buscar solución a un centro no deseado sobre el grafo $A(G)$, se deben considerar los siguientes criterios:

1.3.2.1 Criterio MAXIMIN

Partiendo del objetivo de ubicar una instalación sobre $A(G)$ de manera que se maximice la distancia ponderada del centro no deseado al centro afectado más cercano. Es decir:

$$\max_{x \in A(G)} \left\{ \min_{1 \leq i \leq n} \{w_i d(x, v_i)\} \right\}$$

Ecuación 9

En el caso del problema no ponderado ($w_i = 1, i = 1, 2, \dots, n$) se encontrara con un problema trivial, pues la solución óptima se encuentra siempre en el punto medio del eje más largo.

El problema ponderado se puede resolver también fácilmente considerando para cada eje el punto w –equidistante de los vértices.

1.3.2.2 Criterio MAXISUM

El problema se trata da maximizar la suma total de las distancias ponderadas de la instalación no deseada a los vértices del grafo, es decir

$$\max_{x \in A(G)} \left\{ \sum_{i=1}^n w_i d(x, v_i) \right\}$$

Ecuación 10

Tratado por Church y Garfinkel [1978], ellos caracterizan la solución óptima lo que conduce a in conjunto finito de puntos candidatos.

1.3.3 Localización de varios centros sobre un grafo

Para solucionar el problema de localización de varios centros no deseados $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ sobre un grafo $A(G)$ se cuentan con diferentes modelos.

1.3.3.1 El problema de la p-dispersión (problema de p-MAXIMIN)

Este problema trata de ubicar varios puntos no deseados entre sí, un ejemplo claro de esto, es la ubicación de supermercados pertenecientes a una misma marca, los cuales compiten por los mismos clientes entre ellos, por este motivo son considerados repulsivos.

Para solucionar este problema se utiliza el modelo de p-dispersión:

$$\max_{X \subseteq A(G)} f_1(X)$$

Ecuación 11

Dónde:

$$f_1(X) = \min \left\{ \min \{ \alpha_{ij} d(v_i, x_j) \mid 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq p \}; \min \{ \beta_{ij} d(x_i, x_j) \mid 1 \leq i \neq j \leq p \} \right\}$$

Ecuación 12

Y α_{ij}, β_{ij} son pesos no negativos.

Cuando los nuevos centros $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ suministran y reciben servicios idénticos, es decir:

$$\beta_{ij} = 1, 1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq p, \alpha_i = 1, 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq p,$$

Ecuación 13

Se puede decir que es la versión *homogénea*.

Este problema se considera NP-hard, incluso para el caso homogéneo en el que:

$$\beta_{ij} = 1, 1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq p, \alpha_{ij} = \infty, 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq p,$$

Ecuación 14

Aquí el objetivo es maximizar la mínima distancias entre los nuevos centros deservicio. El problema de encontrar una solución ϵ -aproximada con $\epsilon > \frac{2}{3}$, es NP-hard [Tamir1991]. El problema de encontrar un conjunto $X = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$ de $A(G)$ tal que $f_1(X) \geq \epsilon z^*$, donde z^* es el valor óptimo.

Así mismo, la versión discreta de este problema, cuando los X tienen vértices de G , constituye también un problema NP-hard, después al restringirnos a los vértices, este modelo generaliza el problema del *conjunto independiente*.

Tamir [1991] mostro que existe un algoritmo (greedy) que genera una solución $(\frac{1}{2})$ -aproximada para la versión homogénea.

Ekurt [1990] y Kuby [1987] propusieron algoritmos exactos para la versión discreta del problema p -maximin homogéneo.

1.3.3.2 El problema p-MAXISUM

Este problema consiste en:

$$\max_{X \subseteq A(G)} f_1(X)$$

Ecuación 15

Dónde:

$$f_2(X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \alpha_{ij} d(v_i, x_j) + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p \beta_{ij} d(x_i, x_j)$$

Ecuación 16

Y α_{ij} y β_{ij} son pesos no negativos.

1.3.3.3 El problema del p-defensa

Moony Chaudhry [1984] introdujeron un modelo que intenta encontrar un conjunto $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ de puntos de $A(G)$ que maximice la siguiente función objetivo:

$$f_3(X) = \sum_{i=1}^p \min \{d(x_i, x_j) : 1 \leq j \leq p, j \neq i\}$$

Ecuación 17

Este problema se constituye como un NP-hard, incluso en el caso cuando los puntos de X a ser vértices del grafo.

1.3.4 Localización de centros repulsivos y atractivos

Existen casos en la vida real cuando la locación nueva que estamos ubicando puede resultar deseado por una parte de la comunidad, y para el resto sea repulsivo o no deseado, dicho problema se formula de la siguiente manera:

$$\min_{P \in S} \left\{ \sum_{i=1}^k w_i d(P, P_i) - \sum_{j=k+1}^n w_j d(P, P_j) \right\}$$

Ecuación 18

Donde los puntos P_1, P_2, \dots, P_k , son los puntos que consideran a la instalación como atractivo o deseado y P_{k+1}, \dots, P_n , son los puntos que la consideran repulsiva o no deseada.

Este fue abordado por Chen et. al [1992], realizando una transformación al problema de Weber, formulando un equivalente que se reduce a minimizar la función cóncava.

Velasco [1991] a su vez lo resuelve utilizando la heurística conocida como algoritmos genéticos (GA).

Como se ha mencionado anteriormente, el problema de localizar una instalación no deseada es de naturaleza compleja, y por ello se deben considerar diferentes factores y objetivos, Carrizosa [1992] estudia ciertos aspectos del problema multiobjetivo con distancias euclidianas cuando el conjunto de la región factible S es un subconjunto de R^k .

Y aunque todos los modelos analíticos que se mencionaron con anterioridad, pueden ayudar a tomar la decisión sobre la ubicación final, el problema de localización de centros no deseado es un problema de decisión multiobjetivo, de manera que las soluciones propuestas se deben utilizar para generar un pequeño número de posiciones candidatas, pero la solución final del lugar adecuado es un problema complejo en que intervienen las técnicas de teoría de decisión multicriterio.

2. ANÁLISIS DE LA DECISIÓN MULTICRITERIO

2.1 Introducción

En la cotidianidad, los individuos en todos los aspectos de su vida, se enfrentan a diferentes situaciones en la que deben decidir entre un conjunto de alternativas. Así, en su forma más básica un proceso de toma de decisiones puede ser definida como la elección de la mejor alternativa de solución entre “posible”, ahora bien, según se defina lo considerado posible, el decisor se enfrenta a distintas situaciones de decisión.

También la optimización clásica es considerada una manera de tomar una decisión entre un grupo de alternativas factibles, además de este contexto de decisión, existen otros que configuran lo que se suele denominar en términos amplios la teoría de la decisión, estos son clasificados en tres grandes grupos:

La teoría de la decisión con incertidumbre o riesgo: en esta se analiza la toma de decisiones con aleatoriedad o incertidumbre en los resultados, de modo que las consecuencias de una decisión no están determinadas de antemano, sino que están sujetas al azar.

La decisión multicriterio, en la que si bien dada una decisión sus consecuencias están perfectamente determinadas, lo que no está definido tan claramente es qué es lo mejor, existiendo varios objetivos en conflicto.

La teoría de juegos, en la que las consecuencias de una decisión no dependen únicamente de la decisión adoptada, sino, también de la que elijan otros jugadores. En este contexto, los problemas de decisión con aleatoriedad del bloque anterior suelen ser denominados juegos frente a la naturaleza.

En este caso se profundizara en la decisión multicriterio, por el tipo de problema que quiere resolver la presente investigación.

2.2 Proceso de toma de decisiones

Los seres humanos están habituados al proceso de tomar decisiones, ya que de manera inconsciente recurren a este para resolver los inconvenientes a los que cotidianamente se les presentan. Cuando a un individuo se le presenta un problema, de manera “automática” se crean en su cabeza diferentes escenarios de solución, donde cada uno de estos depende de cada alternativa (camino) que el decisor quiera emprender. De manera técnica Hebert Simon¹³ define:

¹³ Tomado de Toskano y Gérard 2005

... “La toma de decisiones es un proceso de selección entre cursos alternativos de acción, basado en un conjunto de criterios para alcanzar uno o más objetivos”...

Toma de decisiones es un término generalmente se asocia, con las primeras cinco etapas del proceso de solución de problemas, de esta manera el proceso de toma de decisión se inicia al identificar y definir el problema, y termina con la elección de una alternativa. [Ver ilustración 1

La fase de análisis del proceso de toma de decisiones puede asumir dos formas básicas: cualitativa o cuantitativa. El análisis cualitativo se basa primordialmente en el razonamiento y la experiencia del decisor; incluye la impresión intuitiva que el decisor posee del problema, cuando se utiliza el enfoque cuantitativo, el analista se concentra en los hechos o datos asociados al problema y desarrolla expresiones matemáticas que describen los objetivos, las restricciones y las relaciones existentes en el problema. Después, utilizando uno o más métodos cuantitativos, el analista ofrece una recomendación con base en los aspectos cuantitativos del problema. [Toskano y Gérard 2005]

Así, en su manera más básica, un proceso de toma de decisión, puede entenderse como la elección de lo “mejor” entre lo “posible”. Ahora bien, según se defina qué es lo mejor y que es lo posible el decisor se enfrenta a distintas situaciones de decisión.

El análisis de decisión implica un proceso racional para escoger entre un conjunto de alternativas, la que a la luz de los criterios planteados sea considerada la “mejor”, y a su vez cumpla con el o los objetivos enunciados.

La “bondad” de una alternativa depende de la calidad de los datos utilizados para describir la situación de la decisión. [Toskano y Grérard 2005]

2.1 Análisis de la Decisión Multicriterio

El análisis de la decisión multicriterio (MCDM por Multicriteria Decision Analysis), es una herramienta en la cual el decisor puede apoyarse para ejecutar su proceso de toma de decisiones. Las metodologías desarrolladas para este fin permiten abordar el proceso de toma de decisiones de manera ordenada y sistemática, facilitan la búsqueda del consenso entre cada uno de los actores, permiten que el decisor amplíe su conocimiento del problema en cuestión y ayuda a racionalizar un problema que sin duda es considerado de alta complejidad. [García 2009]



Ilustración 1 Proceso de Toma de Decisiones

Un problema de decisión multicriterio puede considerarse como tal, si al menos, existen dos o más criterios en conflicto y a lo sumo dos alternativas de solución. Con respecto a los criterios puede decirse están estrictamente en conflicto, lo que se traduce en que un incremento en la satisfacción de uno de los actores se traduce en un decremento en la satisfacción del otro actor. [Toskano y Grérard 2005].

Dentro del MCDM se ha desarrollado un importante número de teorías y algoritmos para apoyar al decisor, en la selección de la “mejor” alternativa cuando se tiene problemas complejos. Todas estas teorías están basadas en la suposición de que los tomadores de decisiones procuran hacer elecciones racionales¹⁴. [Buede y Maxwell, 1995]

El MCDM es uno de los métodos generales de evaluación de criterios de los que existen cuatro tipos generales según [Urda, 1998], los estudios de casos, los métodos cuantitativos basados en criterios económicos, el consenso de una junta de expertos (La revisión por pares (Peer Review), la técnica Delphi) y los métodos multicriterio basados en la cuantificación de los aspectos cualitativos revisados por los expertos.

¹⁴ Entendiendo por decisión racional como aquella que adopta la alternativa accesible valorada más alto, usando un conjunto de criterios de evaluación.

El problema de seleccionar la mejor alternativa de las evaluadas, o mejor aún, el obtener una ordenación de “mejor” a “peor” (ranking) basada en un conjunto de criterios (cuantitativos o no) es la cuestión central que resuelven los métodos o las técnicas multicriterio. Todos estos parten de una base matemática única:

Criterios		C_1	C_j	C_n		
Alternativas	a_1				Matriz de	
	a_i	e_{i1}	e_{ij}	e_{in}		Decisión
	a_m					
Pesos	W_1	W_j	W_n			

Ilustración 2 Modelo de Métodos Multicriterio

Dónde : e_{ij} es la evaluación (cuantitativa) del criterio j con relación al proyecto i

W_j es el peso (importancia) del criterio.

El modelo de los métodos multicriterio como se puede observar en la ilustración 2 es una matriz dónde se relacionan las alternativas con los criterios de evaluación para los cuáles es posible determinar un peso en cada alternativa. Estos métodos se centran en seleccionar aquella alternativa que mejor satisfaga las preferencias del decisor. [Sanchez, et al 2010]

2.2 Clasificación de las técnicas de Decisión Multicriterio

Las técnicas de toma de decisión multicriterio, han sido materia de investigación desde los años 40, y ha tendido una importante evolución en las últimas décadas. [García 2009]

Existen diferentes herramientas que son útiles a la hora de resolver un problema complejo en donde los enfoques tradicionales no son eficientes, por la dificultad de representar los diferentes escenarios de decisión, estas técnicas permiten la incorporación de diferentes criterios y visiones que se asemejan a la realidad. [Moreno y Jimenez 1996].

Korhonen [1992], propone una clasificación de las diferentes técnicas de decisión multicriterio en tres grupos en función de las siguientes situaciones.

La primera situación es cuando las preferencias del decisor son conocidas, es decir se conoce la información completa sobre un conjunto de alternativas y, entonces se asume la existencia de una función de valor global que agrega las funciones de valor de cada uno de los criterios, este es el enfoque adoptado por la teoría de utilidad multiatributo (MAUT).

Para este caso, la manera de abordar el problema de decisión, está determinado por el conjunto de alternativas, si este es discreto el problema consiste en construir la función de valor que refleje las preferencias del decisor y que integre los criterios, en el caso que exista incertidumbre, se debe construir una función de utilidad, con previa asignación de las funciones de probabilidad correspondientes, en cambio si el conjunto de alternativas sea continuo, existen varios algoritmos que resuelven el problema de optimización, y se reduce a un problema de programación matemática.

La siguiente y segunda situación, es cuando se desconocen las preferencias del decisor, este enfoque es adoptado por la programación matemática. Partiendo del propósito de todas las técnicas, de ayudar al decisor a encontrar la mejor solución al problema cualquier problema al que se enfrente, bajo la perspectiva de este enfoque surgen diversos problemas y enfoques para cumplir el objetivo. La resolución de este problema implica obtener un punto óptimo que sea máximo respecto a cada uno de los criterios, que se define como punto ideal. Debido al conflicto de objetivos y la limitación de recursos, la existencia de dicho punto es muy rara en los problemas reales, por lo que se introduce el concepto de solución eficiente o Pareto óptima. [Villegas, 2009]

Por última y tercera situación, se presenta cuando sobre las preferencias del decisor, se posee conocimiento parcial, este enfoque es adoptado por los métodos interactivos, este presenta dos enfoques, el primero se basa en una función de valor implícita, donde el decisor responde a u cuestionamientos específicos que son empleado como guía en el proceso hacia una solución que puede ser óptima o la “más deseada”, el segundo se basa en la negación de la existencia de una función de valor, para este caso los niveles de aspiración del decisor son proyectados respecto a los objetivos sobre la región factible.

Las técnicas de decisión multicriterio presentan diferencias tanto en las características de los modelos como en el proceso de desarrollo de los mismos. [Doumpos y Zopounidis, 2002]. Considerando estos aspectos Alarcon [2006] propone una clasificación de las técnicas entre dos corrientes metodológicas, discretas y continuas.

2.2.1 Métodos de Decisión Multicriterio Discretos

Existen diferentes formas de modelar las decisiones multicriterio, pero entre ellas, sobresalen el modelo funcional, y el modelo racional, estos son la base de los enfoques de la Toma de Decisiones Multicriterio y Ayuda a La Decisión Multicriterio que dan lugar a dos grandes escuelas, las llamadas escuela Americana o Normativa, y la escuela Europea o Descriptiva respectivamente.

La escuela Normativa ha sido desarrollada fundamentalmente por los norteamericanos y los ingleses. Se basa en describir normas del modo en que la decisión multicriterio debe pensar sistemáticamente. Tiene una elegancia matemática dada por la modelación del problema, el

conjunto de axiomas definidos y se centra en cómo deben ser las preferencias. [Alfonso, 2009].

Basados en la existencia de la función valor, la escuela Normativa propone varios métodos prácticos, como son los métodos MAUT, suma ponderada, el método SMART (The Simple Multi-attribute Rating Technique) y el método de las Jerarquías Analíticas o Proceso Analítico Jerárquico (AHP) que según sus autores constituyen una teoría en sí mismo.

2.2.1.1 Método de Utilidad Multiatributo (Maut)

La teoría de la utilidad multiatributo desarrollada por Keeny y Raiffa [1976], a partir de la teoría de utilidad unidimensional de Von Neumann y Morgenstern [1944], se trata de modelos de agregación de preferencias efectuadas respecto a criterios individuales, en los cuales se modelan las preferencias globales del decisor mediante de una función de valor. [Maurtua 2006].

MAUT asume que un problema de decisión puede modelarse mediante funciones valoradas reales que pueden ser maximizadas/minimizadas entre las alternativas. [García 2009]

2.2.1.2 El Método de la suma ponderada

Probablemente es el método más conocido, y utilizado de los métodos multicriterio, este asume que la función de valor puede ser descompuesta y asimilar un modelo aditivo, es decir se obtiene un valor global por la suma de las contribuciones que cada atributo o criterio del decisor.

En muchas ocasiones los atributos o los valores asignados a los criterios no se presentan en escalas comparables de medida, lo que dificulta la comparación de los mismos y se presenten sesgos, por ello se hace necesario la realización de un proceso de normalización de la matriz de valoración, que evalúa para cada alternativa, el grado de cumplimiento de cada uno de los criterios.

2.2.1.3 El Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Desarrollado por Thomas Saaty [1980], consiste esencialmente en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos utilizando una estructura jerárquica.

Básicamente, tiene tres conceptos fundamentales: Estructuración del problema de decisión complejo como una jerarquía de objetivo, criterios y alternativas, comparaciones por pares de elementos del mismo nivel de la jerarquía con respecto a cada criterio del nivel superior, y finalmente de manera vertical se sintetizan los juicios sobre los diferentes niveles de la jerarquía.

El AHP también permite una jerarquía multinivel, cuando los criterios se hacen muy abstractos, pueden incluirse sub-criterios más operativos.

El AHP tradicional ha sido criticado, ya que como se mencionó, este requiere ponderaciones para los criterios propuestos, que en muchas ocasiones son determinísticos ya que dependen del juicio emitido por expertos, por ello entonces Van Laarhoven y Pedrycz [1983] propusieron por primera vez el AHP Fuzzy, donde se propone la ponderación de los juicios o criterios está determinada por números Fuzzy triangulares.

2.2.1.4 El Método SMART (The Simple Multi-attribute Rating Technique).

El método SMART fue desarrollado por Edwards y Barron, en este se juzga la actuación de la alternativa mediante la elección de un valor apropiado entre un límite inferior y un límite superior para la peor y mejor alternativa respectivamente, ya sean reales o imaginarias.

La ventaja del modelo SMART es que es independiente de las alternativas, Lootsma y Schuijt. Cuando las evaluaciones de las alternativas no son relativas, cambiando el número de alternativas considerado no cambiarán las puntuaciones de la decisión con respecto a las alternativas. Esta característica es particularmente útil cuando se añaden nuevas alternativas a la comparación existente.

La escuela Descriptiva por su parte ha sido desarrollada por los europeos: franceses, holandeses y belgas, renuncia a la idea de lo racional, trata de hacer un reflejo del modo en que la decisión multicriterio toma las decisiones, también posee una formulación matemática, pero menos impresionante que la escuela Normativa. [Alfonso, 2009], estudia las preferencias reales del decisor y su principal objetivo es ayudar al decisor a elegir la solución más compatible con sus preferencias.

Con el trabajo de Bernard Roy en los años 70 y la contribución de varios científicos europeos, esta escuela fue la fundadora de la metodología de Ayuda a la Decisión Multicriterio por reflejar una actitud dentro de la línea del pensamiento constructivista. Esta familia de métodos persigue ayudar al decisor a resolver el problema teniendo en cuenta las dificultades que se derivan para la construcción de la función de valor. Se destacan la familia de los métodos ELECTRE (The Elimination Et Choix Traduisant la Réalité) y de los métodos PROMETHEE (Preference Ranking Organization method of Enrichment Evaluations), y el método MACBETH (The Measuring by a Categorical Based Evaluation Technique), métodos también llamados de superación.

2.2.1.5 Método ELECTRE

El método ELECTRE pertenece a una familia de métodos basados en relaciones de superación o sobreclasificación para decidir acerca de la determinación de una solución, que sin ser óptima pueda considerarse satisfactoria; además de obtener una jerarquización de las

acciones o alternativas bajo análisis. Originaria y desarrollada por la escuela francófona (principalmente en Francia, Bélgica, Suiza aunque puede considerarse continental, ya que se verifican importantes contribuciones de los Países Bajos y Polonia, entre otros, a tal esquema), en la actualidad han sido desarrollados los procedimientos ELECTRE I, II, III, IV, IS; y ELECTRE TRI, los que brindan procedimientos para resolver diferentes tipos de problemas suscitados en el tratamiento de la teoría de la decisión.

2.2.1.6 Método PROMETHEE

El método PROMETHEE desarrollado por Vinke y Brans en 1985, consiste, como en ELECTRE III, en la construcción de relaciones de superación valorizadas, incorporando conceptos y parámetros que poseen alguna interpretación física o económica fácilmente comprensibles por el decisor. PROMETHEE hace uso del concepto de pseudocriterio ya que construye el grado de superación entre cada par de acciones ordenadas, tomando en cuenta la diferencia de puntuación que esas acciones poseen respecto a cada atributo.

La evaluación de esas diferencias puede realizarse mediante funciones valor posibles y que son utilizadas de acuerdo a las preferencias del decisor, quién además debe proporcionar los umbrales de indiferencia y de preferencia asociados a estos pseudocriterios. Otras variantes del método plantean situaciones más sofisticadas de decisión, en particular problemas con un componente estocástico. Así se han desarrollado las versiones PROMETHEE II, PROMETHEE III, PROMETHEE IV y PROMETHEE V. En PROMETHEE V Brans y Mareschal se incorpora una filosofía de optimización entera a efectos de abordar problemas de selección de inversiones con restricciones presupuestarias.

2.2.1.7 Método MACBETH

MACBETH es un método interactivo que mide el grado de preferencia de un decisor sobre un conjunto de alternativas. Fue desarrollado por Bana et al. Construye una función criterio desde un punto de vista fundamental y determina los parámetros relacionados con la información entre criterios (pesos) en la fase de agregación.

El método utiliza un procedimiento mediante un cuestionario inicial iterativo que compara dos niveles al mismo tiempo, requiriendo solamente un juicio de preferencia cualitativo. Empieza con la comparación de la opción más atractiva y la menos atractiva. La opción más atractiva se compara entonces con el resto de opciones y el siguiente paso considera la comparación de la segunda opción más atractiva con la tercera, y así con todas.

También existen métodos como ZAPROS (abreviación de las palabra Rusas: Closed Procedures near Reference Situations), el método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), que se basa en el cálculo de la distancia euclídea de una alternativa a las soluciones ideal y anti-ideal previamente establecidas y el método VIKOR

que determina una solución de compromiso, proporcionando una “utilidad de grupo” para la “mayoría” y una penalización mínima individual para el “opponente”.

2.2.1.8 Método TOPSIS

Desarrollada por Hwang y Yoon, recibiendo posteriormente aportes de Zeleny, fue mejorada por los propios autores en 1987 y más tarde por Lai et al. en 1993, es una técnica de programación matemática utilizada originalmente en contextos continuos y que ha sido modificada para el análisis de problemas multicriterio de tipo discretos. Es utilizada para identificar soluciones que se encuentran lo más cerca posible a una solución ideal aplicando para ello alguna medida de distancia. Las soluciones así identificadas se denominan soluciones compromiso y constituyen el conjunto de compromiso.

Esta técnica está basada en el concepto de que una alternativa seleccionada debe tener la distancia más corta posible hacia la solución ideal positiva y estar lo más lejos posible respecto a la solución ideal negativa, entendiendo como solución ideal una colección de niveles ideales (o de valoraciones) en todos los atributos considerados, pudiendo suceder que tal solución normalmente sea inalcanzable o que sea no factible.

2.2.1.9 Método VIKOR

El método VIKOR fue introducido por Opricovic, como una técnica aplicable para implementar dentro de los MCDM. Se centra en la ordenación y selección de un conjunto de alternativas en presencia de criterios en conflicto. Introduce un índice de ordenación multicriterio basado en la medida particular de “proximidad” a la solución “ideal”. El método VIKOR se desarrolló para sistemas complejos de optimización multicriterio. Este determina una lista-ranking de compromiso, la solución de compromiso y los intervalos de estabilidad de pesos para la estabilidad de la preferencia de la solución de compromiso obtenida con los pesos iniciales (dados).

Se asume que cada alternativa se evalúa de acuerdo a cada función criterio, la ordenación de compromiso puede representarse mediante la comparación de las medidas de proximidad a la alternativa ideal. La medida multicriterio para la ordenación de compromiso se desarrolla mediante la utilización de la *métrica-Lp* como una función de agregación en un método de programación por compromiso.

2.3 Métodos de decisión multicriterio y la localización de instalaciones

Como se ha venido mencionando los problemas de localización de instalaciones (como problemas geográficos), han sido catalogados como problemas de decisión multicriterio ya que estos buscan mejorar (maximizar o minimizar) al menos una función objetivo (criterio decisivo) ya sea costos, beneficios, ingresos, distancias recorridas, nivel de servicio, tiempos de espera entre otros, aunque en la vida real apuntar a solo un objetivo no es correcto, ya

que en la mayoría de los casos un criterio de decisión puede afectar a otro tan desfavorablemente que la solución encontrada ni siquiera se acerque a un óptimo, o tan siquiera a una solución considerada la “mejor”.

Por lo anterior entonces se ha recurrido a algunas de las técnicas multicriterio (mencionadas en el numeral 2.4), entre los más populares se encuentran, el método disyuntivo, método conjuntivo, método lexicográfico, el método ELECTRE, el método TOPSIS entre otros. [Zanjirani et. Al 2009].

Estas metodologías han sido aplicados en su manera básica, pero con el fin de mejorar las soluciones arrojadas por estos métodos, se han realizado modificaciones a los métodos básicos, incluyendo números fuzzy para la asignación de ponderaciones o grado de importancia a cada criterio, como es el caso de TOPSIS fuzzy y el AHP fuzzy. [Ertuğrul y Karakaşoğlu 2007].

3. RESIDUOS SÓLIDOS

A escala mundial, durante las dos últimas décadas ha surgido una preocupación por el deterioro ambiental y de salud, originados por la cantidad de residuos generados, en especial los residuos con características especiales.

Estos han ocasionado impactos ambientales negativos por su disposición inadecuada y porque cada vez la cantidad generada es mayor, asunto asociado al incremento de la población humana, a los procesos de transformación industrial (globalización), y a los hábitos de consumo de los individuos.

Por ello la comunidad internacional, en especial los países “desarrollados”, empezaron a tomar conciencia de estos aspectos y empezaron a ajustar sus legislaciones ambientales en las décadas de los 70's y 80's

Muchos de estos países han establecido en la actualidad sistemas de gestión de residuos en general, pero prestando mayor atención a los RESPEL (Residuos Peligrosos), ya que por su experiencia han entendido que las consecuencias de la eliminación incontrolada a largo plazo de los RESPEL son de grandes proporciones.

Si bien estos sistemas de gestión de residuos no son infalibles o perfectos, en general tratan y eliminan los residuos de manera ambientalmente adecuada.

De otra parte, los países recientemente industrializados que en el pasado sólo tenían que tratar cantidades relativamente pequeñas de RESPEL, ahora deben hacer frente a la necesidad de tratar cantidades más grandes de diversos materiales debido, en parte, a que a menudo albergan industrias que generan residuos peligrosos de manera intensa.

En contraste con lo anterior, hasta hace poco los RESPEL no habían formado parte de la agenda política de los países en vías de desarrollo. Por lo tanto, la gestión de estos residuos en estas economías hace parte de un desafío global. La ventaja que han tenido los países en vías de desarrollo es que han aprendido de los errores y la experiencia de los países desarrollados, y ponen en práctica programas de prevención y minimización de residuos en una etapa mucho más temprana.

Otro aspecto importante a considerar en los elementos que han incidido en la evolución de la gestión de los RESPEL es que cuando el mundo desarrollado comenzó a forjar la gestión de este tipo de residuos, en enfoque era considerado como “limitado”. Hoy en día el enfoque es más amplio e incluye medidas sociales y económicas como el empleo de instrumentos económicos para efectuar el cambio, la producción más limpia, iniciativas de minimización de residuos y programas de educación e información entre otros.

3.1 Contexto Nacional

La generación de sustancias peligrosas está dada por algunos componentes de los residuos que son liberados al ambiente como consecuencia de actividades consumidoras y productoras de bienes y servicios.

Existe un factor social que también ha generado un impacto sobre el ambiente, y es la migración campesina hacia la ciudad, lo que ha tenido influencia sobre la generación de residuos especiales, tanto en el sector agrario (por la sustitución de métodos tradicionales por métodos de explotación intensiva), como en el sector de la industria manufacturera (por el incremento de las demandas manufactureras industrialmente producidas), en el sector servicios (por el aumento de la demanda) y en el sector doméstico (por la utilización de artículos para el aseo personal, para el mantenimiento de las viviendas y para la atención de la salud).

En un estudio realizado por el Departamento Nacional de Planeación, publicado en el libro *CONTAMINACIÓN INDUSTRIAL EN COLOMBIA* [Jaramillo y Zapata, 2008], se realizó una estimación de los residuos sólidos y peligrosos generados, tomando como base índices de generación por empleado. Según este estudio la producción de residuos sólidos industriales a nivel nacional puede alcanzar alrededor de 6.300 toneladas por día (ton/día) y de estos se estima que cerca de 540 ton/día son residuos peligrosos, lo que representa un 8.57%.

Desde el punto de vista regional la generación se concentra en las áreas del país con mayor nivel de industrialización, de aquí se concluye que la industria manufacturera es la principal productora de residuos peligrosos. Los departamentos con mayor producción de residuos sólidos potencialmente peligrosos son Cundinamarca (incluyendo Santa Fe de Bogotá) con el 34%, Antioquia con el 23%, Valle con el 13%, Atlántico y Bolívar con el 11% y Santander (principalmente Barrancabermeja) con el 8%.

En el sector servicios puede obtenerse información del subsector salud, del cual se han realizado varios estudios que reportan índices de generación por cama, con base en los cuales se estimó que la generación de residuos peligrosos hospitalarios en el país es de aproximadamente 300 ton/año.

A consecuencia de la problemática ambiental que representan la generación de residuos, el estado ha diseñado una política ambiental, que contempla la implantación de la gestión integrada de residuos sólidos GIRS, ya sean no peligrosos o peligrosos, como termino aplicado a todas las actividades asociadas en el manejo de los diversos flujos de residuos dentro de la sociedad y su meta es administrarlos de una forma compatible con el medio ambiente y la salud pública.

En el marco de la política de gestión integral de RESPEL, se hace necesario definir jerarquías en las estrategias de gestión. Las jerarquías en la gestión obviamente tendrán como primera prioridad evitar la generación de residuos en la fuente a través de la prevención y la minimización, dejando las alternativas de tratamiento y disposición final como última opción de gestión.

La estrategia jerarquizada para la gestión integral de RESPEL se puede apreciar en la ilustración 3



Ilustración 3 Estrategia Jerárquica para la gestión de RESPEL Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia (2005)

3.2 Definición de Residuo

Con la expedición del Decreto 4741 de 2005, el Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Transporte, optó por mantener la igualdad entre los términos “residuo” y “desecho” para efectos de optimizar el control de la gestión y su manejo. De acuerdo con este decreto, residuo o desecho es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentre en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula.

Para efectos de la gestión de los RESPEL (Residuos Peligrosos), independientemente de que el residuo o desecho tenga un potencial de aprovechamiento o valorización o no, si ese residuo o desecho presenta alguna característica que lo haga peligroso, debe ser gestionado y controlado como tal.

3.3 Residuos o Desechos Peligrosos

En forma genérica se entiende por “residuos peligrosos” a los residuos que debido a su peligrosidad intrínseca (tóxico, corrosivo, reactivo, inflamable, explosivo, infeccioso, ecotóxico), pueden causar daños a la salud o al ambiente. Es decir, la definición de residuo o desecho peligroso está basada en las características intrínsecas de peligrosidad del residuo para la salud o el ambiente y en la no posibilidad de uso por parte del generador que lo produjo. Por lo tanto, la definición no depende del estado físico, ni del manejo al que será sometido posteriormente a su generación.

3.4 Clasificación de los Residuos o Desechos Peligrosos

Existen legislaciones y sistemas que clasifican RESPEL por medio de listas, método que resulta práctico y fácil para el generador la identificación que tipo de residuo peligroso ha generado con respecto a los procesos de origen y a la naturaleza del residuo. Estas listas se convierten en la herramienta fundamental de los sistemas de gestión, control y vigilancia para este tipo de desechos.

Además de las listas los RESPEL pueden ser clasificados de acuerdo con sus características de peligrosidad. Estas características se a las que se hace referencia están dadas por un patrón internacional, y son:

- Toxicidad: Se considera un residuo toxico aquel que en virtud de su capacidad de provocar efectos biológicos indeseables o adversos, puede causar daños a la salud humana y/o al ambiente. Los criterios de toxicidad están determinados por la ley colombiana, a partir de los efectos (agudos, retardados o crónicos y eco-tóxicos¹⁵) que pueda generar el residuo o desecho.
- Corrosividad: Característica que hace que un residuo o desecho por acción química pueda causar daños graves en los tejidos vivos que estén en contacto o en caso de fuga puede dañar gravemente otros materiales.

Esta característica intrínseca al residuo está asociada a una propiedad química del RESPEL: el pH. Los residuos o desechos con un alto o bajo pH pueden destruir tejidos vivos y también otros materiales. Por lo tanto, es importante tomar medidas de precaución para no inhalar vapores de este tipo de RESPEL y evitar el contacto con la piel y ojos, así como evitar que se almacenen en materiales no aptos.

- Inflamabilidad: Característica que presenta un residuo o desecho cuando en presencia de una fuerte ignición, puede arder bajo ciertas condiciones de presión y

¹⁵ El concepto de ecotoxicidad se refiere a la capacidad que tiene un contaminante de producir daño sobre los organismos presente en los componentes ambientales. Estos don perjudiciales o fatales para otras especies (diferentes al hombre), o para la integridad ecológica de su habitat.

temperatura. Los residuos inflamables son aquellos que se incendian con facilidad y mantienen la combustión. Estos podrían provocar incendios durante su transporte o almacenaje.

- Reactividad: Es aquella característica que presenta un residuo o desecho cuando al mezclarse o ponerse en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos tiene alguna de las siguientes propiedades:
 - a) Generar vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud humana o al ambiente cuando se mezcla con agua.
 - b) Poseer, entre sus componentes, sustancias tales como cianuros, sulfuros, peróxidos orgánicos que, por reacción, liberen gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo la salud humana o el ambiente.
 - c) Ser capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados.
 - d) Aquel que produce una reacción endotérmica o exotérmica al ponerse en contacto con el aire, el agua o cualquier otro elemento o sustancia.
 - e) Provocar o favorecer la combustión.

Esta característica intrínseca al residuo está asociada con la inestabilidad de estos residuos “en condiciones normales”. Los RESPEL reactivos pueden causar explosiones, vapores tóxicos, gases o vapores. Por ello los cuidados deben estar orientados a prevenir el contacto con agua, cianuros, sulfuros, peróxidos orgánicos, aire y fuentes externas de calor, que permitan a los compuestos reaccionar y generar gases, vapores, humos tóxicos o una explosión.

Los residuos reactivos harán explosión o sufrirán reacciones violentas con gran facilidad. La reactividad es una característica importante de los RESPEL puesto que los residuos inestables pueden plantear un problema en cualquier etapa del ciclo de vida de la gestión de estos.

En el contexto colombiano, además de considerar las características anteriores, se incluyen también características de tipo:

- Explosivas: Se considera que un residuo (o mezcla de residuos) es explosivo cuando en estado sólido o líquido de manera espontánea, por reacción química, puede desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la salud humana y/o al ambiente, y además presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- a) Formar mezclas potencialmente explosivas con el agua.
- b) Ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a temperatura de 25°C y presión de 1,0 atmósfera.
- c) Ser una sustancia fabricada con el fin de producir una explosión o efecto pirotécnico.

Esta característica intrínseca al residuo está asociada con su capacidad de explosión o su poder de reaccionar de forma detonante en determinadas condiciones dadas por el ambiente.

- Radioactivas: La radiactividad corresponde a una propiedad intrínseca del residuo. Hay dos grandes grupos de residuos radiactivos:
 - a) Residuos de alta actividad. Son los que emiten altas dosis de radiación. Están formados fundamentalmente por restos que quedan de las varillas del uranio que se utilizan como combustible en las centrales nucleares, otras sustancias que están en el reactor y por residuos de la fabricación de armas atómicas. También, algunas sustancias que quedan en el proceso minero de purificación del uranio son incluidas en este grupo.
 - b) Residuos de media o baja actividad. Son los que emiten cantidades pequeñas de radiación. En este grupo se encuentran las herramientas, ropas, piezas de repuesto, lodos, etc., de las centrales nucleares y algunos desechos generados en universidades, hospitales, organismos de investigación, industrias, etc.
- Infeciosos: Un residuo o desecho con características infecciosas se considera peligroso cuando contiene agentes patógenos; los agentes patógenos son microorganismos (tales como bacterias, parásitos, virus, rickettsias¹⁶ y hongos) y otros agentes tales como priones¹⁷, con suficiente virulencia y concentración como para causar enfermedades en los seres humanos o en los animales.

En términos conceptuales, la característica que hace a un residuo ser infeccioso puede variar con el tiempo debido a que esta propiedad depende del tipo de microorganismo que se encuentra presente; por lo tanto se dice que esta propiedad no es intrínseca al residuo (como en el caso de las demás características de peligrosidad), sino a los microorganismos patógenos presentes en el residuo que le confieren la cualidad de ser infeccioso.

¹⁶ Rickettsias o rickettsias: Microorganismos que podrían considerarse como intermedios entre bacterias y virus ya que comparten características de ambos.

¹⁷ Prion o prión: Agente infeccioso, constituido exclusivamente por proteínas, que produce alteraciones neurodegenerativas contagiosas en diversas especies animales

De acuerdo con lo anterior, en los residuos infecciosos la concentración de microorganismos va cambiando con el tiempo de varios modos. Pueden perder su viabilidad, con lo que disminuyen su capacidad patógena; los microorganismos pueden multiplicarse o pueden aletargarse pero manteniendo la capacidad de reactivarse en condiciones ambientales más favorables.

3.5 Fuentes Generadoras

Identificar las fuentes generadoras de los RESPEL es de gran importancia para realizar una gestión de los mismos, de forma eficiente y eficaz.

En una sociedad como la colombiana, los residuos peligrosos provienen de un gran número de fuentes que van desde la industria hasta el comercio, pasando por la agricultura, **la asistencia médica** y el hogar.

El análisis histórico de la gestión de los RESPEL muestra que lo más común ha sido iniciar las actividades de gestión y control en la materia centrándose únicamente en los generados por la industria, razón por la cual se han desarrollado iniciativas tendientes a caracterizar los residuos de esta índole producidos por sectores, subsectores y giros industriales específicos (principalmente de la industria manufacturera o de transformación), así como las distintas operaciones unitarias que se realizan en cada uno de ellos. Sin embargo, hoy en día se sabe que existen muchas otras fuentes de generación de RESPEL además del sector industrial o manufacturero, las cuales tienen el problema de estar más dispersas, creando así un problema de dispersión de la contaminación a bajo nivel.

Por lo anterior, las autoridades han formulado y diseñado estrategias de gestión y control de estos residuos que abarquen todo el universo de fuentes generadoras.

Para efectos del presente proyecto de investigación, a continuación se profundizará a cerca de la legislación y la normatividad existente para los RESPEL generados como consecuencia de la atención médica, denominados Residuos Hospitalarios.

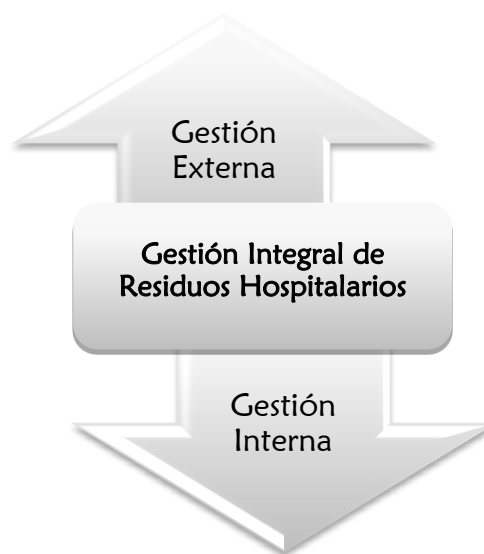
3.6 Gestión Integral de Residuos Hospitalarios

En respuesta a la problemática de los residuos hospitalarios, los Ministerios de la Protección Social y Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 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 sus instrumentos reglamentarios para la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares, 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.

El manejo de los residuos hospitalarios y similares se rige por los principios básicos de bioseguridad, gestión integral, minimización, cultura de la no basura, precaución y prevención.

La gestión integral, implica la planeación y cobertura de las actividades relacionadas con la gestión de los residuos hospitalarios y similares desde la generación hasta su disposición final. La gestión integral incluye los aspectos de generación, segregación, movimiento interno, **almacenamiento intermedio y/o central**, desactivación, (gestión interna), recolección, transporte, tratamiento y/o disposición final (gestión externa).

Ilustración 4 Gestión Integral de Residuos Hospitalarios y Similares¹⁸



3.6.1 Gestión Externa

Es el conjunto de operaciones y actividades de la gestión de residuos que por lo general se realizan por fuera del establecimiento del generador como la recolección, aprovechamiento, el tratamiento y/o la disposición final. No obstante lo anterior, el tratamiento será parte de la gestión Interna cuando sea realizado en el establecimiento del generador.

3.6.2 Gestión Interna

La gestión interna consiste en la planeación e implementación articulada de todas y cada una de las actividades realizadas al interior de la entidad generadora de residuos hospitalarios y similares, incluyendo las actividades de generación, segregación en la fuente, desactivación, movimiento interno, **almacenamiento** y entrega de los residuos al prestador

¹⁸ Fuente: Min Salud Colombia. MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS HOSPITALARIOS Y SIMILARES EN COLOMBIA MPGIRH

del servicio especial de aseo, sustentándose en criterios técnicos, económicos, sanitarios y ambientales; asignando recursos, responsabilidades y garantizando, mediante un programa de vigilancia y control el cumplimiento del Plan.

3.6.2.1 Almacenamiento de residuos Hospitalarios

Los lugares destinados al almacenamiento de residuos hospitalarios y similares quedarán aislados de salas de hospitalización, cirugía, laboratorios, toma de muestras, bancos de sangre, preparación de alimentos y en general lugares que requieran completa asepsia, minimizando de esta manera una posible contaminación cruzada con microorganismos patógenos.

Para el almacenamiento interno de residuos hospitalarios debe contarse como mínimo con dos sitios de uso exclusivo; uno intermedio y otro central. Los intermedios se justifican cuando la institución o establecimiento presenta áreas grandes de servicios o éstos se ubican en diferentes pisos de la edificación. Los generadores que produzcan menos de 65 kg. /día pueden obviar el almacenamiento intermedio y llevar los residuos desde los puntos de generación directamente al almacenamiento central.

3.6.2.1.1 Almacenamiento intermedio

Son los sitios ubicados en diferentes lugares del generador, los cuales están destinados a realizar el depósito temporal de los residuos, antes de la recolección interna. Los residuos deben permanecer en estos sitios durante el menor tiempo posible, dependiendo de la capacidad de recolección y almacenamiento que tenga cada generador.

Estos sitios deben reunir ciertas condiciones para facilitar el almacenamiento seguro y estar dotados con recipientes conforme la clasificación de residuos.

Estas características son:

- Áreas de acceso restringido, con elementos de señalización
- Cubierto para protección de aguas lluvias
- Iluminación y ventilación adecuadas
- Paredes lisas de fácil limpieza, pisos duros y lavables con ligera pendiente al interior
- Equipo de extinción de incendios
- Acometida de agua y drenajes para lavado
- Elementos que impidan el acceso de vectores, roedores, etc.

A la entrada del lugar de almacenamiento debe colocarse un aviso a manera de cartelera, identificando claramente el sitio de trabajo, los residuos manipulados, el código de colores y los criterios de seguridad, implementándose un estricto programa de limpieza, desinfección y control de plagas.

3.6.2.1.2 Almacenamiento Central

Es el sitio de la institución generadora donde se depositan temporalmente los residuos hospitalarios y similares para su posterior entrega a la empresa prestadora del servicio público especial de aseo, con destino a la disposición final si han sido previamente desactivados o a la planta de tratamiento si es el caso.

El tamaño de la unidad técnica de almacenamiento central debe obedecer al diagnóstico de las cantidades generadas en cada institución; será diseñada para almacenar el equivalente a siete días de generación en IPS de segundo y tercer nivel y de cinco días para instituciones de primer nivel y demás generadores de residuos hospitalarios y similares.

Adicional a las condiciones de la unidad técnica de almacenamiento intermedio, el almacenamiento central debe reunir las siguientes características:

- Localizado al interior de la institución, aislado del edificio de servicios asistenciales y preferiblemente sin acceso directo al exterior.
- Disponer de espacios por clase de residuo, de acuerdo a su clasificación (reciclable, infeccioso, ordinario, etc.)
- Permitir el acceso de los vehículos recolectores.
- Disponer de una báscula y llevar un registro para el control de la generación de residuos.
- Debe ser de uso exclusivo para almacenar residuos hospitalarios y similares y estar debidamente señalizado.

En el almacenamiento central los residuos hospitalarios peligrosos serán colocados en canastillas o recipientes rígidos, impermeables y retornables, los cuales serán suministrados por la empresa del servicio público especial de aseo o por la entidad generadora.

Los residuos hospitalarios peligrosos infecciosos (anatomopatológicos) de IPS de segundo y tercer nivel deben almacenarse en ambientes con una temperatura no mayor de 4°C, nunca a la intemperie.

Los residuos infecciosos no deben almacenarse por más de 7 días, debido a sus características y posible descomposición. No obstante lo anterior, los pequeños generadores (farmacias, centros de pigmentación) podrán ampliar el tiempo de almacenamiento (en ningún caso superior a un mes), siempre y cuando no sean anatomopatológicos o de animales y se adopten las medidas previstas en este manual para minimizar los riesgos sanitarios y ambientales.

3.6.2.1.3 Almacenamiento de residuos químicos

El almacenamiento de sustancias residuales químicas, incluyendo los de medicamentos y fármacos, debe efectuarse teniendo en cuenta las siguientes medidas:

- Antes de almacenarlas deben ser identificadas, clasificadas y determinadas sus incompatibilidades físicas y químicas, mediante la ficha de seguridad, la cual será suministrada por el proveedor.
- Manipular por separado los residuos que sean incompatibles.
- Conocer los factores que alteran la estabilidad del residuo tales como: humedad, calor y tiempo.
- El almacenamiento debe hacerse en estantes, acomodándolos de abajo hacia arriba.
- Los residuos de mayor riesgo deben ser colocados en la parte inferior, previniendo derrames.
- Las sustancias volátiles e inflamables deben almacenarse en lugares ventilados y seguros.

3.6.2.1.4 Almacenamiento de residuos radiactivos

Almacenamiento bajo vigilancia en la instalación del generador. Mientras las fuentes radiactivas en desuso son devueltas al proveedor o entregadas a una instalación de almacenamiento de fuentes, ellas deben permanecer en un lugar debidamente señalado y bajo vigilancia por parte de personal competente. Para el almacenamiento, se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- En ningún caso almacenar fuentes radiactivas en un lugar que contenga otro tipo de materiales de desecho o elementos en desuso. El sitio de almacenamiento de fuentes radiactivas en desuso debe ser exclusivo, con el fin de evitar contaminación de materiales y elementos en caso de pérdida de estanqueidad de las fuentes.
- El acceso a la zona de almacenamiento debe ser restringido y tanto los contenedores como la zona misma deben estar señalizados
- Se debe garantizar las condiciones de seguridad que impidan el acceso de personal no autorizado y el hurto de las fuentes.

4. PROPUESTA METODOLOGICA

Para dar solución al problema de localización de centros no deseados, específicamente en el caso de la ubicación del centro de almacenamiento de residuos sólidos hospitalarios generados por el laboratorio del centro de salud Diego Lalide, se propone seguir una serie de pasos, que conducirán al decisor a emitir un juicio, basado no solo en medidas cualitativas, sino también en criterios cualitativos.

Estos pasos son determinados por las fases del proceso de decisión multicriterio, plasmados en la ilustración 1 del presente documento, que a su vez representan las primeras etapas del proceso de resolución de problemas.

Paso 1: Estructuración del problema

Esta parte del proceso consiste en la definición del problema, determinación de criterios y la identificación de alternativas.

- **Definición del problema:** Para definir el problema en analista debe realizar un análisis del entorno del espacio donde se presenta el problema.
En este caso el decisor deberá realizar tanto un análisis general del lugar, para tener un conocimiento básico de lo que allí sucede con respecto a la misión de este, y también un análisis detallado, para tener un conocimiento más amplio del sitio con respecto a la estructura y distribución física del espacio, así como a los procesos y todo lo que estos involucran para su cumplimiento.
- **Determinación de criterios:** Una vez el decisor posea un conocimiento amplio sobre el problema y los aspectos que influyen sobre el mismo, se debe entonces formular los criterios cuantitativos y cualitativos, a tener en cuenta al momento de emitir un juicio con respecto a la ubicación del centro de almacenamiento de residuos sólidos hospitalarios.
- **Identificación de alternativas:** ahora bien, una vez identificado el problema a resolver y los criterios que se tendrán en cuenta para emitir un juicio, entonces se deben identificar los lugares que pueden considerarse como factibles y que cumplan con los criterios formulados.

Paso 2: Análisis del problema de decisión

Esta es la parte del proceso de toma de decisiones consecuente con la estructuración del problema, que comprende dos componentes:

- **Evaluación de las alternativas:** este depende del método de evaluación utilizado. Se propone entonces hacer una combinación de criterios tanto cuantitativos y otros

cualitativos. Primero entonces desarrollar el problema acudiendo a diferentes metodologías.

Primero se desarrolla el problema recurriendo al criterio MAXIMIN y MAXISUM, si estos difieren entonces la literatura sugiere realizar una combinación lineal de los dos métodos para encontrar un resultado más acertado, si el resultado es el mismo, entonces no se hace necesario de realizar esto último.

Ahora bien este resultado no se considera el “mejor”, ya que los criterios utilizados son estrictamente cuantitativos, y no se tiene en cuenta los criterios cualitativos que son tan relevantes al momento de tomar decisiones que pueden tener repercusiones en el futuro, por ello entonces se procede a recurrir a una metodología de decisión multicriterio.

Luego y por último, se recomienda utilizar el resultado arrojado por la metodología multicriterio para alimentar el criterio MAXIMIN y MAXISUM, como las ponderaciones para comparar las alternativas formuladas.

- **Elección de una opción:** En función de los resultados obtenidos, de la evaluación de las alternativas, y un análisis de los resultados obtenidos, se emitirá un juicio por parte del decisor con respecto a la mejor ubicación para el centro de almacenamiento de residuos.



Ilustración 5 Propuesta Metodológica

5. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA (Desarrollo del caso estudio)

5.1 Estructuración de Problema

Como se mencionó en la propuesta metodológica, este consta tres sub-etapas, la definición del problema, determinación de criterios y la identificación de alternativas, a continuación se desarrollara cada una de estas etapas en torno al problema que presenta el centro de salud Diego Lalinde.

5.1.1 Definición del Problema

Para definir el problema primero se realizara una descripción general del lugar, y luego una descripción específica, para que de esta manera el decisor o analista posea un conocimiento basto con respecto a este.

5.1.1.1 Descripción General

La Empresa Social del Estado Red de Salud, nació jurídicamente en enero de 2003, fue creada mediante Acuerdo número 106 de 2003, emanado por el Concejo de Santiago de Cali, cuyo objetivo principal es descentralizar la prestación de servicios de salud del primer nivel de atención del Municipio de Santiago de Cali.

En dicho acuerdo el Consejo Municipal de Cali, decreta la creación de cinco empresas Sociales del Estado del Municipio de Santiago de Cali, como una categoría especial de entidad pública, descentralizada del orden municipal, dotadas de personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio independiente, adscritas a la Secretaría de Salud Pública Municipal de Santiago de Cali y sometidas al régimen jurídico previsto en la ley.¹⁹

Estas empresas son denominadas: Red de Salud de Ladera Empresa Social del Estado, Red de Salud del Norte Empresa Social del Estado, Red de Salud del Centro Empresa Social del Estado, Red de Salud del Oriente Empresa Social del Estado, Red de Salud del Suroriente Empresa Social del Estado, y están integradas por las unidades de prestación de servicios de salud de la Red Pública del Municipio de Santiago de Cali.

Para objeto del presente proyecto se centrara en la Red de Salud del Centro Empresa Social del Estado, la cual está constituida por: El Hospital Primitivo Iglesias, el Centro de Salud Diego Lalinde, el Puesto de Salud Primitivo Crespo, el Centro de Salud Belalcazar, el Centro de Salud Bretaña, el Centro de Salud Obrero, el Centro de Salud Alfonso Yung, el Centro de Salud Cristóbal Colón, el Centro de Salud Panamericano, el Puesto de Salud Guabal, el Centro de Salud Luis H. Garcés, el Puesto de Salud Aguablanca, el Puesto de Salud

¹⁹ Acuerdo 106 del2003 Consejo Municipal de Santiago de Cali

Primavera, el Centro de Salud El Rodeo, el Centro de Salud Santiago Rengifo, el Puesto de Salud 12 de Octubre, el Puesto de Salud Ciudad Modelo.

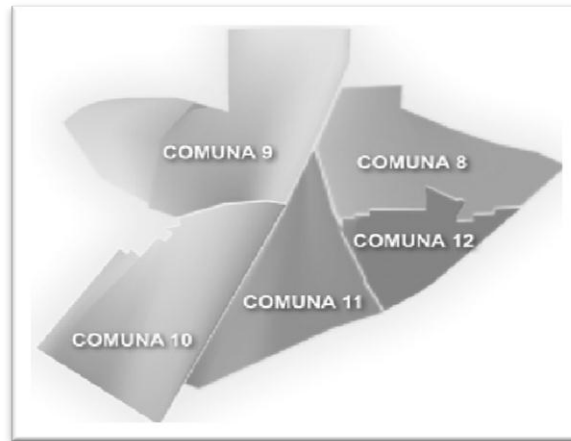


Ilustración 6 Red de Salud Centro E.S.E20

La Misión

“Prestar servicios de salud con calidad considerando el perfil epidemiológico, contribuyendo a mantener sana y mejorar la calidad de vida de la población del Municipio de Santiago de Cali, garantizando la rentabilidad social, la sostenibilidad financiera y la participación social”.

La Visión

“Ser reconocidos en el año 2016 como empresa líder en la prestación de servicios de salud de baja complejidad y sus complementarios, atendiendo la población del área de influencia de la Red, consolidada financiera, tecnológica y organizacionalmente en torno a la cultura de la calidad y de la atención al usuario”.

Principios y valores

- ✓ Excelencia operacional en red: La empresa está comprometida en prestar servicios integrales de salud a sus usuarios, con un modelo efectivo de red y garantía de calidad.
- ✓ Participación: La empresa promueve conversaciones efectivas con la comunidad, sus colaboradores, organismos gubernamentales y no gubernamentales, para la construcción de acuerdos que respondan al mejoramiento de los servicios y de la salud de los ciudadanos.

²⁰ Fuente: Pagina web oficial Red de Salud del Centro Empresa Social del Estado

- ✓ Empresa Limpia: La empresa garantiza transparencia en sus actuaciones, excelencia en la presentación de sus servicios y servidores y compromiso en la conservación del medio ambiente.
- ✓ Buen trato: La empresa garantiza a los usuarios atención a sus necesidades de salud, en forma humanizada, respetuosa, con calidez y en igualdad de condiciones.

5.1.1.1 Portafolio de servicios

Los servicios que presta la Red de Salud del Centro Empresa Social del Estado a la comunidad perteneciente a la comuna 8 son:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| ✓ Planificación familiar | ✓ Laboratorio Clínico |
| ✓ Alteraciones del embarazo | ✓ Rehabilitación |
| ✓ Atención al recién nacido | ✓ Oftalmología |
| ✓ Vacunación | ✓ Agudeza visual |
| ✓ Consulta médica general | ✓ Talleres grupales |
| ○ Consulta odontológica | ✓ Salud mental |
| ○ Consulta de urgencias | ✓ Otorrinolaringología |
| ✓ Laboratorio clínico Radiología | ✓ Imágenes diagnosticas |
| ✓ Ecografía | ✓ Urología |
| ✓ Gerontología | ✓ Salud oral y odontológica |
| ✓ Trabajo social | |

5.1.2 Descripción específica

5.1.2.1 Análisis de Factores

5.1.2.1.1 Factor Edificio

El centro de Salud Diego Lalinez, que pertenece a la red de salud ESE Centro, se encuentra ubicado en la Cra. 12^E entre calles 50 y 51, en el barrio Villacolombia de la ciudad de Cali.

Las instalaciones del centro de salud ocupan un terreno de 3.371,63 m², distribuidos en dos construcciones (edificios) a un nivel o piso, una zona destinada a parqueadero, varias zonas verdes y una construcción destinada a la disposición final de los residuos sólidos tantos no peligrosos como los peligrosos actual, [ver tabla 1]. El terreno cuenta con un encerramiento de dos tipos, enmallado en 68 metros la parte frontal, y pared o también denominada tapia los 19 metros restantes de la cara frontal además de las otras caras (izquierda, derecha y posterior), del centro de atención a la salud. [ver anexo 1]

Área	Espacio (m ²)	Proporción de área ocupada (%)
Edificio 1	335,91	9,96
Edificio 2	1.875,01	55,61
Parqueadero	256,01	7,59
Zonas Verdes (espacio libre)	895,33	26,55
Zona de disposición de residuos sólidos actual	9,37	0,28
Área total del terreno	3.371,63	100,00

Tabla 1 Asignación de áreas generales "CS Diego Lalinde"

- **Edificio 1:** En esta construcción de características arquitectónicas contemporáneas, que tiene como objetivo ampliar el portafolio de servicios ofrecidos por el centro médico a la comunidad, se encuentran ubicadas las instalaciones del laboratorio clínico, donde se toman y procesan muestras de diferentes fluidos corporales (sangre, etc.) y de muestras citológicas, cuenta con un acceso que apunta al parqueadero del establecimiento,

Además la construcción cuenta con un patio interno para ornamentación e iluminación de los pasillos circundantes al mismo, también tiene espacios destinados a consultas prioritarias, zona sanitaria pública y privada, cafetería y un auditorio donde se imparten conferencias para la prevención de diferentes temas. [ver tabla 2] [ver anexo 1]

Área Funcional	Área ocupada (m ²)
Área de laboratorio	102,51
Consultorios prioritarias	23,94
Cafetería	12,02
Auditorio	31,71
Zona Sanitaria Privado	12,67
Zona Sanitaria Pública	10,07
Área destinada a pasillos y accesos	142,99
Área de patios	10,37

Tabla 2 Distribución espacial edificio 1

Edificio 2: este edificio de características arquitectónicas de los años 70's, cuenta con dos accesos una en la parte frontal que proviene del pasillo principal de acceso al centro de salud, y otro en la parte izquierda del edificio (observándolo desde la parte frontal) que conduce a una zona verde (espacio libre). Esta construcción se encuentra subdivida por áreas "funcionales", es decir, según las actividades que son realizadas en cada zona, las

cuales son clasificadas de manera visual, ya que no existe una separación física de las mismas. Entre la más significativas se encuentra; administración, prevención de la salud física y mental, consultorios (los cuales en su gran mayoría cuentan con baterías sanitarias), odontología (que también cuenta con batería sanitaria), almacén de suministros, mantenimiento y una zona sanitaria pública, además cuenta con tres patios internos que ayudan tanto a la ornamentación del edificio, como a iluminación del mismo. [ver tabla 3] [ver anexo 1]

Área Funcional	Área ocupada (m ²)
Administración	217,8
Prevención a la salud física y mental	115,73
Consultorios	112,93
Odontología	21,2
Almacén de suministros	37,49
Mantenimiento	52,06
Zona sanitaria privada	59,51
Zona sanitaria pública	17,8
Estadística	22,24
Caja	21,15
Archivo	44,94
Auditoria Medica	33,63
Área destinada a pasillos y accesos	928,43
Área de patios	190,1

Tabla 3 Distribución espacial edificio 2

5.1.2.1.2 Factor procesos

El proceso de recolección de residuos hospitalarios consiste en operaciones simples que el personal de mantenimiento realiza repetidamente en cada localización del centro de salud donde se encuentren los reservorios temporales (cestos de basura).

- Anudado: dado que cada reservorio temporal contiene un recubrimiento (bolsa de plástica) para la contención de los residuos y para protección de los mismos, debe ser anudada para evitar el derramamiento del material mientras se coloca en el carro transportador.
- Colocación: se ha denominado esta operación al movimiento de la bolsa de basura con los desechos al carro recolector. Se debe tener en cuenta que la colocación en el carro recolector depende de la naturaleza del residuo, ya que el carro trasportador

cuenta con dos compartimientos, uno para residuos sólidos tanto orgánicos como inertes, y otro para residuos sólidos peligrosos donde se incluyen los biosanitarios.

- Desinfección: al momento de “vaciar” los contenedores de basura, estos deben de ser “preparados”, esta operación consiste en una desinfección del contenedor, rociándolo con un desinfectante de tipo industrial y limpiándolo con un paño (Wypall X80), esto con el fin de retirar cualquier fluido que se haya podido filtrar a las paredes del contenedor.
- Recubrimiento: esta operación consiste en colocar de nuevo el recubrimiento al cesto de basura para que en estos se dispongan los residuos generados en cada localización dependiendo de la finalidad de la misma, es decir, dependiendo de la funcionalidad de cada espacio dispone uno o varios cestos de basura que deben ser recubiertos con bolsas de cada color según el material que contengan [ver anexo 2]
- Transporte²¹: consiste en la realización de la ruta sanitaria, es decir, el tiempo invertido por el colaborador de mantenimiento, en recorrer cada edificio del centro de salud recolectando de cada cesto de basura los diferentes materiales dispuestos en los cestos de basura para cada tipo de residuo.

Una vez terminado el recorrido del personal de mantenimiento en todo el centro de salud, el colaborador se dirige al lugar de disposición de residuos actual, para su almacenamiento mientras la empresa de recolección de basura municipal los recoge, para trasportarlos a un relleno sanitario, o a un lugar de desactivación o incineración, según el caso (esto pasa cada tres días).

Antes de ser depositados en el contenedor del punto de recolección actual, el colaborador debe también realizar las operaciones que se realizan en la recolección de residuos para cada cesto de basura en cada localización pero ahora para el carro recolector, es decir, como también el carro recolector tiene un recubrimiento (bolsa plástica) para que no se derramen los residuos recolectados al momento de ser depositado en el contenedor principal ubicado en el punto de almacenamiento de residuos actual, este debe “anudar” el recubrimiento, para luego realizar la “colocación” del material recolectado en el punto de disposición final.

- Desinfección del carro recolector: después de depositar del material recolectado en el punto de disposición final, el carro recolector debe ser desinfectado, rociando con una mezcla de desinfectante y agua caliente a presión.
- Recubrimiento del carro recolector: después de desinfectado el carro recolector, se debe colocar un nuevo recubrimiento de contención de residuos.

²¹ Para el proceso de recolección el factor movimiento (transporte) se considera una operación más del mismo, ya que esto representa una proporción considerable del tiempo invertido en la realización de la ruta sanitaria.

5.1.2.1.3 Factor Material



Para la realización del proceso de recolección de residuos generados en el centro de salud Diego Lalinde, también denominado “Ruta Sanitaria”, se requieren de materiales tales como:

- Recubrimientos para los contenedores: son básicamente bolsas plásticas que ayudan a contener los materiales dispuestos en los cestos de basura (contenedores), se pueden encontrar de diferentes tamaños y colores, los cuales dependen del tipo de material a contener y al tamaño del contenedor a recubrir.
- Desinfectante líquido de tipo industrial: al momento de la recolección de los desechos, los contenedores sufren una desinfección rápida para la eliminación de cualquier fluido que haya quedado adherido a las paredes del mismo, para ello se rocía una mezcla de desinfectante con agua sobre la pared interna del contenedor para luego ser retirado con un paño de tipo industrial.
- Paños de limpieza tipo industrial: como se comenta en el párrafo inmediatamente anterior, estos se requieren en el momento de la desinfección del contenedor, antes de ser recubierto, para que esté listo para seguir con su función.

5.1.2.1.4 Factor maquinaria

La maquinaria utilizada para la ejecución de la ruta sanitaria es:

- Carro recolector de varios compartimento: utilizado para el transporte de residuos sólidos, de este tipo existen dos unidades con las mismas características, ya que la ruta sanitaria es dividida en dos, una para el edificio 1 y el sobrante para el edificio 2, esto con el fin de realizar las dos sub-rutas sanitarias de manera simultánea en cada edificio.
- Contenedores para residuos sólidos: son usados para la contención de residuos tanto no peligrosos como peligrosos.
Los contenedores para cada tipo de residuo se diferencian por un tipo de color específico, por ejemplo los contenedores de color gris se usan para los residuos sólidos de tipo no peligroso y reciclable, como papel y cartón, los contenedores de color verde, son usados para la recolección de residuos no peligrosos de tipo orgánico, y los de color rojo donde se almacenan los residuos de tipo peligroso, como residuos corto punzantes,

Nomenclatura	Tipo de Contenedor	Cantidad de contenedores por tipo
	Papelera (pedal o vaivén) 8 Lt.	61
	Papelera pedal 12 Lt.	34





	Papelera pedal 20 Lt.	23
	Papelera vaivén 53 Lt.	4
	Contenedor de corto punzantes	12
	Papelera tapa ajuste 100 Lt.	4

Tabla 4 Tipo de contenedores (nomenclatura de la anexo 3)

En el anexo 3 plano en el que se relacionan cuantos y de qué tipo de contenedor se encuentran en cada una de las localizaciones.

- Indumentaria de seguridad industrial: para la realización de la “ruta sanitaria” el personal de mantenimiento requiere de una indumentaria para salvaguardarlos de cualquier material desechado corto punzante o de cualquier fluido que pueda ser destilado de los reservorios temporales ubicados en cada localización del centro de salud. Esta indumentaria consiste en:

- Guantes de tipo industrial.
- Gafas de tipo industrial.
- Tapa bocas.

5.1.2.1.5 Factor Mano de obra

Para la realización de la ruta sanitaria se requiere del personal de mantenimiento, a dos personas, para encargarse del proceso de recolección de en general se distribuye en dos turnos laborales, uno que inicia a las 5.45 a.m. y que se encarga de la recolección de cada uno de los edificios a primera hora de la mañana, y el segundo que inicia a la 1:45 p.m. que está encargado de la sub-ruta ejecutada en el edificio 2 a las 2:00 p.m.

Edificio a Recolectar	Hora de recolección	Número de personas encargadas de la recolección	Tiempo promedio de ejecución de la sub ruta
1	6:00 a.m.	1	1:35
1	2:00 p.m.	1	1:35
2	6:00 a.m.	1	2:10

Tabla 5 Detalle de la mano de obra requerida para la ejecución de la Ruta Sanitaria

Para el edificio uno como se comentó, se realiza una sub-ruta sanitaria a las 2:00 p.m. que no se realiza en el edificio 2, esto sucede porque los naturaleza de los residuos generados en este edificio representan un mayor grado de peligrosidad para el personal que labora en el laboratorio, y para los pacientes que requieren de los servicios prestados por el laboratorio clínico, además, el volumen de residuos generados en este edificio en proporción al tamaño del mismo es mayor que a la del edificio 1, esto porque es allí donde se generan casi todos los residuos corto punzantes del centro de salud.

5.1.2.1.6 Factor de Movimiento

Como se mencionó en el numeral 5.1.2.1.2, el factor movimiento para el proceso de recolección es de vital importancia porque este proceso representa una gran proporción del tiempo total invertido en la realización de la ruta sanitaria, ya que para hacerla efectiva, el encargado debe recorrer cada localización de cada edificio del centro de salud recolectando de cada reservorio temporal los materiales desechados por el personal que labora en cada consultorio, oficina u espacio del centro de salud.

Actualmente existe una ruta diseñada para la recolección, pero esta fue determinada de manera fortuita, sin ningún criterio específico, solo la lógica de quien la diseñó, esta ruta es expuesta en el anexo 4.

La ruta sanitaria consta de dos sub-rutas, una para cada edificio, esto es así porque se requiere que la ruta sanitaria sea efectuada simultáneamente en los dos edificios, además que el grado de peligrosidad de los residuos generados en el edificio 1 (laboratorio clínico) es mayor que los generados en el otro edificio, por ello se hace necesario que se recoja con mayor frecuencia (dos veces al día).

Esta ruta en su totalidad recorre en metros lineales aproximadamente 690,70 m² ²², divididos entre los dos edificios de la siguiente manera. Ver tabla 6

Edificio	Distancia Recorrida (m)
Edificio 1	193,00
Edificio 2	497,70

Tabla 6 Distancia de la Ruta Sanitaria (Por Edificio)

5.1.2.1.7 Factor de Espera

El proceso recolección de residuos tanto peligrosos como no peligrosos, se realiza por etapas, para el edificio 1 se realiza una vez al día (5:00 a.m.), por lo tanto los materiales desechados se acumulan durante la jornada de atención (7:00 a.m. a 6:00 p.m.), y además esperan a ser recolectados al día siguiente cuando se realiza la ruta sanitaria.

Por otra parte, estos materiales permanecen un tiempo en el lugar de disposición final, aproximadamente 3 días, ya que la empresa que se encarga de la desactivación y/o incineración de los residuos recolectados a diario en la ruta sanitaria, los recoge los días miércoles y sábado. Cabe anotar que el centro de salud no labora los días domingos, por ende este día no se realiza la ruta sanitaria, y el punto de almacenamiento final se encuentra desocupado.

²² Para el cálculo de esta distancia se determinaron los centroides de cada área, los cuales son a su vez denominados nodos usados para determina la distancia de una localización a otra, y a su vez la distancia total de la ruta sanitaria.

5.1.2.1.8 Factor Servicio

Por tratarse de una empresa del estado, se realiza un estricto control sobre el personal de mantenimiento para que este cumpla con todas las medidas de seguridad requeridas para realizar el proceso de recolección de residuos tanto peligrosos como los que no lo son, por ello dentro del plan de gestión de residuos, se estipula la indumentaria de seguridad con que el encargado debe contar para poder cumplir con su cometido.

También es determinado en el plan de gestión de residuos, que los contenedores (cestos de basura), deben estar ubicados en lugares de fácil acceso para el personal que realice el proceso de recolección de manera fácil y rápida, además que esto ayuda a que se realice una disposición de los materiales desechados de manera correcta (según el tipo de residuo).

En centro de salud cuenta con una bomba para aumentar la presión del agua, y así tener mayor facilidad al momento de la desinfección del carro recolector, operación que debe realizarse después de completar la ruta sanitaria.

5.1.2.2 Formulación técnica del problema

Para el diseño de la metodología se hace necesario el desarrollo de un caso de estudio, para eso, se tomara como base el Edificio 1, lugar donde se encuentra ubicado el laboratorio de recepción y procesamiento de muestras, de donde se genera en mayor cantidad de residuos, además que el grado de peligrosidad de estos residuos, según el criterio de los expertos es muy alto.

- Datos de localización

En este edificio se encuentran 19 localizaciones, a las cuales el centro de almacenamiento de residuos debe atender. A continuación se mostraran las coordenadas²³ de cada una de las localizaciones existentes, además del área que estas ocupan.

Localización	Coordenada x (m)	Coordenada y (m)	Área (m ²)
L01	3,95	13,91	45,8
L02	1,92	18,95	14,94
L03	0,85	21,89	1,96
L04	2,04	21,84	3,68
L05	0,72	25,08	5,18
L06	1,92	23,48	2,31
L07	0,84	26,8	7,47
L08	2,72	25,97	2,45

²³ Estas coordenadas representan los centroides también denominados nodos, de cada localización.

L09	1,98	23,64	10,81
L10	6,55	18,38	8,87
L11	6,18	20,64	2,03
L12	6,18	23,38	2,08
L13	6,42	25,89	7,41
L14	6,24	29,14	15,34
L15	5,69	33,42	8,6
L16	8,74	33,19	5,33
L17	10,64	33,19	4,74
L18	13,04	33,85	12,02
L19	18,42	33,85	31,71

Tabla 7 Coordenadas y áreas de localizaciones

- **Cantidad y tipo de residuos generados en el laboratorio**

Los residuos que se generan en el edificio 2 son de 4 tipos, biodegradables, reciclables, biosanitarios y corto punzantes. Para este caso se tomarán en cuenta los residuos biodegradables y reciclables, ya que por estar expuestos a un ambiente de alta peligrosidad viral y/o bacterial, la norma dice que deben ser tratados como peligrosos.

Para obtener una cantidad media de residuos generados, por cada localización se tomaron datos por 91 días, por cada tipo de residuo. (ver anexo hoja de excel).

Posteriormente se calculó la cantidad de residuos generados por cada una de las 19 localizaciones existentes en el Edificio 1, esto se realizó por medio de un promedio ponderado. La ponderación fue determinada a partir de la capacidad de cada uno de los tipos de contenedores ubicados en cada localización. De este procedimiento se encontró:

	Peligrosos				Total peligrosos	Total generado por localización
	Biodegradables	Reciclables	Biosanitarios	Corto punzantes		
L 1	0,518	0,932	0,000	0,000	0,000	1,449
L 2	0,000	0,932	0,000	0,000	0,000	0,932
L 3	0,000	0,000	0,682	0,000	0,682	0,682
L 4	0,000	0,000	0,000	0,252	0,252	0,252
L 5	0,000	0,000	0,682	0,000	0,682	0,682
L 6	0,000	0,932	0,000	0,000	0,000	0,932
L 7	0,000	0,000	0,682	0,000	0,682	0,682
L 8	0,000	0,932	0,000	0,000	0,000	0,932
L 9	0,000	0,932	0,000	0,000	0,000	0,932

L 10	0,000	0,000	0,000	1,766	1,766	1,766
L 11	0,000	0,000	0,682	0,000	0,682	0,682
L 12	0,000	0,373	0,000	0,000	0,000	0,373
L 13	0,000	2,469	0,000	0,000	0,000	2,469
L 14	0,000	0,932	0,000	0,000	0,000	0,932
L 15	0,000	0,932	0,000	0,000	0,000	0,932
L 16	0,000	0,000	0,682	0,000	0,682	0,682
L 17	0,000	0,000	0,682	0,000	0,682	0,682
L 18	3,429	2,469	0,000	0,000	0,000	5,898
L 19	3,429	0,000	0,000	0,000	0,000	3,429

Tabla 8 Cantidad de residuos generados por localización

5.1.3 Identificación de criterios

Para emitir un juicio con respecto al lugar más apropiado para la ubicación del punto de almacenamiento de residuos peligrosos, se hace necesaria la evaluación de los diferentes criterios que se conjugan a la hora de tomar una decisión de este tipo, por ello entonces ahora se desplegarán los criterios que se tomarán en cuenta para emitir un juicio con respecto a la ubicación más adecuada para el lugar destinado al almacenamiento final de los residuos peligrosos generados en el laboratorio clínico que presta los servicios al centro de Salud Diego Lalinde.

5.1.3.1 Criterio Medio Ambiente

Como se ha comentado en diferentes ocasiones en el presente documento, los residuos que se generan en el laboratorio del centro de salud en cuestión, son de naturaleza peligrosa por el alto riesgo de contagio inherente en estos, ya que entran en contacto directo con los diferentes fluidos corporales de los pacientes que requieren de los servicios que presta el establecimiento médico. Por ello entonces el lugar de almacenamiento, según los expertos, debe de encontrarse en un lugar con un alto nivel de aislamiento, por ende el encerramiento del mismo debe ser por paredes y no por enmallado.

5.1.3.2 Criterio Facilidad de acceso al punto de almacenamiento

Este criterio se refiere a la facilidad que tiene el operario al acceder al centro de almacenamiento, dado que este hace efectiva la ruta sanitaria apoyado por un carro recolector, que presenta dificultad de movimiento cuando el piso no es pavimentado y/o embaldosado. También se deben tener en cuenta las dimensiones del carro recolector, ya que el operario debe contar con un espacio considerable para su movilidad al momento de la disposición de los residuos en el centro de almacenamiento.

5.1.3.3 Criterio Distancia al puerto de acceso

Para completar el ciclo de integral de residuos hospitalarios se requiere de la gestión externa, que empieza justo cuando se entregan los residuos a la entidad correspondiente para el proceso final de almacenamiento o incineración según el tipo de residuo, para ello entonces los residuos deben ser manipulados y transportados desde el punto de almacenamiento de residuos final del centro de salud, hasta el puerto de acceso para ser dispuesta en el carro transportador de la entidad encargada, este proceso de manipulación y transporte representa un riesgo considerable, ya que la comunidad de pacientes se encuentra expuesta a un contacto directo con los residuos, además de la posibilidad de un derramamiento de los mismos. Por ello entonces según la opinión de los expertos se cree que el punto de acceso debería estar lo más cercano posible del puerto de acceso al centro de salud.

5.1.3.4 Criterio Flujo de pacientes o personal al punto de almacenamiento

Este criterio tiene en cuenta la facilidad que puede llegar a tener un paciente o personal no calificado al centro de recolección de residuos, ya que a pesar de que los residuos ahí almacenados son de tipo sólido, el hecho de en algún momento haber tenido contacto con fluidos o excreciones corporales, los convierten en focos potenciales de contagio para quienes tengan contacto futuro con ellos, ya sea directo o indirecto.

Por esto entonces es importante que además de tomar medidas de aislamiento en los materiales que comprendan el encerramiento del lugar utilizado como depósito, se debe considerar que entre menos exposición de las personas a este lugar se considera mejor.

5.1.3.5 Criterio Distancia al punto de lavado de carritos

Como se mencionó en el numeral 5.1.2.1.2 Factor Procesos, al terminar la ruta sanitaria el operario encargado debe realizar una operación de lavado al carro utilizado en la recolección, para eliminar cualquier impureza que haya quedado adherida a las paredes del mismo. Estas impurezas pueden ser de diferente naturaleza bacteriana, viral, líquido entre otros, y son catalogados como altamente peligrosos para el ambiente, así como para quien tenga contacto directo o indirecto con ellos sin la protección adecuada.

Por lo anterior se considera importante considerar la distancia existente entre el punto de almacenamiento y el punto de lavado de los carros, ya que entre menor sea la distancia, menor será la exposición de los pacientes y en personal del laboratorio a estas impurezas.

5.1.3.6 Criterio Adecuaciones necesarias para ubicación

En general cuando se planea construir un punto de almacenamiento de residuos se deben tener algunas consideraciones para la adecuación del lugar destinado a tal tarea, por ello se

hace pertinente tener en cuenta la cantidad de adecuaciones que deben hacerse al terreno para poder construir en este sitio.

5.1.4 Formulación de alternativas

Las alternativas para el centro de almacenamiento de residuos peligrosos, fue determinado por el juicio de los expertos, involucrados en el problema en cuestión. Se formularon 4 alternativas factibles, que tienen como coordenadas: [ver anexo 5]

Alternativas	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)
P1	1,55	0,68
P2	1,4	36,27
P3	17,94	36,9
P4	45,11	37,83

Tabla 9 Coordenadas de las alternativas factibles

5.2 Análisis del Problema de decisión

Esta etapa, también consta de varia sub-etapas, la primera es la evaluación de alternativas, y la segunda es la elección de una de las opciones valoradas.

5.2.1 Evaluación de Alternativas

5.2.1.1 Desarrollo de MAXIMIN y MAXISUM con criterios cuantitativos

Para evaluar las diferentes alternativas formuladas, se recurrirá a diferentes metodologías, primero entonces, se desarrollara el problema, con el criterio MAXIMIN y MAXISUM en un plano cuyo planteamiento matemático ha sido previamente descrito en el numeral 1.3.1, teniendo solamente como información de entrada criterios meramente cuantitativos (información de distancia, y flujo o carga generada por localización).

- Información de entrada

- Cantidad y posiciones de los centros afectados del plano P_n donde $n = 1, 2, \dots, N$, los cuales componen el conjunto V .

Como fue mencionado anteriormente [ver numeral 5.1.3], para el caso se analizara solamente el edificio 1, por ende los centros afectados en este caso son las 19 localizaciones que componen el edificio.

- Descripción del punto no deseado P , en términos de capacidad necesaria de almacenamiento, para los residuos generados en el laboratorio clínico del centro de Salud.

El punto P , requiere contener cuatro papeleras de tapa de ajuste cada uno con una capacidad de 100 lt., una para contener residuos de tipo orgánico (de color verde), otra para los residuos de tipo reciclable (de color gris) las cuales deben estar contenidas en un área de 4,68 m², y las dos restantes para los residuos de tipo peligroso (de color rojo), deben estar contenidas también en un área de 4,68 m².

Para este caso se tienen 4 alternativas como punto P , las cuales están descritas en el numeral 4.3.2 Descripción de alternativas.

- Cálculo de las distancias $d(P - P_i)$ definidas como la norma entre la diferencia de cada una de los centros afectados P_i y el centro o punto no deseados P .

En este caso, las distancias serán calculadas por medio de la ecuación de cálculo de distancias rectilíneas en R^2 $d(P, P_i) = |x - x_i| + |y - y_i|$.

- Declarar las ponderaciones w_i donde $i = 1, 2, \dots, n$ de cada punto o centro afectado, ubicado en la región S .

Estas ponderaciones, en este nivel, son determinadas a partir de la cantidad de residuos generados por cada localización. [ver tabla 8].

a) Criterio MAXIMIN

Aplicando la teoría de MAXIMIN sobre un plano, y realizando los cálculos matemáticos necesarios se encontró que:

	P1	P2	P3	P4	Máximo
Mínimos	5,46	3,80	7,51	14,90	14,90

Tabla 10 Resultados del Criterio MAXIMIN

De donde se puede observar que según este criterio, para los datos de entrada que se tuvieron en cuenta, la alternativa que se considera “mejor”, es la número 4.

b) Criterio MAXISUM

De igual manera se procede a la aplicación del criterio MAXISUM, partiendo de los mismos datos de entrada que en el criterio MAXIMIN, llegando a la conclusión que la mejor alternativa también es la número 4

	P1	P2	P3	P4	Máximo
Sumatoria	860,99	399,31	477,43	1185,62	1185,62

Tabla 11 Resultados del Criterio MAXISUM

Ahora bien, los resultados obtenidos solo están basados en criterios cualitativos, pero como en la mayoría de problemas que se presentan en la cotidianidad, se requiere incluir en la modelación criterios cualitativos, lo que permite un mejor acercamiento a la realidad.

5.2.1.2 Desarrollo del Problema con Criterios Cualitativos

Ahora se desarrollara el problema con técnicas de decisión multicriterio, para así determinar el vector de ponderaciones que luego será incluido en el MAXIMIN y MAXISUM.

La técnica de decisión multicriterio usada, es determinada por el decisor. Para este caso se desarrollaran dos metodologías diferentes, TOPSIS y AHP, donde la primera (TOPSIS), hace uso de la segunda (AHP), dentro de su proceso de solución.

- El método TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

Este método consiste en la comparación de alternativas, afrontando el dilema de trabajar bajo la premisa de la alternativa ideal, con el anti-ideal, o con la mezcla de los dos.

TOPSIS resuelve el problema inspirándose en una idea que Dasarathy aplicó en un contexto de análisis multivariante, donde para cada alternativa $A = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, se calculan $d_p^M(A_i)$, y $d_p^m(A_i)$, las distancias ponderadas al ideal y anti-ideal según la métrica p escogida:

$$d_p^M(A_i) = \left[\sum_j w_j^p |A_j^M - x_{ij}|^p \right]^{1/p}$$

Ecuación 19

$$d_p^m(A_i) = \left[\sum_j w_j^p |A_j^m - x_{ij}|^p \right]^{1/p}$$

Ecuación 20

A partir de las ecuaciones 19 y 20, se obtiene el ratio de similitud al ideal:

$$D_p(A_i) = \frac{d_p^m(A_i)}{D_p^M(A_i) + d_p^m(A_i)}$$

Ecuación 21

Que varía desde $D_p(A^m) = 0$, para el anti-ideal, hasta $D_p(A^M) = 1$ para el ideal. Finalmente, $D_p(a_i)$ se utiliza para la ordenación final de las alternativas.

- Algoritmo del método TOPSIS

Este consta de diferentes pasos los cuales han sido esquematizados en la ilustración 7.

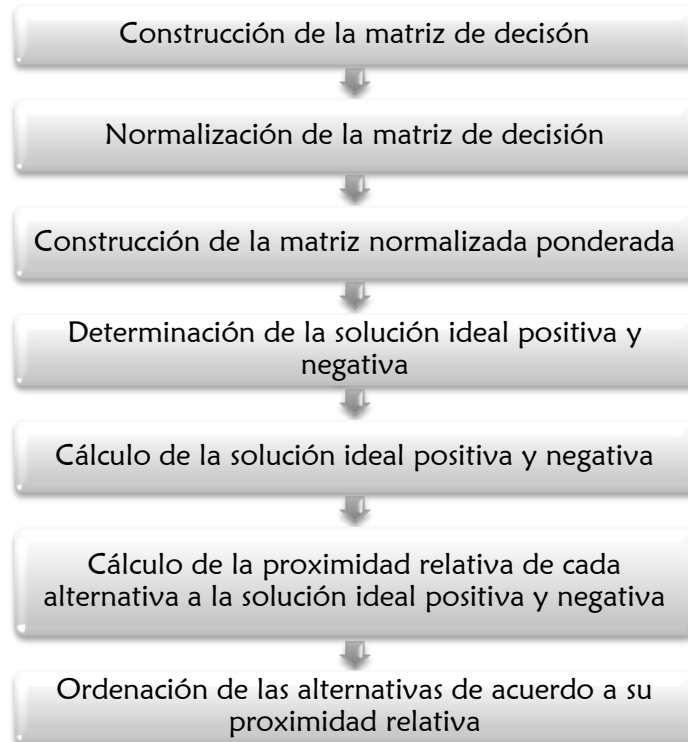


Ilustración 7 Pasos del método TOPSIS

Paso 1: Establecimiento de la matriz de decisión

El método TOPSIS evalúa la matriz de decisión que se refiere a m alternativas A_i , las cuales son evaluadas en función de n criterios C_j .

	w_1	w_2	...	w_j	...	w_n
	C_1	C_2	...	C_j	...	C_n
A_1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1j}	...	x_{1n}
A_2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2j}	...	x_{2n}
...
A_m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mj}	...	x_{mn}

Ilustración 8 Matriz de decisión TOPSIS

Donde x_{ij} denota la valoración de la i -ésima alternativa en términos del i -ésimo criterio. Y donde $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]$, es el vector de pesos asociados con C_j .

Para el caso aplicado se encuentra que:

- Existen 4 alternativas (mencionadas en el numeral 4.3.2 Formulación de Alternativas), que fueron determinadas por un experto en el tema.
- Fueron formulados 6 criterios, los cuales se determinaron junto a los expertos en el tema, y son explicados de manera explícita en el numeral 4.3.1 Formulación de criterios.

Id	CRITERIOS
C1	Criterio Medio Ambiente
C2	Criterio Facilidad de acceso al punto de almacenamiento
C3	Criterio Distancia al puerto de acceso
C4	Criterio Flujo de pacientes o personal al punto de almacenamiento
C5	Criterio Distancia al punto de lavado de carritos
C6	Criterio Adecuaciones necesarias para ubicación

Tabla 12 Lista de criterios

- El objetivo de este paso es este paso es construir un vector de prioridades o pesos que evalúa la importancia relativa que la unidad decisora otorga a cada criterio. Este vector puede determinarse de forma directa, en donde el decisor solo tiene que realizar una valoración sobre la importancia del criterio, o puede acudir a una escala previamente establecida, también por asignación indirecta mediante técnicas de comparación entre criterios.

Para el presente proyecto de grado se ha recurrido a la segunda opción, calcular el vector de prioridad siguiendo la estructura propuesta por el AHP. El cálculo del vector de prioridad de criterios, el cual puede ser determinado de diferentes maneras, asignación directa, el método AHP, entre otros. Para el presente proyecto de grado se utilizó el método AHP, el cual toma pares de elementos de un mismo nivel (dentro de la jerarquía que propone el método), y propone la construcción de una matriz R , donde los elementos r_{ij} son valores numéricos positivos asignados, cuya medida está basada en la en una escala de comparación pareada sugerida (ver tabla 13), que indican la importancia o prioridad relativa entre las criterios C_i y C_j respecto al objetivo o meta establecido.

Una vez planteada la matriz R de comparación entre criterios se procede a calcular el auto-valor máximo de la matriz, el vector propio asociado y el índice de consistencia es aceptable, se obtiene un vector de pesos asociados a las alternativas. Para el problema tratado se encontró que el vector de prioridad de los criterios planteados es el descrito en la tabla 13, donde se observa una ponderación importante del criterio número 1 (Medio Ambiente).

Id	Vector prioridad de criterios
C1	0,458
C2	0,191
C3	0,118
C4	0,105
C5	0,069
C6	0,060

Tabla 13 Vector de prioridades de criterios

Escala numérica	Escala verbal	Explicaciones
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo
3	Importancia moderada de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro	Un elemento es muy dominante
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es menos favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia
2,4,6,8	Valores intermedios entre juicios adyacentes	Se usan como compromiso entre juicios
Incrementos 0,1	Valores intermedios en incrementos	Utilización para graduación entre juicios

Tabla 14 Escala fundamental de comparación pareada propuesta por Saaty

Por ende entonces la matriz de decisión para el caso es:

	w1	w2	w3	w4	w5	w6
Ponderaciones de criterios	0,458	0,191	0,118	0,105	0,069	0,060
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
P1	9,000	3,000	8,000	5,000	3,000	7,000
P2	9,000	7,000	5,000	9,000	5,000	2,000
P3	7,000	5,000	7,000	7,000	7,000	5,000
P4	5,000	5,000	3,000	3,000	9,000	7,000

Matriz 1 Matriz de decisión del problema de localización del centro de recolección de residuos peligrosos

Paso 2: Normalización de la matriz de decisión

En el método TOPSIS primero convierte las dimensiones de los distintos criterios en criterios no dimensionales, un elemento \bar{n}_{ij} la matriz de decisión normalizada $N = [\bar{n}_{ij}]_{m \times n}$ se calcula así:

$$\bar{n}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij})^2}}, j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m$$

Ecuación 22 Ecuación para normalización de la matriz de decisión

	w1	w2	w3	w4	w5	w6
Ponderaciones de criterios	0,458	0,191	0,118	0,105	0,069	0,060
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
n1	0,586	0,289	0,660	0,390	0,234	0,621
n2	0,586	0,674	0,412	0,703	0,390	0,177
n3	0,456	0,481	0,577	0,547	0,547	0,444
n4	0,325	0,481	0,247	0,234	0,703	0,621

Matriz 2 Matriz de decisión normalizada

Paso 3: Construcción de la matriz normalizada ponderada

El valor normalizado ponderado \bar{v}_{ij} de la matriz de decisión normalizada ponderada $V = [\bar{v}_{ij}]_{m \times n}$ se calcula como:

$$\bar{v}_{ij} = w_j \times \bar{n}_{ij}, j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m$$

Ecuación 23 Calculo de los valores para la matriz normalizada ponderada de criterios

Donde, w_j tan que $\sum_{j=1}^n w_j = 1$, es el j-ésimo criterio o atributo.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
v1	0,268	0,055	0,078	0,041	0,016	0,037
v2	0,268	0,128	0,049	0,073	0,027	0,011
v3	0,209	0,092	0,068	0,057	0,037	0,027
v4	0,149	0,092	0,029	0,024	0,048	0,037

Matriz 3 Matriz normalizada ponderada

Paso 3: Determinar la solución ideal positiva (PIS) y la solución ideal negativa (NIS)

El conjunto de valores ideal positivo \overline{A}^+ se determina:

$$\overline{A}^+ = \{\overline{v}_1^+, \overline{v}_2^+, \dots, \overline{v}_n^+\} = \{(\max_i \overline{v}_{ij}, j \in J)(\min_i \overline{v}_{ij}, j \in J')\}, i = 1, 2, \dots, m$$

Ecuación 24 Calculo del conjunto de valores ideal positiva

Y el conjunto de valores ideal negativo \overline{A}^- se determina:

$$\overline{A}^- = \{\overline{v}_1^-, \overline{v}_2^-, \dots, \overline{v}_n^-\} = \{(\min_i \overline{v}_{ij}, j \in J)(\max_i \overline{v}_{ij}, j \in J')\}, i = 1, 2, \dots, m$$

Ecuación 25 Calculo del conjunto de valores ideal negativo

Donde J esta asociado con los criterios de beneficio, y J' está asociado con los criterios de costos.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
A+	0,268	0,128	0,078	0,073	0,048	0,037
A-	0,149	0,055	0,029	0,024	0,016	0,011

Matriz 4 Conjunto de valores de la solución ideal positiva e ideal negativo

Paso 5: Cálculo de las medidas de distancia

La distancia de cada alternativa a la solución ideal positiva \overline{A}^+ se determina de la siguiente manera:

$$\overline{d}_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (\overline{v}_{ij} - \overline{v}_j^+)^2 \right\}^{1/2}, i = 1, \dots, m$$

Ecuación 26 Calculo de la distacia de las alternativas a la solución ideal positiva

Y la distancia de cada alternativa a la solución ideal negativa \overline{A}^- , se determina:

$$\overline{d}_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (\overline{v}_{ij} - \overline{v}_j^-)^2 \right\}^{1/2}, i = 1, \dots, m$$

Ecuación 27 Calculo de la distancia de las alternativas a la solución ideal negativa

d ⁺ A1	0,073	d- A1	0,119
d ⁺ A2	0,000	d- A2	0,140
d ⁺ A3	0,070	d- A3	0,070
d ⁺ A4	0,125	d- A4	0,037

Matriz 5 Calculo de las distancias de cada alternativa a la solución ideal positiva y negativa respectivamente

Paso 6: Calculo de proximidad relativa a la solución ideal

La proximidad relativa \overline{R}_i , a la solución ideal se expresa como:

$$\overline{R}_i = \frac{\overline{d}_i^-}{\overline{d}_i^+ + \overline{d}_i^-}, i = 1, \dots, m$$

Ecuación 28 Calculo de la proximidad relativa entre cada alternativa y la solución ideal

- Si $\overline{R}_i = 1 \rightarrow A_i = \overline{A}_i^+$
- Si $\overline{R}_i = 0 \rightarrow A_i = \overline{A}_i^-$

Cuanto más próximo es el valor de \overline{R}_i a 1, implica una mayor prioridad de la alternativa *i*-ésima.

Para el problema abordado se encontró que:

	Calculo de \overline{R}_i
P1	0,619
P2	1,000
P3	0,500
P4	0,227

Matriz 6 Calculo de las distancias relativas entre cada alternativa y la solución ideal

Paso 7: Ordenación de preferencias

Se ordenan las mejores distancias de acuerdo con \overline{R}_i en orden descendente.

	Calculo de \overline{R}_i	Ranking
P1	0,619	2
P2	1,000	1
P3	0,500	3
P4	0,227	4

Matriz 7 Ranking de alternativas

- El método AHP (Analytic Hierarchy Process)

Este método propuesto por Saaty en 1980, se basa en la idea de que la complejidad inherente a un problema de decisión con criterios múltiples, se puede resolver mediante la jerarquización de los problemas planteados.

El AHP es un modelo de decisión que interpreta los datos y la información directamente mediante la realización de juicios y medidas en una escala de razón dentro de la estructura jerárquica establecida. Este método selecciona alternativas en función de una serie de criterios o variables, las cuales deben estar en conflicto.

La metodología de AHP se basa en una serie de axiomas, de comparación recíproca, de homogeneidad, de independencia y de las expectativas.

- Algoritmo del AHP

Las etapas generales del AHP, se pueden sintetizar en una serie de pasos:

Paso 1: Estructurar el problema como una jerarquía

El primer paso del AHP consiste en modelar el problema de decisión que se pretende resolver como una jerarquía.

En el nivel superior se encuentra la meta u objetivo que se quiere alcanzar, para el caso del presente proyecto de grado se desea encontrar la ubicación que se acople a las necesidades y criterios del laboratorio, para el centro de almacenamiento de residuos peligrosos generados por el mismo.

En el siguiente nivel, en orden descendente, se sitúan los criterios en los cuales el decisor justifica, transforma y argumenta sus preferencias, para el problema en cuestión se han formulado seis criterios, los cuales han sido expuestos de manera explícita, en el numeral 5.1.3 Identificación de criterios.

Finalmente en el último nivel de la jerarquía se sitúan las alternativas, que son el conjunto de posibles opciones definidas sobre las cuales el decisor decidirá.

Paso 2: Establecimiento de las prioridades entre los criterios

El cálculo del vector de prioridad entre los criterios, se siguió lo determinado por el AHP, para comparación de atributos un mismo nivel, que ha sido descrito en paso 1 del algoritmo TOPSIS, lo que arrojó los resultados descritos en la Tabla 13 Vector de prioridad de criterios.

Paso 3: Establecimiento de las prioridades locales y globales entre criterios

Si en la modelización del problema de decisión como una jerarquía se ha considerado la descomposición de algunos o todos los criterios en sub-criterios, antes de continuar debe calcularse el vector de pesos global asociado a dicho sub-criterios. Para el problema que aborda en el presente proyecto de grado no aplica.

Paso 4: Establecimiento de las prioridades locales entre alternativas

Una vez obtenida la ponderación de los criterios, y sub-criterios si fuera el caso, en los pasos anteriores se procede a la valoración de las alternativas, para así poder calcular las prioridades locales. Para ello entonces se procede a calcular una matriz R de comparación pareada entre alternativas, y se sigue el mismo patrón descrito en el paso 1 del algoritmo TOPSIS para el cálculo del vector de prioridad entre criterios.

Habiendo realizado todos procedimientos necesarios para la obtención de los vectores que representan las prioridades locales se procede a construir la matriz de valoración.

	w1	w2	w3	w4	w5	w6
Ponderaciones de criterios	0,458	0,191	0,118	0,105	0,069	0,060
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
P1	0,439	0,531	0,563	0,572	0,577	0,568
P2	0,277	0,272	0,237	0,219	0,249	0,277
P3	0,186	0,143	0,146	0,156	0,124	0,094
P4	0,098	0,054	0,054	0,052	0,050	0,061

Matriz 8 Matriz de valoración

Paso 5: Establecimiento de las prioridades totales asociadas a cada alternativa

Cuando se dispone de la matriz de valoración, solo resta aplicar el método de la suma ponderada que Saaty propone usar para calcular las prioridades totales asociadas a cada alternativa, que representan la importancia de cada alternativa con respecto a la meta.

El objetivo de la suma ponderada es encontrar el vector global \vec{p} de prioridades que agrega las prioridades obtenidas en las dos jerarquías consideradas criterios y alternativas. Las componentes p_i de este vector son las prioridades totales asociadas a cada alternativa A_i que reflejan el valor total que cada alternativa tiene para el decisor. Cada componente de este vector se calcula según la expresión:

$$p_i = \sum_{j=1}^n (w_j \cdot r_{ij}); i = 1, 2, \dots, m$$

Ecuación 29

Donde w_i son los pesos asociados a cada uno de los criterios que se consideran y r_{ij} son las componentes de la matriz de valoración tras el proceso de normalización.

Para el caso el vector de prioridades totales, asociado a los criterios establecidos y las alternativas propuestas es:

	Vector de prioridades totales
P1	0,502
P2	0,263
P3	0,160
P4	0,074

Tabla 15 Vector de prioridades totales

Del vector de prioridades totales expuesto, se puede concluir que la alternativa que se considera como la “mejor opción” es la número 1, de coordenadas (1,550, 0, 680)m.

5.2.1.3 Combinación de Metodologías Cualitativas y Cuantitativas

Ahora se procederá a tomar los resultados obtenidos en el desarrollo de cada una de las alternativas anteriormente aplicadas,

a tomaran los resultados que cada una de las metodologías multicriterio, tanto TOPSIS como AHP, y serán reemplazados en el modelo MAXIMIN, y MAXISUM, como las ponderaciones, que en el caso 1 fueron determinadas por la cantidad de residuos generados por cada una de las localizaciones que comprenden el edificio 1.

- MAXIMIN y MAXISUM+ TOPSIS

Tomando la ponderación w_i , para este caso está determinada por la distancia relativa entre cada una de las alternativas a la solución ideal (ver matriz 6), de donde se halló que:

- a) Aplicando MAXIMIN la mejor alternativa es la número 4, ya que el máximo de los mínimos corresponde a esta alternativa

	P1	P2	P3	P4	Máximo
Mínimos	5,46	3,80	7,51	14,90	14,90
Sumatoria	860,99	399,31	477,43	1185,62	1185,62

Tabla 16 Resultados del MAXIMIN y MAXISUM tomando como pesos ponderantes el calculo de distancias relativas de las alternativas a la solución idel positiva y negativa del TOPSIS

b) Y aplicando MAXISUM se encuentra que también la mejor alternativa corresponde a esta alternativa.

- **MAXIMIN y MAXISUM+ AHP**

Ahora la ponderación w_i , está determinado por el vector de prioridades totales que resulto después de desarrollar la metodología AHP (ver tabla 15).

	P1	P2	P3	P4	Máximo
Mínimos	7,85	6,56	0,56	4,83	7,85
Sumatoria	278,15	266,31	72,21	213,67	278,15

Tabla 17 Resultados del MAXIMIN y MAXISUM tomando como pesos ponderantes el vector de prioridades totales del AHP

Ahora los resultados que se obtuvieron, los cuales se muestran en la tabla 17, es que la mejor opción según los dos criterios MAXIMIN y MAXISUM , es la alternativa número 1.

CONCLUSIONES

Los problemas de localización de centros no deseados son de gran importancia ya que una decisión de este tipo puede traer importantes efectos en el futuro a la comunidad que debe convivir con una instalación de este tipo, por eso es importante realizar un análisis profundo y desarrollar una metodología para tomar decisiones de este tipo, para que el analista posea bases técnicas con las cuales justifique y demuestre que su decisión minimizara en la mayor medida posible las repercusiones futuras que un centro no deseado pueda traer.

Existen diferentes tipos de metodologías que ayudan a los analistas a resolver los problemas que se les presentan en su vida profesional, pero en algunas ocasiones no dan importancia a algunas de estas, solo porque sus paradigmas mentales los sesgan. En otras palabras, la cotidianidad los llevan a buscar soluciones que en la mayoría de los casos traen algún beneficio económico, o de mejoramiento de algún tipo de indicador que mejore la productividad o el aprovechamiento de los recursos, haciendo que estos dejen de lado problemas que no buscan tener esto precisamente, sino que busca minimizar los efectos que a mediano o largo plazo pueden traer problemas al ambiente, por eso entonces una de las conclusiones que se obtienen como resultado de la presente investigación, es dar uso de metodologías y de conceptos como el MAXIMIN o el MAXISUM, que no buscan solo mejorar la utilización de los recursos, sino que intentan conjugar diferentes criterios, que ayudan a minimizar los perjuicios que puede traer una localización no deseada a una comunidad.

Las metodologías multicriterio de decisión, que tiene en cuenta criterios cuantitativos, toman un lugar de gran importancia a la hora de solucionar problemas, sin importar de que tipo sean, ya que la modelación matemática, a pesar de ser efectiva en la mayoría de los casos y colaboren en gran medida, en el proceso de toma de decisiones, estos no tienen en cuenta muchas variables que son de gran preponderancia, por eso entonces es importante recurrir y proponer nuevas metodologías, que hagan uso de las metodologías existentes, y que conjuguen tanto variables cuantitativas como cualitativas.

Los analistas y/o decisores en ocasiones deben enfrentarse a problemas que no necesariamente se ajustan a los parámetros a los cuales se encuentran acostumbrados, tal es el caso de la localización de instalaciones de centros no deseados, ya que para dar solución a este tipo de problemas, se deben abandonar los criterios de decisión a los que se encuentran acostumbrados, como reducción de distancias, movimientos, tiempos o costos entre otros, y dar paso a nuevos criterios que a pesar de ser difíciles de cuantificar son de gran importancia y pueden minimizar las consecuencias que a futuro puede traer una decisión

que dé respuesta a un problema de este tipo, por eso entonces, se hace importante recurrir a metodologías que no necesariamente estén ceñidas a las que regularmente se utilizan, y que den tranquilidad a la hora de tomar decisiones que pueden traer repercusiones importantes medioambientalmente hablando.

BIBLIOGRAFIA

Alarcon (2006). Modelo integrado de valor para estructuras sostenibles. Tesis doctoral. E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. UPC.

Appa G. M. y Giannikos I. (1994), Is Linear Programming Necessary for Single Facility Location with Maximin of Rectilinear Distance?. J. Opi Res. Soc. Vol. 45, No. 1, Pages 97-107

Begoña Vitoriano.(2007). TEORÍA DE LA DECISIÓN: Decisión con Incertidumbre, Decisión Multicriterio y Teoría de Juegos.

Berman O. y Drezner Z. (2002). A note on the location of an obnoxious facility on a network. European Journal of Operational Research. Vol. 120, Pages 215-217

Berman o. y Wang Q (2008), Locating a semi-obnoxious facility with expropriation. Computers & Operations Research Vol. 35, Pages 392 – 403.

Bosque, Gomez, Moreno y Pozzo (2000). HACIA UN SISTEMA DE AYUDA A LA DECISIÓN ESPACIAL PARA LA LOCALIZACIÓN DE EQUIPAMIENTOS. Estudios geográficos, tomo LXI, nº 241, pp. 567-598

Brimberg J. y Juel H. (1998). A bicriteria model for locating a semi-desirable facility in the plane. European Journal of Operational Research. Vol. 106, Pages 144-151

Buede y Maxwell (1995). Rank disagreement: a comparison of multi-criteria methodologies. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 4(1): 1-21.

Canos M. J., Martínez M. Y Macholi M. (2006) Búsqueda de un Objetivo en Problemas de Localización. XIV Jornadas de ASEPUMA y II Encuentro Internacional

Cappanera P., Gallo G. y Mafoli F. (2004). Discrete facility location and routing of obnoxious activities. Discrete Applied Mathematics. Vol. 133. Pages 3 – 28

Carriosa y Plastria (1998). Locating an Undesirable Facility by Generalized Cutting Planes. Mathematics of Operations Research.

Carrizosa (199 2). Problemas de localización multiobjetivo. Tesis doctoral Universidad de Sevilla.

Carrizosa E. y Plastria F. (1998). Locating an Undesirable Facility by Generalized Cutting

Planes. *Mathematics of Operations Research*, Vol. 23, No. 3, Pages 680-694.

Chan A. y Hearn D. (1977). A Rectilinear Distance Round-Trip Location Problem. *Transportation Science*. Vol. 11, No. 2, Pages 107-123

Chen et. al (1992) Weber's problem with attraction and repulsion

Church R. L. y Garfinkel. (1978). *Operations Research Society of America*. Vol. 12, No. 2, Pages 107-118

Colebrook (2003). Localización simple de servicios deseados y no deseados en redes con múltiples criterios. Tesis doctoral Universidad de la Laguna, Departamento de Estadística, Investigación Operativa y Computación

Dasarathy B. y White Lee J., (1980). A MAXMIN Location Problem. *Operations Research*. Vol. 28, No. 6, pages 1385-1401.

Dearing P. M., A network flow solution to a multifacility MAXIMAX location problem involving rectilinear distances.

Díaz, Lopez y Sellarés (2006). Locating an obnoxious plane. *European Journal of Operational Research*.

Diaz_Bañes J. M., Lopez M. A. y Sellarés J. A., (2006), Locating an obnoxious plane. *European Journal of Operational Research* Vol. 173, Pages 556-564.

Domschke y Krispin (1997). Location and layout planning. *OR Spektrum*.

Doumpos y Zopounidis, (2002). *Multicriteria decision aids classification methods*. Kluwer academics Publishers dordrecht.

Drezner y Wesolowsky (1989). Location of an Obnoxious Route. *The Journal of the Operational Research Society*.

Edwards y Barron (1994). W. Edwards and Barron F.H., "SMARTS and SMARTER: improves simple methods for multiattribute utility measurement," *Organizational Behaviour and Human Decision Processes*.

Ekurt (1990) The discrete p-dispersion problem. *European journal of operational Research*.

Ertuğrul İ. y Karakaşoğlu N. (2008), Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. *Int J Adv Manuf Technol*. Vol. 39, Pages. 783-795.

Fernandez, Puerto y Rodriguez (1997). A Maxmin Location Problem with Nonconvex Feasible Region. The Journal of the Operational Research Society.

Fernandez, Fernandez y Pelegrin (2000). A continuous location model for siting a non-noxious undesirable facility within a geographical region. European Journal of Operational Research

Ferreira C. y Sousa B. (2000), Information Visualization in Locating Obnoxious Facility: some examples with mono and bicriteria models. IEEE . Pages 439- 444

García (2009). Métodos para la comparación de alternativas mediante un Sistema de Ayuda a la Decisión (S.A.D.) y "Soft Computing". Tesis doctoral. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos

García Cascales M^a del Socorro (2009), Tesis Doctoral Departamento de Electrónica, Tecnología de Computadoras y Proyectos. Universidad Politécnica de Cartagena

Guerrero García Carlos. (2007), Un Modelo Multicriterio De Localización De Centros No Deseados Con Pesos.

Holder (1990). Some Comments on the Analytic Hierarchy Process. The Journal of the Operational Research Society

Hwang y Yoon (1981), Multiple Attribute Decision Methods and Applications, Springer, Berlin Heidelberg

J.J. Saameño Rodríguez, C. Guerrero García, J. Muñoz Pérez y E. Mérida Casermeiro. (2006), A general model for the undesirable single facility location problem. Operations Research Letters Pages 427-436

Kuby (1987) Programing models for facility dispersion: the p-dispersion and mxisumdispersionprblems. Geographical analysis

Kutangila (2005). Modelos basados en "soft computing" para resolver problemas de localización. Tesis doctoral Universidad de Granada Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial

Letelier (2003). ANÁLISIS DE ALGORITMOS DE LOCALIZACIÓN ÓPTIMA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. Tesis de pregrado para optar al título de Ing. Civil, Universidad de Valdivia Chile, FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL EN INFORMATICA

Lootsma y Schuijt (1997). Lootsma F and Schuijt, "The Multiplicative AHP, SMART and

ELECTRE in a common context," Journal of Multicriteria Decision Analysis

Maurtua (2006). Criterios de Selección de Personal mediante el uso del proceso de análisis jerárquico. Aplicación en la selección de personal para la Empresa Exotic Foods S.A.C

Medina Tapia M. y Cerda Troncoso J. (2008), Modelo de localización óptima de actividades no deseadas aplicado a los residuos sólidos en la región metropolitana. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, Vol. 16 No. 2, 2008, Pages 211-219

Melachrinoudis E. y Cullinane T. (1985). A heuristic approach to the single facility maximin location problem. Int. J. Production Research. Vol. 23, No. 3, Pages 523-532

Melachrinoudis E. y MacGregor Smith J. (1995), An $O(mn^2)$ algorithm for the Maximin problem in E^2 . Operations Research Letters. Vol. 18, Pages 25-30

Melachrinoudis y MacGregor (1995). An $O(mn^2)$ algorithm for the Maximin problem in E^2 . Operations Research Letters

Ministerio del Medio Ambiente (Colombia 2002). Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los residuos hospitalarios y similares.

Ministerio del Medio Ambiente (Colombia 2002). Resolución número 01164 de 2002, por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los residuos hospitalarios y similares.

Ministerio del medio ambiente colombiano. Decreto No. 2676 de 2000. Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos hospitalarios y similares.

Ministerio del medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial colombiano. Decreto No. 4741. de 2005. Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

Mol Labs LTDA. (Documento tipo artículo informativo).

Moon y Chaudhry (1984). An analysis of network location with distance constraints

Muñoz y Saameño (1999). Location of an undesirable facility in a polygonal region with forbidden zones. European Journal of Operational Research.

Ohsawa y Tamura (2003). Efficient Location for a Semi-Obnoxious Facility. Annals of Operations Research.

Parkan y Wu (1998). Process selection with multiple objective and subjective attributes. PRODUCTION PLANNING y CONTROL.

Plastria y Carriosa (1999). Undesirable facility location with minimal covering objectives. European Journal of Operational Research

Saameño, Guerrero, Muñoz y Merida (2006). A general model for the undesirable single facility location problem. Operations Research Letters

Saaty (1980) T. Saaty, The analytic hierarchy process McGraw-Hill, New York.

Sanchez, Hernandez y Díaz (2010). MÉTODO PARA EVALUAR PROYECTOS INFORMÁTICOS Y ESTABLECER UN ORDEN DE PRIORIDAD QUE AYUDE A LA TOMA DE DECISIONES

Sayin S. (2000), A Mixed Integer Programming Formulation for the 1 -Maximin Problem. The Journal of the Operational Research Society, Vol. 51, No. 3 Pages 371-375.

Sociedad Chilena de control de infecciones y epidemiología hospitalaria y Sociedad –chilena de infectología. Disposición de desechos hospitalarios infectantes. Posición conjunta de la sociedad chilena de control de infecciones y epidemiología hospitalaria y de la sociedad Chilena de infectología.

Tamir (1991). Obnoxious facility locationc graphs. SIAM journal on discrete mathematics.

Tompkins James A., White John A., Bozer Yavuz A. y Tanchoco J. M. A. (2006), Planeación de Instalaciones. 3ra edición. Thomson.

Toskano y Grérard (2005). EL PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP) COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA SELECCIÓN DE PROVEEDORES : APLICACIÓN EN LA SELECCIÓN DEL PROVEEDOR PARA LA EMPRESA GRÁFICA COMERCIAL MYE S.R.L. (Monografía (Lic.)--Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas. EAP. Investigación Operativa)

Villegas (2009). Análisis de valor en la toma de decisiones aplicado a carreteras, -Tesis doctoral, Universidad de Cataluña barcelona

Vinke y Brans (1985), A preference ranking organization method (the PROMETHEE method for multiple criteria decision-making), Management science.

Yapicioglu, Smith y Dozier (2007). Solving the semi-desirable facility location problem using bi-objective particle swarm. European Journal of Operational Research

Zanjirani R., SteadieSeifi M. y Asgari N.(2010), Multiple criteria facility location problems: A survey. Applied Mathematical Modelling.

Zeleny (1982) Multiple criteria decision making. New-York: McGrawHill.

ANEXOS

Anexo 1 Planta

Anexo 2 Planta Distribución Cestos de Basura

Anexo 3 Nomenclatura Cestos de Basura

Anexo 4 Ruta Sanitaria

Anexo 5 Alternativas Factibles