



UNIVERSITAT JAUME I

ESCUELA SUPERIOR DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS EXPERIMENTALES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD (PLAN 2018)

*“EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE UN SISTEMA
DE TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE LOS RSU EN
MISURATA (LIBIA) UTILIZANDO LA METODOLOGÍA
COSTE/BENEFICIO. PROYECTO DE VERTEDERO
CONTROLADO”*



TRABAJO FINAL DE MÁSTER

AUTOR
BASHIR MOHAMED HGAIG

DIRECTOR
Francisco José Colomer Mendoza

Castelló de la Plana, julio, 2021

Índice

Capítulo uno: Introducción a la investigación

1.1	Introducción	8
1.1.1	La situación actual de la gestión de residuos sólidos municipales en Misurata	9
1.2	Introducción al problema de investigación	12
1.3	importancia de la investigación	13
1.4	objetivos de investigación	13
1.5	Alcance y límites de la investigación	13
1.6	Metodología de investigación utilizada	14
1.7	Estudios previos	14

Capítulo dos: Estudio técnico

2.1	Introducción	23
2.1.1	Residuos biodegradables	23
2.1.2	Residuos no biodegradables	23
2.1.3	Desperdicios de mataderos y animales muertos	23
2.1.4	Residuos de la calle	23
2.1.5	Residuos industriales	23
2.1.6	Residuos hospitalarios y equipos médicos	24
2.1.7	Residuos comerciales	24
2.1.8	Residuos de diversos establecimientos	24
2.2	Tratamiento sanitario y ambiental de residuos sólidos urbanos	25
2.2.1	Opciones comunes de eliminación y tratamiento de residuos	25
2.2.2	Gestión integral de residuos sólidos urbanos	26
2.3	Escenarios y alternativas para las soluciones propuestas para los proyectos de relleno sanitario municipal	30
2.3.1	Introducción	30
2.3.2	Primera solución propuesta: Alternativa cero - Vertedero incontrolado (Aleatorio)	35
2.3.3	La segunda solución propuesta: enterrar todos los residuos dentro del relleno sanitario	36
2.3.4	La tercera solución propuesta: clasificación mecánica de los residuos y luego verter el resto en el vertedero	41
2.3.5	La cuarta solución propuesta: clasificación mecánica y conversión de materiales orgánicos en acondicionadores del suelo - compostaje- (tratamiento mecánico y biológico), luego enterrar el resto en el relleno sanitario	47
2.4	Los impactos ambientales potenciales de los escenarios y alternativas de soluciones propuestas para los proyectos de rellenos sanitarios municipales	51

2.4.1	Introducción	51
2.4.2	Los impactos ambientales potenciales del primer escenario: Alternativa cero - Vertedero no planificado	54
2.4.3	Los impactos ambientales potenciales del segundo escenario: vertido de todos los residuos dentro del relleno sanitario	54
2.4.4	Los impactos ambientales potenciales del tercer escenario: clasificación mecánica de los residuos y luego verter el resto en el vertedero	56
2.4.5	Impactos ambientales potenciales del cuarto escenario: clasificación mecánica de desechos, luego conversión de materiales orgánicos en acondicionadores del suelo (fertilizantes) y luego vertido del resto en un relleno sanitario	57
2.5	Criterios para evaluar los posibles impactos ambientales	58
2.5.1	Impacto en el aire	58
2.5.2	Impacto en los recursos hídricos	58
2.5.3	Impacto en plantas, animales y suelo	58
2.5.4	Impacto en los usos de la tierra adyacente	58
2.5.5	Impacto ambiental en el trabajo humano	58
2.5.6	El impacto socioeconómico del proyecto	58
2.5.7	Impacto ambiental en el paisaje	59
2.5.8	Molestias y salud general	59
2.5.9	Movimiento de tráfico	59
2.6	Matriz de análisis de impacto ambiental	60
Capítulo tres: Estudio económico		
3.1	Introducción	63
3.2	El concepto de economía ambiental	63
3.3	Métodos de evaluación del impacto ambiental de proyectos	65
3.3.1	Introducción al concepto de evaluación de impacto ambiental	65
3.3.2	Métodos de evaluación del impacto ambiental de proyectos	66
3.4	Concepto de análisis de costo / beneficio incremental	71
3.5	Criterios para el análisis de costo / beneficio	73
3.6	Pasos del análisis de costo / beneficio	75
3.7	Ventajas y desventajas del análisis de costo / beneficio	76
3.7.1	Ventajas	76
3.7.2	Inconvenientes	76
Capítulo cuatro: Estudio de caso		
4.1	Introducción	79
4.2	Ubicación y población	79
4.3	Estrategia de gestión de residuos sugerida	80

4.4	Condiciones y especificaciones técnicas y cuantitativas del proyecto	81
4.4.1	Cantidad esperada de residuos	81
4.4.2	La edad del diseño del relleno sanitario	82
4.4.3	Área necesario para el relleno sanitario	83
4.5	Estudiando el costo de la contaminación resultante de los residuos sólidos urbanos en el área de estudio	85
4.6	Estudiar los costos económicos de las alternativas tecnológicas	87
4.6.1	Estudio de los costes económicos de la planta de clasificación mecánica	87
4.6.2	Estudio de los costes económicos de la planta de tratamiento biológico	93
4.6.3	Estudio de los costos económicos del proyecto de relleno sanitario	99
4.7	Estudie el costo de los escenarios de soluciones propuestos	99
4.7.1	Estudio de costos para el escenario uno: alternativa cero: vertedero incontrolado	99
4.7.2	Estudio de costos para el segundo escenario: enterrar todos los residuos en el relleno sanitario	103
4.7.3	Estudio de costos para el tercer escenario: clasificación mecánica de residuos y luego entierro del resto dentro del relleno sanitario	106
4.7.4	Estudio de costos para el cuarto escenario: clasificación mecánica de residuos, luego conversión de materiales orgánicos en compost y luego enterramiento del resto en el relleno sanitario	109
4.8	Cálculo del beneficio y selección de la alternativa más adecuada	112
Capitulo cinco: Estudio de sensibilidad		
5.1	Introducción	119
5.2	Factores del análisis de sensibilidad	120
5.3	Modelo Excel	120
5.4	Análisis de sensibilidad	128
5.4.1	Cantidad de RSU	128
5.4.2	Proporciones de componentes de residuos	129
5.4.3	Precio por m ² de terreno	130
5.4.4	Valor de venta de materiales reciclados y fertilizantes resultantes del tratamiento biológico	130
5.4.5	Costo de la contaminación por gases o lixiviados	132
5.4.6	El costo de una visita médica y el número de visitas familiares a los centros de salud anualmente	133
5.4.7	El número de personas en una familia	134
5.4.8	Aumento de residuos en el relleno sanitario o vertedero incontrolado	135
5.4.9	Costo de operación del vertedero incontrolado	136
Capitulo seis: Discutir los resultados		

6.1	Introducción	139
6.2	Conclusiones	142
6.3	Recomendaciones	143
6.4	Sugerencias	144

índice de figuras		
Numero de Fig	Nombre de Fig	
1.1	El vertedero actual y las alternativas propuestas	
1.2	Ciclo de vida actual de los residuos sólidos urbanos en Misurata	
2.1	Composición promedio de los desechos domésticos en Libia	
2.2	Tasas de eliminación de desechos en los países en desarrollo	
2.3	Fotos ilustrativas del vertedero incontrolado en Misurata	
2.4	Vertedero sostenible	
2.5	Relleno Sanitario	
2.6	Capas de aislamiento de base de polietileno	
2.7	Asentamiento del área del proyecto e implementación del sistema de aislamiento del suelo	
2.8	El sistema de impermeabilización	
2.9	Relleno sanitario durante el período de recolección de gas	
2.10	Esquema inicial para procesamiento mecánico (línea de cribado)	
2.11	Embudo de alimentación en la línea de clasificación mecánica	
2.12	Tamiz cilíndrico en la línea de clasificación mecánica	
2.13	Electroimán en la línea de clasificación mecánica	
2.14	Formación de montones de residuos orgánicos	
2.15	Cubrir pilas de compostaje	
2.16	Vista general imaginaria de la planta de tratamiento mecánico y biológico	
2.17	Quema indiscriminada y contaminación del aire	
3.1	Diferencia entre costo y beneficio	
3.2	diagrama sistemático del proceso de comparación bilateral	
4.1	Ecuación de crecimiento poblacional esperado	
4.2	Ubicación del proyecto	
4.3	Diferencia entre beneficio y costo en la solución final	
5.1	Página de entrada del proyecto	
5.2	Tabla de resultados	
5.3	Ejemplo de datos detallados obtenidos por el modelo Excel	
5.4	Comparación entre el escenario propuesto y los otros tres escenarios en el modelo Excel	
6.1	Costo por tonelada sin contaminación	
6.2	Costo de contaminación por tonelada	
6.3	Costo por tonelada sin contaminación	
6.4	Cantidades de contaminantes por tipo	
6.5	Costos de contaminantes por tipo	
6.6	Área de tierra necesaria para cada escenario	

Índice de tablas

Numero de tabla	Nombre de tabla
2.1	Tipos de contaminación resultante de los rellenos sanitarios y medidas de protección y tratamiento propuestas
2.2	Tipos de contaminación de la planta de tratamiento mecánico y medidas de protección y tratamiento propuestas
2.3	Tipos de contaminación de la planta de tratamiento biomecánico y medidas de protección y tratamiento propuestas.
2.4	Matriz de análisis de impacto ambiental
3.1	Resultados hipotéticos del análisis de rentabilidad
4.1	Tasa de crecimiento de la población anterior y esperada entre 1980 y 2050 en Libia
4.2	Cantidades esperadas de RSU durante la vida del proyecto
4.3	Cantidades estimadas de contaminación
4.4	Costo de la visita médica
4.5	Costo de la atención médica durante la vida del proyecto
4.6	Costos de operación e inversión para las plantas de clasificación mecánica propuestas
4.7	Costos de operación e inversión para las plantas de tratamiento biológico propuestas
4.8	Costos de operación e inversión para un relleno sanitario
4.9	Área necesaria para vertedero incontrolado
4.10	Costo del primer escenario sin ingresar el valor de contaminación
4.11	Costo del primer escenario con la entrada del valor de contaminación
4.12	Área necesaria para el relleno sanitario
4.13	Costo del segundo escenario sin ingresar el valor de contaminación
4.14	Costo del segundo escenario con la introducción del valor de contaminación
4.15	. Área necesaria para verter los residuos después del tratamiento mecánico
4.16	Costo del tercer escenario sin ingresar el valor de contaminación
4.17	Costo del tercer escenario con la entrada del valor de la contaminación
4.18	Área necesaria para verter los residuos después del tratamiento biomecánico
4.19	Costo del cuarto escenario sin ingresar el valor de contaminación
4.20	Costo del tercer escenario con la entrada del valor de la contaminación
4.21	Comparación binaria - primera etapa
4.22	Comparación binaria - segunda etapa
4.23	Comparación binaria – tercera etapa
4.24	Costo de la solución final
5.1	Factores del análisis de sensibilidad
5.2	Resultados del análisis de sensibilidad de la cantidad de residuos en el punto de equilibrio
5.3	Resultados de análisis de sensibilidad del punto de equilibrio para la composición de los RSU
5.4	Resultados del análisis de sensibilidad del máximo precio por metro cuadrado de terreno
5.5	Resultados del análisis de sensibilidad del precio de venta de materiales reciclados en el punto de igualación de gastos e ingresos
5.6	Resultados del análisis de sensibilidad a los costos de la contaminación por lixiviados en el máximo rango
5.7	Resultados del análisis de sensibilidad a los costos de la contaminación por gas en el máximo rango
5.8	Resultados del análisis de sensibilidad a los costos de la atención médica en el extremo inferior del rango

5.9	Resultados del análisis de sensibilidad del número de visitas familiares a los centros de salud anualmente en el rango máximo
5.10	Resultados del análisis de sensibilidad del número de individuos de la misma familia en el rango máximo
5.11	Resultados del análisis de sensibilidad del cambio de altura de los residuos en el vertedero incontrolado en el máximo rango
5.12	Resultados del análisis de sensibilidad del cambio de altura de los residuos en el relleno sanitario en el máximo rango
5.13	Resultados del análisis de sensibilidad del cambio de costo operativo en el vertedero incontrolado en el mínimo rango
5.14	Resultados del análisis de sensibilidad del cambio de costo operativo en el vertedero incontrolado en el máximo rango

Capítulo uno: Introducción a la investigación

1.1 Introducción:-

La gestión de residuos sólidos urbanos es uno de los desafíos más importantes que enfrentan las ciudades y los ayuntamientos, especialmente en los países en desarrollo, ya que está muy influenciada por la cultura de los países y sus condiciones económicas y sociales, además de ser importantes problemas ambientales y técnicos. El éxito de cualquier país en la gestión de sus desechos es una buena indicación de la capacidad de las agencias gubernamentales interesadas y la población de este país para trabajar juntos para lograr un medio ambiente limpio. La adopción de metodologías sólidas para la gestión de residuos sólidos urbanos, que se realiza mediante el uso de métodos de tratamiento avanzados y adecuados, reduce la contaminación ambiental y las emisiones de gases de efecto invernadero. Confiar en métodos de tratamiento correctos tiene muchos beneficios, incluida la reducción del uso de recursos naturales a través de la reutilización y reciclaje de algunos desechos como papel, cartón, plástico, vidrio, metal, etc., y reducir la necesidad de áreas más grandes para vertederos o sitios de recolección, además de eliminar la reproducción de insectos, microbios dañinos y otros vectores que existen y se multiplican con los desechos. También juega un papel importante en la reducción de las tasas de contaminación ambiental y la propagación de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y el metano. Esto, a su vez, reduce la contaminación del aire y los olores desagradables alrededor de los vertederos y lugares de reunión, además de mitigar el cambio climático.

El estado de urbanización y migración del campo a las grandes ciudades de los países africanos es uno de los fenómenos que está presenciando el continente en los últimos años, que tiene la tasa de crecimiento de población más alta en áreas urbanas del mundo, donde este crecimiento se estima en aproximadamente 3.5% anual. También está presenciando un gran renacimiento industrial y urbano y una mejora en el nivel de vida en la última década. Todos estos desarrollos sociales y económicos han contribuido en gran medida al planteamiento de grandes desafíos ambientales derivados de la generación de grandes cantidades de residuos sólidos urbanos.

Mirando a Libia, los residuos sólidos urbanos son una de las causas más importantes de contaminación ambiental en este país, que no ha seguido el ritmo del gran desarrollo en este aspecto, y necesita mucho esfuerzo para cumplir con los requisitos para el éxito del proceso de gestión de residuos sólidos municipales. Este problema se ha convertido en muchos casos en motivo de preocupación e incomodidad para los ciudadanos, ya que constituye un obstáculo que agota los presupuestos de los ayuntamientos de las ciudades libias. Libia, que se caracteriza por su amplia extensión geográfica, baja densidad de población e ingresos relativamente medios, sigue lidiando con el tema de la gestión de residuos de manera rudimentaria como la mayoría de los países africanos, según el informe elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, que afirma que un individuo árabe produce entre 0.5 y 1.75 Kg/día de residuos. Se considera que Libia tiene una producción media de residuos sólidos urbanos a una tasa de 1.25 kilogramos por persona por día, y la producción anual de residuos sólidos urbanos es estimado en alrededor de 3.2 millones de toneladas por año. Quizás uno de los problemas más importantes que enfrenta el expediente de gestión de residuos municipales en la actualidad es la selección de sitios finales adecuados para los vertederos de residuos sólidos municipales, en los que se tengan en cuenta todas las condiciones y estándares ambientales, económicos, estéticos y sociales (1).

El proceso de selección de un sitio adecuado y establecimiento de plantas de tratamiento para la eliminación de residuos sólidos urbanos es un asunto complejo, ya que se basa en criterios múltiples y, a menudo, contradictorios. La dificultad de este proceso aumenta en países que carecen de bases de datos e información relacionada con planes de expansión futuros para instalaciones e instalaciones vitales, expansión urbana en general, mapas espaciales e información para inventariar y rastrear los recursos naturales y la vida silvestre. La conciencia de la comunidad y la participación pública en la asistencia a las autoridades competentes en el establecimiento de vertederos sanitarios desempeñan un papel importante en el éxito de tales decisiones y, en muchos casos, pueden constituir un obstáculo para el proceso de selección adecuado. Técnicamente, este proceso es una tarea compleja y muy sensible, porque requiere que se tenga en cuenta todo un área geográfica en la que esta área está sujeta a dos procesos principales, a saber, la exclusión de sitios inapropiados, en base a las especificaciones y requisitos legales de cada país, seguido de un proceso de comparación entre los sitios no excluidos. Y es mediante la aplicación de un conjunto de criterios a estos sitios cuando se puede elegir el más adecuado entre ellos. Por lo tanto, en este estudio se aprobó el sitio propuesto por la municipalidad.

1.1.1 La situación actual de la gestión de residuos sólidos municipales en Misurata: -

La ciudad de Misurata, ubicada en el noroeste de Libia, es la tercera ciudad más grande de Libia, después de las ciudades de Trípoli y Bengasi, en términos de población, que se estima en unas 664 mil personas (14). La ciudad de Misurata, como el resto de las ciudades libias, adolece de problemas en la gestión de residuos sólidos municipales representados por muchos desafíos financieros, administrativos y operativos y la falta de legislación al respecto, además de la baja conciencia social de los grandes riesgos que pueden derivarse de una mala gestión de residuos, y su falta de participación óptima en la metodología de gestión de residuos integrados, y tal vez se suma a que no siguieron los primeros pasos, que es la clasificación desde la fuente. Sin embargo, el aspecto más importante en la actualidad sigue siendo la elección del sitio adecuado para el vertedero municipal de residuos sólidos de la ciudad.

La producción diaria de la ciudad a partir de residuos sólidos urbanos se estima en unas 830 toneladas, lo que equivale a 1.25 kilogramos por persona y día (2). Cerca de 60 toneladas de la cantidad de residuos sólidos orgánicos que genera la ciudad se transporta diariamente a la planta de fertilizantes orgánicos (planta de compostaje) en la ciudad, que opera con baja eficiencia en ese momento. Esta fábrica se comenzó a construir en 1984 en el área de Al-Sikt, a unos 8 km al sur del centro de la ciudad, y la fábrica comenzó a funcionar en 1986 con una capacidad de diseño de 120 toneladas por día, lo que equivale la producción de los desechos de la ciudad en aquel momento. En la actualidad, debido a la planta antigua y obsoleta, su capacidad de producción ha disminuido a alrededor de 60 toneladas por día, lo que se considera un número pequeño en comparación con la producción actual de residuos en la ciudad (3), y el resto de la cantidad fue recolectada y trasladada a 3 botaderos abiertos temporales que no están vallados y cerca de áreas densamente pobladas, lo que llevó al cierre de estos botaderos a petición del pueblo y a la presión sobre la Compañía General de Servicios de

Limpieza como organismo gubernamental que gestiona este tema. Actualmente, solo queda un vertedero temporal en la zona de Al-Ghiran. Su ubicación está a unos 8 Km del centro de la ciudad y se encuentra junto a la planta de tratamiento de aguas residuales y la planta de fertilizantes orgánicos.

La Compañía General de Servicios de Limpieza considera que este sitio es una buena opción en la actualidad, ya que se encuentra dentro de un área geográfica que contiene sitios similares, además de contener una valla que impide el paso de personas. Sin embargo, este sitio enfrenta muchas dificultades, la más destacada de las cuales es la creciente presión de la población vecina, especialmente en verano debido a los olores desagradables que emite, así como a la propagación de insectos, mosquitos y otros vectores de enfermedades. Este sitio enfrenta muchos problemas operacionales, el más importante de los cuales es la capacidad limitada que no absorbe la cantidad de desechos que se están produciendo. Este es otro obstáculo en el programa de manejo de desechos sólidos, ya que hay una acumulación de desechos sólidos enfrente de viviendas y establecimientos de la ciudad, lo que obliga a los vecinos a arrojar sus residuos al azar a los lados de las carreteras, a la orilla del mar y en espacios abiertos. Esta situación es considerada el factor principal en el surgimiento de recolecciones de basura descontroladas, haciéndolas permanentemente vulnerables a los incendios y los consiguientes problemas e impactos ambientales, de salud y estéticos negativos. La fig.1.1 muestra el vertedero actual además de los sitios propuestos como un relleno sanitario alternativo.

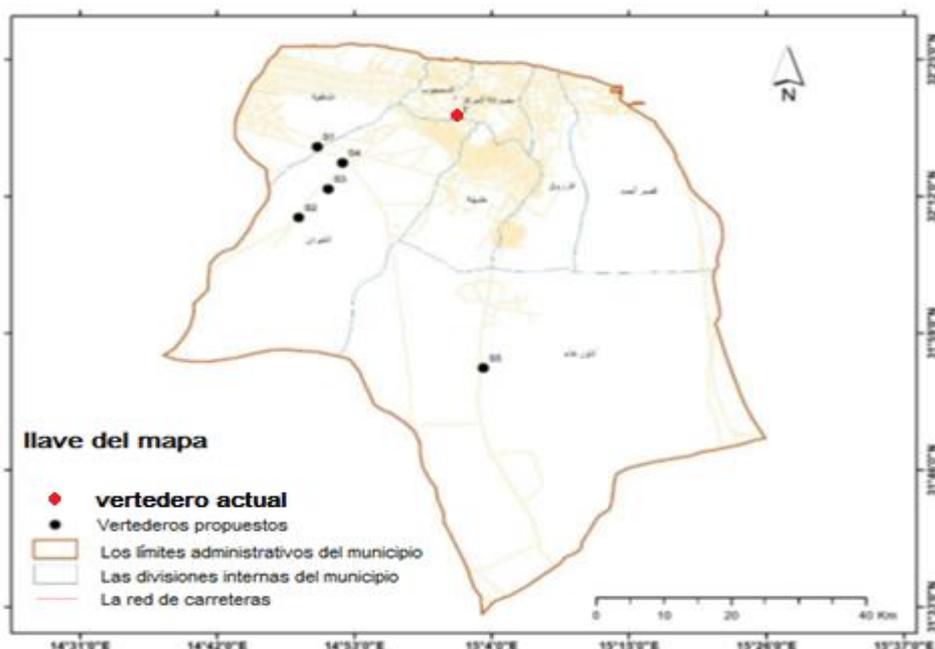


Fig.1.1. El vertedero actual y las alternativas propuestas (1)

Desde mediados de agosto del año 2017, los residuos sólidos urbanos han sido transportados por una empresa privada de transporte apoya la Compañía General de Servicios de Limpieza, desde el vertedero temporal en Al-Ghiran hasta el vertedero final. Este contrato surge como resultado de la actual dimensión final del relleno sanitario, y la debilidad de la capacidad

financiera de la Compañía de Servicios Generales de Limpieza, que recientemente ha sufrido importantes averías en su flota de camiones de recolección y transporte. El relleno sanitario final actual está ubicado al este de la ciudad de Misurata y está a más de 60 km del centro de la ciudad. Este sitio es el único relleno sanitario del que dependen los Servicios Generales de Limpieza de Misurata para eliminar todos los desechos sólidos que la ciudad genera a diario. Además de ser un lugar para la eliminación de desechos hospitalarios (1), este sitio también está siendo utilizado por ciudadanos y camiones de transporte privado para eliminar todos los desechos sólidos, incluidos los desechos de construcción y demolición, y estas operaciones se realizan de manera aleatoria, lo que llevó a la ampliación del área geográfica del vertedero y al rastreo sobre las características topográficas de la zona y la marisma cercana. Desde este sitio, las operaciones del vertedero son realizadas por la Empresa de Limpieza de Servicios Generales por un grupo de trabajadores y con un número reducido de equipos. Son operaciones tradicionales y primitivas y se realizan descargando camiones de transporte y en el mejor de los casos se compactan con bulldozers y se cubren con capas de residuos de construcción y demolición. Los procesos que se siguen actualmente se consideran primitivos, ya que provocan y dañan gravemente los principales elementos ambientales y pueden contribuir al surgimiento de enfermedades y epidemias, además de suponer un despilfarro de materiales ya que eliminan las posibilidades de clasificación, reciclaje y otras operaciones de recuperación. Quizás la falta de capacidades de la Compañía General de Servicios y la escasa conciencia de los ciudadanos contribuyó en gran parte a esta situación actual. Son muchos los problemas que han surgido recientemente relacionados con este relleno sanitario, el primero de los cuales es su presencia cerca de una zona residencial que se ha convertido en un estado de molestia y constantes quejas como consecuencia de los efectos negativos derivados de este sitio, y que este sitio es considerado por la Compañía General de Servicios de Limpieza como una carga económica que le cuesta a la empresa grandes sumas de dinero relacionadas con sus operaciones de transporte, además de que su alejamiento de los lugares de generación de residuos provoca la pérdida de mucho tiempo, lo que dificulta el proceso de gestión de residuos y los consiguientes problemas ambientales, sanitarios y estéticos.

Los pasos que se toman actualmente para manejar los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Misurata se pueden resumir a través de la Fig.1.2.

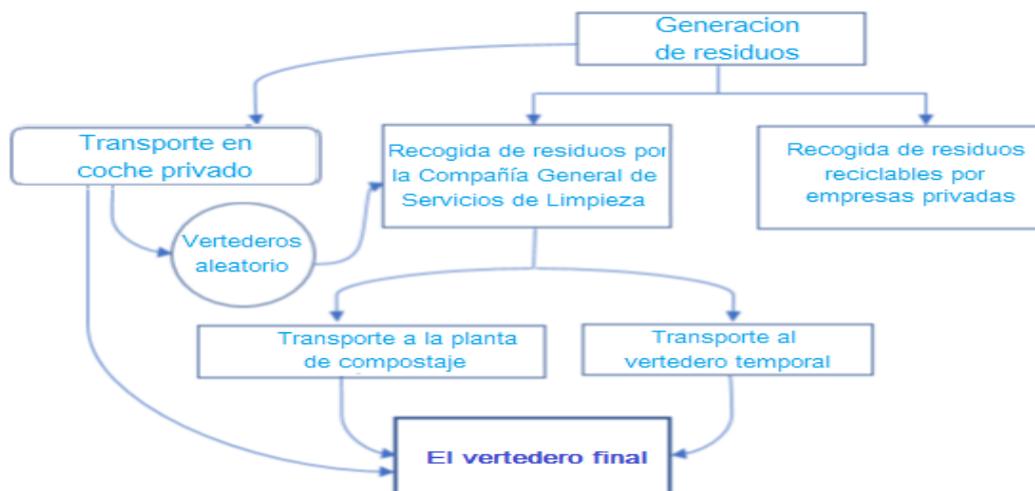


Fig.1.2. Ciclo de vida actual de los residuos sólidos urbanos en Misurata

1.2 Introducción al problema de investigación:-

El proceso de disposición de residuos sólidos constituye la etapa final en el manejo de residuos sólidos, que incluye las siguientes etapas: recolección de diferentes fuentes de generación, adecuado transporte, tratamiento y disposición segura de los residuos.

Los componentes básicos de los residuos sólidos consisten en: residuos domésticos, basura, residuos de mataderos y animales muertos, residuos de la calle, residuos industriales, residuos hospitalarios y de clínicas médicas, residuos comerciales y residuos generados por diversas instituciones. Los residuos sólidos urbanos se definen como materiales sólidos y semisólidos no peligrosos generados en áreas residenciales, comerciales e industriales, instalaciones principales, servicios municipales, procesos de construcción y demolición, que se eliminan como inútiles y no aptos para su uso. En cuanto a los residuos sólidos médicos e industriales, no se consideran residuos urbanos debido a sus propiedades peligrosas. Los residuos domésticos y comerciales suelen representar la mayor parte de los residuos sólidos urbanos, ya que su porcentaje oscila entre el 50% y el 75% en peso, y el porcentaje varía según el tamaño de las operaciones de construcción, los servicios municipales y las instalaciones básicas, y las proporciones de los componentes de los desechos varían según el nivel de vida, la naturaleza del clima y muchos otros factores (4).

La forma general de eliminación de los desechos sólidos domésticos es a través del vertido en vertedero y, con mayor frecuencia, en vertederos no controlados, donde los desechos domésticos se depositan junto con materiales peligrosos como desechos hospitalarios, desechos industriales y desechos tóxicos. Para evitar contaminación ambiental y el riesgo sobre la salud, estos residuos se deberían gestión independientemente de los residuos domiciliarios. El método habitual y descontrolado de eliminación de residuos amenaza el aspecto de la salud, al contaminar las aguas subterráneas, el aire y el suelo.

Con respecto al tema de investigación, señalamos que cuando se prepararon los estudios de evaluación de impacto ambiental para algunos proyectos de manejo de residuos sólidos en la región árabe circundante (debido a la similitud de condiciones ambientales y sociales en gran medida) se discutieron las siguientes alternativas:

- Vertedero sanitario de todos los residuos municipales.
- Clasificación mecánica para la obtención de materiales reciclables, enterrando el resto.
- Clasificación mecánica para la obtención de materiales reciclables, luego tratamiento biológico de residuos orgánicos para la obtención de fertilizantes y luego enterramiento del resto.

Estos estudios terminaron con la adopción de la tercera alternativa en la mayoría de los lugares sin tener en cuenta el principio del ciclo de vida del proyecto (Life Cycle Cost) (LCC), y tampoco tomaron en cuenta el valor temporal de los flujos de efectivo y su impacto en la elección de soluciones óptimas, y no especificó los puntos de sensibilidad que deben tenerse

en cuenta en ningún estudio, y no se prestó suficiente atención a la relación costo-beneficio que se supone debe tenerse en cuenta en dichos estudios.

Y considerando que la realidad económica actual ha impuesto la necesidad de tomar en cuenta la dimensión económica en los proyectos ambientales, sobre la base de que los proyectos dependen de las formas para lograr su éxito y continuidad de los recursos naturales, que se agotan sin la capacidad de renovarlos, entonces surge el problema del impacto que los proyectos tienen sobre la naturaleza y la sociedad, ya que a cambio de los servicios que brindan los proyectos se producen impactos ambientales externos negativos que representan un costo adicional para la sociedad (5).

En consecuencia, lograr cualquier logro o compromiso en el campo de la gestión ambiental y abordar los efectos de la contaminación no será económicamente viable a menos que exista evidencia de que el costo del tratamiento y la protección ambiental previa es menor que el costo si los impactos ambientales y la degradación ambiental se ignoran, además de las prácticas de gestión. El medio ambiente también puede generar beneficios económicos si se invierte en él con prudencia.

1.3 importancia de la investigación: -

La importancia de la investigación radica en presentar un modelo aplicado que incluya la dimensión económica en estudios ambientales a través de la aplicación de la metodología beneficio / costo para proyectos de relleno sanitario municipal de residuos sólidos que se consideran proyectos ambientales vitales y tienen claras implicaciones para mejorar el nivel de vida.

1.4 objetivos de investigación: -

- Realización de una revisión teórica del mecanismo de gestión de residuos en su última etapa (disposición segura de residuos).
- Realizar una revisión teórica del concepto de análisis costo / beneficio, a través de los métodos de su aplicación y efectividad, para juzgar la eficiencia ambiental de los proyectos.
- Realización de un estudio de caso para uno de los proyectos de manejo de residuos sólidos propuestos en el municipio de Misurata, con el objetivo de determinar la factibilidad económica y ambiental adecuada para implementar el proyecto y elegir la alternativa óptima.
- Identificar y analizar los puntos de sensibilidad de los factores que conducen a un cambio en la solución propuesta de un escenario a otro.

1.5 Alcance y límites de la investigación: -

La investigación abordará el proceso de evaluación ambiental en general y los rellenos sanitarios de residuos domiciliarios municipales en particular, y sus implicaciones para el medio ambiente, y abordará los aspectos económicos a lo largo de la vida del proyecto, que se especifican en la construcción e inversión de rellenos sanitarios y sus accesorios, que se considera la última etapa en la gestión de residuos.

1.6 Metodología de investigación utilizada:-

Para comprender plenamente el tema de la investigación, se ha presentado en dos aspectos principales:

- La vertiente teórica se dedica a presentar y analizar los conceptos básicos de la investigación.
- El aspecto práctico trata de un estudio de caso en un relleno sanitario, en un intento de implementar el método de costo / beneficio.

En la vertiente teórica del estudio se adoptó el enfoque analítico descriptivo, mediante el cual se revisaron estudios previos, libros y artículos científicos relacionados con el tema de investigación.

En cuanto al aspecto práctico, se utilizó el enfoque de estudio de caso para lograr el estudio de campo, además de revisar algunos informes sobre la gestión de residuos en Libia, a pesar de su escasez, y utilizar tablas especiales para cuentas relacionadas con la gestión de residuos elaboradas por el Banco Mundial. Programas de Naciones Unidas y otros.

En esta investigación que proponemos, y en el contexto de nuestro esfuerzo por brindar una evaluación ambiental económica, nos esforzaremos por presentar:

- Una descripción detallada y precisa del proyecto del vertedero.
- Estudio de la zona en la que se desarrollará el proyecto, con el fin de conocer el entorno económico y social.
- Determinar los posibles impactos ambientales del proyecto.
- Identificar las posibles alternativas para el proyecto y el costo de cada alternativa y elegir la tecnología adecuada.

Concluamos en el resultado para responder las siguientes preguntas importantes:

¿Cuál es la alternativa que se puede adoptar como mejor opción?

¿El gasto público en este proyecto genera beneficios para la sociedad que superan su costo?

¿Cuáles son los factores que llevan a cambiar el escenario de la solución propuesta? ¿Qué tan sensible es?

1.7 Estudios previos:-

El tema del análisis costo / beneficio en los estudios de evaluación ambiental ha recibido la atención de numerosos estudios, investigaciones y publicaciones profesionales elaboradas por un grupo de investigadores, personas interesadas y organizaciones profesionales, debido a que la aplicación de la metodología de análisis costo / beneficio a los estudios de evaluación de impacto ambiental permite más que otros enfocarse en las dimensiones relacionadas con los aspectos de beneficio que se deben tener en cuenta a la hora de justificar

cuestiones relacionadas con el gasto público, además de la importancia de proteger el medio ambiente en la vida de la comunidad, como la supervivencia y la continuidad de esta comunidad depende de preservar el medio ambiente y protegerlo de la contaminación, teniendo en cuenta las capacidades y recursos financieros disponibles y, a veces, limitados.

Donde explica la investigación presentada por el Dr. Khalid Abdullah Al-Rasheed y Bashir Muhammad Hosai de la Facultad de Ciencias de la Universidad King Saud en 2011 bajo el título "Estudio de la evaluación de los efectos ambientales de los proyectos, Reino de Arabia Saudita" Los problemas ambientales que aparecen en cualquier zona residencial o comunidad son causadas por la falta de implementación del sistema de evaluación ambiental de los proyectos. Los proyectos del sector público y privado necesitan aplicar el sistema de evaluación ambiental antes de su implantación, es decir, el estudio de evaluación ambiental debe ser parte del proyecto. Para el proyecto, es decir, el diseño ambiental no se separa en modo alguno del estudio de los diseños del proyecto, ya que se señaló que los proyectos de carreteras, luego de su finalización, provocan la erosión de valles y suelos, afectando la cobertura vegetal y por ende grupos. El investigador también concluyó que cualquier contrato de cualquier proyecto debe incluir el desarrollo de los planes necesarios sobre cómo eliminar los residuos de la forma correcta, la falta de coordinación en la política ambiental y la falta de intercambio de información ambiental entre diversas partes y sectores. Fue una fuerte motivación para aplicar el concepto de evaluación ambiental para proyectos en varios países para evitar o reducir los impactos ambientales negativos (6).

Algunos estudios se han dedicado al tema de los vertederos de residuos y enfermedades asociadas, como el realizado por J. Parker en 1994, que concluyó que no tomar las precauciones necesarias para la eliminación de los desechos conducirá a serios problemas ambientales, además de amenazar a los residentes. De áreas vecinas con intoxicaciones y enfermedades Los investigadores llamaron a estos vertederos peligrosos (7).

El estudio, que se realizó en la provincia de Quebec en Canadá y fue realizado por Goldberg, la Sra. Alhomsí, N Goulet, L Riberdly en 1995, titulado "Cáncer entre las personas que viven cerca de los vertederos de desechos sólidos municipales", reveló el problema de las lesiones en los residentes de los alrededores del vertedero, con enfermedades graves como el cáncer, la inflamación ocular y pulmonar. Este estudio ha concluido que un alto porcentaje de los habitantes de estas zonas tienen la susceptibilidad de contagiarse con estas enfermedades si no se toman medidas para frenar la contaminación por la combustión en sus lugares de residencia (8).

El Instituto Árabe de Planificación señaló en un estudio realizado por el profesor Neshat Al-Nish en 1999 sobre "los costos de la degradación ambiental y la escasez de recursos naturales entre la teoría y la práctica en los países árabes" que la evaluación del impacto ambiental es una parte importante de la proceso de planificación del proyecto, y es, a través de la ley y la práctica, parte del estudio de viabilidad. Este estudio tiene como objetivo determinar si el impacto general

del proyecto es positivo o no, además de determinar qué medidas pueden ser necesarias para llegar a una evaluación positiva. El costo de algunos impactos ambientales que pueden medirse económicamente se incluye en la evaluación de la viabilidad del proyecto (9).

Algunos estudios también abordaron el análisis del costo de la gestión de residuos para llegar a la identificación de opciones menos costosas que se adapten a la naturaleza de los limitados recursos financieros de la sociedad, como el estudio realizado por Ibrahim Hindi y el Dr. Muhammad Al-Masry y el Dr. Hafez Shaheen, dentro del programa de maestría de la Universidad Nacional An-Najah en Nablus en Palestina en 2010, titulado "Análisis del costo de la gestión de desechos sólidos para la ciudad de Qalqilya", que tenía como objetivo determinar los costos de las opciones de gestión de residuos en la ciudad de Qalqilya, además de evaluar la gestión actual de residuos sólidos y determinar la opción de menor costo para la ciudad. El investigador estudió cuatro opciones para la gestión de residuos sólidos en la ciudad de Qalqilya, que fueron:

1. Actualizar el sistema de gestión de forma constante.
2. Establecimiento de una estación de transferencia de residuos sólidos y traslado de residuos sólidos de la ciudad a oficinas en otra zona.
3. Establecimiento de un relleno sanitario para los residuos sólidos.
4. Separación parcial de residuos sólidos y reutilización de materiales reciclables, para luego trasladar la parte restante a otro relleno sanitario en otra zona.

Luego, el estudio recomendó que el municipio de Qalqilya emprenda un proyecto para cerrar el vertedero actual. El estudio también recomendó que el municipio de Qalqilya comience a realizar un proyecto experimental para separar los residuos sólidos para reducir las cantidades de residuos sólidos que se trasladan o entierran, además de proteger el medio ambiente. Con la necesidad de que el municipio elija la mejor opción para la disposición de residuos en la ciudad, desde reducir el gasto anual hasta cubrir los costos adicionales de manejo de residuos sólidos en la ciudad, lo que permitirá ahorrar los presupuestos necesarios para el establecimiento de otros proyectos vitales (10).

Cabe señalar que muchos estudios han utilizado la metodología de costo / beneficio en el análisis de escenarios de gestión de residuos sólidos, como los realizados con el objetivo de comparar el análisis de costo / beneficio entre diferentes escenarios de gestión de residuos en la ciudad de Basora, Irak, que se realizaron por Sherine Al-Jaroudi y Tamer Al-Qadhi de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ain Shams en El Cairo en cooperación con Fikri Gabriel de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de El Cairo en Giza en Egipto en 2010. En este estudio se revisaron los aspectos técnicos, económicos y ambientales de tres escenarios para la gestión de residuos sólidos, con el objetivo de compararlos y elegir el modelo más adecuado. El primer escenario fue la disposición de residuos en un relleno sanitario, mientras que el segundo escenario se sumó al proceso de traslado de los residuos a una estación intermedia antes de su disposición al

relleno sanitario, mientras que el tercer escenario consideró la clasificación de los residuos, reciclándolos y convirtiéndolos en compost, seguido de la disposición del resto en relleno sanitario dentro de una instalación integrada. Según el análisis económico, los beneficios de los ingresos por la venta de materiales reciclables y la producción de compost no mejoraron la clasificación del tercer escenario. Sin embargo, el tercer escenario fue elegido por UNICEF debido a los beneficios ambientales del reciclaje y por lo tanto las recomendaciones finales fueron a su favor y actualmente se está implementando en Basora, Irak (11).

Cómo se utilizó la metodología de análisis de costo-beneficio en otro estudio en América Latina, como parte de una investigación sobre un modelo de gestión de residuos utilizado en la ciudad de Belice por el Programa de Maestría Internacional - Desarrollo de la Sostenibilidad Ambiental - realizado por investigadores: Wan-Li-Liao - Maritza Azena Canto en agosto de 2010, titulado "Análisis de costo / beneficio entre vertederos incontrolados y vertederos sanitarios", dejó en claro que la gestión de desechos sólidos se ha convertido en una prioridad fundamental para muchos países en desarrollo a fin de garantizar la seguridad pública y ambiental, mientras se promueve el desarrollo económico y social. En Belice, la gestión de desechos era un problema multidimensional que se veía agravado por la rápida urbanización y la tasa de crecimiento de la población, por lo que la investigación identificó la necesidad de establecer oficinas de salud adecuadas en la ciudad para ayudar al tomar la decisión sobre la iniciativa del municipio de Belice de construir un relleno sanitario central y un intento de cerrar todos los vertederos incontrolados existentes para deshacerse de los residuos. El estudio también indicó que el método de vaciar la basura en vertederos incontrolados plantea un gran peligro para la salud pública por la multiplicación de moscas y ratones que pueden transmitir muchas enfermedades además del lixiviado resultante que provoca la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Evaluar la opción de construir un relleno sanitario en lugar de un vertedero incontrolado en la ciudad utilizando la metodología de costo / beneficio con tres factores: reducción de la mortalidad y enfermedades al reducir la combustión de dióxido de azufre, emisiones de plomo de vertederos abiertos y reutilización de la tierra. Los resultados mostraron que de acuerdo con las condiciones de diseño económico, habrá un beneficio al reducir la tasa de mortalidad y enfermedad, debido a la eliminación de las emisiones de dióxido de azufre, así como al reducir las emisiones de plomo de los sitios de bibliotecas al azar, y otro beneficio puede ser restaurando los vertederos incontrolados y así restaurar su valor. Según el análisis de flujo de caja, se encontró que el beneficio económico de invertir en un aeropuerto saludable por un período de 20 años corresponde a una tasa interna de retorno del 19%. Por lo tanto, la opción de reemplazar un relleno incontrolado por un relleno sanitario es una elección acertada (12).

La metodología de análisis de costo / beneficio también se utilizó en un estudio de una tesis doctoral realizada en Viena sobre la recuperación de minerales del incinerador de residuos del municipio chino de Guanghan, utilizando una técnica de separación de cenizas base llevada a cabo por Tianjiao, en la que explicó que la incineración de residuos en incineradores es una práctica común para la gestión

de residuos sólidos en los países europeos, porque genera energía y reduce la masa, el volumen y las reacciones químicas de los componentes de los residuos. Por el contrario, el tratamiento de residuos sólidos mediante incineración ha sido hasta ahora una práctica menos común en China, principalmente porque en China no pueden permitirse la inversión y los costos de operación y mantenimiento de los incineradores de residuos sólidos en comparación con el presupuesto de estos países. Mientras que recientemente se desarrolló en Europa una nueva técnica para recuperar metales no ferrosos (aluminio y cobre) de las cenizas de fondo, el objetivo de esta tesis era explorar el impacto de esta tecnología en el impacto macroeconómico de la gestión de residuos a través de un estudio de caso de la Municipio chino de Guanghan, que tiene una población de 210,000 habitantes. Se han aplicado dos enfoques para alcanzar los objetivos: análisis de flujo de materiales y análisis de costo / beneficio donde se han desarrollado dos escenarios para el análisis de costo-beneficio: el primer escenario asume un sistema de gestión de residuos en Guanghan con separación en origen y recolección separada de todos los tipos de materiales reciclables materiales que van directamente a Basura; El segundo escenario se diferencia del primero en que los minerales no se separan en la fuente, sino que los desechos van a un crematorio antes del entierro, donde se aplican tecnologías avanzadas para controlar la calidad del aire y restaurar la energía, metales ferrosos y metales no ferrosos. El investigador observó el siguiente resultado: al comparar el segundo escenario con el primero, se obtuvo un costo-beneficio superior a 2 millones de euros, lo que indica una mayor eficiencia en la asignación de recursos. Sin embargo, el resultado es muy sensible a los cambios en el costo de endeudamiento y el costo de inversión de equipos y tecnología. Por lo tanto, el resultado del análisis de los posibles costos y beneficios económicos indicó que sería beneficioso para los responsables de la formulación de políticas en el municipio de Guanghan considerar agregar la incineración de desechos a su agenda para mejorar el sistema de gestión de desechos de la ciudad para la protección ambiental y la eficiencia económica (13).

En cuanto a los estudios locales, el estudio realizado por el Dr. Mustafa Al-Hadi Kreidish, d. Ibrahim Ahmed Badi en 2017 titulado "Evaluación de la importancia de los criterios establecidos para tomar una decisión para determinar un sitio para un vertedero municipal de desechos sólidos: un estudio de caso en Libia", llegó a la conclusión de que la necesidad de proporcionar un nuevo lugar para los desechos sólidos municipales en la ciudad se ha convertido en un asunto urgente. El estudio tuvo como objetivo identificar los criterios más importantes que puedan ser utilizados con el propósito de tomar la decisión y determinar la importancia de cada criterio, ya que se han determinado los siguientes criterios:

- Q 1. Dirección del viento.
- Q 2. El costo de la tierra.
- Q 3. Nivel de agua superficial.
- Q 4. Capacidad del sitio.
- Q 5. Acepta a la gente.
- Q 6. La distancia a la planta de recolección de residuos.
- Q 7. Facilidad de acceso al sitio.

Utilizando el método FUCOM, se concluyó que el criterio del nivel de agua superficial es el más importante. Los resultados de este estudio se pueden interpretar haciendo referencia a varios aspectos, siendo los más importantes las condiciones actuales de los principales elementos ambientales del estudio. Al observar los sitios actuales, encontramos que el agua superficial es la única fuente de agua que la gente de las áreas circundantes usa para su consumo doméstico habitual y para dar de beber a árboles y animales. La contaminación del agua que ha sufrido recientemente la ciudad como consecuencia de un mal drenaje de las aguas residuales, este criterio le dio la mayor importancia al 0.38, para evitar dañar esta fuente de agua por lixiviados, que generalmente se filtran al agua cerca de la superficie como un resultado del mal funcionamiento de los rellenos sanitarios. La importancia del criterio de dirección del viento, que ascendió a 0.18, también puede explicarse por el hecho de que uno de los problemas más importantes relacionados con el actual vertedero final es el movimiento del viento que transmite los olores desagradables emitidos desde el sitio a la población vecina, y este criterio es muy importante porque constituye una gran molestia y funciona para transportar insectos como mosquitos y moscas a zonas cercanas y pobladas y la consiguiente propagación de epidemias y enfermedades.

Por lo general, la aceptación de estos sitios por parte de las personas se considera uno de los criterios sociales más complejos, y muchas veces representa un gran desafío para las autoridades involucradas en tomar la decisión de establecer botaderos de residuos sólidos municipales, y por ello encontramos que este criterio ha ganado mucho importancia frente a algunos otros criterios ya que su importancia alcanzó 0.15 y este valor da una indicación de que los criterios de toma de decisiones son criterios complejos que a menudo se rigen por limitaciones derivadas del rechazo popular de sitios de servicios tan importantes.

Al observar los resultados de los dos criterios de costo representados en el costo del terreno y la distancia a los puntos de recolección, encontramos que alcanzaron una significancia de 0.16, y este valor indica la necesidad de considerar el costo de compra del sitio así como costos de transporte, ya que la distancia a los puntos de generación se considera un indicador de mala selección del sitio, como es el caso de la ubicación actual de la ciudad, que se encuentra a más de 60 kilómetros del centro de la ciudad, genera grandes costos de transporte y desperdicios de mucho tiempo y la consiguiente acumulación de residuos dentro de la ciudad. El estudio también encontró que se debe tomar en cuenta el criterio de capacidad del sitio, y su importancia llegó a 0.06, aunque este valor se considera relativamente pequeño, se puede explicar revisando las especificaciones técnicas relacionadas con los sitios propuestos, específicamente el área donde se encuentra el área mínima en estos sitios es de 50 hectáreas. Esta área está en línea con la ley libia y las especificaciones relacionadas con el establecimiento de rellenos sanitarios. La facilidad de acceso a los vertederos es también uno de los determinantes de elección que se consideran en los procesos de comparación entre los sitios disponibles y propuestos para el establecimiento de un relleno sanitario, dada la gran importancia de este criterio, que ahorra

mucho tiempo. Y esfuerzo y reduce las averías de los mecanismos de transporte. Menos significativa y ascendió a 0,05. (1).

Uno de los pocos estudios que abordó la elección del mejor método para gestionar los residuos sólidos es el de Ibrahim Badi, Ali Shtwan y Abdullah Al-Ajil (2017). El estudio brindó un resumen de los desechos sólidos que constituyen una carga para muchas sociedades en términos de aspectos sanitarios, ambientales y económicos. La investigación mencionó que Libia es uno de los países que sufre un aumento de residuos sólidos debido a la ineficiencia en la gestión de residuos representada en la recolección, transporte y tratamiento. El estudio también mostró la falta de estudios e investigaciones en esta área, lo que hace que exista un déficit y una falta de datos y estadísticas relacionadas con este tema. El estudio analizó la naturaleza de los residuos sólidos en la ciudad de Misurata, cómo se tratan, métodos de manejo y cuáles son los problemas ambientales que dificultan el manejo de los residuos sólidos. También presenta una propuesta para elegir el método adecuado para el tratamiento de residuos sólidos en la ciudad de Misurata, a través de un modelo representado por el método *swing-weight*, mediante la formación de matrices que representan un modelo matemático para elegir la mejor alternativa entre las alternativas disponibles, a la luz de las restricciones del estudio que abarcó la investigación, que son criterios ambientales y sociales, técnicos y económicos. El estudio concluyó que el método de digestión anaeróbica es el más apropiado entre las alternativas. El estudio observa que estudió solo tres alternativas para la disposición de residuos sólidos, que son relleno sanitario, digestión anaeróbica e incineración, y la comparación entre ellas se hizo por el método de peso oscilante (se ignoran los métodos de compostaje y reciclaje). El presente estudio se distinguió por su interés en lo que estudios anteriores habían descuidado al enumerar los métodos más comunes de manejo de residuos sólidos y ponerlos como alternativas para elegir el mejor método analizando los principales y subcriterios utilizando el método de análisis jerárquico. (14).

El estudio "Elegir el mejor método para la gestión de residuos sólidos" realizado por Ali Shtwan y Muhammad Abu Turkiyah concluyó la alternativa (reciclaje) es la mejor entre las cinco alternativas incluidas en el estudio. Como segunda alternativa se situó el tratamiento biológico. La tercera alternativa sería la incineración. La cuarta, la digestión anaeróbica y finalmente vertedero sano. El investigador justificó que utilizar el método de reciclaje de residuos sólidos como materia prima para restaurar nuevamente su ciclo industrial tiene varias ventajas ambientales, entre las que se encuentran la preservación de los recursos naturales así como la reducción del porcentaje de uso de agua, por ser un medio ambientalmente y económicamente amigable. Mientras que el método de relleno sanitario es el menos preferido, porque desperdicia la riqueza económica que se encuentra en los residuos sólidos, y no se recomienda utilizarlo excepto después de clasificar los materiales que se pueden utilizar, y enterrar solo los residuos que no se pueden utilizar de forma saludable.

El estudio considera que el porcentaje de importancia del estándar ambiental es del 60%, mientras que el porcentaje del estándar económico es

aproximadamente del 22%, el tercero vino el estándar social con una tasa del 12%, mientras que el porcentaje del estándar técnico no superó el 6%. (15).

Lo cierto es que el objetivo de preservar y restaurar el medio ambiente es un objetivo noble al que apuntaba la mayoría de los estudios locales en Libia, pero estos estudios siempre chocan con la realidad sobre la base de la corrupción desenfrenada en todo el país. También estos estudios se centran en el aspecto medioambiental y descuidan el aspecto económico, que se considera muy importante para aprobar el establecimiento de proyectos, y por eso, observamos que estos estudios no examinaron la viabilidad de utilizar más de una alternativa en conjunto y que muchos estudios internacionales han sugerido su viabilidad ambiental y económica.

Capítulo dos: Estudio técnico

2.1 Introducción:-

Hasta el momento, los residuos sólidos se manejan de manera inadecuada en la mayoría de las áreas del municipio de Misurata, lo que los convierte en una fuente principal de contaminación de fuentes de agua, contaminación del suelo y del aire, y genera distorsiones estéticas del medio ambiente. Además existe riesgo de fuga de materiales peligrosos en los vertederos de desechos, lo que representa un peligro para la salud pública, ya sea por exposición directa o indirecta a estas sustancias. Los principales componentes de los residuos sólidos en Libia son los siguientes:

2.1.1 Residuos biodegradables:

Es el desperdicio resultante del proceso de preparación de verduras, frutas, carnes y todo lo relacionado con la cocción y preparación de alimentos, y su cantidad varía según las estaciones del año, ya que aumenta, por ejemplo, en la temporada de verano debido a la mayor consumo de verduras de verano, y estos desechos deben eliminarse rápidamente porque se descomponen rápidamente y, por descomposición, los olores desagradables se propagarán y provocarán la propagación de moscas y brotes de enfermedades.

2.1.2 Residuos no biodegradables:

Se trata de residuos domésticos que no se pudren como vidrios, papeles, restos de mobiliario doméstico, sobras de latas ... etc. En muchos países, esta basura se tira con los residuos domésticos en los cubos de basura y se transporta junta a los lugares de recogida. La basura esparcida por las calles provoca molestias además de provocar el crecimiento y reproducción de bacterias, insectos y roedores, sobre todo si contiene residuos orgánicos.

2.1.3 Desperdicios de mataderos y animales muertos:

Estos desechos incluyen los restos de aves de matanza, ganado y vacas, y es necesario eliminarlos lo antes posible porque son desechos que fermentan rápidamente y provocan la multiplicación de moscas y gérmenes, y los animales muertos a menudo se recogen con la basura, pero en algunos países son recolectados por empresas privadas y aprovechan sus restos como pieles. Por ejemplo, en el caso de que estos cuerpos sean caballos o algún tipo de ganado.

2.1.4 Residuos de la calle:

Generalmente se trata de polvo, hojas, sacos y todo tipo de basura que desechan los peatones, pudiendo también incluirse residuos de construcción y demolición.

2.1.5 Residuos industriales:

Se diferencian en su contenido, cantidad y composición dependiendo de su origen y la naturaleza de los materiales que los forman. Pueden ser tóxicos si son de fábricas de baterías, por ejemplo, y pueden ser útiles ya que se pueden

volver a utilizar como algunos residuos de prensa, como papeles y cartón sobrante.

2.1.6 Residuos hospitalarios y equipos médicos: -

Incluye desechos peligrosos y debe tratarse y eliminarse de manera correcta y respetuosa con el medio ambiente, y a menudo se realiza mediante el proceso de incineración adecuado en términos de temperatura y tiempo de combustión.

2.1.7 Residuos comerciales: -

Es el residuo que resulta de diversas actividades comerciales, y se recoge frente a diferentes comercios y mercados, y se puede mezclar con los residuos domésticos, pero algunos de ellos como residuos de las carnicerías deben tratarse de forma especial.

2.1.8 Residuos de diversos establecimientos:

Son los residuos no deseados en departamentos estatales o empresas privadas y otros.

Actualmente, dentro del municipio de Misurata, más del 90% de los residuos municipales se desechan en botaderos aleatorios dentro de la ciudad o en sus afueras, mientras que el porcentaje restante se convierte en fertilizantes a través de la fábrica del municipio. Aunque no hay estimaciones sobre las cantidades de desechos reciclados, el sector privado que recicla ha estado significativamente activo recientemente debido a su conocimiento de las grandes ganancias financieras que se pueden obtener del reciclaje.

La fig.2.1 a continuación muestra la composición promedio de los desechos domésticos en Libia, y de estas tasas observamos que el porcentaje de materiales orgánicos es alto, lo que fomenta la recuperación de materiales orgánicos.

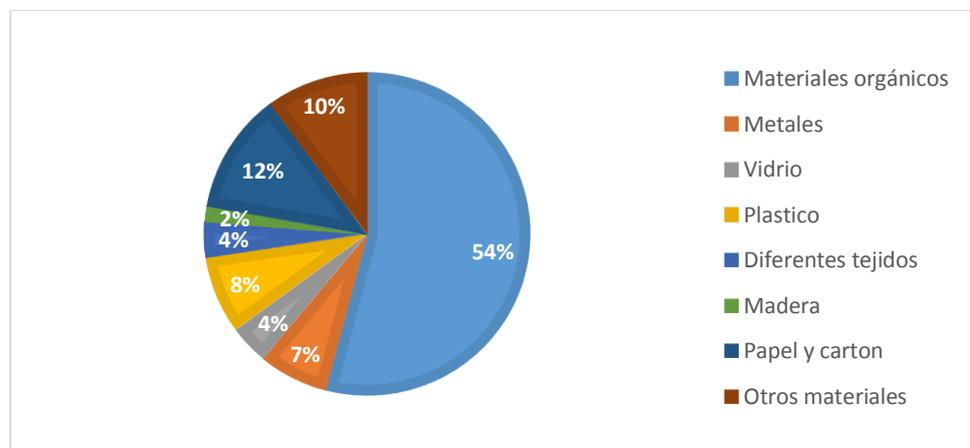


Fig.2.1. Composición promedio de los desechos domésticos en Libia (14)

2.2 Tratamiento sanitario y ambiental de residuos sólidos urbanos:-

2.2.1 Opciones comunes de eliminación y tratamiento de residuos:

- **Incineración:**
Es un método de quema de residuos sólidos para reducir su volumen al mínimo (después de la quema, queda del 2 al 10% del volumen original) y deshacerse de los gérmenes patógenos y aprovechar la energía térmica inherente a los residuos en la generación de energía eléctrica o calefacción central de las ciudades. Este proceso, si no se aplica un tratamiento adecuado de los humos de la combustión, produce contaminantes del aire, además, su costo es elevado.
- **Clasificación mecánica:**
Es el proceso de clasificación de materiales reciclados (papel, vidrio, cartón, plásticos y metales) de forma mecánica y manual con el fin de comercializar estos materiales y volver a utilizarlos como materia prima.
- **Compostaje:**
Es el proceso de fermentar los residuos orgánicos de forma aeróbica en condiciones ideales, de modo que se obtengan abonos orgánicos, ligeros y oscuros, mejoradores de suelos. A través de este proceso, se utilizan los materiales orgánicos en los residuos y se reduce la cantidad de residuos en el manejo de residuos sólidos.
- **Relleno sanitario:**
Este método es complementario a todos los métodos de tratamiento de residuos sólidos, y es una fosa cuya naturaleza depende de la naturaleza del área y la cantidad de residuos esperada, teniendo en cuenta condiciones como la distancia a la fuente de agua subterránea y superficial y de los centros de población., dirección del viento predominante, etc. Se impermeabiliza las secciones del relleno sanitario con una capa aislante para proteger el agua subterránea de los lixiviados, también se equipa la base con una red para drenar el lixiviado y una red de chimeneas para recolectar el metano resultante de la descomposición anaeróbica de los materiales orgánicos en los residuos. Luego se distribuye el residuo a la base del relleno sanitario y se prensa. Su altura después del proceso de compresión es de 30 a 40 cm. Se coloca encima una capa de residuo de construcción o tierra con un espesor de unos 20 cm y se coloca sobre el residuo presurizado, y sobre esta capa se coloca una segunda capa de residuo que se trata de la misma forma y así sucesivamente. Hasta que el sitio alcance una altura de 30 a 40 metros. Una vez que se ha llegado a la altura máxima, se clausura y se planta con árboles forestales.
Se debe enfatizar aquí que cualquier sistema municipal de manejo de residuos sólidos debe contener, en todos los casos, un relleno sanitario para las cantidades remanentes de residuos sólidos efluentes, además de que las actividades de reciclaje deben ser complementarias y no competir con otros métodos de eliminación y

tratamiento de residuos en condiciones normales. El relleno sanitario es el método menos costoso de eliminación de desechos, y después viene el compostaje de baja tecnología, mientras que la incineración son las más caras. (14)(16)

La Fig.2.2 muestra los porcentajes de eliminación de desechos en los países en desarrollo (16).

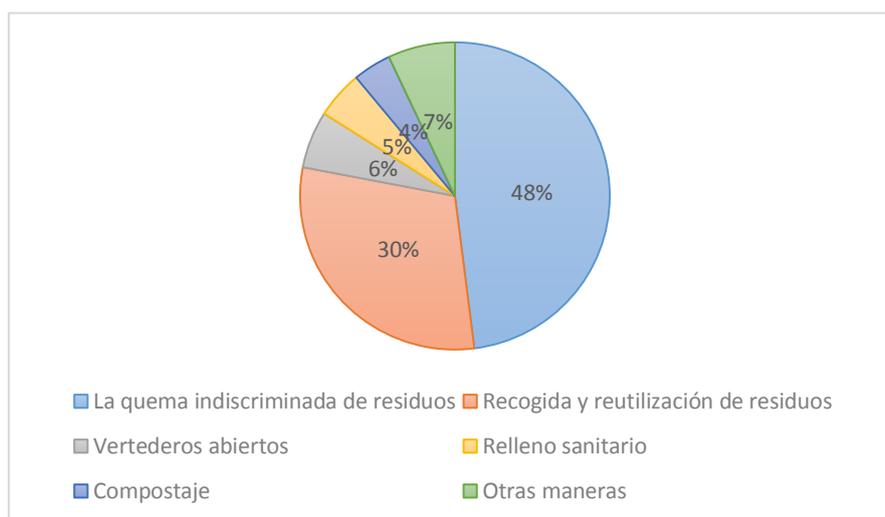


Fig2.2. Tasas de eliminación de desechos en los países en desarrollo

Los países suelen utilizar el método apropiado para ellos de acuerdo con las capacidades materiales y culturales y la naturaleza de la industria, notando que la quema indiscriminada es frecuente en muchos países pobres.

La disposición de residuos sólidos a través de relleno sanitario se considera uno de los mejores métodos modernos, ya que la ubicación del relleno se controla y selecciona de acuerdo con muchas condiciones y controles, ya sean relacionados con el agua, el suelo, el viento o las comunidades residenciales (16).

2.2.2 Gestión integral de residuos sólidos urbanos:

La Gestión Integrada de Residuos Sólidos Municipales tiene como objetivo desarrollar un plan estratégico de reciclaje de materiales (papel, vidrio, metales y plásticos), conversión de residuos orgánicos en fertilizantes orgánicos y disposición de residuos en rellenos sanitarios.

Dentro de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, se encuentra principalmente la búsqueda de formas de reducir los residuos domésticos mediante el desarrollo de los programas y planes necesarios. Como etapa posterior se realizará la recogida selectiva de los materiales de reciclaje para que se minimicen los residuos que serán tratados o eliminados dentro de los rellenos sanitarios.

La estrategia básica seguida en los países europeos con respecto a la gestión de residuos sólidos urbanos depende de los siguientes principios:

- Reducir la cantidad de residuos
- Separación y reciclaje de residuos: papel, vidrio, plástico, metales, madera y materiales orgánicos
- Eliminación segura de residuos: rellenos sanitarios
- Eliminación de residuos peligrosos después de la recogida selectiva.

Revisaremos estos principios en consecuencia de acuerdo con lo siguiente (17): -

▪ **Reducir la cantidad de residuos sólidos domésticos:**

La ciencia de la eliminación de desechos ha agregado desde hace mucho tiempo una sección importante, que es la reutilización beneficiosa de los desechos reciclables, especialmente los orgánicos. En otras palabras, el juicio sobre el desperdicio ha adquirido otra dimensión y la percepción del mismo como un material valioso en lugar de desperdicio. Los residuos se dividen mediante una definición completa en dos tipos:

- Los residuos reciclables y reutilizables son los residuos que deben reciclarse.
- Residuos no reciclables, es decir, son los residuos que deben eliminarse.

▪ **Recogida y reciclaje separados de residuos: -**

Cuando se coloca en una gestión integrada, los residuos se clasifican en dos tipos de residuos, que son los siguientes:

- Residuos reciclables convirtiéndolos en fertilizantes orgánicos.
- Residuos reciclables convirtiéndolos en materias primas.

La composición de los residuos en general consta de (14):

- **Materiales orgánicos:** Los materiales orgánicos constituyen la mayor proporción de residuos domésticos, por lo que este porcentaje alcanza alrededor del 55% de la cantidad de residuos sólidos domiciliarios provenientes de las comunidades residenciales del municipio de Misurata. Dado el alto porcentaje de materiales orgánicos en los residuos domésticos, es preferible separar los residuos orgánicos en el hogar y en la planta de tratamiento de residuos mecánicos para convertirlos en fertilizantes orgánicos, o en algunos casos es posible comercializarlos directamente como alimento para animales.
- **Materiales reciclados:** Los materiales reciclados juegan un papel importante en las industrias, donde los materiales reciclados constituyen la mayor proporción dentro de ciertos tipos de industrias, de modo que los materiales

reciclados se pueden recolectar y reutilizar. Entre los principales materiales de reciclaje que se pueden recolectar o clasificar dentro de la planta de procesamiento se encuentran el plástico, papel y cartón, metales, madera y desechos textiles, mientras que el vidrio no juega un papel esencial.

- **El plástico:**

Los materiales plásticos son el factor principal dentro de los materiales de reciclaje, ya que los materiales plásticos, especialmente los duros, se pueden reciclar en diferentes campos. La mayoría de las empresas que producen materiales plásticos reciclan directamente los materiales plásticos dentro de las etapas de producción, y el porcentaje de residuos plásticos es de aproximadamente el 8%. Este es un porcentaje alto en vista de la rentabilidad económica de la venta de residuos plásticos, por lo que es preferible que la recogida selectiva de residuos plásticos se realice dentro de la casa y dentro de la planta de tratamiento.

- **Papel y cartón:**

Varias empresas actualmente en Libia reciclan residuos de papel y cartón, por lo que el proceso de separación previa ayuda a reciclar estos materiales, ya que su porcentaje supera el 12% dentro del municipio. Es preferible que en todos los hogares, la recogida separada de papel y cartón se realice por separado dentro de envases especiales de papel con el fin de comercializarlo de forma que esté limpio y libre de impurezas, además de que este proceso ayuda a deshacernos del problemas ocasionados por este tipo de residuos en los rellenos sanitarios, donde los residuos de papel y cartón pueden ser dispersados a las áreas adyacentes al relleno sanitario, además de la descomposición anaeróbica de los residuos de papel y formar metano y gases nocivos liberados por rellenos sanitarios.

- **Metales:**

Los metales constituyen el 7% del total de residuos en los residuos sólidos domésticos, y generalmente están hechos de piezas metálicas que se pueden reciclar y volver a utilizar. Por tanto, es preferible recoger los metales de la misma forma que los residuos plásticos, ya que los residuos metálicos se recogen en bolsas destinadas a la recogida de materiales de reciclaje.

▪ **Los residuos deben eliminarse:-**

La minimización de residuos tiene prioridad en la gestión de residuos sobre la reutilización, es decir, el reciclaje, y este debe ser el objetivo que se desea alcanzar durante el desarrollo e implementación de la gestión integrada de residuos.

Quizás una de las formas más importantes y modernas de reducir los residuos es la auto-responsabilidad por los residuos producidos, que adopta la economía local para reducir los residuos, reciclarlos y eliminar algunos de sus tipos, de la siguiente manera:

- Reproduciendo y fabricando productos que se utilizan muchas veces, es decir, desechando productos de un solo uso.
- Fabricación de calidad que permite usos repetidos de un mismo producto.
- Que estos productos sean respetuosos con el medio ambiente y que no provoquen daños medioambientales por el reciclaje o la eliminación de diversas formas.

Dentro de todos los hogares queda parte de los residuos domésticos, o residuos domésticos, que son similares a los residuos domésticos, y no hay posibilidad de reciclarlos o reutilizarlos, por lo que debe existir una forma de deshacerse de estos residuos.

El rechazo y el desperdicio consisten en una parte de los desechos orgánicos no reciclables, que se contaminan como resultado de las operaciones de recolección o error en el proceso de recolección, o porque el porcentaje de desechos orgánicos dentro de algunas industrias es muy pequeño o puede estar contaminado. La otra parte de los rechazos y residuos son de vidrio, piedras y plásticos que no son reciclables. También existe una parte de los rechazos y residuos resultantes de las plantas de tratamiento mecánico y biológico que deben eliminarse en rellenos sanitarios (3).

Los rechazos constituyen entre el 20 y el 25% de los residuos, dependiendo del rendimiento del proceso de clasificación separada y del proceso de clasificación dentro de la planta de tratamiento mecánico. A esta relación se le añade un valor que oscila entre el 10 y el 15% porque la rentabilidad máxima por reciclaje o por recogida selectiva puede alcanzar entre el 85 y el 90% (3).

Los rellenos sanitarios son la etapa final de disposición de los residuos que no pueden ser reutilizados ni reciclados, por lo que estos residuos deben ser enterrados en rellenos sanitarios totalmente aislados.

▪ **Residuos peligrosos: -**

Residuos tóxicos y peligrosos: es cualquier residuo que contiene materiales tóxicos y peligrosos como (plomo, mercurio, cianuro y disolventes orgánicos) y otros materiales que, por naturaleza y cantidad, amenazan la salud pública y el medio ambiente. Estos residuos se eliminan mediante métodos técnicos especiales

acordes con su naturaleza peligrosa, de modo que se comprueba previamente el mecanismo de tratamiento que garantiza su eliminación segura.

Y los estudios del plan futuro para la gestión de residuos sólidos urbanos en Misurata están dirigidos a lo siguiente (18):

- Establecer un sistema de recolección de residuos sólidos, de manera que se separen los residuos industriales y domésticos no peligrosos y se trasladen esos residuos separados.
- Establecer un sistema para el tratamiento de residuos biológicos y el tratamiento de materiales de reciclaje.
- Establecer rellenos sanitarios para todos los residuos sólidos no peligrosos, de manera que sean eficientes y sin complicaciones en cuanto a distancias de transporte, manejo y operación.
- Prevención de la quema a cielo abierto de residuos en áreas de recolección y en rellenos sanitarios.
- Establecer un sistema de gestión de residuos sólidos en cooperación con los municipios para garantizar una eficiencia total.
- Establecer sistemas de recolección y eliminación de desechos médicos y materiales peligrosos para que estén completamente separados de los sistemas domésticos de residuos sólidos.
- Desarrollar un sistema financiero que asegure la capacidad de obtener un retorno financiero que cubra los costos de las operaciones de separación, transporte, relleno sanitario y tratamiento.
- Cerrar los vertederos abiertos que se encuentran actualmente dispersos y tomar medidas para cerrar las áreas con materiales peligrosos que se filtran al agua subterránea.
- Recoger los residuos acumulados en zonas urbanas y zonas remotas y prevenir el vertido indiscriminado de basura.

Esto indica que nuestra investigación en esta dirección será parte de un aspecto práctico que el país necesita en un futuro esperanzador.

2.3 Escenarios y alternativas para las soluciones propuestas para los proyectos de relleno sanitario municipal:-

2.3.1 Introducción:-

La actividad de la población en ciudades y pueblos genera grandes cantidades de desechos, estimados en las grandes ciudades en miles de toneladas por día. Los residentes los arrojan en contenedores de basura. Luego, los mecanismos de limpieza recogen estos desechos y los descargan en un lugar específico llamado "relleno sanitario" o "vertedero", y los vertederos y botaderos se encuentran entre los problemas que aquejan a la mayoría de las ciudades del mundo por las siguientes razones:

- Los vertederos ocupan grandes áreas de tierra que pueden no estar disponibles en muchas ciudades.
- Proporcionar un relleno sanitario que no dañe a las personas y al medio ambiente requiere grandes presupuestos anualmente.
- Los vertederos que no están diseñados y no gestionados de forma técnica son fuente de olores desagradables, la propagación de insectos y roedores, así como la contaminación del suelo, las aguas subterráneas y el aire.

❖ **Clasificación de vertederos y rellenos sanitarios:**

Los vertederos y rellenos sanitarios se clasifican según el nivel de su gestión en [18]:

- **Vertederos abiertos, también llamados vertederos incontrolados:**
Estos vertederos suelen ser utilizados por ciudades o pueblos muy pequeños, y su instalación es por iniciativa del municipio o la población local, donde se asigna un área específica para este propósito, o la población elige un lugar de tierra para tirar allí sus desechos, y este proceso se realiza de forma aleatoria y sin ninguna dirección ni control técnico, además. Los residuos se queman de vez en cuando para reducir el aumento del volumen de residuos, o los residuos se queman por sí mismos como resultado de su descomposición y la liberación de gas metano inflamable, y estos vertederos se caracterizan por las siguientes especificaciones:
 - El proceso de selección del sitio no fue realizado por ingenieros ni especialistas.
 - No hay seguimiento y gestión del proceso de relleno sanitario.
 - Los residuos se vierten de forma aleatoria y sin compactación ni cobertura, lo que provoca la dispersión de parte de ellos en el aire, terrenos circundantes o aguas superficiales.
 - La incineración de residuos sin ningún control se lleva a cabo de vez en cuando para reducir el volumen de residuos.

Este tipo de vertederos se considera una de las peores opciones disponibles y puede llevar a la contaminación del suelo, aguas superficiales y subterráneas, contaminación del aire y la propagación de olores desagradables, insectos y roedores, debiendo las autoridades competentes dejar de utilizar este tipo de botadero.





Fig.2.3. Fotos ilustrativas del vertedero incontrolado en Misurata

○ **Vertederos controlados:**

Este tipo de relleno sanitario está sujeto a la autoridad de un responsable, representado por un empleado responsable del relleno sanitario, y estos rellenos sanitarios se caracterizan por las siguientes especificaciones:

- La presencia de un empleado a cargo del relleno sanitario que controla la entrada y salida de vehículos al mismo.
- La presencia de máquinas apiladoras y cepilladoras de residuos donde los residuos se cubren en capas.
- El fondo y los lados del relleno sanitario no están aislados y no existe un sistema de descarga de líquidos en estos rellenos sanitarios.
- No se queman desperdicios en ellos.

Este tipo de volcado se considera mejor que su predecesor, pero tiene muchas desventajas:

- La falta de aislamiento del piso del relleno sanitario y sus lados puede conducir a una fuga de lixiviados al acuífero si las condiciones lo permiten.
- Los incendios pueden ocurrir de vez en cuando debido a la formación de gas metano en ellos.
- No vallarlos en algunos casos puede permitir la presencia de Recicladores que dificultan el trabajo así como el daño a la salud que sufren estos Recicladores.
- La propagación de olores desagradables de los contenedores de basura.

○ **Vertederos técnicos sanitariamente controlados:**

Estos rellenos se distinguen por estar diseñados por ingenieros especializados y cuentan con un buen personal técnico y operativo, y en general estos rellenos cuentan con las siguientes especificaciones:

- La selección del sitio se basa en estudios técnicos, geológicos y topográficos.
- El fondo del relleno sanitario está aislado con material adecuado para evitar fugas de agua, además de proporcionar una red para drenar los lixiviados del relleno sanitario.
- Estos rellenos sanitarios tienen un sistema para drenar el agua superficial que puede acumularse en la superficie de los rellenos sanitarios.
- El vertedero cuenta con una red para la recogida del gas formado por la descomposición de los residuos.
- Hay una clasificación de los desechos entrantes y a cada tipo se le pueden asignar celdas dedicadas.
- Estos vertederos pueden estar conectados a estaciones de clasificación y reciclaje de desechos.
- Este tipo de vertedero cuenta con el equipamiento necesario para la colocación y apilamiento de residuos.
- El vertedero es gestionado y operado por un personal técnico calificado de ingenieros y administradores.
- La entrada solo está permitida con un permiso oficial.

○ **Vertederos sostenibles:**

Estos vertederos se consideran la mejor forma de vertederos, y la idea de vertederos sostenibles depende de acelerar el proceso de descomposición de los desechos, que puede llevar cientos de años como resultado del proceso de recolección de lixiviados y vertidos fuera del vertedero. y así el residuo se vuelve más seco, lo que lleva a ralentizar el proceso de descomposición, y para acelerar el proceso de descomposición se vuelve a bombear Líquidos que escapan sin tratamiento o después de ser tratados en el cuerpo del relleno sanitario, manteniendo así los residuos húmedos, y esto conduce a una aceleración del proceso de descomposición y la formación de gas, y el relleno

sanitario se establece en forma de celdas grandes separadas y, una vez que la celda se llena con desechos, se cierra y se deja que los desechos se disuelvan en él a través de la circulación de los líquidos con fugas y cuando el proceso se detiene descomposición (y esto se reconoce al observar el cese de la formación de gas metano), se exhuma la celda es por máquinas y luego los materiales que fueron excavados se pasan por un tamiz en forma de un cilindro para separar los desechos de él, y así se clasifican los materiales y se vuelve a enterrar lo bueno de ellos y el resto y así. Por lo tanto, el mismo sitio se puede utilizar durante períodos de tiempo muy prolongados.

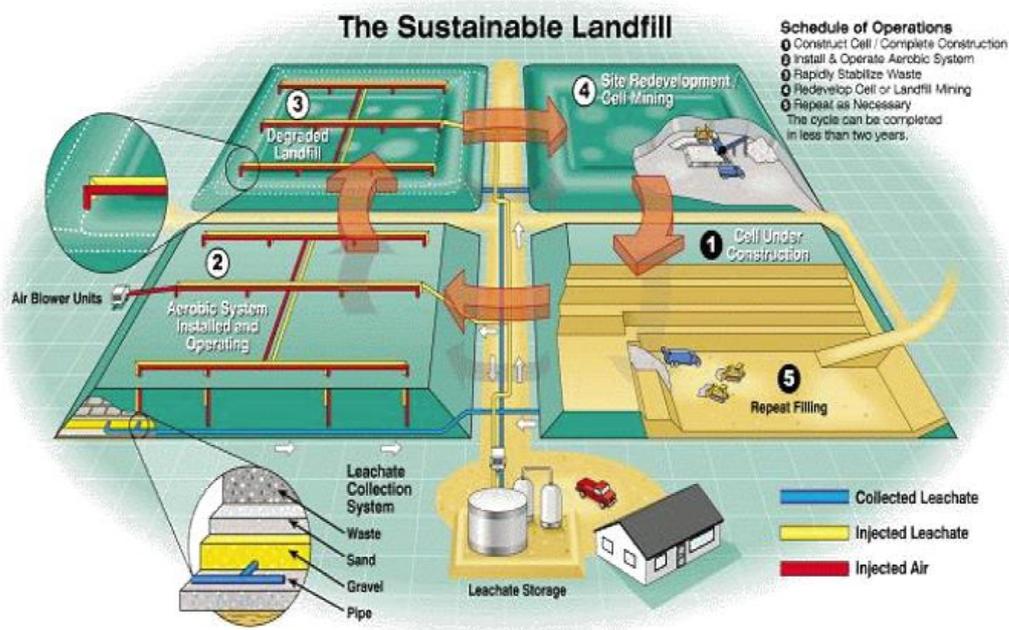


Fig.2.4.Vertedero sostenible

2.3.2 Primera solución propuesta: Alternativa cero - Vertedero incontrolado (Aleatorio):-

También se denominan vertederos incontrolados, y una de las condiciones más importantes para ellos es que se encuentren alejados de la población o al menos fuera de la ciudad, además de preferir las zonas bajas, que tienen forma de cuencas, ya que son considerados menos costosos y más absorbentes de residuos sólidos, y los residuos se disponen de forma aleatoria, donde los residuos se acumulan sin un mínimo de tratamiento u organización del trabajo, y una de las desventajas más importantes de estos vertederos es que no están revestidos con una capa aislante que previene la fuga de lixiviados al agua subterránea, y los desechos no se cubren con suelo, lo que contribuye a una mayor contaminación por olores y la volatilidad de los contaminantes.

2.3.3 La segunda solución propuesta: enterrar todos los residuos dentro del relleno sanitario:-

Están más desarrollados que los vertederos abiertos, ya que en el diseño se tienen en cuenta muchos aspectos ambientales, como la distancia a la que se concentra la población, y está lejos de las aguas subterráneas, y también se tiene en cuenta a la hora de diseñar que la capa inferior es cubierta con una capa que no permite que el agua penetre para evitar la fuga de lixiviados al agua subterránea. Los desechos se cubren con una capa de tierra para reducir los olores y la proliferación de roedores e insectos dañinos, y se caracterizan por muchas otras características, la más importante de las cuales es la organización del proceso de disposición de residuos dentro del relleno sanitario, ya que el relleno sanitario se divide en muchas celdas, a medida que el trabajo se desplaza de celda a celda luego de completarlas y recolectar el lixiviado en estanques especiales para su tratamiento (19).

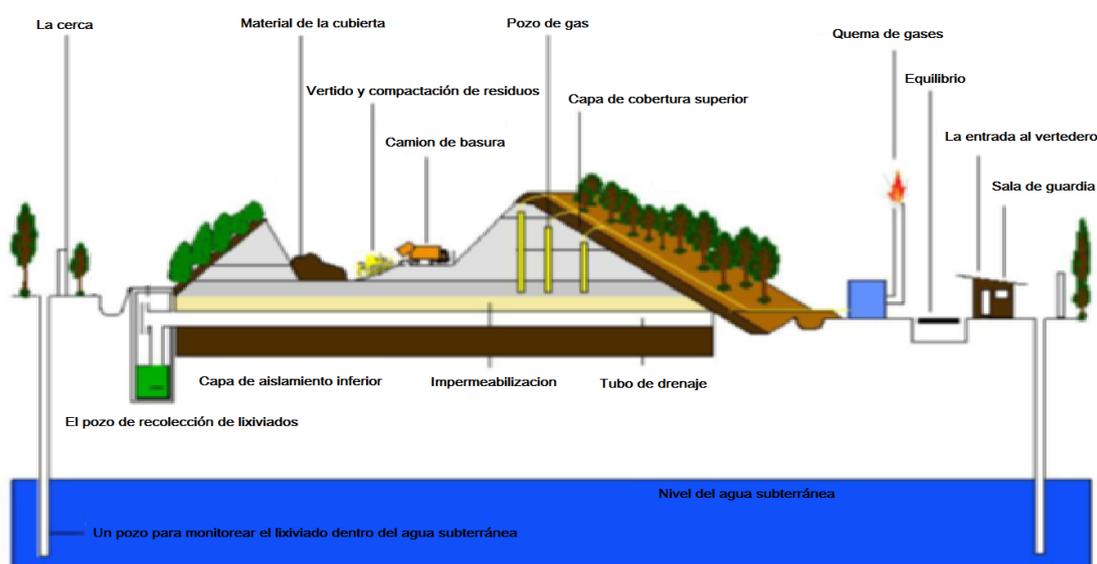


Fig.2.5. Relleno Sanitario

A continuación, revisaremos las condiciones técnicas y especificaciones propuestas [19] para un relleno sanitario de residuos municipales:

- **Edad de diseño del relleno sanitario:**

Con respecto al uso de la tierra dentro del área del relleno sanitario y considerando el aspecto económico de implementar un relleno sanitario, la edad de diseño de un relleno sanitario no debe ser menor de 20 años.

El método de diseño del relleno sanitario en forma de sectores ayuda a asegurar que exista un control completo de las cantidades de residuos, y así es posible conocer anualmente el tiempo de la etapa en la que se creará un nuevo sector para desembarcar residuos nuevos dentro del relleno sanitario.

- **Sistema de aislamiento:**

El lixiviado es el resultado de la filtración de agua de lluvia a través de los desechos, además de la auto-humedad de los mismos. Es un líquido muy contaminante y una

fuente importante de contaminación del suelo, las aguas subterráneas y superficiales. La cantidad y calidad del lixiviado resultante depende de varios factores, los más importantes de los cuales son los siguientes:

- Cantidad y características de los residuos enterrados.
- Condición climática.
- Métodos de descarga.
- Gestión de aguas superficiales (medios de cobertura, drenaje de aguas superficiales, etc.).
- Las formas de reducir el impacto negativo de los lixiviados consisten en lo siguiente:
 - Reducción de la cantidad de residuos biodegradables (mediante recogida selectiva y tratamiento de biodegradación).
 - Tratamiento primario de residuos antes de la descarga.
 - Eliminación separada de residuos con características especiales.
 - Un sistema de gestión de lixiviados.

Si se determina que hay una fuga de agua en el vertedero sanitario, se debe preparar un canal que no esté expuesta a inundaciones con lluvia o agua de inundación y que gotee o bombee lixiviados hacia ella. El lixiviado debe dejarse evaporar y / o devolverse a los desechos si es posible. Se debe identificar la fuente del lixiviado y los tratamientos necesarios para prevenir la recurrencia del charco de lixiviados en el futuro. El objetivo debería ser reducir la cantidad de lixiviados producidos en el futuro y no crear una gran reserva para recolectar los lixiviados.

Dentro del sistema de capas subterráneas de aislamiento existen diferentes sistemas, estos sistemas deben cumplir las siguientes condiciones básicas:

- Evitar que los lixiviados se filtren fuera del relleno sanitario tanto como sea posible.
- La estabilidad de esta capa frente a factores físicos, químicos y biológicos.

Como resultado de la situación climática en Libia, se ha adoptado el método de aislamiento con capas de polietileno para el relleno sanitario, debido a la resistencia del polietileno a los factores climáticos así como al hundimiento dentro de las capas del suelo y a la efectividad del aislamiento, donde se realizarán las operaciones de aislamiento de la base, laterales y superficie superior del relleno sanitario.

El sistema de drenaje del suelo y aislamiento del relleno sanitario consta de capas de arcilla y láminas de polietileno de la siguiente manera:

- El espesor de la capa filtrante-drenante es de 30 cm.
- Una capa protectora de arena fina de 5 cm de espesor.
- Una capa de polietileno con un espesor de no menos de 2 mm.
- Una capa de arcilla, de 25 cm de espesor, incrustada y envuelta.
- Capa de suelo cohesiva.



Fig.2.6. Capas de aislamiento de base de polietileno

Las siguientes imágenes muestran el método de implementación de la capa de aislamiento en un relleno sanitario:





Fig.2.7. Asentamiento del área del proyecto e implementación del sistema de aislamiento del suelo

▪ **El sistema de recogida, tratamiento y drenaje de lixiviados:**

El sistema de recolección y drenaje de aguas residuales consta de los siguientes componentes:

- Una capa de drenaje de grava.
- Tubos de desagüe ramificados para la recogida y transporte de lixiviados.
- Tuberías básicas de drenaje para la recogida de lixiviados y su descarga a la fosa de inspección y recogida.
- Estanques humeantes
- Bombas y tubos de polietileno para bombeo de lixiviados.
- Una bomba y una red de goteo para reciclar el exceso de lixiviados en el vertedero, donde el lixiviado se recicla al vertedero bombeando el lixiviado desde el depósito de recolección a la superficie superior de los residuos debajo de las capas de aislamiento, durante los períodos de no lluvia y relativa sequedad de los residuos.

El sistema de captación y drenaje de lixiviados consta de grava de 30 cm (16/32 mm) y tubos de polietileno perforado de alta resistencia de 250 mm de diámetro. Los tubos se colocan a una distancia de 30 metros entre sí y la pendiente requerida de la capa del drenaje es 2% y para las tuberías 1,5%. Para tener un buen sistema de eliminación de lixiviados, la Impermeabilización debe realizarse fácilmente.



Fig.2.8. El sistema de impermeabilización

- **Recolección y tratamiento de gases liberados:**

El proceso de biodegradación en rellenos sanitarios produce gases explosivos y combustibles que escalan fácilmente provocando olores desagradables. Además de esto, estos gases contribuyen al calentamiento global y por lo tanto dañan el clima, y los gases emitidos por los vertederos sanitarios pueden provocar incendios o acumularse hasta alcanzar concentraciones explosivas.

El sistema de montaje de pozos de gas puede consistir en una capa de grava con una altura de 30 a 60 cm y una tubería vertical perforada de polietileno de 200 mm de diámetro con tapón y conectada a una válvula del encendedor de diámetro de 50 mm. Con procesamiento adicional (incinerador). Esta tubería perforada va rodeada de una capa de grava de 500 mm de diámetro

Se deben estudiar los requisitos para la recolección y tratamiento de los gases liberados, ya que la altura del vertedero de los sectores alcanza los 20 metros.

Dentro de esta altitud y del método de relleno sanitario propuesto, se deben ubicar los pozos de recolección de gases, por lo que se deben colocar varios chorros para remover los gases transfiriéndolos al incinerador. Las emisiones se componen generalmente de un 55% de metano, un 44% de dióxido de carbono y un 1% de una amplia gama de otros gases. Los gases serán recolectados por pozos de gas y quemados dentro del quemador ubicado en el centro de tratamiento para convertir todos los gases en dióxido de carbono.



Fig.2.9. Relleno sanitario durante el período de recolección de gas

- **Operación del relleno sanitario:**

Con el fin de tener en cuenta el desarrollo poblacional de las comunidades residenciales que rodean el área del relleno sanitario, las fases de operación del relleno sanitario se dividen en varias fases, cada fase relacionada con la construcción y operación de un sector del relleno sanitario. Las fases de operación de los sectores son similares y en secuencia, ya que el Sector No. 1 se opera hasta que se llena y se cierra luego del inicio de la operación del segundo sector.

El principal objetivo de este proceso es reducir los costos anuales incurridos por el área de estudio, ya que el monto requerido para operar el siguiente segmento se asigna un año antes de la operación.

- **El método de relleno sanitario y las capas de cobertura de tierra promedio:**

El proceso de vertido se realiza en cada sector de la siguiente manera: El proceso de vertido se realiza en capas con espesores de 30 cm a 50 cm. Esto es para reducir la formación de gases y facilitar el trabajo. Los desechos enterrados se cubren directamente con una capa de suelo de 10 a 20 cm de espesor con el fin de evitar la dispersión de las bolsas de plástico y papel, así como prevenir la reproducción de animales y aves que podrían transmitir enfermedades y desechos a las áreas poblados.

El proceso de vertido se realiza en forma de capas de residuos en los sectores y se cubre con capas de cobertura de 0,2 m de espesor. Después de la terminación de cada sector, en la clausura, el sector se cubre con una capa de tierra superficial con un espesor de unos 120 cm, y esta capa se apila de tal manera que evita la entrada de agua que gotea, y se termina este sector.

2.3.4 La tercera solución propuesta: clasificación mecánica de los residuos y luego verter el resto en el vertedero:-

El tratamiento mecánico de residuos orgánicos tiene como objetivo eliminar las sustancias nocivas que afectan el proceso de tratamiento biológico, además de aumentar la superficie de tratamiento biológico mediante el picado de los materiales orgánicos con el fin de acelerar el proceso de tratamiento biológico.

El tratamiento mecánico consta de varias etapas, según el tipo de residuo orgánico recogido, a lo que se refiere aquí:

¿El proceso de cribado domiciliario está bien hecho, los residuos orgánicos contienen una estructura homogénea adecuada para el proceso de tratamiento biológico?

Después de la recogida selectiva separada de residuos y materiales de reciclaje dentro de las etapas de recogida selectiva de residuos en contenedores separados o bolsas multicolores, comienza el tratamiento mecánico (clasificación), que es necesario para los siguientes procesos:

- Clasificación de residuos no reciclables y residuos mezclados con materiales de reciclaje.
- Clasificación de los materiales de reciclaje según el tipo de materiales de reciclaje (papel, cartón, plástico, vidrio ...).
- Los residuos de reciclaje se comprimen o empaquetan en balas antes de que se transfieran a las plantas de reciclaje o se comercialicen.

El proceso de recogida selectiva de materiales reciclados tiene como objetivo definir las especificaciones de la planta de tratamiento mecánico que consta de las mismas etapas y tecnologías a alcanzar, y que la ausencia de una gestión de alta o alta tecnología conlleva la paralización de la planta y aumenta el costo de mantenimiento. La planta de clasificación requiere un alto rendimiento a pesar de las técnicas simples y los costos medios que se deben lograr además de la ausencia de impurezas dentro de los materiales de reciclaje.

Hay muchas tecnologías de maquinaria utilizadas en la clasificación de desechos, por ejemplo, la clasificación de hierro y aluminio requiere mecanismos de alta tecnología, y estas técnicas también difieren según el peso y el tamaño de los desechos, pero esto no niega la necesidad de un gran número de trabajadores para la clasificación manual básica y eficaz.

Quizás la flexibilidad es una de las ventajas más importantes de las plantas de tratamiento mecánico, ya que el desarrollo y el crecimiento de la población dentro del área del proyecto requiere un aumento en la capacidad de la planta de tratamiento, y esto se puede hacer fácilmente aumentando el número de trabajadores, asegurando turnos de trabajo adicionales, para que la estación pueda operar en las primeras etapas del desarrollo de la población. En el área del proyecto en un turno, y con el aumento en el crecimiento del área del proyecto, se puede agregar un segundo o tercer turno a la estación para que opera dentro de una capacidad de producción integrada.

El proceso de cribado de residuos se lleva a cabo antes de las operaciones de clasificación manual con el fin de obtener un mayor rendimiento ya que la pre-criba ayuda a clasificar los materiales blandos, aumentando así la eficiencia del rendimiento de la clasificación manual.

Después del proceso de clasificación mecánica dentro del tamiz cilíndrico, se siguen procesos de clasificación manual para los materiales de reciclaje para que los materiales plásticos se separen del cartón, papel y metales.

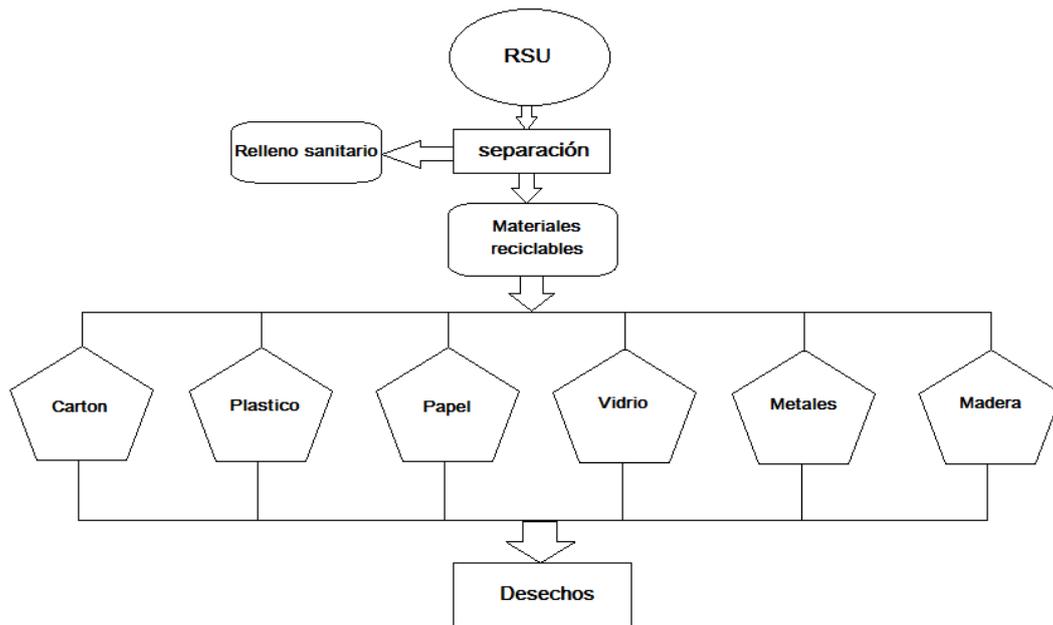


Fig.2.10. Esquema inicial para procesamiento mecánico (línea de cribado)

En los lugares de almacenamiento de residuos que se transportan diariamente, se realizan las siguientes operaciones:

- Recepción de residuos transportados a la estación.
- Se guardan por un período temporal hasta que termine la descarga.
- Dividir los residuos según los métodos de tratamiento a los que serán sometidos.
- Prevenir la propagación de polvo y olores a las áreas circundantes.

Explicaremos a continuación el mecanismo y la tecnología propuestos para la clasificación mecánica de los residuos sólidos urbanos (3) (19):

A. Clasificación inicial:

Una vez que los materiales llegan al patio de suministros, los materiales de gran tamaño y los materiales que pueden impedir el movimiento de los materiales en las bandas se separan manualmente y los materiales de papel se separan en preparación para su comercialización.

El proceso de clasificación primaria manual se realiza mediante inspección visual cuando se descargan camiones de transporte de residuos dentro de las áreas de almacenamiento, de modo que se clasifiquen los materiales grandes y duros que podrían estropear los equipos y maquinaria más adelante. De eEstos materiales y piezas, por ejemplo: grandes piezas de metal, grandes latas de hierro, grandes piezas de madera y piedras de gran tamaño, se clasifican y cortan antes de ser transportados por cintas transportadoras a las siguientes etapas de procesamiento mecánico como el cribado y trituración.

B. Embudo de alimentación:

- Esta unidad funciona automáticamente y los residuos son suministrados por el camión, de modo que la unidad de alimentación y alimentación abastece a las vías con una cantidad equilibrada de residuos.
- El embudo de alimentación contiene un mecanismo para mover los desechos dentro del embudo hacia adelante a través de una cinta móvil dentro del embudo de alimentación y, por lo tanto, a la cinta de alimentación.
- El embudo de alimentación es un embudo de chapa de acero que guía los materiales que salen de la unidad de cribado hacia la cinta de clasificación manual. Su misión se limita al proceso de evitar que algunos de estos materiales caigan fuera del proceso de cribado y dirigirlos a un área específica (zona de inicio) de la carretera.

▪ Unidad de alimentación y alimentación:

Su misión: asegurar la alimentación continua (no en lotes) de los residuos a la correa inclinada y, por tanto, a todas las partes de la instalación.

Además, y mediante la posibilidad de controlar la velocidad lineal de la correa metálica accionada por una cadena ubicada en su base, se puede controlar la velocidad de transporte de materiales a través de la unidad de control y así cambiar la productividad a la que opera la instalación (sin exceder máxima productividad de diseño de la instalación).

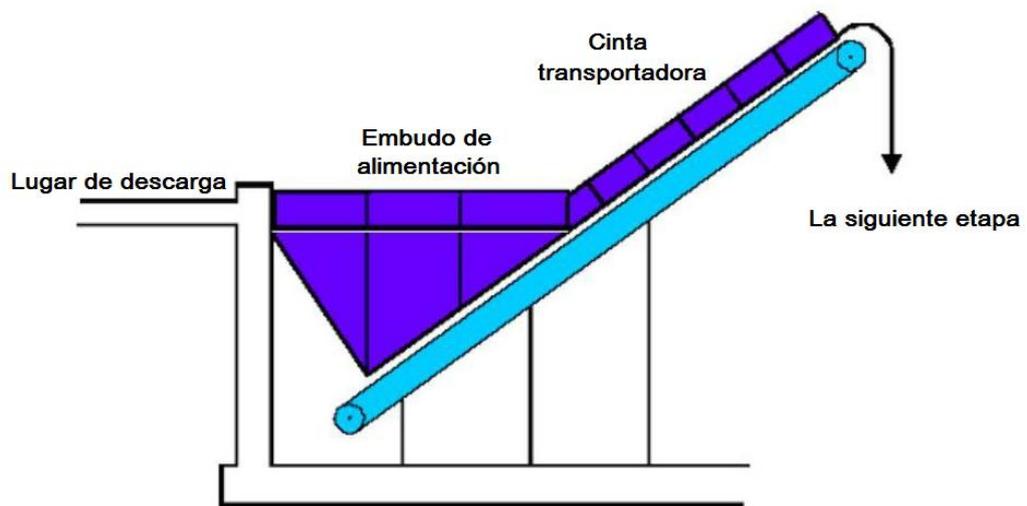


Fig.2.11. Embudo de alimentación en la línea de clasificación mecánica

A. Cinta transportadora inclinada:

Su objetivo es recibir materiales caídos del alimentador y el alimentador. El principio de su trabajo depende de la diferencia entre la velocidad lineal de esta Cinta y la velocidad lineal de la Cinta metálica en la unidad de alimentación, ya que trabaja a través de esta diferencia para causar una perturbación en los materiales además de su tarea principal de elevar los materiales a la unidad de cribado.

B. Tamizar:

En esta etapa, los materiales se pasan por un tamiz o tromel para separar los materiales blandos de pequeño tamaño con un diámetro inferior a 80 mm, mientras que los materiales de gran tamaño salen por el otro extremo del tamiz para ser clasificados manualmente.

Los residuos orgánicos ingresan al tamiz cilíndrico. El proceso de cribado se realiza en dos diámetros dentro del tamiz cilíndrico, los diámetros menores a 8 cm pasan por los orificios del tamiz cilíndrico y salen a una cinta transportadora en el fondo del tamiz y los diámetros mayores a 8 cm salen del extremo del tamiz a las bandas de cribado manual, esta parte contiene bolsas de plástico y materiales de gran tamaño que se deben triturar dentro del picador. Además, el tamiz cilíndrico juega un papel en la división de bolsas que pueden estar presentes en los desechos orgánicos

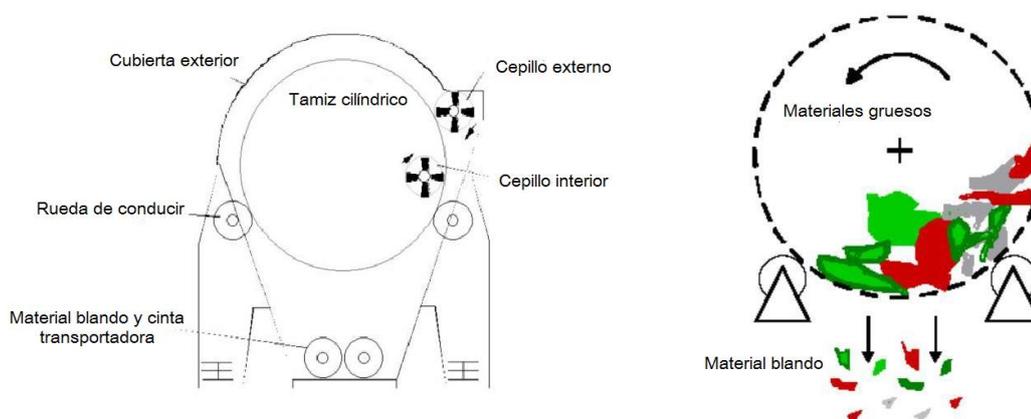


Fig.2.12. Tamiz cilíndrico en la línea de clasificación mecánica

C. Clasificación manual:

Ya que se espera que el proceso de clasificación domiciliar lleve un tiempo, según las campañas de concienciación, y además una parte de los residuos inorgánicos permanecerá en los residuos orgánicos por errores, y el hecho de que los residuos orgánicos se recojan en bolsas de plástico al inicio o dentro de los contenedores, es necesario separar estos residuos que se encuentran en la planta para obtener fertilizantes orgánicos de alta calidad.

Después del proceso de división y selección de bolsas, se realiza el proceso de clasificación manual para sustancias nocivas en el proceso de tratamiento biológico e impurezas nocivas en el proceso de picado y triturado, como bolsas de nailon, vidrio y metales, ya que estos materiales pueden destruir el picado y dispositivo de molienda. Además, el proceso de trituración de algunos materiales nocivos antes del proceso de clasificación puede dificultar la clasificación de estos materiales como resultado de su mezcla con los materiales orgánicos, lo que provoca un proceso de alta contaminación para los materiales orgánicos y, por lo tanto, reduce la calidad de los mismos. Los abonos orgánicos resultantes del tratamiento. El proceso de clasificación manual se lleva a cabo desde la cinta transportadora y la cinta de cribado por un número de trabajadores que se colocan junto a la cinta transportadora y clasifican los materiales en cajas especiales para cada material contiguo. Este proceso se puede utilizar para clasificar materiales inorgánicos para su uso en operaciones de reciclaje y reutilización.

Los materiales comercializables (vidrio, papel, cartón, madera) son separados manualmente por trabajadores que se encuentran adyacentes a las cajas de los armarios para recolectar materiales de reciclaje, y cuando cada caja está llena para cada tipo de material de reciclaje se transfiere al proceso de apilado para formar balas, antes de que los materiales de reciclaje sean transportados por la elevadora al lugar de comercialización.

D. Clasificación de hierro automatizada por método de electroimán:

Los materiales ferrosos están separados por un gran imán colocado sobre la cinta transportadora. Como se explicó anteriormente, los materiales metálicos pueden jugar un papel negativo en el dispositivo de picado, por lo que se puede colocar un dispositivo de electroimán al final del tamizado para clasificar los materiales ferrosos.

Los materiales metálicos se clasifican, se recogen en cajas, luego se prensan en balas y se utilizan en el proceso de reciclaje, ya que es posible contratar con fábricas de hierro para reciclarlos y beneficiarse económicamente de su recuperación.

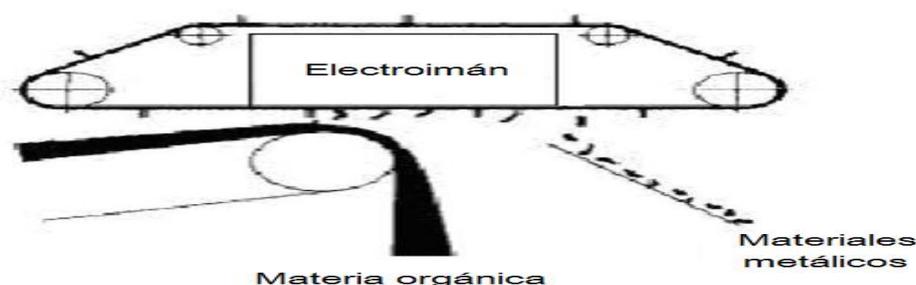


Fig.2.13. Electroimán en la línea de clasificación mecánica

E. Prensas de reciclaje:

El propósito de comprimir estos materiales en la prensa hidráulica es minimizar el volumen para optimizar los costes de transporte y comercializarlos de acuerdo con los precios locales, lo que brindará un valor financiero al inversionista, además de ayudar a evitar que estos materiales se dispersen en las áreas circundantes.

2.3.5 La cuarta solución propuesta: clasificación mecánica y conversión de materiales orgánicos en acondicionadores del suelo -compostaje- (tratamiento mecánico y biológico), luego enterrar el resto en el relleno sanitario: -

Además de los procesos anteriores en la etapa de cribado mecánico, cuando se apruebe una acción de tratamiento biológico, es decir, convertir materiales orgánicos en compostaje, explicaremos los siguientes procesos:

i. Picar y moler:

El proceso de picar y triturar materiales orgánicos gruesos tiene como objetivo aumentar la superficie de procesamiento de los materiales orgánicos, así como separar los materiales orgánicos entre sí y así aumentar la velocidad del tratamiento biológico. Es preferible que el proceso de picado y triturado se realice después de la clasificación manual de materiales de impurezas y materiales de metal y vidrio para facilitar la clasificación de estos materiales y para no destruir las máquinas posteriormente. Experimentos prácticos han demostrado la calidad de los picadores de martillos para picar materiales orgánicos, que muelen simultáneamente papel y secan materiales orgánicos.

ii. Mejorando la textura de la materia orgánica picada con materiales adicionales:

Para obtener un medio homogéneo que contenga los espacios de aire necesarios para el paso del aire para que las bacterias y microbios puedan obtener alimento y oxígeno, se pueden agregar algunos materiales texturizantes que ayuden a mejorar el medio de tratamiento. De los materiales naturales que se pueden utilizar y que dan buen rendimiento son las ramas de las plantas, tras el proceso de triturarlas con diámetros de 5 cm. Estas ramitas trituradas se mezclan antes del tratamiento biológico para mejorar la estructura del montículo. Estos materiales se pueden prescindir en función del tipo de residuo orgánico durante las estaciones del año.

iii. Transferencia de materiales a tratamiento biológico orgánico:

El proceso de transporte y mezcla de los materiales orgánicos seleccionados y picados se realiza mediante caminos ubicados en la planta hasta los patios de tratamiento biológico. Las pilas de tratamiento se construyen sobre los tubos de aireación, donde primero se mezclan los materiales orgánicos finos con los orgánicos triturados, los materiales orgánicos refinados se agregan cuando es necesario. Estos materiales se mezclan bien para formar una mezcla homogénea antes de que la mezcla se transfiera a un tratamiento biológico.

iv. Planta de tratamiento biológico de residuos orgánicos:

La tendencia durante el diseño de la planta de tratamiento biológico de residuos orgánicos ha sido la búsqueda de métodos de tratamiento biológico que sean sencillos y económicos en términos de construcción y operación y que sean técnica y

ambientalmente viables. Existen varios métodos para tratar los desechos orgánicos y convertirlos en compostaje orgánicos, incluidos los métodos cerrados y abiertos.

Las naves cerradas se consideran mejores desde el punto de vista medioambiental, y técnico por las siguientes razones:

- Previene la propagación de olores y la proliferación de insectos dañinos en los alrededores de la planta de tratamiento.
- Prevenir la formación de lixiviados durante el período estival y, por tanto, las operaciones de tratamiento de lixiviados, lo que reduce el coste económico del tratamiento de las fugas de agua.
- La pequeña cantidad de energía para el tratamiento en comparación con los métodos abiertos, que requieren operaciones de agitación constante para homogeneizar los residuos y tratar los residuos ubicados en lugares con temperaturas más bajas.
- Ayudar en el proceso de esterilización de fertilizantes como resultado de temperaturas completamente homogéneas dentro del montón.
- Los métodos cerrados de tratamiento de residuos conservan la humedad contenida en los residuos orgánicos, que puede llegar al 60%.
- La humedad del 55% es la humedad ideal para el tratamiento de residuos orgánicos por el método biológico aeróbico, ya que la alta humedad provoca el cese de los procesos de tratamiento biológico, especialmente en invierno debido a las frecuentes lluvias.
- El tratamiento biológico aeróbico de los residuos orgánicos también se detiene cuando la humedad desciende por debajo del 40%, como es el caso en verano. Por tanto, los residuos necesitan humedad permanente en verano y un aislamiento completo en invierno. Donde la necesidad de hidratación de los residuos durante la temporada de verano puede llegar a unos 100 litros diarios de agua pura por tonelada de residuos orgánicos, y por tanto la cantidad de agua necesaria es muy elevada.
- Los métodos de tratamiento expuestos (dinámicos y estáticos) requieren grandes cantidades de humedad durante el período de curado de al menos ocho semanas.
- En términos económicos, en general, los métodos cerrados son más costosos que los abiertos, y cuanto más se incrementan las técnicas de tratamiento cerradas, mayor es el costo de inversión y también el costo operativo.

Debido a las condiciones climáticas imperantes en el municipio de Misurata, con la ausencia de lluvias y las fluctuaciones de temperatura, se recurre al desarrollo del método de tratamiento para que el riego y humectación de los residuos se incremente en gran medida en el verano, ya que la humectación de los residuos es muy importante para que el proceso de fermentación continúe de mejor manera, así como para evitar la excesiva humectación de los residuos en invierno debido a que las lluvias sirven a la viabilidad del proceso de fermentación en su mejor forma en esta época del año. Las reacciones orgánicas requieren la presencia de humedad, la cual está presente en los desechos orgánicos, y debido a las altas temperaturas dentro de los montones, gran parte de la humedad existente se evapora, por lo que los desechos deben ser humedecidos periódicamente. La temperatura

ambiente del aire juega un papel útil en la evaporación de la humedad contenida en los desechos.

El método de tratamiento biológico del método de pila pila cubierta se caracteriza por:

- Obtención de abonos orgánicos de alta calidad a partir del tratamiento de residuos orgánicos preseleccionados en fábricas o dentro de una planta de tratamiento mecánico-biológico.
- La posibilidad de ampliar la estación en todo momento aumentando el número de montones o aumentando longitud del montón.
- La reducción significativa en el uso de agua adicional para hidratar los residuos durante el tratamiento biológico, ya que el agua evaporada durante el tratamiento se condensa en la superficie interior de la cubierta y cae sobre la pila de residuos, dando una circulación casi cerrada del agua. Los métodos de tratamiento de los residuos expuestos en los países cálidos requieren la humectación permanente y diaria de los residuos en verano, que pueden alcanzar un consumo de al menos 40 litros por tonelada por día. Por ello, para preservar las aguas subterráneas y superficiales, cubrimos las pilas durante tratamiento.
- Adecuado técnica y económicamente.

v. Pasos del método de tratamiento biológico:

- Formación de montones o pilas:

Los montones de residuos orgánicos tratados mecánicamente se forman en forma de trapecio con una altura de 3 metros y un ancho de 8 metros, como se muestra en la siguiente figura. Es preferible obtener un montón de residuos orgánicos y cubrirla permanentemente en una semana, por lo que se debe controlar la altura, ancho y largo del montón para que el montón requerida se obtenga en una semana y se cubra por un período total de cuatro semanas. En la fase de tratamiento intensivo para que durante este período no haya un proceso de agitación y por lo tanto un proceso de aflojamiento para la acción de las bacterias, después de agitar y mezclar para formar una homogeneidad entre los materiales, se lleva a cabo un proceso de fermentación adicional durante otras cuatro semanas.

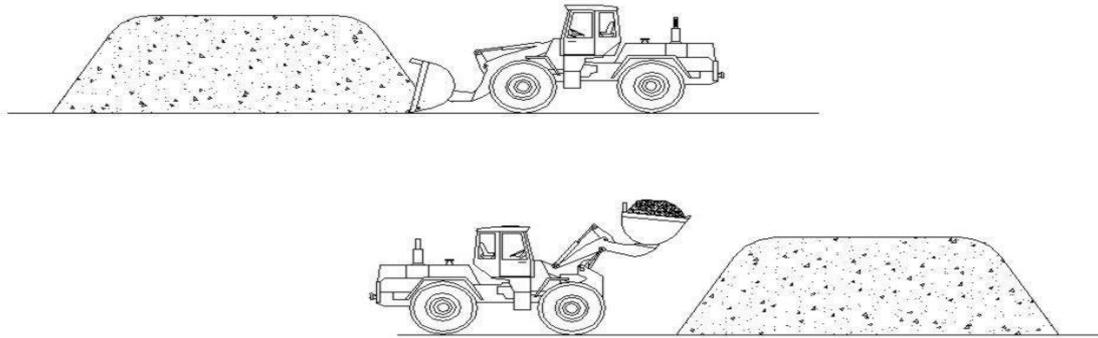


Fig.2.14. Formación de montones de residuos orgánicos.

- **Cubrir los montones:**

El proceso de tratamiento de residuos de montón descubiertos está muy influenciado por factores climáticos. Los estudios han demostrado que el método de tratamiento de residuos orgánicos sin cobertura es ineficaz por muchas razones:

- Sequía de residuos orgánicos por la alta temperatura de los residuos por reacciones biológicas y por la temperatura externa que puede alcanzar bajo los rayos del sol los 50 o 60 grados centígrados.
- La necesidad de humedecer permanentemente los residuos en verano.
- En invierno, la lluvia aumenta la humedad en los desechos desde el estado ideal y, por lo tanto, detiene el proceso de fermentación.
- No distribuir la temperatura uniformemente dentro del montón, y por lo tanto no hay esterilización de fertilizantes orgánicos.
- La propagación de olores en el medio externo y el aumento de la duración del tratamiento biológico.

Debido a los factores anteriores, la tendencia ha sido introducir un método de tratamiento cubriendo los residuos orgánicos durante el período de tratamiento con cubiertas, utilizando ventiladores que empujan aire hacia la pila, como se muestra en la fig.2.15, con el fin de obtener los siguientes resultados:

- Proteger los residuos orgánicos durante las etapas de tratamiento de los factores climáticos (sequía, lluvia y viento).
- No es necesario humedecer los residuos orgánicos, protegiendo así los recursos hídricos naturales.
- Prevenir la formación de lixiviados por aumento de humedad en los residuos por lluvia.

- Distribución de la temperatura dentro del montón, obteniendo así compostajes orgánicos estériles.
- Previene la propagación de malos olores y la reproducción de roedores e insectos dañinos.
- Reducir la duración del tratamiento biológico.

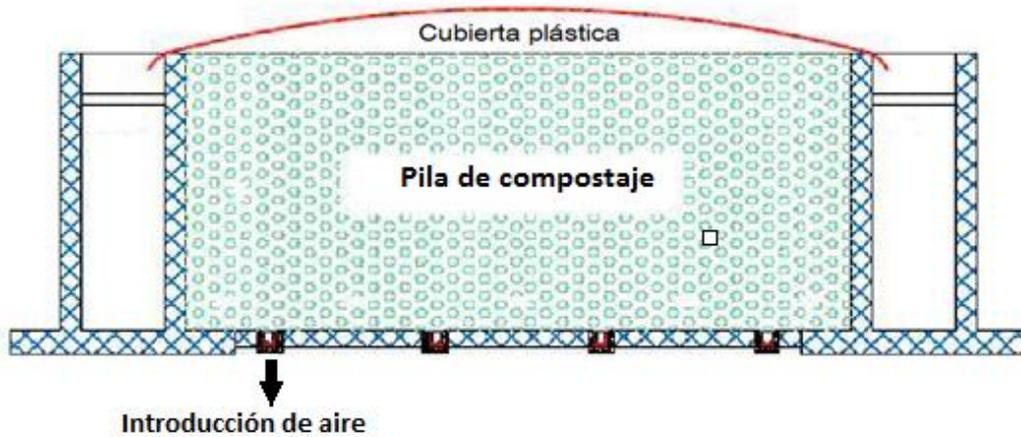


Fig.2.15. Cubrir pilas de compostaje



Fig.2.16. Vista general imaginaria de la planta de tratamiento mecánico y biológico

2.4 Los impactos ambientales potenciales de los escenarios y alternativas de soluciones propuestas para los proyectos de rellenos sanitarios municipales:-

2.4.1 Introducción:

Los impactos ambientales pueden variar (20) en:

- Tipo: normal, social, saludable o económico.
- Naturaleza: acumulativa, directa o indirecta.
- Magnitud o gravedad: alta, moderada y baja.
- Rango: global, regional o local.
- Tiempo: instantáneo / largo alcance.
- Duración: temporal / permanente.
- Incertidumbre: probabilidad baja / probabilidad alta.
- Reflectividad: reversible / irreversible.
- Importancia: * No Importante / Importante.

* El impacto significativo no está necesariamente relacionado con el tamaño del impacto, por ejemplo, puede ser un impacto muy pequeño pero es significativo siempre que sea posible para determinar la importancia de los impactos potenciales del proyecto propuesto, todos los factores anteriores deben tenerse en cuenta. Los impactos ambientales negativos generales derivados de una mala gestión de los residuos sólidos (18) de acuerdo con lo siguiente:

a) Contaminación visual:

Debido a la distribución aleatoria de vertederos alrededor de ciudades y pueblos, los vertederos incontrolados se convierten en lugares donde prevalecen el caos, la suciedad, los animales callejeros e insectos, además del hecho de que provocan una sensación de incomodidad con solo verlos o estar cerca de sus sitios.

b) Contaminación del aire:

Debido a las operaciones de quema aleatoria en las afueras de las ciudades, la quema indiscriminada de residuos municipales es muy dañina para la salud y el medio ambiente. Los dióxidos se forman a partir de la combinación de carbono, oxígeno, hidrógeno y cloro. La cantidad de dobles óxidos emitidos por el proceso de incineración de residuos municipales es mayor en comparación con las cantidades permitidas en los incineradores europeos, que ascienden a 6000 nanogramos/t de residuos incluyen dióxidos, que son compuestos químicos nocivos incluso si se encuentran en pequeñas cantidades. Los dióxidos se estabilizan en cultivos y luego en grasa (leche materna, carne, pescado y huevos), tiene propiedades cancerígenas y provoca disminución de la inmunidad, alteraciones de la capacidad reproductiva y daños en los sistemas nervioso y hormonal. Cabe señalar que la quema de 1 kg de residuos mediante el método de combustión externa al aire libre emite contaminantes equivalentes a la quema de 10 toneladas de residuos en incineradoras.



Fig.2.17. Quema indiscriminada y contaminación del aire

c) **Contaminación de vertederos:**

Los vertederos incontrolados son el medio más común de eliminar los desechos generados por los municipios de Libia.

Aunque el relleno sanitario generalmente se caracteriza como el más barato, pero es el método más contaminante en el caso de que no se tenga en cuenta la recolección y el tratamiento del lixiviado, ya que el lixiviado se genera como resultado de la entrada de humedad al relleno sanitario o al vertedero, ya sea a través de la lluvia, escurrimiento de agua o en forma de la propia humedad residual. No equipar los vertederos de residuos municipales con una capa aislante para garantizar la protección del suelo natural en el sitio de la contaminación conlleva grandes riesgos para el medio ambiente, especialmente las aguas subterráneas y las capas que transportan agua potable.

Los metales pesados como el mercurio, el cromo, el níquel, el plomo, el cadmio y el cobre se encuentran a menudo en los lixiviados, como resultado de los desechos peligrosos mezclados con los desechos municipales. Estos artículos son una gran preocupación para la salud de las personas que viven cerca de vertederos no planificados.

El gas de vertedero también es una fuente de riesgo adicional debido a la emisión de metano, dióxido de carbono con impactos climáticos y compuestos orgánicos cíclicos volátiles, que son tóxicos y / o cancerígenos.

El municipio de Misurata sufre en general de contaminación ambiental resultante de los siguientes puntos (13):

- La práctica generalizada de quemar residuos al aire libre genera más riesgos para la salud y el medio ambiente.
- La mezcla de desechos peligrosos y que causan enfermedades con los desechos sólidos urbanos y su tratamiento como una sola masa también genera graves riesgos para la salud y el medio ambiente.

- La presencia de grandes cantidades de escombros de establecimientos, viviendas, edificios públicos e infraestructuras.
- Acumulación de diversos tipos de desechos industriales y médicos peligrosos que contienen metales pesados.
- La quema al aire libre de los desechos emitió contaminantes al aire. Además de los impactos negativos sobre el suelo y las fuentes de agua subterránea. Lo que hace que la situación sea más peligrosa es la alta densidad de población en algunas áreas.
- Los impactos locales negativos resultantes de pequeños vertederos informales en las proximidades de áreas residenciales.
- Impactos locales negativos derivados de la falta de recogida de residuos, por insuficiencia de equipos disponibles.
- Un impacto negativo adicional es la contaminación de las aguas subterráneas, ya que muchos de los vertederos actuales están ubicados en terrenos con alta permeabilidad al agua y en las principales áreas de alimentación del reservorio de agua subterránea, y dado que actualmente no hay rellenos sanitarios adecuados en Misurata listos para trabajar, se espera en el futuro, que continúen muchos impactos ambientales negativos.

2.4.2 Los impactos ambientales potenciales del primer escenario: Alternativa cero - Vertedero no planificado: -

Los impactos ambientales negativos resultantes de la eliminación aleatoria de residuos son:

- Los gases liberados de los vertederos, el más importante de los cuales es el metano, y los gases cancerígenos.
- Se forma lixiviados y se carga con metales pesados y materia orgánica dañina, lo que conduce a la contaminación de las aguas subterráneas.
- La quema aleatoria y automática de residuos en el vertedero conduce a la formación de compuestos muy cancerígenos.
- Reproducción de insectos y animales nocivos.
- Forma malos olores y polvo.
- contaminación visual.
- Disminución del valor del uso del suelo, ya sea en el vertedero o en las áreas adyacentes.

2.4.3 Los impactos ambientales potenciales del segundo escenario: vertido de todos los residuos dentro del relleno sanitario:-

El método de vertido de residuos domiciliarios sin tratamiento previo ha demostrado ser ineficaz y que conlleva muchos problemas, el más importante de los cuales es el agua lixiviada que se forma en abundancia, especialmente durante la fase de formación de ácido, la liberación de gas metano y la pendiente del relleno sanitario como consecuencia de las reacciones que provocan la formación de huecos.

La mayoría de los posibles impactos negativos dependen de la medida en que el nuevo vertedero se gestione de acuerdo con las normas y especificaciones internacionales. Dado que el establecimiento de un relleno sanitario regular que cumpla con las especificaciones internacionales conducirá a la casi eliminación de todos los posibles efectos negativos.

Entre los buenos procedimientos que se deben seguir está el evitar por completo la quema de residuos en el relleno sanitario. Por lo tanto, el establecimiento de las nuevas celdas en el sitio elegido reducirá o incluso eliminará la mayoría de los efectos negativos mencionados en comparación con los vertederos actuales, que son el único medio de eliminación de desechos actualmente en Libia.

En la siguiente tabla se incluye un resumen de los tipos de contaminación más importantes resultantes del relleno sanitario propuesto para el tratamiento de los residuos domésticos provenientes de los núcleos de población, y las medidas de protección y tratamiento para eliminar o mitigar los efectos negativos de esta contaminación (19).

El tipo de contaminación	Medidas de protección y tratamiento sugeridas
Lixiviados	Aislamiento para el sector de relleno sanitario con lámina de polietileno y arcilla, así como recolección de lixiviados y tratamiento por evaporación en las balsas o por recirculación, es decir bombearlo de nuevo.
Bolsas y papeles volátiles	Compresión de residuos inmediatamente después de colocarlos y cubrir los residuos con una capa de suelo de 20 cm de espesor de forma continua.
Reproducción de roedores y animales	Fumigación constante de insecticidas que son inofensivos y naturalmente degradables a las áreas circundantes.
Olores	Los olores se forman dentro del vertedero como resultado de reacciones biológicas, por lo que el vertedero debe aislarse y los gases liberados deben recolectarse y tratarse mediante el método de incineración.
Gases	Se instalará una red de pozos de captación de gas y se llevará a cabo el proceso de quema de gas de liberación por completo.
Ruido	El ruido dentro de un vertedero no es una molestia debido a la presencia de un solo vehículo compactador de residuos en el vertedero.
Incendios	Las operaciones de relleno sanitario en forma de fardos, la clasificación previa de desechos orgánicos y materiales de reciclaje, y el proceso de recolección e incineración de gas convertirán un relleno sanitario en un área inactiva y, por lo tanto, no hay riesgo de incendio.

Tabla.2.1. Tipos de contaminación resultante de los rellenos sanitarios y medidas de protección y tratamiento propuestas

2.4.4 Los impactos ambientales potenciales del tercer escenario: clasificación mecánica de los residuos y luego verter el resto en el vertedero:

En el caso de un tratamiento mecánico, la contaminación resultante de un relleno sanitario se suma a la contaminación resultante del tratamiento mecánico (clasificación mecánica de residuos).

En la siguiente tabla se incluye un resumen de los tipos de contaminación más importantes resultantes de la propuesta de planta de tratamiento mecánico para el tratamiento de residuos domésticos, que consiste en el reciclaje de materiales y desechos, y las medidas de protección y tratamiento para eliminar o mitigar los efectos negativos de esta contaminación (19).

El tipo de contaminación	Medidas de protección y tratamiento sugeridas
Agua de filtración por tratamiento mecánico	Será recolectada y trasladada a la pileta de tratamiento.
Bolsas y papeles volátiles	Las operaciones de descarga de residuos se realizarán en una nave cerrada, por lo que no existe la posibilidad de que se dispersen papeles y residuos.
Reproducción de roedores y animales	Fumigación constante de insecticidas que son inofensivos y naturalmente degradables a las áreas circundantes.
Olores	Los olores se forman levemente durante las etapas de tratamiento, los residuos en esta etapa no se fermentan y por lo tanto no hay olor concentrado, además de que el aire y los olores son aspirados a la sala a través de extractores de aire y tratados con un filtro biológico.
Gases y polvo	Se instalará un filtro biológico para tratar los gases liberados de la sala de tratamiento mecánico además de recoger el polvo
Ruido	Que todas las operaciones técnicas se realicen dentro de la nave, mediante una rueda que no cause ruidos fuertes, solo puede haber un efecto indirecto en los trabajadores y por lo tanto se debe distribuir un silenciador a los trabajadores.
Incendios	Dotar a la planta de tratamiento de un sistema de extinción de emergencia, además de cilindros de extinción manual.

Tabla.2.2. Tipos de contaminación de la planta de tratamiento mecánico y medidas de protección y tratamiento propuestas.

La mayoría de los posibles impactos negativos mencionados dependen de la medida en que el nuevo centro se gestione de acuerdo con las normas y especificaciones internacionales. Dado que el establecimiento de un centro de tratamiento que cumpla con las especificaciones internacionales conducirá a la eliminación de todos los posibles efectos negativos, se supone y es seguro que el establecimiento y el funcionamiento de la estación de clasificación de residuos se basarán en las normas internacionales que prevén el vallado del sitio,

impermeabilizar el vaso e implantar aspectos para prevenir la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales y un sistema para tratar los gases resultantes para prevenir la contaminación del aire.

Se debe controlar el funcionamiento de la planta, incluido el proceso de entrada de residuos. Además, los residuos deben cubrirse a diario para evitar que se esparzan cuando sopla el viento, así como para evitar malos olores, incendios, ratas y otros insectos.

También vale la pena señalar que al recuperar materiales reciclables, podemos evitar la contaminación por extracción y refinación de petróleo.

2.4.5 Impactos ambientales potenciales del cuarto escenario: clasificación mecánica de desechos, luego conversión de materiales orgánicos en acondicionadores del suelo (fertilizantes) y luego vertido del resto en un relleno sanitario: -

En caso de tratamiento biológico, a la contaminación resultante del tratamiento biológico se sumará la contaminación resultante del relleno sanitario y la contaminación resultante del tratamiento mecánico.

En el siguiente cuadro se incluye un resumen de los tipos de contaminación más importantes resultantes de la planta de tratamiento biológico propuesta para el tratamiento de residuos domésticos constituidos por residuos orgánicos, y las medidas de protección y tratamiento para eliminar o mitigar los efectos negativos de esta contaminación (19).

El tipo de contaminación	Medidas de protección y tratamiento sugeridas
Lixiviados	Serán recolectados y transferidos a estanques de evaporación.
Bolsas y papeles volátiles	Las operaciones de descarga de residuos se realizarán en una nave cerrada, por lo que no existe la posibilidad de que se dispersen papeles y residuos.
Reproducción de roedores y animales	Fumigación constante de insecticidas que son inofensivos y naturalmente degradables a las áreas circundantes.
Olores	El método de tratamiento cerrado de residuos orgánicos se eligió para que los olores no se liberen a las áreas circundantes.
Gases	Los gases liberados por el tratamiento biológico no necesitan ser tratados debido al método cerrado propuesto.
Ruido	Solo ocurre durante el picado y triturado de residuos en el sitio, los trabajadores deben estar provistos de un silenciador
Incendios	Dotar a la planta de tratamiento de un sistema de extinción de emergencia, además de cilindros de extinción manual.

Tabla.2.3. Tipos de contaminación de la planta de tratamiento biomecánico y medidas de protección y tratamiento propuestas.

En este escenario también se puede evitar la contaminación por extracción y refinación de petróleo.

2.5 Criterios para evaluar los posibles impactos ambientales:-

El proyecto se enfoca en el uso óptimo y manejo adecuado de los recursos naturales. Los criterios importantes para evaluar los impactos ambientales de los proyectos de relleno sanitario y sus anexos incluyen los siguientes:

2.5.1 Impacto en el aire:-

El método de relleno sanitario afecta directamente al aire, ya que el método de relleno sanitario libera principalmente metano y dióxido de carbono. Como resultado del relleno sanitario, se formará metano, que tiene un efecto sobre el medio ambiente 21 veces mayor que el efecto del dióxido de carbono.

2.5.2 Impacto en los recursos hídricos:-

La protección de los recursos hídricos es de gran importancia debido a la escasez de recursos hídricos descubiertos hasta el momento y dado que el relleno sanitario puede afectar las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, esta contaminación será la más importante y uno de los problemas potenciales, pero los procesos de aislamiento propuestos son una de las ventajas que reducen la contaminación de las aguas subterráneas.

2.5.3 Impacto en plantas, animales y suelo:-

Como se conoce en la mayoría de los rellenos sanitarios, los insectos y roedores se reproducirán. Cubrir los desechos juega un papel importante en la prevención de la reproducción de insectos dañinos, además, el proceso de aislamiento evita la reproducción de roedores y animales grandes, pero también debe ir de la mano de la erradicación de estos insectos y roedores, mientras que los pájaros que se reproducen en los vertederos no encuentran espacio debido a que la materia orgánica está permanentemente cubierta.

2.5.4 Impacto en los usos de la tierra adyacente:-

La elección del vertedero sanitario y la estación de tratamiento en el antiguo vertedero incontrolado ayuda a reutilizar el vertedero incontrolado y rehabilitarlo desde el punto de vista ambiental, además de no utilizar nuevas áreas para el relleno sanitario, especialmente desde la propuesta. El área de relleno sanitario ya está contaminada como resultado de un vertedero incontrolado en el área.

2.5.5 Impacto ambiental en el trabajo humano:-

Los rellenos sanitarios afectan directamente a los seres humanos durante la clasificación manual aleatoria de desechos orgánicos e inorgánicos. Por lo tanto, se deben establecer reglas y equipos básicos para el tratamiento, como ropa especial, máscaras y guantes de plástico duro.

2.5.6 El impacto socioeconómico del proyecto:-

El tratamiento propuesto ayuda a eliminar los efectos negativos de la eliminación de desechos dentro de los vertederos incontrolados que rodean los complejos residenciales y las unidades administrativas. También ayuda en términos económicos y sociales, ya que los rellenos sanitarios brindan buenas oportunidades de trabajo.

El desarrollo e implementación de un relleno sanitario en el área de estudio afectará las actividades de los recicladores informales que trabajan en botaderos aleatorios o que recolectan desechos directamente de botaderos en el área del proyecto y tratan de desenterrar materiales reciclables, por lo que el primer paso será limitar el número de rebuscadores que laboran ubicados aleatoriamente en el relleno sanitario, reduciendo así las enfermedades y situaciones peligrosas que pueden ocurrir como consecuencia del mismo. Al mismo tiempo, las operaciones de los vertederos deben ajustarse para adaptarse al riesgo de accidentes derivados de la descarga de camiones o vehículos a presión.

El reciclaje de residuos en el área del relleno sanitario brindará muchas oportunidades laborales en la zona además de los resultados positivos del relleno sanitario y para el reciclaje de residuos desde el punto de vista ambiental y económico, especialmente que un relleno adecuado reduce la propagación de enfermedades y epidemias entre la población cercana a los vertederos informales.

2.5.7 Impacto ambiental en el paisaje:-

Los rellenos sanitarios, cuando el método de operación del relleno sanitario es el correcto, no constituye contaminación en cuanto al paisaje, ya que durante las etapas operativas, los residuos se depositan diariamente, lo que evita la propagación de bolsas de nailon, papel y cartón en las áreas circundantes.

2.5.8 Molestias y salud general:-

La propagación de gérmenes a través del viento, así como las enfermedades transmitidas por ratas, insectos o aves que se alimentan de estos desechos pueden tener un impacto directo en la salud pública, y dada la elección del vertedero generalmente en áreas que no corresponden a la dirección de los vientos dominantes, este efecto es muy pequeño además de que ejecutar el relleno según estándares internacionales hará que este impacto sea muy débil si no es inexistente.

Con respecto a las molestias diarios derivados del funcionamiento del relleno sanitario, como son el ruido, la propagación de polvo, olores e insectos, la distancia del relleno sanitario a las comunidades residenciales hará que este efecto sea nulo.

2.5.9 Movimiento de tráfico:-

Los impactos del tráfico se pueden dividir en dos grupos:

- Los efectos resultantes de la contaminación general de accidentes relacionados con la necesidad de transportar los residuos al vertedero.
- Efectos locales sobre la salud, la seguridad y la tranquilidad en aldeas y comunidades residenciales que no estaban previamente expuestas a este nivel de tráfico.

El potencial impacto social negativo de la carretera y el transporte de residuos al centro de tratamiento integrado es el siguiente:

- Aumento del tráfico, aumentando así los accidentes de tráfico.
- Ruido del tráfico.
- La basura se tira a lo largo del camino y el valor de la tierra disminuye.
- Uso de tierras de cultivo para ampliar la carretera.

2.6 Matriz de análisis de impacto ambiental: -

Mediante el estudio de los impactos ambientales resultantes del relleno sanitario, la planta de tratamiento mecánico de clasificación de residuos domiciliarios y la planta de tratamiento biológico de residuos orgánicos como se menciona en los párrafos anteriores, y evaluando la importancia de estos elementos, una matriz de análisis de impacto ambiental (19) se formó para cada etapa o componente del tratamiento de acuerdo con la siguiente tabla:

Impacto medioambiental											
Movimiento de tráfico	Salud pública y molestias	Olores y contaminación del aire	Impacto en el paisaje	Impacto económico y social	Impacto a los humanos	Impacto al uso de la tierra	Impacto a plantas, animales y suelo	Impacto a los recursos hídricos	Impacto al aire	Tipo de contaminación	Etapa de tratamiento
Efecto negativo como planta de tratamiento	+	+	+	-	+		*	-	-	Lixiviados	Tratamiento mecánico
	+		-		-		-			Bolsas y papel volátiles	
	-	-			-		-		*	Reproducción de roedores y animales	
	-	-			-		-		*	Olores	
	-	-			-		-			Gases	
	-	-			-		-			Ruido	
Efecto negativo como fuente sanitario	+	+	+	-	+		+		+	Incendios	Tratamiento biológico
		-						*		Lixiviados	
								-		Agua de lluvia	
	+		+	-	+		*	-	-	Bolsas y papel volátiles	
	+		-	-	+		*			Reproducción de roedores y animales	
	-	-		-	+		-		-	Olores	
	-	-			-		-		-	Gases	
	-	-			-		-			Ruido	
Efecto negativo como fuente sanitario	+	+	+	-	+		+		+	Incendios	Relleno sanitario
	-	-	-		-		-	+		Lixiviados	
		-			-		-	+		Agua de lluvia	
	+	-	+	+	+		+	-		Bolsas y papel volátiles	
	+		+	+	+		+			Reproducción de roedores y animales	
	+	-		-	*		-		+	Olores	
	+	+		-	*				+	Gases	
	-									Ruido	
+	+	+	+	+		+		+	Incendios		

Tabla.2.4. Matriz de análisis de impacto ambiental

+ Impacto alto

* Impacto medio

- Impacto bajo

Ø Impacto cero

De lo anterior, podemos concluir que los impactos ambientales más importantes que debemos tomar en consideración durante nuestra investigación son: la contaminación por lixiviados y la contaminación por emisiones gaseosas.

Capítulo tres: Estudio económico

3.1 Introducción:-

Hay algunos aspectos desatendidos de la vida económica que se imponen y aún no han entrado en el núcleo del análisis económico. Las universidades siguen estudiando economía como la ciencia que busca el uso óptimo de los recursos materiales y humanos con el objetivo de lograr el mayor beneficio posible o la satisfacción de las necesidades humanas al menor costo posible. El concepto de economía ha comenzado a cambiar y la comprensión clásica de la misma ya no está en consonancia con los requisitos del desarrollo de la actividad económica. Cuando volvemos a este concepto, encontramos que no toma en cuenta el aspecto ambiental de la actividad económica. Es decir, aquellos recursos que se evalúan críticamente en el mercado y se utilizan en el proceso productivo. Los recursos naturales no se consideran activos productivos, por lo que no se encuadran en el marco de uso óptimo [27], Estos recursos aún están excluidos del concepto de “uso óptimo”, y el término “menor costo” todavía significa el costo más bajo en relación con los factores productivos directamente involucrados en el proceso de producción. No se toman en cuenta las pérdidas ambientales y los costos sociales, es decir, los costos a nivel de la sociedad y la economía en su conjunto, lo que se denomina costos externos, por lo que al producir cualquier producto industrial, solo se cuenta como parte del costo el costo dentro del complejo industrial. Por ejemplo, en una producción industrial no se considera, desde el punto de vista económico, cómo se perdieron muchas toneladas de pescado en el lago o en el mar cercano a cambio de la contaminación producida por la producción de este producto o cuántas personas se vieron afectadas o enfermas como consecuencia de los gases o polvo liberados ¿Cuánto costará su tratamiento y cuál es la producción? pérdidas derivadas de la interrupción del trabajo debido a enfermedades, y cuánto es el daño causado a los cultivos, bosques y aire en los alrededores del complejo industrial.

Tampoco calcula los costes regionales o globales resultantes de las fábricas ubicadas en la cuenca mediterránea, por ejemplo, que afectan a las economías, recursos y habitantes de esta cuenca, ya sea por muerte de vida marina, contaminación atmosférica o de otro tipo, y no calcula el costo del aumento de dióxido de carbono que provoca un aumento de temperatura de la Tierra. Tampoco calcula el costo del aumento de CFC y monóxido de cloro que están provocando la ruptura de la capa de ozono. Estos costos que se consideran externos a la empresa, ya sean a nivel de un país o región específicos o a nivel global, quedan fuera de los cálculos económicos tradicionales.

3.2 El concepto de economía ambiental:-

La economía ambiental revisa cómo la actividad económica y la política económica afectan el medio ambiente en el que vivimos, ya que algunos procesos de producción dejan atrás la contaminación. Por ejemplo, las emisiones de las centrales eléctricas pueden provocar lluvia ácida y calentamiento global. Las decisiones de consumo en el hogar también afectan al medio ambiente; Por ejemplo, un mayor consumo puede provocar un aumento de los residuos que se envían a incineradoras y vertederos que contaminan el medio ambiente. Sin embargo, la contaminación no es una consecuencia inevitable de la actividad económica, las políticas medioambientales pueden obligar a las empresas contaminantes a depurar sus emisiones y animar a las

personas a cambiar su comportamiento. En general, estas medidas incluirán algunos costos; como los costos de instalación de equipos de control de la contaminación. Entonces, hay una compensación: un medio ambiente más limpio, pero altos costos económicos.

Las cuestiones centrales de la economía ambiental se relacionan con este compromiso; Si proteger el medio ambiente es caro, ¿cuánto deberíamos gastar en la lucha contra la contaminación? ¿Vale la pena eliminar la contaminación por completo o tenemos que aceptar un cierto grado debido a los beneficios económicos asociados con ella? Al tomar estas decisiones, ¿cómo evaluamos los beneficios que obtienen las personas de un medio ambiente menos contaminado?

De ahí que la evaluación de los desarrollos ambientales en las últimas décadas ha llevado a la creación de una nueva rama de la ciencia económica, que es la (economía ambiental), que definimos como “la ciencia que mide, con medidas ambientales, diversas teorías, analíticas y aspectos de la vida económica y tiene como objetivo mantener equilibrios ambientales que garanticen un crecimiento sostenible” (28).

La economía ambiental también se puede definir de otra manera como una rama de la economía que se ocupa del tema de la distribución óptima de los recursos naturales que proporciona el medio ambiente para el proceso de desarrollo humano. El medio humano puede definirse como el medio en el que una persona vive y obtiene de él los materiales necesarios para su supervivencia y desarrollo físico y cultural, construye su hogar y vacía los residuos resultantes de sus actividades diarias en él. Según esta lógica, los elementos de la economía ambiental son bienes económicos escasos, y la naturaleza no proporciona una cantidad suficiente de recursos ambientales para satisfacer las necesidades humanas, y no es gratuita incluso si es verdaderamente inagotable o la demanda es casi nula (21).

Algunos estudios (22) han identificado la naturaleza económica del problema ambiental a través de tres funciones:

- Función de daño ambiental: Incluye los gastos y costos incurridos por los elementos del ecosistema como resultado del deterioro de las condiciones ambientales y la ocurrencia de contaminación, tales como pérdidas a la salud humana, ausencia de trabajo, baja productividad, disminución de la fertilidad de la tierra, baja productividad, pérdidas de riqueza pesquera, pérdidas de turismo acuático, además por daños directos a proyectos productivos y agrícolas por contaminación.
- Función de tratamiento: Incluye los gastos que soporta la sociedad y unidades económicas para tratar y remover algunos de los efectos de la contaminación, incluyendo los costos de tratar el agua contaminada, depurar el aire y reducir la concentración de óxidos y gases que lo contaminan, los gastos de tratamiento y medicina ... etc.
- Función de los gastos preventivos: Incluye los gastos en que incurre el Estado o las administraciones públicas y sus elementos económicos con el fin de prevenir la ocurrencia de contaminación o hacerla dentro de los límites de niveles ambientalmente aceptables.

Es difícil calcular los costos reales del proceso de evaluación de impacto ambiental porque los proyectos importantes requieren una gran cantidad de estudios e informes asociados con el proyecto propuesto. En general, el tiempo y los costos

involucrados en el proceso de evaluación de impacto ambiental deberían disminuir cuanto más experiencia se gane en la práctica de ese proceso y se tenga mejor comprensión de los impactos ambientales asociados con los diferentes tipos de proyectos (23).

3.3 Métodos de evaluación del impacto ambiental de proyectos:-

3.3.1 Introducción al concepto de evaluación de impacto ambiental:-

Existen varias definiciones de evaluación de impacto ambiental, y en general se puede considerar una herramienta que especifica, pronostica y describe las ganancias y pérdidas del proyecto a establecer. Para que la evaluación sea exitosa, sus hallazgos deben ser comunicados de manera que la comunidad y los tomadores de decisiones puedan entenderlos, identificando los pros y los contras sobre la base de criterios de importancia para la comunidad afectada (24).

Así, se puede decir que el concepto de evaluación de impacto ambiental se basa en varios ejes (25), los más importantes de los cuales son:

- Recopilación de los distintos aspectos ambientales y estudio de sus impactos en la salud pública y el bienestar humano, ya sea de forma directa o indirecta.
- Traducir información descriptiva a valores monetarios, que expresen el grado de importancia de la decisión, ya sea rechazada o aceptada.
- Haga un seguimiento de si el proyecto ha cumplido con la legislación ambiental y revise el proceso de inclusión de los costos ambientales en los estados financieros del proyecto.

La evaluación de impacto ambiental, es un proceso organizado de identificación, anticipación y evaluación de los impactos ambientales de las acciones y proyectos propuestos, proceso que se realiza como un preestablecido de decisiones y compromisos importantes.

El medio ambiente en su sentido amplio que incluye impactos culturales, sociales y de salud es una parte integral de la evaluación de impacto ambiental. En la práctica, el proceso de evaluación ambiental tiene como objetivo prevenir o mitigar los impactos ambientales negativos del proyecto.

La evaluación del impacto ambiental reduce la carga de los impactos ambientales del trabajo de desarrollo y promueve el desarrollo sostenible. Estos impactos ambientales pueden llegar a ser complejos y grandes, y algunos de ellos no muestran sus consecuencias hasta más de treinta años después de la realización del proceso de evaluación de impacto ambiental. Como resultado, la evaluación de impacto ambiental ha adquirido una gran importancia como herramienta de toma de decisiones en los procesos de desarrollo.

Esta función fue definida formalmente por el Principio No. 17 de la Declaración de Río sobre Desarrollo y Medio Ambiente de 1992 (26), que establece: “La evaluación del impacto ambiental es una herramienta nacional que debe realizarse para las actividades propuestas que probablemente tengan un impacto claro en el medio ambiente y están sujetos a la decisión de la autoridad nacional. Competentes”.

En la práctica, una evaluación de impacto ambiental se realiza con el objetivo de prevenir o reducir los posibles impactos negativos de los proyectos de desarrollo, como centrales eléctricas, proyectos de presas, embalses, instalaciones industriales... etc. Por otro lado, este proceso se puede utilizar como una herramienta de planificación al incorporar consideraciones ambientales en todos los proyectos de desarrollo propuestos.

En particular, la evaluación de impacto ambiental de políticas y planes se enfoca en niveles más altos de toma de decisiones, cuando es mejor considerar el medio ambiente en alternativas y opciones de desarrollo.

La evaluación de impacto ambiental también se define como un estudio predictivo de proyectos o actividades de desarrollo con un potencial impacto ambiental para identificar las alternativas disponibles, evaluar su impacto ambiental, elegir las mejores alternativas con impactos ambientales menos negativos y proponer medios para mitigar o reducir los impactos ambientales negativos. Y también es el estudio que se realiza para determinar los impactos ambientales potenciales. O que surjan del proyecto y los procedimientos y medios adecuados para prevenir o reducir los efectos negativos y lograr o aumentar los retornos positivos del proyecto sobre el medio ambiente de acuerdo con las normas medioambientales vigentes (27).

La evaluación de impacto ambiental tiene como objetivo evaluar las alternativas presentadas a cualquier proyecto de desarrollo, ya que cada una de esas alternativas tendrá un costo y un beneficio económico además de los impactos ambientales (negativos y positivos). Por supuesto, debe haber un proceso de conciliación entre los pros y los contras, mediante el cual los impactos ambientales negativos puedan reducirse a expensas del costo del proyecto y, por otro lado, los beneficios económicos puedan mejorarse a un costo ambiental menor. Además, la evaluación de impacto ambiental trata de ponderar los impactos ambientales en pie de igualdad con los costos y beneficios económicos, en una evaluación integral del proyecto. Esto ayuda a los tomadores de decisiones a no perder de vista las consecuencias ambientales de las decisiones que toman (28).

3.3.2 Métodos de evaluación del impacto ambiental de proyectos:

Hay muchas formas en que se evalúan los impactos ambientales de los proyectos, dependiendo de la base o enfoque del que dependan, además de la magnitud del impacto ambiental de cada proyecto, ya que existen tres metodologías:

- a. Los métodos que utilizan precios de mercado para evaluar el impacto ambiental son de dos tipos:-
 - a.1 Métodos técnicos que utilizan precios de mercado para evaluar cambios en la productividad:
 - a.1.1 Método de cambio de productividad derivado del establecimiento del proyecto.
 - a.1.2 El método de pérdidas y ganancias.

- a.2 Métodos técnicos en los que se utilizan los precios de mercado para evaluar los costos:
 - a.2.1 Método de análisis de rentabilidad.
 - a.2.2 Método de gastos preventivos.
 - a.2.3 Método de costo de oportunidad.
- b. Métodos para utilizar alternativas de precios de mercado para estimar un valor monetario del impacto ambiental:
 - b.1 Cómo utilizar la compra y venta de productos básicos como alternativas medioambientales.
 - b.2 Método del costo de sustitución.
 - b.3 Método de reubicación de costos.
 - b.4 Método de proyectos en sombra.
- c. Método de costo / beneficio.

Revisaremos estos métodos con un pequeño detalle de la siguiente manera:

a) Métodos para utilizar los precios de mercado para evaluar el impacto ambiental:

a.1) Métodos técnicos que utilizan precios de mercado para evaluar cambios en la productividad:

Este método aborda directamente los impactos sobre la calidad del medio ambiente, o sobre la sostenibilidad de los elementos renovables de los recursos naturales, que se reflejan en los cambios en la productividad de los sistemas naturales que los contienen, o los cambios en la productividad que se convierten en valores utilizados en la evaluación ambiental (29).

a.1.1) Método de cambio de productividad derivado del establecimiento del proyecto:

Los métodos de cambio en la productividad se consideran una expansión directa del uso de precios de mercado, ya que los cambios naturales en la producción se evalúan usando precios de mercado para insumos y productos (o cuando hay inestabilidad con un ajuste adecuado a los precios de mercado) y los valores monetarios calculados. A su vez se suman al análisis económico del proyecto, este enfoque depende directamente de la teoría moderna del bienestar económico, y de la definición de bienestar social.

Hay varios pasos necesarios para utilizar este método (30):

- Se debe determinar el impacto en la productividad del proyecto, ya sea interno o externo.
- Los impactos en la productividad deben ser evaluados críticamente y medidos dentro y fuera del proyecto, incluso en el caso de proyectos alternativos, la elección debe mantenerse en su ausencia, para poder distinguir el cambio resultante.
- Se deben hacer suposiciones sobre el tiempo necesario para los cambios en la productividad, los precios correctos que utilizó y los cambios esperados en los precios a lo largo del tiempo.

a.1.2) Método de pérdida de ganancia:

El método de pérdida-ganancia es similar al método de cambio en la productividad, excepto que utiliza la productividad humana (productividad basada en su capacidad

para realizar el trabajo, y la consecuencia de su salud e integridad física) como una medida de los impactos ambientales, examinando las ganancias perdidas y los costos requeridos desde el momento de la degradación ambiental, y este método también se conoce como método Capital humano o método de ganancia pasiva (31).

Al evaluar la vida de una persona, evitamos asignar valores monetarios a la vida y los costos psicológicos de la enfermedad o la muerte. Este método examina las ganancias pérdidas y los costos de atención médica que resultan de impactos ambientales negativos (como aire, agua contaminada o ruido). La mayoría de las personas estarán de acuerdo en que los principales costos de la infección por gripe son para un período de tres días fácil de determinar (pérdida de salario + costos médicos), pero cuando la enfermedad se extiende a semanas, meses, años o la enfermedad termina con la muerte, es difícil calcular los costos totales y en general los impactos ambientales se evalúan utilizando el método de pérdida-ganancia, cuando la enfermedad es por un período relativamente corto, es intermitente y no deja efectos negativos a largo plazo, mientras que es difícil de rastrear enfermedades crónicas que conducen a la muerte.

a.2) Métodos técnicos en los que se utilizan los precios de mercado para evaluar los costos:

a.2.1) Método de análisis de rentabilidad:

El análisis de costo-efectividad es apropiado para algunos tipos de programas sociales, como los que se ocupan de la salud y la población.

El primer paso en el análisis de rentabilidad es decidir el objetivo a alcanzar y luego establecer la escala de acuerdo con los niveles apropiados, por ejemplo, si el nivel objetivo es lograr una tasa de emisión de no más de 100 ppm para la producción o para el tipo de planta a establecer, y existen tres alternativas tecnológicas (Según la información contenida en la siguiente tabla) (32):

Alternativas	Costos de equipo (millones de \$)	Escala de tasa de emisión (ppm)
A	50	98
B	15	135
C	25	105

Tabla.3.1. Resultados hipotéticos del análisis de rentabilidad

La alternativa "A" es la única que cumple con el estándar requerido. La alternativa "B" es la más barata en costos de equipo, pero no cumple con el estándar requerido. La alternativa "C" representa el problema. Cuesta la mitad de lo que cuesta "A" y al mismo tiempo un poco más que el estándar requerido, entonces, ¿cuál de las alternativas es mejor?

Un método agresivo podría elegir utilizar "A" incluso si la alternativa tecnológica "C" ahorra \$ 25 millones, ¿es un aumento en la escala o estándar de emisión igual a la disminución en los costos?

Por lo tanto, el análisis de costo-efectividad debe presentar todas las alternativas para el tomador de decisiones y el analista ambiental y económico, ya que la elección depende de cuáles son los riesgos potenciales del nivel de emisión más alto y, por lo tanto, la cantidad que la sociedad puede pagar y recibir. un cierto nivel de emisión. Aquí surge el hecho de que controlar el 100% de los contaminantes suele ser

imposible, y que tampoco es posible controlar los costes que equilibran el 100% de los rendimientos del proyecto.

a.2.2 Método de gastos preventivos:

El método de gastos preventivos es una estimación personal de la calidad más baja del valor ambiental, donde la estimación se hace a veces con personas que aceptan asumir los costos de prevenir o mitigar los efectos negativos sobre ellos mismos o el medio ambiente, este enfoque se conoce como el método (gastos preventivos) o los gastos de mitigación o mitigación ambiental. Este método le da la estimación más baja debido a dos factores: que los gastos reales se definen por los ingresos y que puede haber una cantidad adicional de excedente del consumidor a pesar de incurrir en gastos de protección. Si bien encontramos que el método de costo-efectividad prueba los costos directos que son necesarios para algunas metas o estándares formalmente definidos, mientras que el método de gastos preventivos prueba los gastos reales para determinar la importancia que una persona le da a ciertos impactos ambientales, lo cual es un aspecto subjetivo. Estimación por un lado, y una capacidad personal por otro lado (33).

a.2.3 Método de costo de oportunidad:

El método del costo de oportunidad se basa en el concepto de costo de oportunidad para utilizar recursos sin precio y sin precedentes (por ejemplo, la preservación de la tierra para su uso como jardín público en lugar de la tala para su uso en construcción o carpintería). Se puede estimar utilizando como alternativa los ingresos anteriores de la misma fuente, y este método también mide todo lo que debe quedar a cambio de la conservación de la tierra y no mide los beneficios de conservarla para otros usos, por lo que la oportunidad El método de costo es una medida del costo de conservación, toda esta información se utiliza para evaluar las opciones disponibles para los tomadores de decisiones (34).

b) Métodos para utilizar alternativas de precios de mercado para estimar un valor monetario del impacto ambiental:

b.1) Cómo utilizar la compra y venta de productos básicos como alternativas medioambientales:

A veces nos encontramos con situaciones en las que encontramos que el servicio ambiental es un bien incompleto, reemplazado por un bien privado que se puede vender y comprar, por ejemplo, las piscinas privadas pueden verse como alternativas a lagos limpios o arroyos de agua, o se consideran jardines privados, alternativas a los jardines públicos, y a través de estas sustituciones se puede concluir los beneficios del aumento en la oferta de bienes ambientales como el jardín público, al señalar la falta de compra del bien privado, y dado que los dos commodities son alternativos y de manera similar, el nivel de bienestar de los usuarios no se ve afectado en gran medida (35).

Con el reemplazo completo, el problema disminuye, para ser representado en una identificación cuidadosa de la situación y los cambios controlados en el gasto en bienes privados y sus causas, y luego los jardines privados pueden definirse como alternativas a los jardines públicos, pero no están completos, porque La medida del

impacto del cambio en la oferta de los parques públicos al gasto en jardines privados puede generar un problema de definición, no se puede superar (36).

b.2) Método del costo de sustitución:

Por lo general, la contaminación ambiental da como resultado daños a varios activos y recursos, por ejemplo, tierras agrícolas y bienes raíces. En tal caso, estos impactos se pueden estimar económicamente calculando los costos de reemplazar el activo afectado o devolverlo a su estado inicial. Este método se basa en una serie de supuestos, el primero se refiere a la naturaleza y el alcance de los daños materiales, que deben ser predecibles. También supone que existe la posibilidad de estimar los costos de reemplazo o restauración con un nivel razonable de precisión.

Además, este método asume que esos costos son casi apropiados a los costos del daño ambiental, es decir, se asume que los costos de reemplazo o restauración no excederán el valor económico del activo en sí, lo cual es una suposición que no es correcta en todos los casos.

b.3) Método de reubicación de costos:

El método de los costos de reposicionamiento es diferente del método del costo de reemplazo, en el caso de la redistribución. Los costos reales de reemplazar un activo natural debido a un cambio en la calidad del medio ambiente se utilizan para evaluar los posibles retornos y costos asociados con la prevención del cambio ambiental. Por ejemplo, el establecimiento de una almazara dará como resultado un aumento en el uso de una fuente cercana. Uno de los costos ambientales asociados con esa pérdida es la necesidad de volver a poner el agua derramada para uso doméstico que está aguas abajo, y si el agua utilizada no se compensa a pesar de la instalación de dispositivos de tratamiento adicionales, se convierte en un ejemplo de costos preventivos.

b.4) Método de proyectos en sombra:

Los proyectos en sombra son los proyectos que se pueden emprender para abordar un problema ambiental específico, y el método de los proyectos en sombra difiere del método de los costos de reemplazo o restauración, en que el primero se ocupa de los activos que han sido dañados como resultado de un problema ambiental, mientras que el método de proyectos en la sombra se enfoca en reemplazar los servicios ambientales que se han perdido como resultado de los daños que afectan activos ambientales o físicos específicos. Por ejemplo, si un lago se contamina como resultado de la disposición de aguas residuales en él, significa la pérdida de los servicios que brinda el lago, y estos servicios incluyen la posibilidad de disponer en él de agua de drenaje agrícola a tasas adecuadas, proporcionando un ambiente adecuado para las aves migratorias, así como un área de cría para los peces de agua dulce. Como resultado de la contaminación del lago, no es capaz de realizar estas funciones, ya sea total o parcialmente, Por lo tanto, se puede desarrollar un proyecto integral. para un proyecto destinado a rehabilitar el lago y devolverlo para que vuelva a realizar sus diversas funciones, y los costos del hipotético proyecto representan el proyecto sombra (37) que refleja la valoración económica del lago así como los trabajos que realiza.

c) Método de costo / beneficio:-

El enfoque de costo / beneficio es un análisis exhaustivo y breve de los diversos métodos antes mencionados, mediante la ordenación de los proyectos de acuerdo con el grado de sus impactos negativos o positivos en el medio ambiente, donde los daños ambientales son costos que se calculan dentro de los costos del proyecto, y ambientales positivos. Los efectos son rendimientos calculados a partir de los rendimientos del proyecto (38). Se calculan todos los rendimientos y costos. Se puede obtener el valor presente y el mejor proyecto ambiental es aquel cuyo valor actual neto después de calcular todos los costos y rendimientos es mayor que el valor presente neto de los proyectos alternativos. Y hablaremos de ello en detalle en los siguientes párrafos.

3.4 Concepto de análisis de costo / beneficio incremental:-

La teoría de costo / beneficio surgió en las décadas de 1930 y 1940 a través de (Hicks) y (Kaldor) y la Ley Federal de Navegación "Flood Control Act" de 1936 en los Estados Unidos de América surgió en respuesta a esta teoría que estipulaba que para justificar la financiación de proyectos financiados centralmente (a nivel federal) Los beneficios que se deriven de ellos deben superar sus costos, y haber establecido un criterio claro para la toma de decisiones en todos los casos que asuman que alguien se beneficia de medidas destinadas a proporcionar bienes públicos (como aire , suelo no contaminado y aguas subterráneas limpias) de forma gratuita para el público considerando el grado del presupuesto entre los beneficios y costos necesarios para proporcionar el producto básico al público (39).

Aplicamos el concepto de análisis de costo / beneficio en estudios económicos de proyectos de beneficio público, y esta herramienta se usa a menudo para apoyar la decisión relacionada con proyectos de beneficio público financiados con fondos públicos, como hospitales gratuitos, parques, instalaciones recreativas, carreteras, represas, puentes, tribunales, escuelas, prisiones o muchas otras formas.

Los proyectos de beneficio público se caracterizan por grandes inversiones, estimaciones de larga duración y falta de ganancias. Porque los beneficios de estos proyectos llegan a la población de forma gratuita. Y puede estar asociado con algunos resultados indeseables, por lo que los proyectos son de naturaleza controvertida y pueden atraer la atención de los medios de comunicación en función de la presencia de partidarios y opositores.

Los costos en estos proyectos consisten mayoritariamente en elementos de construcción, y estos pueden predecirse con alta confiabilidad, en cuanto a los costos futuros de operación y mantenimiento, son conocidos en menor medida y deben estimarse mediante la adopción de métodos de pronóstico.

En cuanto a los beneficios, en ocasiones es difícil evaluar su impacto económico y llegar a un acuerdo sobre ellos debido a las dificultades relacionadas con la posibilidad de estimar los beneficios en términos monetarios, y ante la presencia de beneficios negativos no deseados en algunos casos, ya que puede provocar el desarrollo de algunos proyectos (tales como: infraestructura, transporte, sistema de gestión de residuos, etc.) producción o distribución de electricidad, etc.), efectos positivos como el desarrollo económico local y regional, la reducción de la pobreza y la reducción de la contaminación. Pero también puede tener impactos negativos como la demolición

de propiedades, el desplazamiento de la población, la expropiación de tierras, el ruido y el cambio ambiental.

Un análisis de costo / beneficio muestra que debe introducirse un programa específico de control de la contaminación si la suma de los beneficios esperados de su implementación es mayor que la suma de sus costos esperados.

Gastar en un programa gubernamental específico para combatir la contaminación tiene implicaciones importantes, entonces, ¿el programa gubernamental para combatir la contaminación genera beneficios para la sociedad que superan sus costos? Si es así, entonces el programa ha pasado la primera prueba de aptitud. Entonces nos preguntamos: ¿Cómo nos comparamos entre este programa y otros programas, que todos pasaron las pruebas de aptitud? Es decir, ¿cómo elegimos entre los diferentes programas para que la elección sea económicamente racional (40), y cuál es el tamaño óptimo de contaminación a la luz de una asignación específica de recursos? El método de Análisis Incremental de Costo / Beneficio nos ayuda a encontrar respuestas a las preguntas anteriores. ¿Cómo vamos a evaluar el beneficio relacionado con la mejora de la calidad del aire? No hay duda de que la reducción de emisiones mejora la calidad de vida de las personas, en términos de mejora de la salud y visión, reducción de daños materiales,... etc.

Podemos buscar evaluar el beneficio logrado estimando el beneficio midiendo la disposición de las personas a pagar por una mejor calidad del aire, ya que esto les ahorra costos de otro tipo. Considerando que, por ejemplo, no es prácticamente posible buscar un mercado para el aire fresco, pero si examinamos el comportamiento de los individuos, podemos notar que en realidad están cediendo algunos de sus recursos a cambio de mitigar los efectos del aire contaminado que los rodea, gastando dinero en la compra de un filtro de aire para evitar la exposición a la contaminación atmosférica.

El análisis de costo-beneficio responde a la siguiente pregunta: Si una política en particular reduce la contaminación del aire en un cierto porcentaje, ¿los beneficios resultantes de esta política exceden los costos totales involucrados en su implementación? Para responder a esta pregunta, presentaremos en la siguiente figura un caso hipotético de análisis del costo de la gestión de la contaminación atmosférica en áreas urbanas con los beneficios que obtendremos como resultado de la gestión y tratamiento de la contaminación (41).

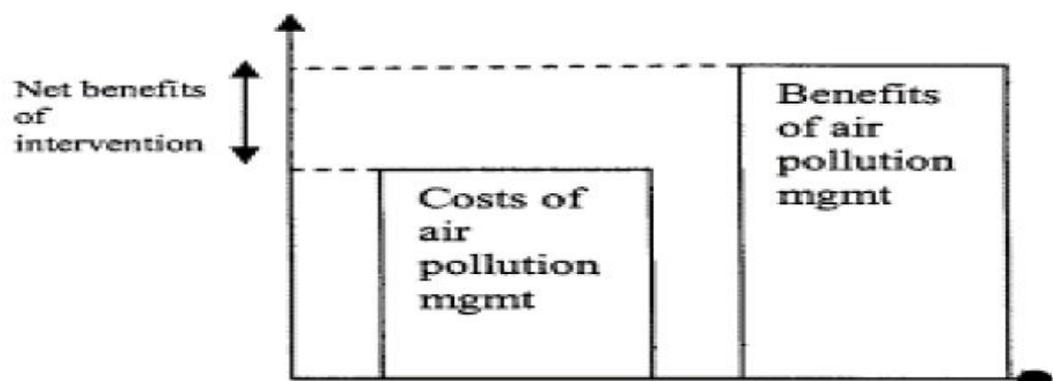


Fig.3.1. Diferencia entre costo y beneficio (41)

Observamos en la figura que los costos de manejo de la contaminación del aire son menores que los beneficios derivados de la reducción de muertes y enfermedades y menores costos de tratamiento de salud, y por lo tanto la finalización del proyecto proporciona a la comunidad retornos que exceden sus costos.

En otras palabras, para que los funcionarios tomen la decisión de completar un proyecto de gestión de la contaminación del aire, los beneficios deben exceder sus costos (como en el figura).

3.5 Criterios para el análisis de costo / beneficio:-

El criterio de análisis de costo-beneficio es uno de los criterios utilizados para elegir entre alternativas a los proyectos propuestos sobre la base de una comparación entre estimaciones de gastos y rendimientos de estas alternativas, y el análisis de costo-beneficio requiere la deducción de todos los valores monetarios. a ser formulado en forma de valor presente o equivalente anual equivalente.

Para considerar cómo se derivan las fórmulas de comparación de acuerdo con el análisis de costo-beneficio usando el método de valor presente que elegimos para trabajar en consecuencia, comenzamos calculando el valor presente del costo en el proyecto propuesto (PVC) "Present Value of Cost" usando la siguiente relación matemática:

$$PVC = \sum_{t=0}^T \frac{Ct}{(1+d)^t}$$

Dónde:

PVC: valor actual de los costes.

Ct: Gasto del proyecto por año.

T: Años de funcionamiento del proyecto.

d: La tasa de descuento.

t: tiempo en años.

El valor actual neto está determinado por la diferencia:

$$NPV = PVB - PVC$$

Donde:

PVB: Valor presente de los beneficios.

NPV: valor presente neto.

O la relación utilizada en la metodología de costo / beneficio se determina por valor:

$$\Delta B / \Delta C = \Delta PVB / \Delta PVC$$

Si hay más de un proyecto que se puede implementar, la elección entre estos proyectos se hace comparando la tasa de aumento en el beneficio con el aumento en el costo.

Si $\Delta B / \Delta C > 1$, entonces los retornos del proyecto son mayores que sus gastos y, en consecuencia, es un proyecto eficiente que trae un retorno a la sociedad y contribuye a incrementar su nivel de bienestar.

Si $\Delta B / \Delta C < 1$, entonces los gastos del proyecto son más que sus ingresos y no logra un retorno a la sociedad, sino que contribuye al agotamiento de su riqueza y, por lo tanto, se vuelve inaceptable.

Si hay varios proyectos que cumplen con esta condición, no es necesariamente el proyecto que logra el mayor valor para la relación $B / \Delta C$ es el mejor proyecto, porque el método beneficio / costo da la relación costo-beneficio y no solo una medición directa del beneficio inherente a cada proyecto (42).

En aras del proceso de comparación se aplica el método de análisis de incremento beneficio / costo, o la denominada comparación bilateral entre alternativas excluyentes, que trabaja para excluir las alternativas inapropiadas hasta llegar a la mejor alternativa según los siguientes pasos (43):

- i. Ordenamos las alternativas según su costo en orden ascendente en función del costo inicial, y consideramos que la alternativa menos costosa es la primera alternativa que llamamos la alternativa (defensora), y se compara con la siguiente alternativa en el orden ascendente que llamamos la alternativa (desafiada).
- ii. Calculamos las diferencias de costo / beneficio entre la alternativa defensora y desafiada.
- iii. Atribuimos las diferencias de beneficio a la diferencia de costo. Si el resultado es mayor que uno, entonces la alternativa desafiada es la ganadora. De lo contrario, la alternativa defensora es la ganadora en esta etapa de la comparación.
- iv. A la alternativa ganadora la llamamos alternativa defensora.
- v. Volvemos al cálculo de las diferencias de costo-beneficio entre la alternativa ganadora de la comparación anterior (defensora) y la siguiente alternativa en orden ascendente (desafiada).
- vi. Repetimos los pasos ii, iii y iv para comparar las diferencias de costo entre la alternativa de defensa y la última alternativa en orden ascendente.

La siguiente figura muestra el diagrama sistemático del proceso de comparación bilateral:

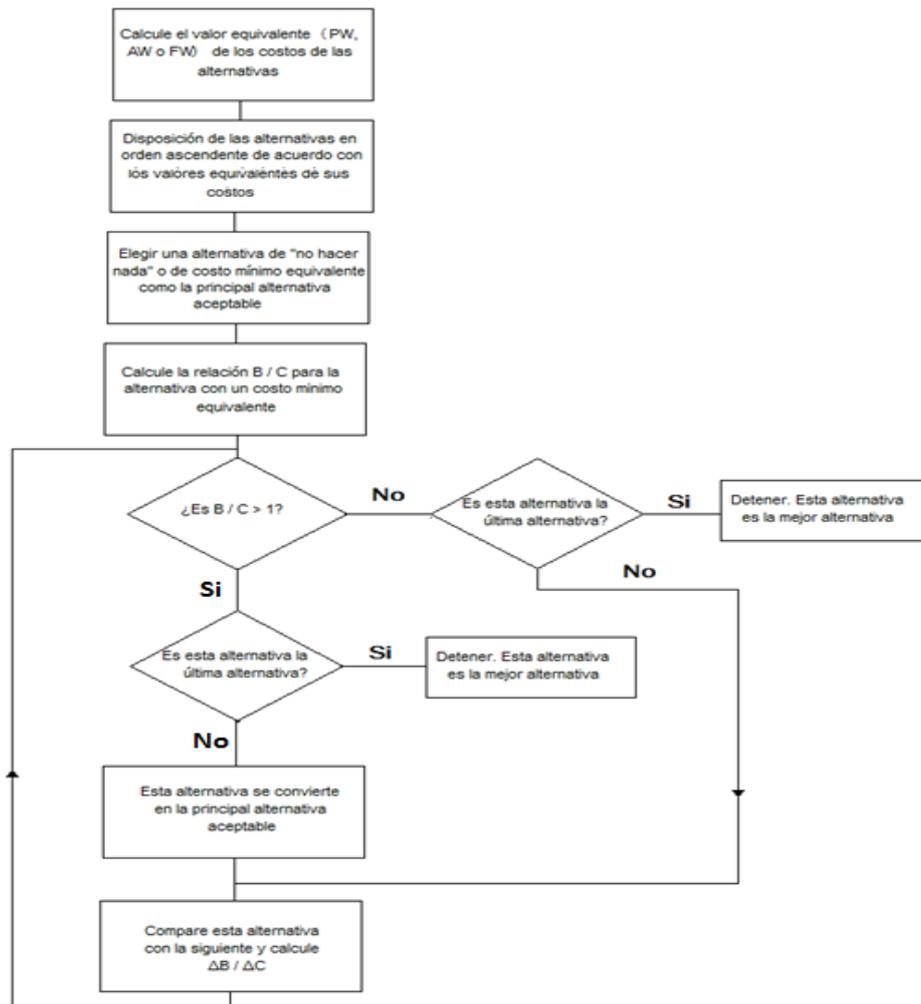


Fig.3.2. diagrama sistemático del proceso de comparación bilateral

3.6 Pasos del análisis de costo / beneficio: -

- i. La mayoría de los estudios indicaron que el análisis de costo-beneficio de los proyectos de inversión se realiza siguiendo los siguientes pasos (44)
- ii. Definir escenarios y un conjunto de opciones alternativas para el proyecto.
- iii. Determine quién se hará cargo de los beneficios y quién correrá con los costos.
- iv. Evaluación de impacto y selección de indicadores de medición.
- v. Previsión de impactos cuantitativos durante la vida del proyecto.
- vi. Determina el valor monetario de las reliquias.
- vii. Determine beneficios y costos.
- viii. Calcule el valor actual económico neto del proyecto.
- ix. Análisis de sensibilidad.
- x. Tomar una decisión.

3.7 Ventajas y desventajas del análisis de costo / beneficio: -

Aunque el método de la relación costo / beneficio está bien establecido como el método utilizado por la mayoría de las agencias gubernamentales para evaluar proyectos del sector público, el análisis costo / beneficio tiene muchas ventajas y no está exento de inconvenientes, como otras herramientas financieras.

3.7.1 Ventajas (45):-

- El análisis permite llevar el proyecto a un punto en el que se puede tomar una decisión sobre si el proyecto continuará o no.
- El análisis aumenta la conciencia de los diversos aspectos del proyecto que deben tenerse en cuenta al estudiar el proyecto, ya que pueden surgir nuevos temas y temas durante la realización del análisis.
- Puede evitar errores costosos o resaltar costos imprevistos.
- Un análisis bien hecho identifica el punto en el que los retornos y los costos son iguales, o cuando el proyecto comienza el período de recuperación de lo que desembolsó.
- El análisis de costo-beneficio ayuda a obtener una decisión de proyecto, especialmente si el proyecto es el único que no puede aprobarse de otra manera.

3.7.2 Inconvenientes:-

El método de la relación costo / beneficio ha sido ampliamente criticado a lo largo de los años. Entre estas críticas (46):

- Usar este método como una herramienta para las justificaciones posteriores a la implementación del proyecto cuando realmente se implementa, en lugar de para evaluar el proyecto, cuando los proyectos públicos son evaluados por partes que adoptan opiniones firmes sobre la viabilidad de estos proyectos.
- No tener en cuenta la distribución desigual de los costos y beneficios del proyecto. Se puede tomar un ejemplo más realista de impactos distributivos negativos del proyecto de construcción de una planta química en la ciudad "A". Esta fábrica dará empleo a cientos de trabajadores en una región económicamente deprimida. Sin embargo, desde el punto de vista de otro grupo de ciudadanos, conducirá a la producción de productos peligrosos que podrían contaminar las aguas del río vecino, que abastece a la mayoría del agua potable al pueblo vecino "B". Por lo tanto, se puede decir que los beneficios de este proyecto son los puestos de trabajo adicionales y el apoyo a la economía local de la ciudad "A". Sin embargo, "B" asumirá los costos adicionales del tratamiento del agua y sus residentes se volverán más vulnerables a la salud. riesgos a largo plazo. Desafortunadamente, el análisis de costo / beneficio muestra el impacto financiero neto del proyecto sin prestar atención al tema de la desigualdad en la distribución.

Campen (47) ha señalado que "el núcleo común de estas críticas no es el hecho de que el análisis costo-beneficio se utilice para justificar casos específicos, sino en su

presentación como un método de análisis científico y neutral, para que el análisis sea imparcial y confiable, debe basarse en una evaluación precisa y confiable de todos los beneficios y costos asociados con él" Por lo tanto, el análisis debe ser realizado por un grupo neutral o por un grupo que incluya representantes de todos los grupos involucrados en el tema (48).

Además de lo anterior, se toman los siguientes puntos para el análisis de costo / beneficio (49):

- En ocasiones, se considera que el análisis de costes / beneficios es una simplificación excesiva de los costes.
- La viabilidad de un proyecto puede variar mucho según los límites que se hayan establecido y las métricas y supuestos que se hayan utilizado durante la vida del proyecto.
- Es necesario valorar los costes y beneficios intangibles, lo que a menudo genera controversias cuando llega el momento de aprobar un proyecto.
- El conocimiento es incompleto, ya que es difícil cuantificar los retornos o costos intangibles.
- La mayoría de los rendimientos esperados de un programa gubernamental para tratar la contaminación mostrarán sus efectos durante un largo período de tiempo y, en consecuencia, se debe realizar un descuento para determinar el valor presente de los rendimientos futuros esperados.
- Los rendimientos esperados de un programa gubernamental específico están sujetos a un grado diferente de incertidumbre.

Capítulo cuatro: Estudio de caso

4.1. Introducción:-

En los dos últimos capítulos se estudiará la propuesta presentada por la Academia Libia en Misurata en colaboración con el Ayuntamiento, Aplicaremos la metodología costo / beneficio a este proyecto dentro de esta área con la introducción del ciclo de vida del proyecto y los flujos de efectivo en las cuentas con el fin de determinar la mejor alternativa, y trabajaremos para identificar las variables críticas que conducen a un cambio en los escenarios de las soluciones propuestas analizando su sensibilidad.

4.2 Ubicación y población:-

El sitio propuesto está ubicado a 30 km desde y hacia el sur del centro de la ciudad, en cuanto a la población de la ciudad, la última estadística indica que la cifra llegó a 664 mil personas que viven en la ciudad (50).

Fue necesario buscar predecir el desarrollo de la población durante la vida del proyecto para poder estimar la evolución de las cantidades de residuos sólidos urbanos, por lo que en la Tabla.4.1 el porcentaje de crecimiento poblacional de 2021 a 2050 se aclaró sobre la base de los datos de crecimiento de la población desde 1980 a 2019 tomados de la base de datos del Banco Mundial (51) y luego las tasas de aumento esperadas por la Autoridad de Estadísticas y Censos de Libia (50).

Porcentaje de crecimiento	Año	Porcentaje de crecimiento	Año
0.88	2015	3.89	1980
1.14	2016	3.91	1981
1.35	2017	3.89	1982
1.48	2018	3.78	1983
1.47	2019	3.59	1984
1.45	2021	3.34	1985
1.43	2022	3.07	1986
1.32	2023	2.84	1987
1.13	2024	2.66	1988
0.88	2025	2.54	1989
0.61	2026	2.46	1990
0.38	2027	2.4	1991
0.56	2028	2.32	1992
0.68	2029	2.22	1993
0.76	2030	2.08	1994
0.82	2031	1.92	1995
0.9	2032	1.75	1996
1	2033	1.61	1997
1.14	2034	1.53	1998
1.3	2035	1.51	1999
1.47	2036	1.54	2000
1.61	2037	1.58	2001
1.69	2038	1.6	2002
1.71	2039	1.6	2003
1.68	2040	1.58	2004
1.64	2041	1.54	2005
1.62	2042	1.51	2006
1.62	2043	1.48	2007
1.64	2044	1.4	2008
1.68	2045	1.23	2009
1.71	2046	1.03	2010
1.74	2047	0.8	2011
1.82	2048	0.61	2012
1.99	2049	0.55	2013
1.79	2050	0.66	2014

Tabla.4.1 Tasa de crecimiento de la población anterior y esperada entre 1980 y 2050 en Libia

Donde dedujimos la ecuación de crecimiento poblacional esperado:

$$y = -0.0236x + 49.25$$

Que está representado por el siguiente gráfico:

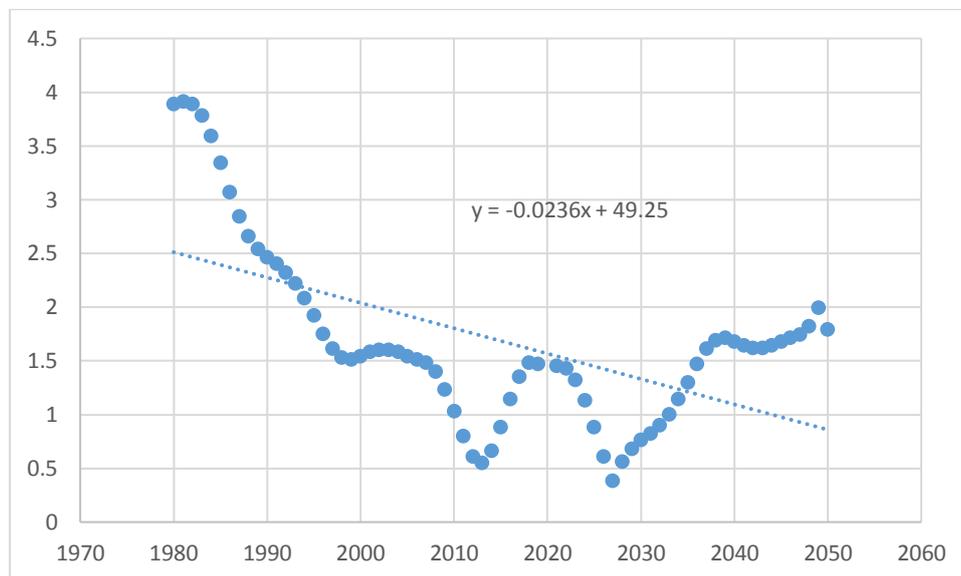


Fig.4.1. Ecuación de crecimiento poblacional esperado

El método anterior ayuda a estimar la cantidad de residuos en comparación con las tasas de crecimiento, dando así mayor alcance y libertad en el desarrollo del relleno sanitario para que absorba las crecientes cantidades de residuos sólidos que se pueden formar, pero en el futuro es necesario estudiar tasas de crecimiento de la población, como en un país como Libia y como resultado de la agitación política y económica que padece el país, las tasas de crecimiento en el futuro pueden cambiar negativa o positivamente, debido a su estrecha relación con la estabilidad, ya sea político o económico.

4.3 Estrategia de gestión de residuos sugerida:-

El método de tratamiento de residuos dentro de un centro de tratamiento consta de las siguientes etapas:

- El área de recepción de residuos sólidos urbanos de los núcleos de población vecinos.
- El área de la estación de clasificación mecánica de residuos domésticos por la cantidad diaria de residuos, la planta de tratamiento se diseñará sobre la cantidad actual para que el número de líneas o el número de horas de trabajo se incremente con el desarrollo de la cantidad de residuos domésticos.
- El área de la planta de tratamiento biológico y conversión de residuos en fertilizantes orgánicos o tratamiento de residuos de forma biomecánica antes del proceso de vertido, con el fin de aumentar la vida útil del relleno sanitario ubicado en la zona y reducir la cantidad de lixiviados y gases liberado.
- Relleno Sanitario con tratamiento de lixiviados por evaporación y secado y reciclaje de lixiviados dentro del relleno sanitario, o tratamiento de agua por

métodos químicos y biológicos antes de desviarla a la red pública de alcantarillado.

4.4 Condiciones y especificaciones técnicas y cuantitativas del proyecto:-

4.4.1 Cantidad esperada de residuos:-

Es necesario estimar las cantidades que se vierten al relleno sanitario diariamente. Se puede realizar una estimación inicial de los residuos sólidos urbanos en función de la situación actual de la cantidad de residuos y mediante el crecimiento de la población dentro del área estudiada.

Las ciudades reciben las siguientes proyecciones para la cantidad de desechos producidos per cápita por año, de 170 a 220 kg por año per cápita. Esta cantidad anual se estima en 0.35 a 1 kg por persona y día. En cuanto a la densidad de los residuos, es diferente y está relacionada con la situación material de la población, ya que se encuentra en la cantidad de 175 a 330 kg / m³ en el áreas de riqueza media y 250 a 500 kg / m³ en áreas pobres (52).

Si bien las cifras indican que la tasa es mayor en la zona de estudio, llegando a 1.25 kg per cápita, lo que puede dar un indicio del gran derroche que se está produciendo en la ciudad (2).

La característica más importante de la composición de los residuos en la zona estudiada es que contiene una gran porción de residuos orgánicos superior al 50%, además de un buen porcentaje de materiales reciclables que asciende al 36% (3).

Por lo tanto, las cantidades anuales esperadas de residuos se calcularán de la siguiente manera:

Cantidad total de residuos municipales (toneladas) = Población x Porcentaje diario per cápita de residuos x 365 días / 1000

$$= 664,000 \times 1.25 \times 365 / 1000 = 302,950 \text{ t/año}$$

Cantidad de residuos orgánicos = Cantidad de residuos totales x porcentaje de residuos orgánicos en los desechos municipales.

$$= 302,950 \times 0.54 = 163,593 \text{ t/año}$$

Cantidad de materiales reciclables = cantidad total de residuos x porcentaje de materiales reciclables en los residuos municipales. Estos materiales están mezclados en el contenedor, por lo que se contaminan entre sí. De esta forma, sólo la mitad de los materiales reciclables se podrían reciclar

$$= 302,950 \times 0.36 = 109,062 \text{ t/año} * 0.5 = 54,531 \text{ t/año}$$

Cantidad de residuos enterrados = Cantidad de residuos totales x el resto

$$= 302,950 \times 0.1 + 302,950 \times 0.18 = 30,295 \text{ t/año}$$

Los cálculos anteriores son para el año 2020.

Con base en lo anterior, hemos llegado a las cantidades esperadas de residuos, durante la vida del proyecto, que se muestran en la siguiente tabla:

Vertidos	RR	RO	RSU	población	Año	secuencia
t/año	t/año	t/año	t/año	capita		
86073	55333	165998	307403	673760	2021	1
87321	56135	168405	311860	683530	2022	2
88570	56938	170813	316320	693304	2023	3
89739	57689	173067	320495	702456	2024	4
90753	58341	175023	324117	710393	2025	5
91551	58854	176563	326969	716645	2026	6
92110	59213	177640	328964	721016	2027	7
92460	59438	178315	330214	723756	2028	8
92978	59771	179314	332063	727809	2029	9
93610	60178	180533	334321	732758	2030	10
94321	60635	181905	336862	738327	2031	11
95095	61132	183397	339624	744382	2032	12
95951	61683	185048	342681	751081	2033	13
96910	62299	186898	346108	758592	2034	14
98015	63010	189029	350053	767240	2035	15
99289	63829	191486	354604	777214	2036	16
100749	64767	194301	359817	788639	2037	17
102371	65810	197429	365610	801336	2038	18
104101	66922	200766	371788	814879	2039	19
105881	68066	204199	378146	828813	2040	20
107660	69210	207629	384499	842737	2041	21
109425	70345	211034	390805	856558	2042	22
111198	71484	214453	397136	870434	2043	23
112999	72642	217927	403569	884535	2044	24
114853	73834	221501	410188	899042	2045	25
116782	75074	225223	417079	914146	2046	26
118779	76358	229074	424211	929777	2047	27
120846	77687	233060	431592	945956	2048	28
123045	79100	237301	439447	963172	2049	29
125494	80675	242024	448192	982339	2050	30
3058926	1966452	5899357	10924735		Total	

Tabla 4.2. Cantidades esperadas de RSU durante la vida del proyecto

4.4.2 La edad del diseño del relleno sanitario:-

Considerando el uso del terreno dentro del área del relleno y considerando el aspecto económico de la implementación del relleno sanitario, la vida útil del relleno sanitario no debe ser menor a 20 años, y dependiendo del tratamiento biológico y mecánico de los

residuos dentro del área del relleno sanitario, la vida útil del relleno sanitario no debe ser inferior a 30 años (19).

El método de diseño del relleno sanitario en forma de sectores ayuda a tener un control completo de las cantidades de residuos, y así es posible conocer anualmente la etapa en la que se establecerá un nuevo sector para depositar los nuevos residuos dentro del relleno sanitario, y la siguiente figura muestra la distribución de los sectores propuestos dentro del plano general del sitio del proyecto.



Figura 4.2. Ubicación del proyecto

Las operaciones del relleno se realizan dentro del relleno sanitario, con una altura de desperdicio de unos 20 metros, dos metros por debajo del nivel del suelo natural y 18 metros por encima del nivel del suelo natural. El proceso de construcción del relleno sanitario tiene como objetivo recoger el agua de lixiviación del relleno sanitario y bombearla desde el pozo de recolección al exterior del relleno sanitario y tratarla. El proceso de relleno sanitario se llevará a cabo por etapas, y cada etapa incluye los siguientes sectores:

- ❖ Primera etapa: Se construye el relleno sanitario en forma de un primer sector que puede absorber un volumen de residuos generados en el área estudiada por un período de 10 años.
- ❖ La segunda etapa: La vida útil de diseño de la segunda sección del relleno sanitario es de 10 años. Durante esta etapa, se cierra inicialmente el primer sector del relleno sanitario, con el fin de evitar la formación y liberación de gases y olores, la reproducción de insectos y aves nocivas y la propagación de hojas. El proceso de cobertura inicial ayuda principalmente en la ocurrencia de depresiones iniciales dentro del cuerpo del relleno sanitario, que pueden alcanzar aproximadamente el 20% de la altura del relleno sanitario. Después de eso, comienza la fase de disminución secundaria, y no constituye un alto porcentaje de las disminuciones totales. En esta etapa finalmente se cubre el sector con tiras de polietileno.
- ❖ La tercera etapa: La vida de diseño del tercer sector del relleno sanitario es de 10 años. Durante esta etapa, se cierra primero el segundo sector del relleno sanitario, con el fin de evitar la formación y liberación de gases y olores, la reproducción de insectos y aves nocivos y la propagación de hojas.

Por lo tanto, la vida útil del diseño del sitio en general se convierte en 30 años.

4.4.3 Área necesaria para el relleno sanitario:-

El promedio diario de residuos que serán enterrados en un relleno sanitario durante un período de 30 años = 279,354 Kg/día

$$\text{Densidad} = 800 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

$$279,354 / 800 = 349.2 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$349.2 \times (30 \times 365) = 3,823,657 \text{ m}^3$$

Así, el volumen del relleno sanitario es 3,823,657 m³, además de las siguientes áreas (19):

$$3,823,657 / 20 = 191,183 \text{ m}^2$$

- El área de recepción de residuos, se estima en alrededor de 5,000 m²
- Área de colocación de contenedores para operaciones de limpieza y almacenamiento, aproximadamente 5,000 m²
- La zona de vigilancia, inspección y entrada, estimada en unos 10,000 m²

- Carreteras pavimentadas, estimadas en aproximadamente el 10% del área del relleno sanitario, es decir, 19118.3 m²
- Edificios, vestíbulos y garajes, estimados en unos 10,000 m²
- El área para el tratamiento del agua de lixiviación y el tratamiento de los gases de escape en caso de recolección de los gases de escape se estima en unos 20,000 m²
- Espacios verdes, estimados en aproximadamente el 25% del área del relleno sanitario, o 47795.75 m²

Área adicional = 116,914 m²

Así, el área total del relleno sanitario es de 308,097 m².

4.5 Estudiando el costo de la contaminación resultante de los residuos sólidos urbanos en el área de estudio:-

Un estudio preliminar arrojó como resultado la conversión de la contaminación en un valor monetario, ya que concluyó una estimación de la contaminación por lixiviados a un valor de 0.5 €/m³, y una estimación de la contaminación por gases convertidos en un valor equivalente del dióxido de carbono igual a 1.65 €/t (19).

Por lo tanto, en nuestro estudio, nos apoyaremos en estos datos para los cálculos de contaminación de acuerdo con cada escenario propuesto con base en la siguiente tabla, que incluye un resumen de lo que concluyó este estudio, y luego realizaremos un estudio de sensibilidad para estos puntos para mostrar el alcance de su impacto en el cambio de escenarios de las soluciones propuestas para el área de estudio.

Cantidad	Tipo de contaminación	Planta
32 Kg/t	Cantidad de gas dióxido de carbono equivalente	Clasificación mecánica
0.1 m ³ /t	Cantidad de lixiviados	
108 Kg/t	Cantidad de gas dióxido de carbono equivalente	Tratamiento biológico
0.2 m ³ /t	Cantidad de lixiviados	
1,100 Kg/t	La cantidad de gas dióxido de carbono equivalente	Relleno sanitario
10 m ³ /t	Cantidad de lixiviado en el caso de tratamiento biológico	
50 m ³ /t	Cantidad de lixiviado en ausencia de tratamiento biológico	

Tabla.4.3. Cantidades estimadas de contaminación (19)

Se observa que la mayoría de los estudios locales no abordaron el impacto negativo de los desechos sólidos en la salud humana, y el costo de la atención en salud de las enfermedades causadas por los desechos, lo que nos impulsó a investigar este tema de acuerdo con las siguientes etapas:

- **Cálculo del costo de la atención médica:**

Hasta que llegamos a esta etapa de la investigación, no tuvimos éxito en acceder a estudios locales sobre el costo de la atención médica causada en América Latina (53) sobre enfermedades resultantes de vertederos incontrolados en particular, pero encontramos un estudio de la ciudad de Belice en rellenos sanitarios incontrolados, y se adoptó en su estimación del daño a la salud resultante. Fue fundamental en este estudio llegar al número de visitas de salud de una familia al año a los centros de salud, y a partir de aquí se realizó una encuesta sobre las enfermedades que resultan de vertederos incontrolados y su impacto en la salud humana y el costo para la sociedad de cuidar estas enfermedades (19).

La población de la zona de estudio se esperaba durante la vida del proyecto en el párrafo 4.2 de esta investigación, y los datos de la Autoridad de Estadísticas y Censos de Libia en 2020 se basaron en el número promedio de miembros de la familia, que ascendió a 6 miembros por familia.

La tabla muestra los precios promedio de una visita médica regular al médico.

Costo de la visita médica	
€ 1.85	Consulta médica
€ 1.85	Costos de exámenes médicos
€ 7.40	Costo de los medicamentos
€ 11.1	Total

Tbla.4.4. Costo de la visita médica (54)

Dado que el estudio de los costos de la atención médica se está realizando en paralelo con esta investigación, aún no hemos obtenido datos confiables, por lo que nos basaremos en los datos del estudio de Belez City, que concluyó que el número de visitas de salud para cada familia (un familia de 5 miembros) es de 5.7143 visitas anuales como consecuencia de las afecciones por el vertedero, luego veremos en el próximo capítulo estudiando la sensibilidad a qué efecto tiene el cambio de estos datos en el escenario elegido.

Cantidad de RSU	Costos de tratamiento €	Número anual de visitas	Numero de familias	población	Año
307403	7122624	641678	112293	673760	2021
311860	7225902	650982	113922	683530	2022
316320	7329232	660291	115551	693304	2023
320495	7425978	669007	117076	702456	2024
324117	7509891	676567	118399	710393	2025
326969	7575978	682521	119441	716645	2026
328964	7622192	686684	120169	721016	2027
330214	7651156	689293	120626	723756	2028
332063	7694003	693153	121302	727809	2029
334321	7746322	697867	122126	732758	2030
336862	7805194	703171	123055	738327	2031
339624	7869197	708937	124064	744382	2032
342681	7940019	715317	125180	751081	2033
346108	8019419	722470	126432	758592	2034
350053	8110841	730706	127873	767240	2035
354604	8216282	740206	129536	777214	2036
359817	8337061	751087	131440	788639	2037
365610	8471288	763179	133556	801336	2038
371788	8614453	776077	135813	814879	2039
378146	8761760	789348	138136	828813	2040
384499	8908957	802609	140456	842737	2041
390805	9055064	815772	142760	856558	2042
397136	9201756	828987	145072	870434	2043
403569	9350825	842417	147423	884535	2044
410188	9504178	856232	149840	899042	2045
417079	9663848	870617	152358	914146	2046
424211	9829100	885505	154963	929777	2047
431592	10000127	900912	157659	945956	2048
439447	10182129	917309	160529	963172	2049
448192	10384753	935563	163723	982339	2050
10924735	253129529	22804462	Total		

Tabla.4.5. Costo de la atención médica durante la vida del proyecto

El costo de la atención médica por tonelada de residuos = costos totales de tratamiento / cantidad total de residuos

El costo de la atención médica por tonelada de residuos = $253,129,529 / 10,924,735 = 23.17 \text{ €/t}$

4.6 Estudiar los costos económicos de las alternativas tecnológicas:-

4.6.1 Estudio de los costes económicos de la planta de clasificación mecánica:

Los costos económicos de la estación de clasificación mecánica se calcularán en base a la capacidad de producción necesaria para cada una de las tres etapas de la vida del proyecto, con la posibilidad de ampliar la estación construyendo cada 10, dado que la vida útil del edificio es de 30 años, y la vida útil de las máquinas es de 10 años, por lo

que utilizaremos estaciones con una capacidad proporcional a la cantidad de residuos esperada en cada etapa.

A continuación se muestran los costos de inversión y operación (19) para la primera fase:

Primero: Costos de inversión:-

Estos son los costos de construcción, equipo y maquinaria necesaria, y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

Espacios requeridos - planta de tratamiento mecánico - capacidad 335 mil t/año	
Área de recepción	
Área de almacenamiento	6,000 m ²
Otra zona de asfalto en la construcción	8,000 m ²
Área de clasificación	
Área de proceso de selección	10,000 m ²
Área de almacenamiento	
Área de almacenamiento diario	4,500 m ²
Área total de construcción	28,500 m²

○ **Área de tierra necesaria:-**

Área de construcción	28,500 m ²
Infraestructura e instalaciones (30% del área de construcción)	8,550 m ²
Total	37,050 m²

○ **Costo de inversión (construcción):-**

Costo de inversión (construcción) = área de construcción x costo por metro cuadrado

$$= 28,500 \text{ m}^2 \times 280 \text{ €/m}^2 = 7,980,000 \text{ €}$$

○ **Costos de inversión (equipos y maquinaria):-**

Suministro de residuos	500,000 €
Cernido	770,000 €
Cinta transportadora	335,000 €
Área de clasificación manual	335,000 €
Sobrecargas	235,000 €
Equipo de embalaje	535,000 €
Electricidad / control	130,000 €
Máquinas de embalaje	280,000 €
Camiones con contenedores	940,000 €
Otros	770,000 €
Total	4,595,000 €

$$\text{Coste total de inversión} = 7,980,000 + 4,595,000 = 12,575,000 \text{ €}$$

✚ Segundo: Costos operativos:-

Son los costos de operaciones relacionados con la mano de obra y otros costos (mantenimiento, energía, suministros de maquinaria, varios) además de los gastos de administración, y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

○ Mano de obra:-

Tipo de empleo	Número de trabajadores	Costo anual del trabajador	Coste total
Recepción, mantenimiento	20	2,400 €	48,000 €
Clasificación	200	2,400 €	480,000 €
Conductores	10	2,400 €	24,000 €
Ingenieros	6	3,200 €	19,200 €
Administradores	4	2,500 €	10,000 €
Total	240	12,900 €	581,200 €

$$\text{Costos por baja laboral} = 581,200 \div 2 = 290,600 \text{ €}$$

$$\text{El costo} = 581,200 + 290,600 = 871,800 \text{ €}$$

$$\text{Costo total} = \text{costo} \times \text{número de turnos}$$

$$= 871,800 \times 2 = 1,743,600 \text{ €/año}$$

○ Otros costos:-

Mantenimiento	10% de la inversion	1,257,500 €
Energía	0.075 €/t	25,125 €
Máquinas	0.3 €/t	100,500 €
Otras	0.2 €/t	67,000 €
Total		1,450,125 €

$$\begin{aligned} \text{Costos operativos} &= \text{gastos totales de mano de obra} + \text{otros costos totales} \\ &= 1,743,600 + 1,450,125 = 3,193,725 \text{ €} \end{aligned}$$

○ Gastos de administración:-

$$\text{Gastos de administración} = 15\% \times \text{Costos operativos totales}$$

$$0.15 \times 3,193,725 = 479,059 \text{ €}$$

$$\text{Costos operativos totales} = 3,193,725 + 479,059 = 3,672,784$$

✚ Costos totales de la primera etapa:-

$$12,575,000 + 3,672,784 = 16,247,784 \text{ €}$$

A continuación se muestran los costos de inversión y operativos de la segunda fase:-

✚ Primero: Costos de inversión:-

Estos son los costos de construcción, equipo y maquinaria necesaria, y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

Espacios requeridos - planta de tratamiento mecánico - capacidad 380 mil t/año	
Área de recepción	
Área de almacenamiento	7,000 m ²
Otra zona de asfalto en la construcción	9,000 m ²
Área de clasificación	
Área de proceso de selección	11,500 m ²
Área de almacenamiento	
Área de almacenamiento diario	5,500 m ²
Área total de construcción	33,000 m ²

○ **Área de tierra necesaria:-**

Área de construcción	33,000 m ²
Infraestructura e instalaciones (30% del área de construcción)	9,900 m ²
Total	42,900 m ²

○ **Costo de inversión (construcción):-**

Costo de inversión (construcción) = área de construcción x costo por metro cuadrado

$$= 33000 \text{ m}^2 \times 280 \text{ €/m}^2 = 9240000 \text{ €}$$

○ **Costos de inversión (equipos y maquinaria):-**

Suministro de residuos	570,000 €
Cernido	875,000 €
Cinta transportadora	380,000 €
Área de clasificación manual	380,000 €
Sobrecargas	270,000 €
Equipo de embalaje	610,000 €
Electricidad / control	150,000 €
Máquinas de embalaje	320,000 €
Camiones con contenedores	1,070,000 €
Otros	875,000 €
Total	5,500,000 €

$$\text{Coste total de inversión} = 9,240,000 + 5,500,000 = 14,740,000 \text{ €}$$

✚ Segundo: Costos operativos:-

Son los costos de operaciones relacionados con la mano de obra y otros costos (mantenimiento, energía, suministros de maquinaria, varios) además de los gastos de administración, y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

○ **Mano de obra:-**

Tipo de empleo	Numero de trabajadores	Costo anual del trabajador	Coste total
Recepción, mantenimiento	22	2,400 €	52,800 €
Clasificación	220	2,400 €	528,000 €
Conductores	11	2,400 €	26,400 €
Ingenieros	6	3,200 €	19,200 €
Administradores	4	2,500 €	10,000 €
Total	263	12,900 €	636,400 €

Costos de ausencia = $636,400 \div 2 = 318,200 \text{ €}$

El costo = $636,400 + 318,200 = 954,600 \text{ €}$

Costo total = costo x número de turnos

$$= 954,600 \times 2 = 1,909,200 \text{ €/año}$$

○ **Otros costos:-**

Mantenimiento	10% de la inversion	1,474,000 €
Energía	0.075 €/t	28,500 €
Máquinas	0.3 €/t	114,000 €
Otras	0.2 €/t	76,000 €
Total		1,692,500 €

Costos operativos = gastos totales de mano de obra + otros costos totales
 $= 1,909,200 + 1,692,500 = 3,601,700 \text{ €}$

○ **Gastos de administración:-**

Gastos de administración = 15% x Costos operativos totales

$$0.15 \times 3,601,700 = 540,255 \text{ €}$$

Costos operativos totales = $3,601,700 + 540,255 = 4,141,955$

 **Costos totales de la segunda etapa:-**

$$14,740,000 + 4,141,955 = 18,881,955 \text{ €}$$

A continuación se muestran los costos de inversión y operativos de la tercera etapa:-

 **Primero: Costos de inversión:-**

Estos son los costos de construcción, equipo y maquinaria necesaria, y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

Espacios requeridos - planta de tratamiento mecánico - capacidad 450 mil t/año	
Área de recepción	
Área de almacenamiento	8,300 m ²
Otra zona de asfalto en la construcción	10,500 m ²
Área de clasificación	
Área de proceso de selección	13,500 m ²
Área de almacenamiento	
Área de almacenamiento diario	6,500 m ²
Área total de construcción	38,800 m ²

○ **Área de tierra necesaria:-**

Área de construcción	38,800 m ²
Infraestructura e instalaciones (30% del área de construcción)	11,640 m ²
Total	50,440 m ²

○ **Costo de inversión (construcción):-**

Costo de inversión (construcción) = área de construcción x costo por metro cuadrado

$$= 38,800 \text{ m}^2 \times 280 \text{ €/m}^2 = 10,864,000 \text{ €}$$

○ **Costos de inversión (equipos y maquinaria):-**

Suministro de residuos	675,000 €
Cernido	1,050,000 €
Cinta transportadora	450,000 €
Área de clasificación manual	450,000 €
Sobrecargas	320,000 €
Equipo de embalaje	725,000 €
Electricidad / control	180,000 €
Máquinas de embalaje	380,000 €
Camiones con contenedores	1,270,000 €
Otros	1,050,000 €
Total	6,550,000 €

Coste total de inversión = 10,864,000 + 6,550,000 = 17,414,000 €

 **Segundo: Costos operativos:-**

Son los costos de operaciones relacionados con la mano de obra y otros costos (mantenimiento, energía, suministros de maquinaria, varios) además de los gastos de administración, y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

○ **Mano de obra:-**

Tipo de empleo	Numero de trabajadores	Costo anual del trabajador	Coste total
Recepción, mantenimiento	26	2,400 €	62,400 €
Clasificación	260	2,400 €	624,000 €
Conductores	13	2,400 €	31,200 €
Ingenieros	7	3,200 €	22,400 €
Administradores	5	2,500 €	12,500 €
Total	311	12,900 €	752,500 €

$$\text{Costos de ausencia} = 752,500 \div 2 = 376,250 \text{ €}$$

$$\text{El costo} = 752,500 + 376,250 = 1,128,750 \text{ €}$$

$$\text{Costo total} = \text{costo} \times \text{número de turnos}$$

$$= 1,128,750 \times 2 = 2,257,500 \text{ €/año}$$

○ **Otros costos:-**

Mantenimiento	10% de la inversion	1,741,400 €
Energía	0.075 €/t	33,750 €
Máquinas	0.3 €/t	135,000 €
Otras	0.2 €/t	90,000 €
Total		2,000,150 €

$$\begin{aligned} \text{Costos operativos} &= \text{gastos totales de mano de obra} + \text{otros costos totales} \\ &= 2257500 + 2000150 = 4257650 \text{ €} \end{aligned}$$

○ **Gastos de administración:-**

$$\text{Gastos de administración} = 15\% \times \text{Costos operativos totales}$$

$$0.15 \times 4,257,650 = 638,648 \text{ €}$$

$$\text{Costos operativos totales} = 4,257,650 + 638,648 = 4,896,298$$

✚ **Costos totales de la tercera etapa:-**

$$17,414,000 + 4,896,298 = 22,310,298 \text{ €}$$

Etapa	Capacidad	Costos de inversión	Costos operativos	Total
	Mil t/año	€	€	€
1	335	12,575,000	3,672,784	16,247,784
2	380	14,740,000	4,141,955	18,881,955
3	450	17,414,000	4,896,298	22,310,298

Tabla.4.6. Costos de operación e inversión para las plantas de clasificación mecánica propuestas

4.6.2 Estudio de los costes económicos de la planta de tratamiento biológico:-

Los costos económicos de la planta de tratamiento biológico se calcularán en base a la capacidad de producción necesaria para cada una de las tres fases de la vida del proyecto, con la posibilidad de ampliar la planta construyendo cada 10 años, dado que la vida de la edificación es de 10 años, y la vida útil de las máquinas es de 10 años, por lo que utilizaremos plantas con una capacidad proporcional a la cantidad de residuos orgánicos esperados en cada etapa.

Mostramos el método de cálculo del tamaño de la estación y las áreas de tierra necesarias (19) para la primera fase, de acuerdo a lo siguiente:

Cantidad esperada de RSU en 2030	334,321 t/año
Cantidad RR	60,178 t/año
Cantidad RO	180,533 t/año
Estudio de planta de la tratamiento biológico	
Vida útil	10 años
Duración del tratamiento biológico para cada etapa	60 días
Cantidad de residuos tratados	180,533 t/año
Longitud de la pila	8 m
Ancho de la pila	40 m
Altura de la pila	3 m
Cantidad de residuos dentro de un montón	360 t
Número de pilas por año	502
Número de lugares de pila necesarios	84
Espacio necesario para el tratamiento biológico	32,256 m ²

Donde:

- Las dimensiones de la pila dentro del método de tratamiento biológico propuesto son 40 x 8 x 3 m.
- La cantidad de residuos dentro de la pila = 360 toneladas.
- El número de pilas por año = la cantidad total de residuos tratados / la cantidad de residuos dentro de una pila.
- Número de lugares de pilas necesarios = Número de pilas por año / 6.
- Área necesaria para el tratamiento biológico = ancho de la pila x longitud de la pila x número de lugares necesarios para la pila + 20% de área adicional para servicios e instalaciones.

También mostramos el método de cálculo del costo de inversión y operación (19) de la planta de tratamiento biológico para la primera etapa, de acuerdo a lo siguiente:

✚ Primero: Costos de inversión:-

Son los costos de construcción, equipo y maquinaria necesaria, y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

Costo de construcción	
Área de construcción	19,355 m ² (32256*60%)
Costo por metro cuadrado	280 €/m ²
Costo de construcción	5,419,400 €
Costo del equipo	
Máquina para voltear los residuos	1,650,000 €
Grupo de imanes	330,000 €
Tamiz rotativo	660,000 €
Cintas transportadoras	1,320,000 €
Báscula de puente	660,000 €
Costo de maquinaria	
Máquina elevadora	330,000 €
Camión de descarga	330,000 €
Costo del equipo	5,280,000 €
Total	10,699,400 €

✚ Segundo: Costos operativos:-

Son los costos de operaciones relacionados con la mano de obra y otros costos (mantenimiento, energía, varios...), y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

○ Mano de obra:-

Tipo de empleo	Numero de trabajadores	Costo anual del trabajador	Coste total
Trabajadores y técnicos	20	2,400 €	48,000 €
Ingenieros	3	3,200 €	9,600 €
Total	23	12,900 €	57,600 €

Costos de ausencia = $57,600 \div 2 = 28,800 \text{ €}$

El costo = $57,600 + 28,800 = 86,400 \text{ €}$

Costo total = costo x número de turnos

$$= 86,400 \times 2 = 172,800 \text{ €/año}$$

○ Otros costos:-

Mantenimiento	10% de la inversion	1,069,940 €
Energía	0.075 €/t	8,139 €
Otras	0.5 €/t	90,267 €
Total		1,168,346 €

Costos operativos = gastos totales de mano de obra + otros costos totales

$$= 172,800 + 1,168,346 = 1,341,146 \text{ €}$$

✚ Costos totales de la primera etapa:-

$$10,699,400 + 1,341,146 = 12,040,546 \text{ €}$$

Mostramos el método de cálculo del tamaño de la planta y las áreas de terreno necesarias para la segunda fase, de acuerdo a lo siguiente:

Cantidad esperada de RSU en 2040	378,146 t/año
Cantidad RR	68,066 t/año
Cantidad RO	204,199 t/año
Estudio de planta de la tratamiento biológico	
Vida útil	10 años
Duración del tratamiento biológico para cada etapa	60 días
Cantidad de residuos tratados	204,199 t/año
Longitud de la pila	8 m
Ancho de la pila	40 m
Altura de la pila	3 m
Cantidad de residuos dentro de un montón	360 t
Número de pilas por año	567
Número de lugares de pila necesarios	95
Espacio necesario para el tratamiento biológico	36,480 m ²

Primero: Costos de inversión:-

Son los costos de construcción, equipo y maquinaria necesaria, y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

Costo de construcción	
Área de construcción	21,888 m ²
Costo por metro cuadrado	280 €/m ²
Costo de construcción	6,128,640 €
Costo del equipo	
Máquina para voltear los residuos	1,870,000 €
Grupo de imanes	375,000 €
Tamiz rotativo	750,000 €
Cintas transportadoras	1,495,000 €
Báscula de puente	750,000 €
Costo de maquinaria	
Máquina elevadora	375,000 €
Camión de descarga	375,000 €
Costo del equipo	5,990,000 €
Total	12,118,640 €

Segundo: Costos operativos:-

Son los costos de operaciones relacionados con la mano de obra y otros costos (mantenimiento, energía, varios...), y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

○ **Mano de obra:-**

Tipo de empleo	Numero de trabajadores	Costo anual del trabajador	Coste total
Trabajadores y técnicos	23	2,400 €	55,200 €
Ingenieros	3	3,200 €	9,600 €
Total	26	12,900 €	64,800 €

Costos de ausencia = $64,800 \div 2 = 32,400 \text{ €}$

El costo = $64,800 + 32,400 = 97,200 \text{ €}$

Costo total = costo x número de turnos

$$= 97,200 \times 2 = 194,400 \text{ €/año}$$

○ **Otros costos:-**

Mantenimiento	10% de la inversion	1,211,864 €
Energía	0.075 €/t	15,315 €
Otras	0.5 €/t	102,100 €
Total		1,329,279 €

Costos operativos = gastos totales de mano de obra + otros costos totales
 $= 194,400 + 1,329,279 = 1,523,679 \text{ €}$

✚ **Costos totales de la segunda etapa:-**

$$12,118,640 + 1,523,679 = 13,642,319 \text{ €}$$

Mostramos el método de cálculo del tamaño de la planta y las áreas de terreno necesarias para la tercera fase, de acuerdo a lo siguiente:

Cantidad esperada de RSU en 2050	448,192 t/año
Cantidad RR	80,675 t/año
Cantidad RO	242,024 t/año
Estudio de planta de la tratamiento biológico	
Vida útil	10 años
Duración del tratamiento biológico para cada etapa	60 días
Cantidad de residuos tratados	242,024 t/año
Longitud de la pila	8 m
Ancho de la pila	40 m
Altura de la pila	3 m
Cantidad de residuos dentro de un montón	360 t
Número de pilas por año	672
Número de lugares de pila necesarios	112
Espacio necesario para el tratamiento biológico	46,848 m ²

Primeros: Costos de inversión:-

Son los costos de construcción, equipo y maquinaria necesaria, y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

Costo de construcción	
Área de construcción	28,109 m ²
Costo por metro cuadrado	280 €/m ²
Costo de construcción	7,870,520 €
Costo del equipo	
Máquina para voltear los residuos	2,220,000 €
Grupo de imanes	445,000 €
Tamiz rotativo	890,000 €
Cintas transportadoras	1,775,000 €
Báscula de puente	890,000 €
Costo de maquinaria	
Máquina elevadora	445,000 €
Camión de descarga	445,000 €
Costo del equipo	7,110,000 €
Total	14,980,520 €

Segundo: Costos operativos:-

Son los costos de operaciones relacionados con la mano de obra y otros costos (mantenimiento, energía, varios...), y se calculan de acuerdo a lo siguiente:

○ **Mano de obra:-**

Tipo de empleo	Numero de trabajadores	Costo anual del trabajador	Coste total
Trabajadores y técnicos	27	2,400 €	64,800 €
Ingenieros	4	3,200 €	12,800 €
Total	31	12,900 €	77,600 €

$$\text{Costos de ausencia} = 77,600 \div 2 = 38,800 \text{ €}$$

$$\text{El costo} = 77,600 + 38,800 = 116,400 \text{ €}$$

$$\text{Costo total} = \text{costo} \times \text{número de turnos}$$

$$= 116,400 \times 2 = 232,800 \text{ €/año}$$

○ **Otros costos:-**

Mantenimiento	10% de la inversión	1,498,052€
Energía	0.075 €/t	18,152 €
Otras	0.5 €/t	121,012 €
Total		1,637,216 €

$$\begin{aligned} \text{Costos operativos} &= \text{gastos totales de mano de obra} + \text{otros costos totales} \\ &= 232,800 + 1,637,216 = 1,870,016 \text{ €} \end{aligned}$$

✚ Costos totales de la tercera etapa:-

$$14,980,520 + 1,870,016 = 16,850,536 \text{ €}$$

Etapa	Capacidad	Costos de inversión	Costos operativos	Total
	t/año	€	€	€
1	180,533	10,699,400	1,341,146	12,040,546
2	204,199	12,118,640	1,523,679	13,642,319
3	242,024	14,980,520	1,870,016	16,850,536

Tabla.4.7. Costos de operación e inversión para las plantas de tratamiento biológico propuestas

4.6.3. Estudio de los costos económicos del proyecto de relleno sanitario:-

Al calcular el costo del relleno sanitario, se aprobará que el relleno sanitario absorba una cantidad de residuos para que la vida útil del relleno sanitario no sea menor a 30 años. El coste del vertido por tonelada de residuo se calculará en 16 euros (inversión y explotación), teniendo en cuenta que el relleno sanitario se construirá por sectores.

El costo de construcción y operación se aclarará en la siguiente tabla (19):

El costo de construcción y operación se aclarará en la siguiente tabla (19), que incluye los tipos de obras que se espera realizar en el relleno sanitario y su costo estimado por tonelada de residuo:

Tipo de obra	El costo	Requisitos	El costo
	€/t		€/t
Costo de construcción, aislamiento, recolección y tratamiento de agua residual	4	Costo de inversión	8
lixiviación de agua, gases liberados	2		
	2		
Trabajadores, maquinas, monitoreo	4	Costo operacional	8
Servicios y mantenimiento	2		
Seguimiento técnico, riesgos futuros	2		
Total	16		

Tabla.4.8. Costos de operación e inversión para un relleno sanitario

4.7 Estudie el costo de los escenarios de soluciones propuestos:-

4.7.1 Estudio de costos para el escenario uno: alternativa cero: vertedero incontrolado:-

Como se explica en el párrafo 4.4.1. Que la densidad de los residuos es diferente y está relacionada con la situación física de la población, y que la cantidad de residuos producidos per cápita es de 1.25, por lo que se adoptó un valor de 625 kg / m³ para la densidad de residuos en el vertedero incontrolado.

Suponiendo que la altura de los residuos en el vertedero incontrolado a partir de la base es la misma que la altura adoptada para enterrar los residuos en el relleno sanitario e igual a 20 m (estas hipótesis se adoptaron inicialmente y luego probamos la sensibilidad de estos puntos en el estudio de sensibilidad que revisaremos más adelante). El área necesaria para el vertedero incontrolado se calcula de acuerdo con lo siguiente:

La cantidad total de residuos enterrados durante la vida del proyecto	10924735 t
Densidad de residuos	625 Kg/m ³
El volumen total de residuos al final de la vida del proyecto	17479576 m ³
Altura del vertedero desde la base	20 m
El área necesario para un relleno sanitario de residuos municipales	873980 m ²

Tabla.4.9. Área necesaria para vertedero incontrolado

Donde:

Volumen = cantidad ÷ densidad

$$= 10,924,735 \times 1000 \div 625 = 17,479,576 \text{ m}^3$$

Área = volumen ÷ altura

$$17,479,576 \div 20 = 873,980 \text{ m}^2$$

Debido a la falta de información veraz sobre el costo operativo de los rellenos sanitarios incontrolados, ya que no están sujetos a sistemas operativos específicos, no tienen estándares específicos para la mano de obra o maquinaria utilizada en ellos, y no contienen gestión, control o supervisión directa, pero Los costos operativos se limitan a los costos pagados para mantener la extensión de los residuos en forma horizontal de manera rápida y la extinción de incendios resultantes de los gases emitidos y algunos tratamientos temporales.

El costo operativo del vertedero incontrolado se asumió en 4 euros por tonelada, lo que equivale a la mitad del costo operativo del relleno sanitario que se muestra en el párrafo 4.6.3 anterior, que asciende a 8 euros por tonelada de residuos municipales, y luego la sensibilidad de esta hipótesis se probó posteriormente en el estudio de sensibilidad.

Así, encontramos el coste del primer escenario (la alternativa de no establecer el proyecto), en el que el coste de una tonelada de residuos municipales rondaba los 4 euros.

La siguiente tabla muestra el costo del primer escenario sin ingresar el valor de contaminación.

	Año	RSU	RR	RO	Vertidos	Costo operativo	
		t/año	t/año	t/año	t/año	4 €/t	
Primera etapa	2021	307403	0	0	307403	1229612	
	2022	311860	0	0	311860	1247441	
	2023	316320	0	0	316320	1265280	
	2024	320495	0	0	320495	1281981	
	2025	324117	0	0	324117	1296468	
	2026	326969	0	0	326969	1307877	
	2027	328964	0	0	328964	1315855	
	2028	330214	0	0	330214	1320855	
	2029	332063	0	0	332063	1328252	
	2030	334321	0	0	334321	1337284	
Segunda etapa	2031	336862	0	0	336862	1347447	
	2032	339624	0	0	339624	1358496	
	2033	342681	0	0	342681	1370723	
	2034	346108	0	0	346108	1384430	
	2035	350053	0	0	350053	1400213	
	2036	354604	0	0	354604	1418415	
	2037	359817	0	0	359817	1439266	
	2038	365610	0	0	365610	1462438	
	2039	371788	0	0	371788	1487153	
	2040	378146	0	0	378146	1512584	
Tercera etapa	2041	384499	0	0	384499	1537995	
	2042	390805	0	0	390805	1563218	
	2043	397136	0	0	397136	1588542	
	2044	403569	0	0	403569	1614277	
	2045	410188	0	0	410188	1640751	
	2046	417079	0	0	417079	1668316	
	2047	424211	0	0	424211	1696844	
	2048	431592	0	0	431592	1726469	
	2049	439447	0	0	439447	1757789	
	2050	448192	0	0	448192	1792769	
	Total	10,924,735	0	0	10,924,735	43,698,941	Coste total (€)
							43,698,941

Tabla.4.10. Costo del primer escenario sin ingresar el valor de contaminación

Donde:

Coste de las operaciones anuales = cantidad de residuos anuales x 4 euros / tonelada

La siguiente tabla muestra el costo del primer escenario después de ingresar el valor de contaminación.

Año	Costo operacional	Cantidad de lixiviados	Cantidad de Co_2	Costo de la contaminación por lixiviados	Costo de la contaminación por Co_2	Costo anual total de contaminación €
	4 €/t	75 m ³ /t	1,375 Kg/t	0.5 €/m ³	1.65 €/t	
		m ³ /año	t/año			
2021	1229612	23055225	407309	11527613	672060	12199673
2022	1247441	23389526	413215	11694763	681805	12376568
2023	1265280	23723996	419124	11861998	691554	12553552
2024	1281981	24037153	424656	12018576	700683	12719259
2025	1296468	24308773	429455	12154386	708601	12862987
2026	1307877	24522690	433234	12261345	714836	12976181
2027	1315855	24672278	435877	12336139	719197	13055336
2028	1320855	24766033	437533	12383016	721930	13104946
2029	1328252	24904723	439983	12452361	725973	13178334
2030	1337284	25074075	442975	12537037	730909	13267946
2031	1347447	25264638	446342	12632319	736464	13368783
2032	1358496	25471808	450002	12735904	742503	13478407
2033	1370723	25701054	454052	12850527	749186	13599713
2034	1384430	25958065	458592	12979032	756678	13735710
2035	1400213	26253986	463820	13126993	765304	13892297
2036	1418415	26595288	469850	13297644	775253	14072897
2037	1439266	26986239	476757	13493120	786649	14279769
2038	1462438	27420717	484433	13710359	799314	14509673
2039	1487153	27884128	492620	13942064	812822	14754886
2040	1512584	28360946	501043	14180473	826722	15007195
2041	1537995	28837410	509461	14418705	840611	15259316
2042	1563218	29310344	517816	14655172	854397	15509569
2043	1588542	29785171	526205	14892586	868238	15760824
2044	1614277	30267691	534729	15133845	882303	16016148
2045	1640751	30764081	543499	15382041	896773	16278814
2046	1668316	31280918	552630	15640459	911839	16552298
2047	1696844	31815821	562080	15907911	927431	16835342
2048	1726369	32369417	571860	16184708	943568	17128276
2049	1757789	32958540	582268	16479270	960741	17440011
2050	1792769	33614415	593855	16807207	979860	17787067
Total	43,698,941	8.19 × 10 ⁸	14,475,274	4.1 × 10 ⁸	23,884,203	4.33 × 10 ⁸
	Costo operacional €/t					Costo total de contaminación €/t
	4					39.69
			Coste total €/t			
			43.69			

Tabla.4.11. Costo del primer escenario con la entrada del valor de contaminación

4.7.2 Estudio de costos para el segundo escenario: enterrar todos los residuos en el relleno sanitario:-

La cantidad total de residuos enterrados durante la vida del proyecto	10924735 t
Densidad de residuos	800 Kg/m ³
El volumen total de residuos al final de la vida del proyecto	13655919 m ³
Los materiales de cobertura se agregan al 15% del volumen total	2048388 m ³
Volumen total de residuos y materiales de cobertura	15704307 m ³
Altura del vertedero desde la base	20 m
Área requerido para relleno sanitario	785215 m ²

Tabla.4.12. Área necesaria para el relleno sanitario

Además de este espacio, los espacios necesarios para el área de abastecimiento del hogar, el área de colocación de contenedores para operaciones de limpieza y almacenamiento, el área de control, inspección y entrada, caminos pavimentados y adoquinados, edificios, vestíbulos y garajes, el área de tratamiento de lixiviación de agua y tratamiento de gases liberados, espacios verdes. Como se explica en el párrafo 4.4.3, que en suma es 116,914 m².

Entonces, el área total = 902,129 m².

Aplicando los supuestos anteriores, encontramos que el costo de este escenario sin ingresar el valor de contaminación es de acuerdo a la siguiente tabla:

	Año	RSU	RR	RO	Vertidos	Costo operacional	Costos de inversión	
		t/año	t/año	t/año	t/año	8 €/t	8 €/t	
Primera etapa	2021	307403	0	0	307403	2459224		
	2022	311860	0	0	311860	2494883		
	2023	316320	0	0	316320	2530560		
	2024	320495	0	0	320495	2563963		
	2025	324117	0	0	324117	2592936		
	2026	326969	0	0	326969	2615754		
	2027	328964	0	0	328964	2631710		
	2028	330214	0	0	330214	2641710		
	2029	332063	0	0	332063	2656504		
	2030	334321	0	0	334321	2674568	25861810	
Segunda etapa	2031	336862	0	0	336862	2694895		
	2032	339624	0	0	339624	2716993		
	2033	342681	0	0	342681	2741446		
	2034	346108	0	0	346108	2768860		
	2035	350053	0	0	350053	2800425		
	2036	354604	0	0	354604	2836831		
	2037	359817	0	0	359817	2878532		
	2038	365610	0	0	365610	2924877		
	2039	371788	0	0	371788	2974307		
	2040	378146	0	0	378146	3025168	28362333	
Tercera etapa	2041	384499	0	0	384499	3075990		
	2042	390805	0	0	390805	3126437		
	2043	397136	0	0	397136	3177085		
	2044	403569	0	0	403569	3228554		
	2045	410188	0	0	410188	3281502		
	2046	417079	0	0	417079	3336631		
	2047	424211	0	0	424211	3393688		
	2048	431592	0	0	431592	3452738		
	2049	439447	0	0	439447	3515578		
	2050	448192	0	0	448192	3585538	33173739	
Total	10,924,735	0	0	10,924,735	87,397,882	87,397,882	Coste total (€)	174,795,765

Tabla.4.13. Costo del segundo escenario sin ingresar el valor de contaminación

Al ingresar los valores de contaminación, el costo del escenario se convierte en de acuerdo con la siguiente tabla.

Año	Costo operacional	Costos de inversión	Cantidad de lixiviados	Cantidad de Co_2	Costo de la contaminación por lixiviados	Costo de la contaminación por Co_2	Costo anual total de contaminación €
	8 €/t	8 €/t	$50 m^3/t$	$1,100 Kg/t$	$0.5 €/m^3$	$1.65 €/t$	
			$m^3/año$	$t/año$			
2021	2459224		15370150	338143	7685075	557936	8243011
2022	2494883		15593017	343046	7796509	566027	8362536
2023	2530560		15815997	347952	7907999	574121	8482120
2024	2563963		16024768	352545	8012384	581699	8594083
2025	2592936		16205848	356529	8102924	588272	8691196
2026	2615754		16348460	359666	8174230	593449	8767679
2027	2631710		16448185	361860	8224093	597069	8821162
2028	2641710		16510689	363235	8255344	599338	8854682
2029	2656504		16603148	365269	8301574	602694	8904268
2030	2674568	25861810	16716050	367753	8358025	606793	8964818
2031	2694895		16843092	370548	8421546	611404	9032950
2032	2716993		16981205	373587	8490603	616418	9107021
2033	2741446		17134036	376949	8567018	621966	9188984
2034	2768860		17305376	380718	8652688	628185	9280873
2035	2800425		17502658	385058	8751329	635346	9386675
2036	2836831		17730192	390064	8865096	643606	9508702
2037	2878532		17990826	395798	8995413	653067	9648480
2038	2924877		18280478	402171	9140239	663581	9803820
2039	2974307		18589418	408967	9294709	674796	9969505
2040	3025168	28362333	18907297	415961	9453649	686335	10139984
2041	3075990		19224940	422949	9612470	697865	10310335
2042	3126437		19540229	429885	9770115	709310	10479425
2043	3177085		19856781	436849	9928390	720801	10649191
2044	3228554		20178461	443926	10089230	732478	10821708
2045	3281502		20509387	451207	10254694	744491	10999185
2046	3336631		20853945	458787	10426973	756998	11183971
2047	3393688		21210548	466632	10605274	769943	11375217
2048	3452738		21579611	474751	10789806	783340	11573146
2049	3515578		21972360	483392	10986180	797597	11783777
2050	3585538	33173739	22409610	493011	11204805	813469	12018274
Total	87,397,882	87,397,882	5.46×10^8	12,017,209	2.73×10^8	19,828,395	2.93×10^8
	Costo operacional €/t	Costos de inversión €/t					Costo total de contaminación €/t
	8	8					26.82
					Coste total €/t		
					42.82		

Tabla.4.14. Costo del segundo escenario con la introducción del valor de contaminación

4.7.3 Estudio de costos para el tercer escenario: clasificación mecánica de residuos y luego entierro del resto dentro del relleno sanitario:-

El área del relleno sanitario en este escenario se calculó de acuerdo con el método descrito anteriormente en la Sección 4.7.2.

La cantidad total de residuos enterrados durante la vida del proyecto	8,958,283 t
Densidad de residuos	800 Kg/m ³
El volumen total de residuos al final de la vida del proyecto	11,197,854 m ³
Los materiales de cobertura se agregan al 15% del volumen total	1,679,678 m ³
Volumen total de residuos y materiales de cobertura	12,877,532 m ³
Altura del vertedero desde la base	20 m
Área requerido para relleno sanitario	643,877 m ²

Tabla.4.15. Área necesaria para verter los residuos después del tratamiento mecánico

$$\text{Área total} = 643877 + 116914 = 760791 \text{ m}^2$$

Ingresos por recuperación de material:

$$\text{Cartón y papel: } 370 \text{ Kg} \times 0.04 \text{ €/Kg} = 14.8 \text{ €}$$

$$\text{Plástico: } 220 \text{ Kg} \times 0.1 \text{ €/Kg} = 22 \text{ €}$$

$$\text{Vidrio: } 110 \text{ Kg} \times 0.06 \text{ €/Kg} = 6.6 \text{ €}$$

$$\text{Metales: } 190 \text{ Kg} \times 0.03 \text{ €/Kg} = 5.7 \text{ €}$$

$$\text{Textil: } 110 \text{ Kg} \times 0.02 \text{ €/Kg} = 2.2 \text{ €}$$

Esto equivale a 51.3 euros por tonelada de material recuperado.

Por lo tanto, el costo del tercer escenario sin ingresar el valor de contaminación es de acuerdo con la siguiente tabla:

	Año	RSU	RR	Vertidos	Relleno sanitario		Planta de clasificación mecánica			Coste total
					Costo operacional	Costos de inversión	Costos de inversión €/t	Costo operacional €	Valor de venta de materiales recuperado	
					8 €/t	8 €/t				
t/año	t/año	t/año	8 €/t	8 €/t						
Primera etapa	2021	307403	55333	1285813	2016564			3672784	-2838559	
	2022	311860	56135	1285011	2045804			3672784	-2879718	
	2023	316320	56938	1284208	2075059			3672784	-2920898	
	2024	320495	57689	1283457	2102450			3672784	-2959454	
	2025	324117	58341	1282805	2126207			3672784	-2992896	
	2026	326969	58854	1282292	2144918			3672784	-3019234	
	2027	328964	59213	1281933	2158002			3672784	-3037651	
	2028	330214	59438	1281708	2166202			3672784	-3049194	
	2029	332063	59771	1281375	2178333			3672784	-3066269	
	2030	334321	60178	1280968	2193146	21206684	12575000	3672784	-3087120	
Segunda etapa	2031	336862	60635	1463044	2209814			4141955	-3110582	
	2032	339624	61132	1462547	2227934			4141955	-3136089	
	2033	342681	61683	1461996	2247986			4141955	-3164314	
	2034	346108	62299	1461380	2270465			4141955	-3195957	
	2035	350053	63010	1460669	2296349			4141955	-3232391	
	2036	354604	63829	1459850	2326201			4141955	-3274412	
	2037	359817	64767	1458912	2360396			4141955	-3322546	
	2038	365610	65810	1457869	2398399			4141955	-3376039	
	2039	371788	66922	1456757	2438932			4141955	-3433094	
	2040	378146	68066	1455613	2480637	23257113	2165000	4141955	-3491800	
Tercera etapa	2041	384499	69210	1800806	2522312			4896298	-3550462	
	2042	390805	70345	1799671	2563678			4896298	-3608690	
	2043	397136	71484	1798532	2605210			4896298	-3667150	
	2044	403569	72642	1797374	2647414			4896298	-3726558	
	2045	410188	73834	1796182	2690832			4896298	-3787674	
	2046	417079	75074	1794942	2736038			4896298	-3851307	
	2047	424211	76358	1793658	2782824			4896298	-3917164	
	2048	431592	77687	1792329	2831245			4896298	-3985323	
	2049	439447	79100	1790916	2882774			4896298	-4057855	
	2050	448192	80675	1789341	2940141	27202466.3	2674000	4896298	-4138607	
Total	10,924,735	1,966,452	1,285,813	71,666,263	71,666,263	17,414,000	127,110,370	-100,879,006	186,977,891	

Tabla.4.16. Costo del tercer escenario sin ingresar el valor de contaminación

$$\text{Costo por tonelada} = 186,977,891 \div 10,924,735 = 17.12 \text{ €/t}$$

Con la introducción del valor de contaminación, el costo se convierte de acuerdo con la siguiente tabla:-

Año	Relleno sanitario		Planta de clasificación mecánica		Total		Costo de la contaminación por lixiviados 0.5 €/m ³	Costo de la contaminación por CO ₂ 1.65 €/t	Costo anual total de contaminación €
	Cantidad de lixiviados 50 m ³ /t	Cantidad de CO ₂ 1,100 Kg/t	Cantidad de lixiviados 0.1 m ³ /t	Cantidad de CO ₂ 32 Kg/t	Cantidad de lixiviados	Cantidad de CO ₂			
	m ³ /año	t/año	m ³ /año	tn/año					
2021	12603523	277278	5533	1771	12609056	279049	6304528	460431	6764959
2022	12786274	281298	5613	1796	12791887	283094	6395944	467105	6863049
2023	12969118	285321	5694	1822	12974812	287143	6487406	473786	6961192
2024	13140310	289087	5769	1846	13146079	290933	6573040	480039	7053079
2025	13288796	292354	5834	1867	13294630	294221	6647315	485465	7132780
2026	13405737	294926	5885	1883	13411622	296809	6705811	489735	7195546
2027	13487512	296725	5921	1895	13493433	298620	6746717	492723	7239440
2028	13538765	297853	5944	1902	13544709	299755	6772355	494596	7266950
2029	13614582	299521	5977	1913	13620559	301434	6810280	497366	7307646
2030	13707161	301558	6018	1926	13713179	303484	6856590	500749	7357338
2031	13811335	303849	6064	1940	13817399	305789	6908700	504552	7413251
2032	13924588	306341	6113	1956	13930701	308297	6965351	508690	7474041
2033	14049910	309098	6168	1974	14056078	311072	7028039	513269	7541308
2034	14190409	312189	6230	1994	14196639	314183	7098320	518402	7616721
2035	14352179	315748	6301	2016	14358480	317764	7179240	524311	7703551
2036	14538758	319853	6383	2043	14545141	321896	7272571	531128	7803699
2037	14752477	324555	6477	2073	14758954	326628	7379477	538936	7918413
2038	14989992	329780	6581	2106	14996573	331886	7498287	547612	8045898
2039	15243323	335353	6692	2142	15250015	337495	7625008	556867	8181874
2040	15503984	341088	6807	2178	15510791	343266	7755396	566389	8321784
2041	15764451	346818	6921	2215	15771372	349033	7885686	575904	8461590
2042	16022988	352506	7034	2251	16030022	354757	8015011	585349	8600360
2043	16282560	358216	7148	2288	16289708	360504	8144854	594832	8739686
2044	16546338	364019	7264	2325	16553602	366344	8276801	604468	8881269
2045	16817698	369989	7383	2363	16825081	372352	8412541	614381	9026921
2046	17100235	376205	7507	2402	17107742	378607	8553871	624702	9178573
2047	17392649	382638	7636	2443	17400285	385081	8700143	635384	9335526
2048	17695281	389296	7769	2486	17703050	391782	8851525	646440	9497965
2049	18017335	396381	7910	2531	18025245	398912	9012623	658205	9670827
2050	18375880	404269	8067	2582	18383947	406851	9191974	671304	9863278
Total	447,914,147	9,854,111	196,645	62,926	448,110,792	9,917,037	224,055,396	16,363,111	240,418,507

Tabla.4.17. Costo del tercer escenario con la entrada del valor de la contaminación

Costo total de contaminación (€/t) = 22

Coste total (€/t) = 22 + 17.12 = 39.12

4.7.4 Estudio de costos para el cuarto escenario: clasificación mecánica de residuos, luego conversión de materiales orgánicos en compost y luego enterramiento del resto en el relleno sanitario:-

La cantidad total de residuos enterrados durante la vida del proyecto	3,058,926 t
Densidad de residuos	800 Kg/m ³
El volumen total de residuos al final de la vida del proyecto	3,823,657 m ³
Los materiales de cobertura se agregan al 15% del volumen total	573,549 m ³
Volumen total de residuos y materiales de cobertura	4,397,206 m ³
Altura del vertedero desde la base	20 m
Área requerido para relleno sanitario	219,860 m ²

Tabla.4.18. Área necesaria para verter los residuos después del tratamiento biomecánico

$$\text{Área total} = 219,860 + 116,914 = 336,774 \text{ m}^2$$

Ingresos por recuperación de material:

$$\text{Cartón y papel: } 370 \text{ Kg} \times 0.04 \text{ €/Kg} = 14.8 \text{ €}$$

$$\text{Plástico: } 220 \text{ Kg} \times 0.1 \text{ €/Kg} = 22 \text{ €}$$

$$\text{Vidrio: } 110 \text{ Kg} \times 0.06 \text{ €/Kg} = 6.6 \text{ €}$$

$$\text{Metales: } 190 \text{ Kg} \times 0.03 \text{ €/Kg} = 5.7 \text{ €}$$

$$\text{Textil: } 110 \text{ Kg} \times 0.02 \text{ €/Kg} = 2.2 \text{ €}$$

Esto equivale a 51.3 euros por tonelada de material recuperado.

Por lo tanto, el costo de la solución propuesta sin ingresar el valor de contaminación está de acuerdo con la siguiente tabla:

	Año	RSU	RO	RR	Vertidos	Relleno sanitario		Planta de clasificación mecánica			Planta de tratamiento biológico		
		t/año	t/año	t/año	t/año	Costo operacional	Costos de inversión	Costos de inversión €	Costo operacional €	Valor de venta de materiales recuperado	Costo operacional	Costos de inversión	Valor de venta de compostaje
		8 €/t	8 €/t	51.3 €/t	€	€	€	2.5 €/t					
Primera etapa	2021	307403	165998	55333	86073	688583			3672784	-2838559	1341146		-414994
	2022	311860	168405	56135	87321	698567			3672784	-2879718	1341146		-421011
	2023	316320	170813	56938	88570	708557			3672784	-2920898	1341146		-427032
	2024	320495	173067	57689	89739	717910			3672784	-2959454	1341146		-432669
	2025	324117	175023	58341	90753	726022			3672784	-2992896	1341146		-437558
	2026	326969	176563	58854	91551	732411			3672784	-3019234	1341146		-441408
	2027	328964	177640	59213	92110	736879			3672784	-3037651	1341146		-444101
	2028	330214	178315	59438	92460	739679			3672784	-3049194	1341146		-445789
	2029	332063	179314	59771	92978	743821			3672784	-3066269	1341146		-448285
	2030	334321	180533	60178	93610	748879	7241307	12575000	3672784	-3087120	1341146	10699400	-451333
Segunda etapa	2031	336862	181905	60635	94321	754571			4141955	-3110582	1523679		-454763
	2032	339624	183397	61132	95095	760758			4141955	-3136089	1523679		-458493
	2033	342681	185048	61683	95951	767605			4141955	-3164314	1523679		-462619
	2034	346108	186898	62299	96910	775281			4141955	-3195957	1523679		-467245
	2035	350053	189029	63010	98015	784119			4141955	-3232391	1523679		-472572
	2036	354604	191486	63829	99289	794313			4141955	-3274412	1523679		-478715
	2037	359817	194301	64767	100749	805989			4141955	-3322546	1523679		-485752
	2038	365610	197429	65810	102371	818965			4141955	-3376039	1523679		-493573
	2039	371788	200766	66922	104101	832806			4141955	-3433094	1523679		-501914
	2040	378146	204199	68066	105881	847047	7941453	2165000	4141955	-3491800	1523679	12118640	-510497
Tercera etapa	2041	384499	207629	69210	107660	861277			4896298	-3550462	1870016		-519073
	2042	390805	211034	70345	109425	875402			4896298	-3608690	1870016		-527586
	2043	397136	214453	71484	111198	889584			4896298	-3667150	1870016		-536133
	2044	403569	217927	72642	112999	903995			4896298	-3726558	1870016		-544818
	2045	410188	221501	73834	114853	918821			4896298	-3787674	1870016		-553753
	2046	417079	225223	75074	116782	934257			4896298	-3851307	1870016		-563057
	2047	424211	229074	76358	118779	950233			4896298	-3917164	1870016		-572685
	2048	431592	233060	77687	120846	966767			4896298	-3985323	1870016		-582649
	2049	439447	237301	79100	123045	984362			4896298	-4057855	1870016		-593254
	2050	448192	242024	80675	125494	1003951	9288647	2674000	4896298	-4138607	1870016	14980520	-605059
Total	10,924,735	5,899,357	1,966,452	3,058,926	24,471,407	24,471,407	17,414,000	127,110,370	-100,879,006	47,348,410	37,798,560	-14,748,393	

Tabla.4.19. Costo del cuarto escenario sin ingresar el valor de contaminación

Costo total = 30644512 €

Costo por tonelada = 162986755 ÷ 10924735 = 15 €/t

Con la introducción del valor de contaminación, las cantidades de contaminantes resultantes de esta solución propuesta se vuelven de acuerdo con la siguiente tabla:-

Año	Relleno sanitario		Planta de clasificación mecánica		Planta de tratamiento biológico		Total		Costo de la contaminación por lixiviados 0.5 €/m ³	Costo de la contaminación por Co ₂ 1.65 €/t	Costo anual total de contaminación €
	Cantidad de lixiviados 10 m ³ /t	Cantidad de Co ₂ 1100 Kg/t	Cantidad de lixiviados 0.1 m ³ /t	Cantidad de Co ₂ 32 Kg/t	Cantidad de lixiviados 0.2 m ³ /t	Cantidad de Co ₂ 108 Kg/t	Cantidad de lixiviados	Cantidad de Co ₂			
	m ³ /año	tn/año	m ³ /año	tn/año	m ³ /año	tn/año	m ³ /año	tn/año			
2021	860728	94680	5533	1771	33200	17928	899461	114379	449731	188725	638456
2022	873209	96053	5613	1796	33681	18188	912503	116037	456252	191461	647713
2023	885696	97427	5694	1822	34163	18448	925553	117697	462777	194200	656977
2024	897387	98713	5769	1846	34613	18691	937769	119250	468885	196763	665647
2025	907528	99828	5834	1867	35005	18903	948367	120598	474184	198987	673170
2026	915514	100707	5885	1883	35313	19069	956712	121659	478356	200737	679093
2027	921098	101321	5921	1895	35528	19185	962547	122401	481274	201962	683235
2028	924599	101706	5944	1902	35663	19258	966206	122866	483103	202729	685832
2029	929776	102275	5977	1913	35863	19366	971616	123554	485808	203864	689672
2030	936099	102971	6018	1926	36107	19498	978224	124395	489112	205252	694364
2031	943213	103753	6064	1940	36381	19646	985658	125339	492829	206809	699638
2032	950947	104604	6113	1956	36679	19807	993739	126367	496870	208506	705375
2033	959506	105546	6168	1974	37010	19985	1002684	127505	501342	210383	711725
2034	969101	106601	6230	1994	37380	20185	1012711	128780	506356	212487	718843
2035	980149	107816	6301	2016	37806	20415	1024256	130247	512128	214908	727036
2036	992891	109218	6383	2043	38297	20680	1037571	131941	518786	217703	736488
2037	1007486	110823	6477	2073	38860	20984	1052823	133880	526412	220902	747314
2038	1023707	112608	6581	2106	39486	21322	1069774	136036	534887	224459	759346
2039	1041007	114511	6692	2142	40153	21683	1087852	138336	543926	228254	772180
2040	1058809	116469	6807	2178	40840	22053	1106456	140700	553228	232155	785383
2041	1076597	118426	6921	2215	41526	22424	1125044	143065	562522	236057	798579
2042	1094253	120368	7034	2251	42207	22792	1143494	145411	571747	239928	811675
2043	1111980	122318	7148	2288	42891	23161	1162019	147767	581010	243816	824825
2044	1129994	124299	7264	2325	43585	23536	1180843	150160	590422	247764	838186
2045	1148526	126338	7383	2363	44300	23922	1200209	152623	600105	251828	851932
2046	1167821	128460	7507	2402	45045	24324	1220373	155186	610187	256057	866243
2047	1187791	130657	7636	2443	45815	24740	1241242	157840	620621	260436	881057
2048	1208458	132930	7769	2486	46612	25170	1262839	160586	631420	264967	896386
2049	1230452	135350	7910	2531	47460	25629	1285822	163510	642911	269792	912703
2050	1254938	138043	8067	2582	48405	26139	1311410	166764	655705	275161	930866
Total	30589259	3364818	196645	62926	1179871	637131	31965775	4064875	15982888	6707044	22689931

Tabla.4.20. Costo del tercer escenario con la entrada del valor de la contaminación

Costo total de contaminación (€/t) = 2

Coste total (€/t) = 2 + 15 = 17

4.8 Cálculo del beneficio y selección de la alternativa más adecuada:-

Con base en la matriz de impacto ambiental mencionada en el párrafo 2.6, el beneficio se calculará a partir de:

- El beneficio de ahorrar en el costo de la contaminación por lixiviados.
- El beneficio de ahorrar en el costo de la contaminación por gas.
- Beneficiarse de la venta de materiales reciclados y la venta de fertilizantes orgánicos.
- El beneficio del ahorro en costos de atención médica.

Como se señaló en los párrafos anteriores, se ha descuidado el precio de la tierra, la razón de esto es que todas estas tierras son propiedad del municipio, por lo que no pagan costos por su explotación.

El beneficio logrado entre cada solución alternativa y otra es el resultado de restar el valor del criterio estudiado entre las dos alternativas.

Para averiguarlo aplicaremos el método de comparación binaria entre las alternativas según la metodología que se explicó en el párrafo 3.5, de acuerdo con los siguientes pasos:

Al aplicar este método, hicimos el orden ascendente de los escenarios según el costo neto de la solución propuesta, como:

El costo neto de la solución propuesta = costos de inversión + costos operativos

Así, las alternativas se organizaron en orden ascendente de la siguiente manera:

- 1) Primer escenario: 43,698,941 €
- 2) Segundo escenario: 174,795,764 €
- 3) Cuarto escenario: 278,614,154 €
- 4) Tercer escenario: 287,856,897 €

- Etapa 1: Comparación entre el escenario 1 (la alternativa defensora) y el escenario 2 (la alternativa desafiada):-

Datos	Unidad	A	B	Beneficio A-B	
		Escenario 1	Escenario 2	Beneficio adicional	Costos adicional
		vertedero	Relleno sanitario		
El costo neto de la solución propuesta		43,698,941	174,795,764		
Costo de operación	€	43,698,941	87,397,882	0	-43,698,941
Costo de inversión	€	0	87,397,882		-87,397,882
Costo de la contaminación por lixiviados	€	4.1×10^8	2.73×10^8	1.37×10^8	0
Costo de la contaminación del gas	€	23,884,203	19,828,395	4,055,808	0
Coste sanitario	€	253,129,529	0	253,129,529	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0		
Ingresos por venta de fertilizantes	€	0	0		
Beneficios adicionales totales				394,185,337	
Costos adicionales totales					131,096,823
Relación beneficio / costo					3

Tabla.4.21. Comparación binaria - primera etapa

Observamos que la relación costo / beneficio = $3 > 1$.

Entonces, el escenario 2 es el ganador en la primera etapa de la comparación.

- La segunda etapa: comparación entre el escenario 2 (la alternativa defensora) y el escenario 4 (la alternativa desafiada):

Datos	Unidad	B	C	Beneficio B-C	
		Escenario 2	Escenario 4	Beneficio adicional	Costos adicionales
		Relleno sanitario	Tratamiento mecánico y biológico, luego enterrar el resto		
El costo neto de la solución propuesta		174,795,764	278,614,154	Beneficio adicional	Costos adicionales
Costo de operación	€	87,397,882	198,930,187	0	-111,532,305
Costo de inversión	€	87,397,882	79,683,967	7,713,915	0
Costo de la contaminación por lixiviados	€	2.73×10^8	15,982,888	257,017,112	0
Costo de la contaminación del gas	€	19,828,395	6,707,044	13,121,351	0
Coste sanitario	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	- 100,879,006	100,879,006	0
Ingresos por venta de fertilizantes	€	0	- 14,748,393	14,748,393	0
Beneficios adicionales totales				393,479,777	
Costos adicionales totales					111,532,305
Relación beneficio / costo					3.53

Tabla.4.22. Comparación binaria - segunda etapa

Observamos que la relación costo / beneficio = 3.53 > 1.

Entonces, el escenario 4 es el ganador en la segunda etapa de la comparación.

- La tercera etapa: comparación entre el escenario 4 (la alternativa defensora) y el escenario 3 (la alternativa desafiada):-

Datos	Unidad	C	D	Beneficio C-D	
		Escenario 4	Escenario 3	Beneficio adicional	Costos adicional
		Tratamiento mecánico y biológico, luego enterrar el resto	Tratamiento mecánico y luego enterrar el resto		
El costo neto de la solución propuesta		278,614,154	287,856,897		
Costo de operación	€	198,930,187	198,776,633	153,554	0
Costo de inversión	€	79,683,967	89,080,263	0	-9396296
Costo de la contaminación por lixiviados	€	15,982,888	224,055,396	0	-208,072,508
Costo de la contaminación del gas	€	6,707,044	16,363,111	0	-9,656,067
Coste sanitario	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	- 100,879,006	- 100,879,006	0	0
Ingresos por venta de fertilizantes	€	- 14,748,393	0	0	- 14,748,393
Beneficios adicionales totales				153,554	
Costos adicionales totales					241,873,264
Relación beneficio / costo					0.0006

Tabla.4.23. Comparación binaria – tercera etapa

Observamos que la relación costo / beneficio = 0.0006 < 1.

Entonces, el escenario 4 es el ganador en la tercera etapa de la comparación.

De lo anterior concluimos que el Escenario 4, que representa la solución propuesta para eliminar los residuos municipales mediante la clasificación mecánica de materiales reciclables, luego el tratamiento biológico de los residuos orgánicos para producir acondicionadores de suelo (compost) y luego enterrar el resto en un relleno sanitario, es la mejor alternativa entre el conjunto de alternativas propuestas para el área estudiada.

Es decir, para implementar este proyecto, pasamos del caso de la alternativa cero (no implementación) al caso de la cuarta alternativa, y por lo tanto el beneficio adicional de hacer este proyecto se puede calcular de la siguiente manera:

Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 4	Beneficio / Costos	
		vertedero	Tratamiento mecánico y biológico, luego enterrar el resto	Beneficio	Costos
El costo neto de la solución propuesta		43,698,941	278,614,154	Beneficio	Costos
Costo de operación	€	43,698,941	198,930,187	0	-155,231,246
Costo de inversión	€	0	79,683,967	0	-79,683,967
Costo de la contaminación por lixiviados	€	4.1×10^8	15,982,888	394,017,112	0
Costo de la contaminación del gas	€	23,884,203	6,707,044	17,177,159	0
Coste sanitario	€	253,129,529	0	253,129,529	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	- 100,879,006	100,879,006	0
Ingresos por venta de fertilizantes	€	0	- 14,748,393	14,748,393	
Beneficios adicionales totales				779,951,199	
Costos adicionales totales					234,915,213
Relación beneficio / costo					3.32

Tabla.4.24. Costo de la solución final

Por tanto, el beneficio resultante de la implementación del proyecto es 779,951,199

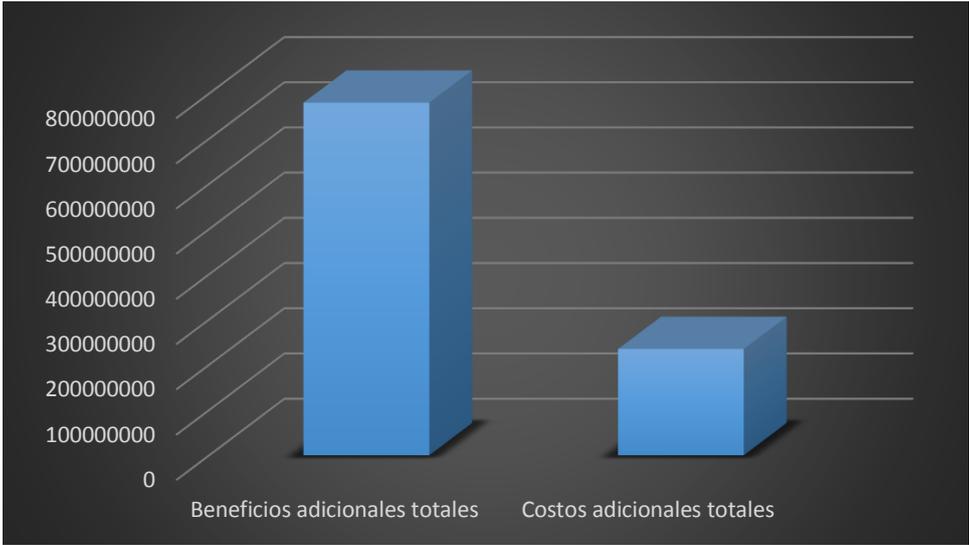


Fig.4.3. Diferencia entre beneficio y costo en la solución final

Es decir, los beneficios en este proyecto superan su costo, y se logra una relación beneficio-costo igual a 3.32, por lo que es factible que los tomadores de decisiones lo implementen.

Capitulo cinco: Estudio de sensibilidad

5.1 Introducción:-

El análisis de sensibilidad es el paso final en la metodología de análisis de costo / beneficio, antes de decidir si continuar con el proyecto.

El análisis de sensibilidad se define como "una técnica utilizada para determinar cómo un valor diferente de una variable independiente afecta una variable de una función particular bajo un conjunto de supuestos, y es un medio para predecir si el resultado de una decisión puede cambiar cuando uno o más cambios de datos". Esta técnica se utiliza dentro de ciertos límites que dependerán de una o más variables (55).

El análisis de sensibilidad, según la definición de Jovanovic, es un método matemático utilizado para predecir los efectos de un cambio en las salidas de un sistema como resultado de un cambio en los valores de entrada (56). Este método se utiliza a menudo para evaluar proyectos de inversión a la luz del riesgo y la incertidumbre, donde el análisis de sensibilidad también se conoce como la cantidad de cambio que ocurre en las entradas del proyecto (como resultado de una evaluación inexacta de estos factores, o por otras razones), lo que a su vez incide en determinados factores o en la evaluación global del proyecto.

Jovanovic explicó que el análisis de sensibilidad es uno de los métodos más importantes para evaluar proyectos de inversión en condiciones de riesgo e incertidumbre, y mostró cómo el análisis de sensibilidad puede afectar los criterios de inversión tradicionales (período de retorno, valor actual neto, tasa interna de retorno). Se concluyó que el análisis de sensibilidad puede contribuir a brindar información importante sobre los efectos del cambio en los insumos del proyecto de inversión y así llegar a una decisión racional de inversión.

Pannell también mostró la importancia de utilizar un análisis de sensibilidad para llegar a una decisión de inversión racional (57), donde explicó que el uso del método de análisis de sensibilidad puede contribuir a incrementar el conocimiento del tomador de decisiones y la comprensión del comportamiento de los sistemas en estudio, y que el análisis de sensibilidad se caracteriza por la facilidad de uso y aplicación y su alta flexibilidad, pudiendo ser aplicado a cualquier modelo cuantitativo.

El análisis de sensibilidad se clasifica en dos categorías (58), la primera categoría se denomina análisis de sensibilidad utilizando un factor al mismo tiempo, en este análisis, un factor del proyecto de inversión cambia mientras que los otros elementos permanecen iguales, en cuanto a la segunda categoría, se denomina análisis de sensibilidad utilizando múltiples factores, y este análisis permite cambiar más de uno de los factores del proyecto al mismo tiempo.

Según Couper (59), a través del análisis de sensibilidad se aplica el principio del "qué pasaría si" (What if), por ejemplo, decimos ¿qué pasará si la población cambia en nuestro estudio? ¿Seguirá siendo la cuarta solución la mejor solución? ¿Y qué pasará si cambia alguno de los datos del estudio? ... etc

De acuerdo con lo anterior, el tema de este capítulo será el análisis de sensibilidad utilizando un solo factor, y usaremos el escenario "¿qué pasaría si?" Para trabajar las variables que podrían conducir a un cambio en el escenario de solución propuesto.

5.2 Factores del análisis de sensibilidad:-

El primer paso en las pruebas de sensibilidad según el escenario "¿qué pasaría si?" Es la identificación de los factores a probar (ya sea por incertidumbre sobre sus valores o indicadores, o por la posibilidad de que puedan afectar los resultados).

A partir de aquí, se han identificado 17 factores en nuestro estudio, sobre los que haremos análisis de sensibilidad, y se muestran en la siguiente tabla:

	Factores de la análisis de sensibilidad	Unidad
1	Población	Cápita
2	Cuota diaria per cápita de residuos	Kg/día
3	Cantidad de RSU	t/año
4	Porcentaje de residuos orgánicos	%
5	Porcentaje de residuos reciclado	%
6	Porcentaje de vertidos	%
7	Precio por m ² de terreno	€
8	Valor de venta de material reciclado	€/t
9	Valor de venta de fertilizantes	€/t
10	Costo de contaminación del lixiviados	€/m ³
11	Costo de contaminación por eq. CO2	€/t
12	Altura de residuos en el vertedero incontrolado	m
13	Altura de residuos en el relleno sanitario	m
14	Costo de operar en el vertedero incontrolado	€
15	Promedio de miembros de la familia	Cápita
16	Costo de una visita médica al médico	€
17	Número de visitas familiares anuales al centro de salud	€

Tabla.5.1. Factores del análisis de sensibilidad

5.3 Modelo Excel:-

El modelo Excel está diseñado para facilitar el estudio de la sensibilidad, y este modelo es el núcleo para la programación de un modelo computacional integrado del que las instituciones interesadas pueden beneficiarse en el futuro.

❖ Entrada de datos:-

Contiene los datos del proyecto y sus hipótesis técnicas y económicas, según la siguiente figura:

Datos de población

Población del proyecto	673760	Capita
Número medio de miembros de la familia	6	Capita

Datos de residuos

La cantidad de residuos

Cuota diaria per cápita de residuos	1.25	Kg/día
Cantidad de residuos básicos	307,403	tn/año

Porcentajes de composición de residuos

RO	54	%
RR	18	%
Vertidos	28	%

Condiciones de diseño

Altura de residuos en vertederos aleatorios	20	m
Altura de residuos en relleno sanitario	20	m

Datos de precios de mercado

Precio por metro cuadrado de terreno	0	€
Valor de venta de materiales reciclados	51.3	€/tn
Valor de venta de compostajes	2.5	€/tn

Costos y datos técnicos

Costo de la contaminación del agua	0.5	€/m ²
Costo de la contaminación por Co ₂ equivalente	1.65	€/tn
Costo de una visita médica	11.1	€
Número de visitas de salud por familia	5.7143	vez/año

Fig.5.1. Página de entrada del proyecto

❖ Resultados:-

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	10924735	10924735	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m2	873979	902129	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	43698941.13	174795765	186977891	162986755.8
Costo por tonelada sin contaminación	€	4	16	17.12	15
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573.1	273118382	224055396	15982888
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	6707045
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	2
Costo sanitario por tonelada	€	23.17	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	66.86	42.82	39.12	17

Fig.5.2. Tabla de resultados

Contiene los resultados técnicos y económicos resultantes del procesamiento de los datos ingresados dentro de los cuatro escenarios propuestos en esta investigación, de acuerdo con la siguiente figura:

Los resultados se presentan en una tabla para facilitar la comparación.

También es posible obtener datos detallados para cada escenario, por ejemplo, como se muestra en la siguiente figura, para el primer escenario:

Escenario 1 sin contaminacion

	Año	RSU	RR	RO	Vertidos	Costo operacion al €/t	
		t / año	t / año	t / año	t / año	4	
Primera etapa	2021	307403	0	0	307403	1229612	
	2022	311860	0	0	311860	1247441.37	
	2023	316320	0	0	316320	1265279.79	
	2024	320495	0	0	320495	1281981.48	
	2025	324117	0	0	324117	1296467.87	
	2026	326969	0	0	326969	1307876.79	
	2027	328964	0	0	328964	1315854.84	
	2028	330214	0	0	330214	1320855.08	
	2029	332063	0	0	332063	1328251.87	
	2030	334321	0	0	334321	1337283.98	
Segunda etapa	2031	336862	0	0	336862	1347447.34	
	2032	339624	0	0	339624	1358496.41	
	2033	342681	0	0	342681	1370722.88	
	2034	346108	0	0	346108	1384430.11	
	2035	350053	0	0	350053	1400212.61	
	2036	354604	0	0	354604	1418415.37	
	2037	359817	0	0	359817	1439266.08	
	2038	365610	0	0	365610	1462438.26	
	2039	371788	0	0	371788	1487153.47	
	2040	378146	0	0	378146	1512583.8	
Tercera etapa	2041	384499	0	0	384499	1537995.2	
	2042	390805	0	0	390805	1563218.32	
	2043	397136	0	0	397136	1588542.46	
	2044	403569	0	0	403569	1614276.85	
	2045	410188	0	0	410188	1640750.99	
	2046	417079	0	0	417079	1668315.61	
	2047	424211	0	0	424211	1696843.8	
	2048	431592	0	0	431592	1726368.89	
	2049	439447	0	0	439447	1757788.8	
	2050	448192	0	0	448192	1792768.8	
	Total	10924735	0	0	10924735	43698941.1	Coste total (€/t)
							4

Escenario 1 con contaminación						
Año	Costo operativo 4 €/t	Cantidad de lixiviados	Cantidad de Co2 equivalente	Costo de contaminación por lixiviados 0.5 €/m ³	Costo de contaminación por Co2 equivalente 1.65 €/t	Costo anual total de contaminación €
		m ³ / t	<i>Kg/tn</i>			
2021	1229612	23055225	407309	11527613	672060	12199672
2022	1247441	23389526	413215	11694763	681805	12376568
2023	1265280	23723996	419124	11861998	691554	12553552
2024	1281981	24037153	424656	12018576	700683	12719259
2025	1296468	24308773	429455	12154386	708601	12862987
2026	1307877	24522690	433234	12261345	714836	12976181
2027	1315855	24672278	435877	12336139	719197	13055336
2028	1320855	24766033	437533	12383016	721930	13104946
2029	1328252	24904723	439983	12452361	725973	13178334
2030	1337284	25074075	442975	12537037	730909	13267947
2031	1347447	25264638	446342	12632319	736464	13368783
2032	1358496	25471808	450002	12735904	742503	13478407
2033	1370723	25701054	454052	12850527	749186	13599713
2034	1384430	25958065	458592	12979032	756678	13735710
2035	1400213	26253986	463820	13126993	765304	13892297
2036	1418415	26595288	469850	13297644	775253	14072897
2037	1439266	26986239	476757	13493120	786649	14279768
2038	1462438	27420717	484433	13710359	799314	14509673
2039	1487153	27884128	492620	13942064	812822	14754886
2040	1512584	28360946	501043	14180473	826722	15007195
2041	1537995	28837410	509461	14418705	840611	15259316
2042	1563218	29310344	517816	14655172	854397	15509568
2043	1588542	29785171	526205	14892586	868238	15760823
2044	1614277	30267691	534729	15133845	882303	16016149
2045	1640751	30764081	543499	15382041	896773	16278813
2046	1668316	31280918	552630	15640459	911839	16552298
2047	1696844	31815821	562080	15907911	927431	16835342
2048	1726369	32369417	571860	16184708	943568	17128277
2049	1757789	32958540	582268	16479270	960741	17440011
2050	1792769	33614415	593855	16807207	979860	17787068
Total	43698941	819355146	14475274	409677573	23884203	433561776
Costo total de contaminación €/t					39.69	
Coste total €/t					43.69	

Fig.5.3. Ejemplo de datos detallados obtenidos por el modelo Excel

Finalmente, una comparación entre el escenario propuesto y los otros tres escenarios:

Datos	Unidad	Escenario	Escenario	Beneficio adicional	Costos adicionales
		1	4		
El costo neto de la solución propuesta		43,698,941	278,614,154		
Costo de operación	€	43698941	198930187	0	-155231246
Costo de inversión	€	0	79683967	0	-79683967
Costo de contaminación por lixiviados	€	409677573	15982888	393694685	0
Costo de la contaminación del gas	€	23884203	6707045	17177158	0
Coste sanitario	€	253129529	0	253129529	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	-100879006	100879006	0
Ingresos por venta de fertilizantes	€	0	-14748393	14748393	0
Beneficios adicionales totales				779628770	
Costos adicionales totales					234,915,213
Relación beneficio / costo					3.32

Datos	Unidad	Escenario	Escenario	Beneficio adicional	Costos adicional
		2	4		
El costo neto de la solución propuesta		174,795,765	278,614,154		
Costo de operación	€	87397882	198930187	0	-111532305
Costo de inversión	€	87397882	79683967	7713915.231	0
Costo de la contaminación por lixiviados	€	273118382	15982888	257135494.4	0
Costo de la contaminación del gas	€	19828395	6707045	13121350	0
Coste sanitario	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	-100879006	100879005.6	0
Ingresos por venta de fertilizantes	€	0	-14748393	14748393	0
Beneficios adicionales totales				393598157.8	
Costos adicionales totales					111,532,305
Relación beneficio / costo					3.53

Datos	Unidad	Escenario	Escenario	Beneficio adicional	Costos adicional
		3	4		
El costo neto de la solución propuesta		287,856,897	278,614,154		
Costo de operación	€	7836439	198930187	0	-191093748
Costo de inversión	€	89080263	79683967	9396296.42	0
Costo de la contaminación por lixiviados	€	224055396	15982888	208072508	0
Costo de la contaminación del gas	€	16363112	6707045	9656068	0
Coste sanitario	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	-100879006	-100879006	0	0
Ingresos por venta de fertilizantes	€	0	-14748393	14748393	0
Beneficios adicionales totales				241873265	
Costos adicionales totales					191,093,748
Relación beneficio / costo					1.27

Tabla.5.4. Comparación entre el escenario propuesto y los otros tres escenarios en el modelo Excel

También es posible obtener datos detallados sobre la población esperada para cada año, así como la cantidad anual de residuos, además del costo sanitario.

5.4 Análisis de sensibilidad:-

Con base en el modelo anterior, realizamos análisis de sensibilidad sobre los principales factores aprobados en el estudio, que se describen en el párrafo 5.2, y revisaremos la sensibilidad de estos factores en el siguiente orden:

5.4.1 Cantidad de RSU:-

Cantidad de RSU = cantidad diaria per cápita de residuos x población

Por lo tanto, cualquier cambio en uno de los lados de esta ecuación afectará el resultado, ya sea la cantidad diaria per cápita de residuos o la población del proyecto.

Como resultado de los análisis, se encontró que la solución alternativa propuesta (escenario) difiere en nuestro caso de estudio, y la solución óptima se convierte en la tercera solución, que es clasificación mecánica y luego enterrar el resto, en lugar de la cuarta solución cuando la cantidad de desechos en el año base es 245,463 t/año, lo que corresponde a 538,000 personas con una participación de 1.25 kg / día, o cuando la participación per cápita desciende a 0.556 kg / día mientras se mantiene la población del año base en 673,760 personas.

En otras palabras, si la participación per cápita de residuos desciende a 0.998 kg / día en el área estudiada, la cuarta solución propuesta no será la más adecuada y será más adecuada la clasificación mecánica y luego enterrar el resto.

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	8722309	8722309	8722309	8722309
Cantidad de RO	t	0	0	0	4710047
Cantidad de RR	t	0	0	1570016	1570016
Vertidos	t	8722309	8722309	7152293	2442246
Área terrestre	m2	697785	743830	630985	292450
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	80541798	80541798.07
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	11775117
El costo del proyecto	€	34889234.6	139556938	178419261	176430368
Costo por tonelada sin contaminación	€	4	16	20.46	20
Cantidad de lixiviados	m3	654173149	436115433	357771656	25521475
Cantidad de Co2 equivalente	tn	11557059	9594540	7917763	3245397
Costo de la contaminación de lixiviados	€	327086574	218057716	178885828	12760738
Costo de la contaminación por gases	€	19069147	15830990	13064309	5354904
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	2
Costo sanitario por tonelada	€	29.02	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	72.71	42.82	42.46	22

Tabla.5.2. Resultados del análisis de sensibilidad de la cantidad de residuos en el punto de equilibrio.

Es decir, la cantidad de RSU con sus factores son puntos sensibles que conducen a un cambio en la solución más adecuada para el proyecto propuesto.

5.4.2 Proporciones de componentes de residuos:-

La composición de residuos urbanos en nuestro caso estudiado consta de:

- 54% residuos orgánicos (RO).
- 18% residuos se puede reciclarlos (RR).
- 28% vertidos.

Probamos la sensibilidad de cambiar estos porcentajes y encontramos que la solución alternativa propuesta (el escenario) difiere en nuestro caso de estudio, y la solución óptima se convierte en la tercera solución, que es la solución basada solo en clasificación mecánica, luego enterrando el resto en lugar de la cuarta solución cuando el porcentaje de RO alcanza el 35% de la composición total del residuo, es decir, cuando la composición se convierte en:

- 35% residuos orgánicos (RO).
- 18% residuos se puede reciclarlos (RR).
- 47% vertidos.

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	10924735	10924735	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	3823657
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	5134626
Área terrestre	m2	873979	902129	760791	485965
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	9559143
El costo del proyecto	€	43698941.1	174795765	186977891	201387200.4
Costo por tonelada sin contaminación	€	4	16	17.12	18
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	52307633
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	6123970
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573	273118382	224055396	26153816
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	10104550
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	3
Costo sanitario por tonelada	€	23.17	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	66.86	42.82	39.12	22

Tabla.5.3. Resultados de análisis de sensibilidad del punto de equilibrio para la composición de los RSU

También se encontró que el porcentaje de residuos reciclables no afecta el resultado cuando el porcentaje de residuos orgánicos se fija en 54%, incluso si alcanza la cantidad restante total de la composición del residuo.

Por tanto, la composición de los residuos con respecto al porcentaje de materia orgánica que contienen es un punto sensible en el que cambia el escenario de solución más adecuado.

5.4.3 Precio por m² de terreno:-

El factor del precio por metro cuadrado de terreno se probó dentro del rango de 0 a 20 €, que es el precio máximo en el área de estudio. Los análisis de sensibilidad mostraron que el precio por metro cuadrado de terreno no afecta los resultados de las soluciones propuestas, sino que afecta el costo del proyecto y el costo de una tonelada de desperdicio, mientras que los resultados de las alternativas se mantienen sin cambios.

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	10924735	10924735	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m ²	873979	902129	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	17479576.5	18042586.97	15215811.71	6735485.951
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	61178517.6	192838351	202193703	169722241.8
Costo por tonelada sin contaminación	€	5.6	17.65153539	18.51	16
Cantidad de lixiviados	m ³	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co ₂ equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573	273118382	224055396	15982888
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	6707045
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	2
Costo sanitario por tonelada	€	23.17	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	68.46	44.47	40.51	18

Tabla.5.4. Resultados del análisis de sensibilidad del máximo precio por metro cuadrado de terreno.

5.4.4 Valor de venta de materiales reciclados y fertilizantes resultantes del tratamiento biológico:-

El factor de reciclaje se probó dentro del rango de 51.3 a 513, y el factor fertilizante del tratamiento biológico se probó dentro del rango de 2.5 a 25.

Los análisis de sensibilidad mostraron que el valor de venta de materiales reciclados o fertilizantes resultantes del tratamiento biológico no afecta los resultados de las soluciones propuestas, sino que afecta el costo por tonelada de residuo y los resultados de las alternativas permanecen sin cambios. Sin embargo, los gastos equivalen a los ingresos y el costo de eliminación de una tonelada de RSU, según el cuarto escenario, se vuelve igual a cero si el valor de los materiales de reciclaje se vuelve igual a 145 € por tonelada de materiales recuperados, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	10924735	10924735	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m2	873979	902129	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	285135591	285135590.9
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	43698941.1	174795765	2721306	-21269829.5
Costo por tonelada sin contaminación	€	4	16	0.25	-2
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573	273118382	224055396	15982888
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	6707045
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	2
Costo sanitario por tonelada	€	23.17	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	66.86	42.82	22.26	0

Tabla.5.5 Resultados del análisis de sensibilidad del precio de venta de materiales reciclados en el punto de igualación de gastos e ingresos.

Por tanto, el valor de venta de los materiales reciclados o fertilizantes resultantes del tratamiento biológico no son puntos sensibles y las preferencias de los escenarios de soluciones propuestas no cambian.

5.4.5 Costo de la contaminación por gases o lixiviados:-

El factor de contaminación resultante de los gases se analizó dentro del rango de 1.65 a 165 €, y el factor de contaminación por lixiviados se analizó dentro del rango de 0.5 a 50 €, y los resultados fueron los de las siguientes tablas:

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	10924735	10924735	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m2	873979	902129	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	43698941.1	174795765	186977891	162986755.8
Costo por tonelada sin contaminación	€	4	16	17.12	15
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	4.0968E+10	27311838208	22405539592	1598288772
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	6707045
Costo de contaminación por tonelada	€	3752.19	2501.82	2052.40	147
Costo sanitario por tonelada	€	23.17	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	3779.36	2517.82	2069.51	162

Tabla.5.6 Resultados del análisis de sensibilidad a los costos de la contaminación por lixiviados en el máximo rango

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	10924735	10924735	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m2	873979	902129	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	43698941.13	174795765	186977891	162986755.8
Costo por tonelada sin contaminación	€	4	16	17.12	15
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573.1	273118382	224055396	15982888
Costo de la contaminación por gases	€	2388420251	1982839454	1636311221	670704458
Costo de contaminación por tonelada	€	256.13	206.50	170.29	63
Costo sanitario por tonelada	€	23.17	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	283.30	222.50	187.40	78

Tabla.5.7 Resultados del análisis de sensibilidad a los costos de la contaminación por gas en el máximo rango.

Los análisis de sensibilidad mostraron que el costo de la contaminación resultante de los gases o lixiviados no afecta los resultados de las soluciones propuestas, sino que afecta el costo por tonelada de residuo y los resultados de las alternativas se mantienen sin cambios.

Por tanto, el coste de la contaminación por gases o lixiviados son puntos insensibles en los que las preferencias de los escenarios de soluciones propuestas no cambian.

5.4.6 El costo de una visita médica y el número de visitas familiares a los centros de salud anualmente:-

El costo de una visita de salud se analizó dentro del rango de 0 a 111.

El número de visitas familiares a los centros de salud anualmente dentro del rango de 0 a 10.

Las pruebas de sensibilidad mostraron que el costo de una sola visita de salud y la cantidad de visitas familiares a los centros de salud anualmente no afectan los resultados de las soluciones propuestas, pero afectan el costo de una tonelada de residuos y los resultados de las alternativas se mantienen sin cambios, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	10924735	10924735	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m2	873979	902129	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales redados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	43698941.1	174795765	186977891	162986755.8
Costo por tonelada sin contaminación	€	4	16	17.12	15
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573	273118382	224055396	15982888
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	6707045
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	2
Costo sanitario por tonelada	€	0	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	43.69	42.82	39.12	17

Tabla.5.8. Resultados del análisis de sensibilidad a los costos de la atención médica en el extremo inferior del rango.

Cabe señalar que establecer un valor de cero para cualquiera de estos dos factores descuidará el impacto del costo de la atención médica.

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
		Cantidad total RSU	t	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m2	873979	902129	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	43698941.1	174795765	186977891	162986755.8
Costo por tonelada sin contaminación	€	4	16	17.12	15
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573	273118382	224055396	15982888
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	6707045
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	2
Costo sanitario por tonelada	€	40.55	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	84.23	42.82	39.12	17

Tabla.5.9 Resultados del análisis de sensibilidad del número de visitas familiares a los centros de salud anualmente en el rango máximo.

5.4.7 El número de personas en una familia:-

El factor del número de personas en una familia se probó en la siguiente tabla dentro de un rango de 2 a 20 individuos, y los análisis de sensibilidad mostraron que el número de personas en una familia no afecta los resultados de las soluciones propuestas, sino que afecta el costo por tonelada de residuos y los resultados de las alternativas siguen siendo los mismos sin ningún cambio. Por lo tanto, el número de personas en una familia es un punto no sensible en el que las preferencias de los escenarios de soluciones propuestas no cambian.

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
		Cantidad total RSU	t	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m2	873979	902129	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	43698941.1	174795765	186977891	162986755.8
Costo por tonelada sin contaminación	€	4	16	17.12	15
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573	273118382	224055396	15982888
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	6707045
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	2
Costo sanitario por tonelada	€	6.95	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	50.64	42.82	39.12	17

Tabla.5.10. Resultados del análisis de sensibilidad del número de individuos de la misma familia en el rango máximo.

5.4.8 Aumento de residuos en el relleno sanitario o vertedero incontrolado:-

El factor de altura de los residuos se probó en el relleno sanitario dentro del rango de 2 a 40 m, y el factor de altura de los residuos se probó en el vertedero incontrolado dentro del rango de 2 a 40 m.

Los análisis de sensibilidad mostraron que el aumento de residuos en un relleno sanitario o vertedero incontrolado no afecta los resultados de las soluciones propuestas, ni afecta el costo de una tonelada de residuos, y los resultados de las alternativas permanecen sin cambios, y la razón de la esto es que el costo de la tierra en el caso del estudio es igual a cero. Lo único que cambiará es el área de tierra requerida.

Por tanto, el aumento de residuos en un relleno sanitario o vertedero aleatorio no son puntos sensibles en los que las preferencias de los escenarios de soluciones propuestas no cambian.

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	10924735	10924735	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m2	436989	902129	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	43698941.1	174795765	186977891	162986755.8
Costo por tonelada sin contaminación	€	4	16	17.12	15
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573	273118382	224055396	15982888
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	6707045
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	2
Costo sanitario por tonelada	€	23.17	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	66.86	42.82	39.12	17

Tabla.5.11. Resultados del análisis de sensibilidad del cambio de altura de los residuos en el vertedero incontrolado en el máximo rango.

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	10924735	10924735	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m2	873979	509522	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	43698941.1	174795765	186977891	162986755.8
Costo por tonelada sin contaminación	€	4	16	17.12	15
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573	273118382	224055396	15982888
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	6707045
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	2
Costo sanitario por tonelada	€	23.17	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	66.86	42.82	39.12	17

Tabla.5.12. Resultados del análisis de sensibilidad del cambio de altura de los residuos en el relleno sanitario en el máximo rango.

5.4.9 Costo de operación del vertedero incontrolado:-

Se probó el costo operativo del vertedero incontrolados (debido a su suposición e incertidumbre) dentro del rango de 0 a 10 €.

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	10924735	10924735	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m2	873979	902129	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	0	174795765	186977891	162986755.8
Costo por tonelada sin contaminación	€	0	16	17.12	15
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573	273118382	224055396	15982888
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	6707045
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	2
Costo sanitario por tonelada	€	23.17	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	62.86	42.82	39.12	17

Tabla.5.13. Resultados del análisis de sensibilidad del cambio de costo operativo en el vertedero incontrolado en el mínimo rango.

Tabla de resultados					
Datos	Unidad	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
Cantidad total RSU	t	10924735	10924735	10924735	10924735
Cantidad de RO	t	0	0	0	5899357
Cantidad de RR	t	0	0	1966452	1966452
Vertidos	t	10924735	10924735	8958283	3058926
Área terrestre	m2	873979	902129	760791	336774
Costo de la tierra necesaria	€	0	0	0	0
Ingresos por venta de materiales reciclados	€	0	0	100879006	100879005.6
Ingresos por venta de compostajes	€	0	0	0	14748393
El costo del proyecto	€	109247353	174795765	186977891	162986755.8
Costo por tonelada sin contaminación	€	10	16	17.12	15
Cantidad de lixiviados	m3	819355146	546236764	448110792	31965775
Cantidad de Co2 equivalente	tn	14475274	12017209	9917038	4064876
Costo de la contaminación de lixiviados	€	409677573	273118382	224055396	15982888
Costo de la contaminación por gases	€	23884203	19828395	16363112	6707045
Costo de contaminación por tonelada	€	39.69	26.82	22.01	2
Costo sanitario por tonelada	€	23.17	0	0	0
Costo por tonelada con contaminación	€	72.86	42.82	39.12	17

Tabla.5.14 Resultados del análisis de sensibilidad del cambio de costo operativo en el vertedero incontrolado en el máximo rango.

Los análisis de sensibilidad mostraron que el costo operativo del vertedero incontrolado no afecta los resultados de las soluciones propuestas, sino más bien el costo por tonelada de residuos, y los resultados de las alternativas permanecen sin cambios.

Capitulo seis: Discutir los resultados

6.1 Introducción:-

A través del estudio se encontró que el costo de la contaminación tiene un impacto muy significativo en el costo final por tonelada, ya que resultó que difiere significativamente entre cada alternativa propuesta y otra según el método de tratamiento.

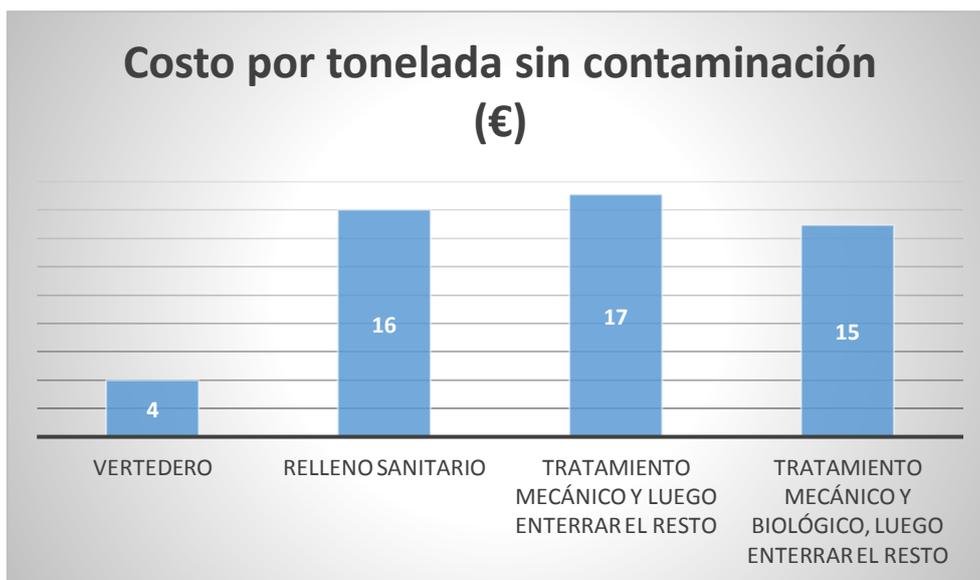


Fig.6.1. Costo por tonelada sin contaminación.

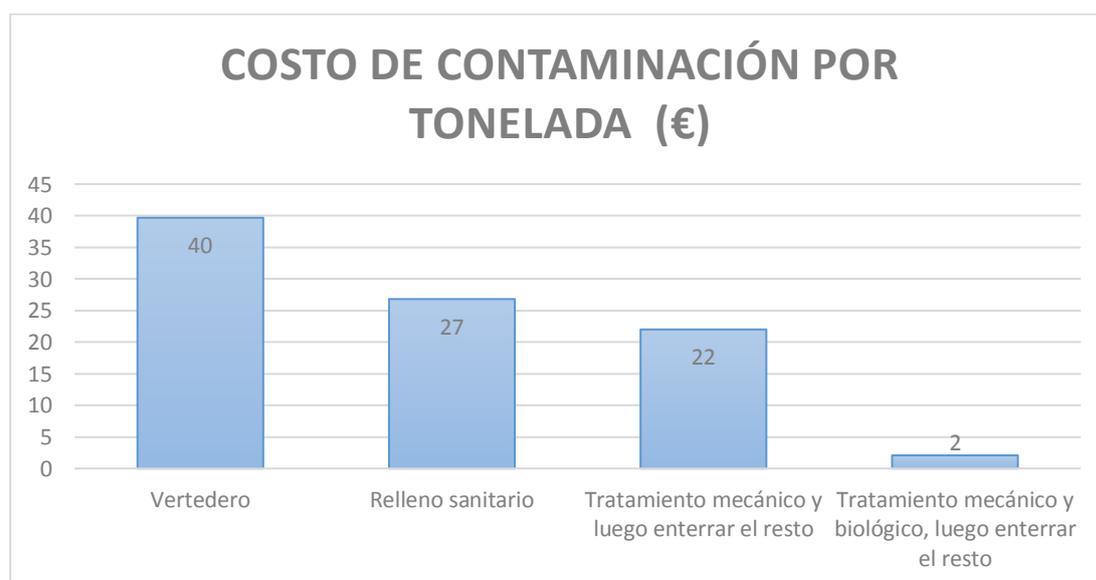


Fig.6.2. Costo de contaminación por tonelada.

El costo de la atención médica también influye, el costo de la tonelada aumentó en el primer escenario después de la introducción del costo de la atención médica.

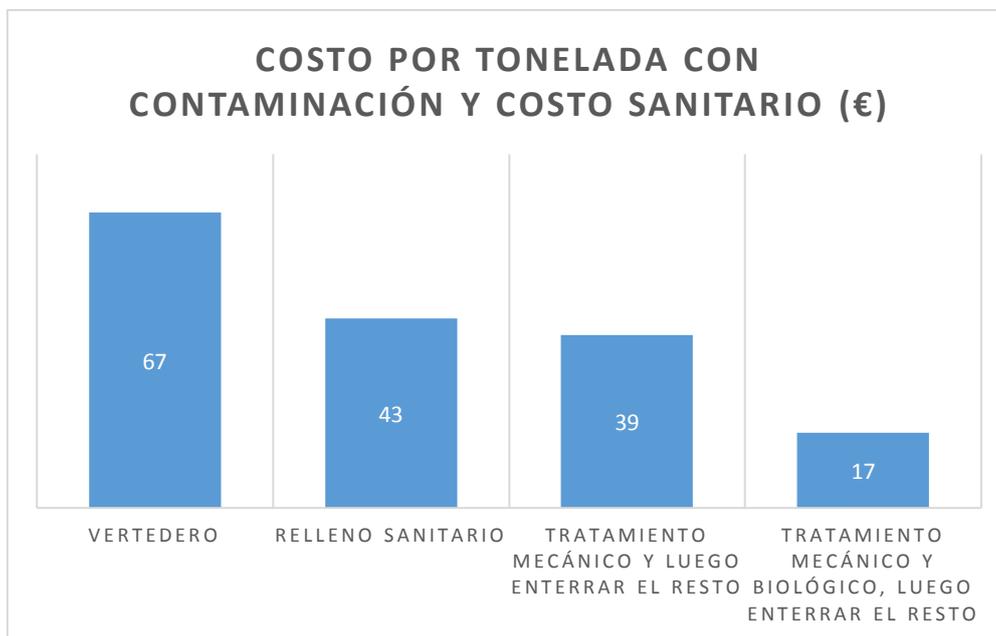


Fig.6.3. Costo por tonelada sin contaminación.

La siguiente figura muestra las cantidades de contaminantes por tipo.

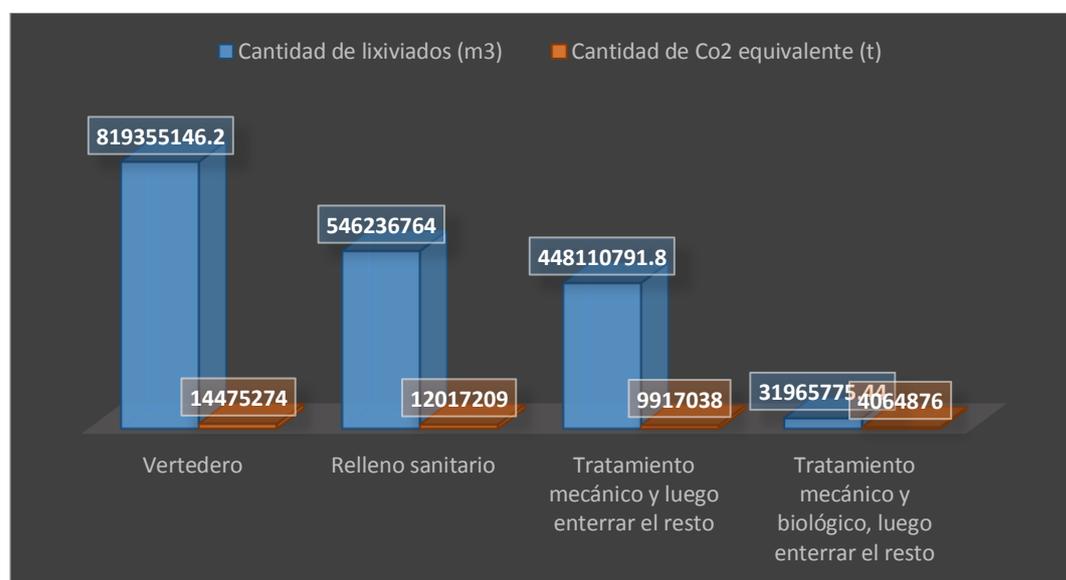


Fig.6.4 Cantidades de contaminantes por tipo.

La siguiente figura muestra los costos de los contaminantes según su tipo, ya que se puede observar que el lixiviado tiene costos mucho mayores que los costos de los gases.

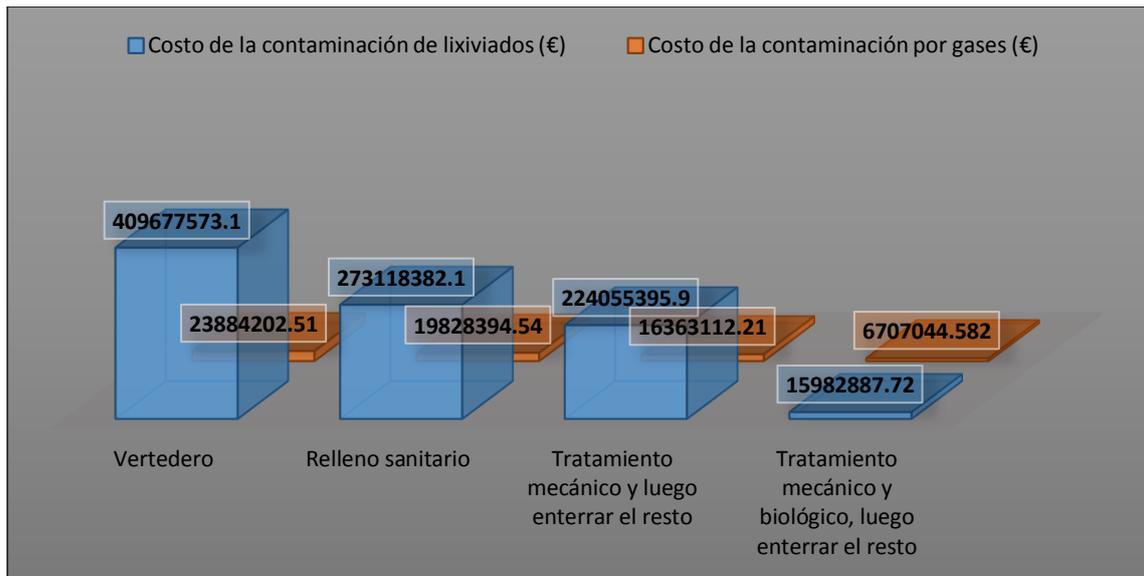


Fig.6.5. Costos de contaminantes por tipo.

El estudio también señaló que el diferente método de tratamiento de los residuos municipales también afecta claramente el uso del suelo, especialmente el área necesaria para el proyecto. La siguiente figura muestra la diferencia de área entre cada alternativa:

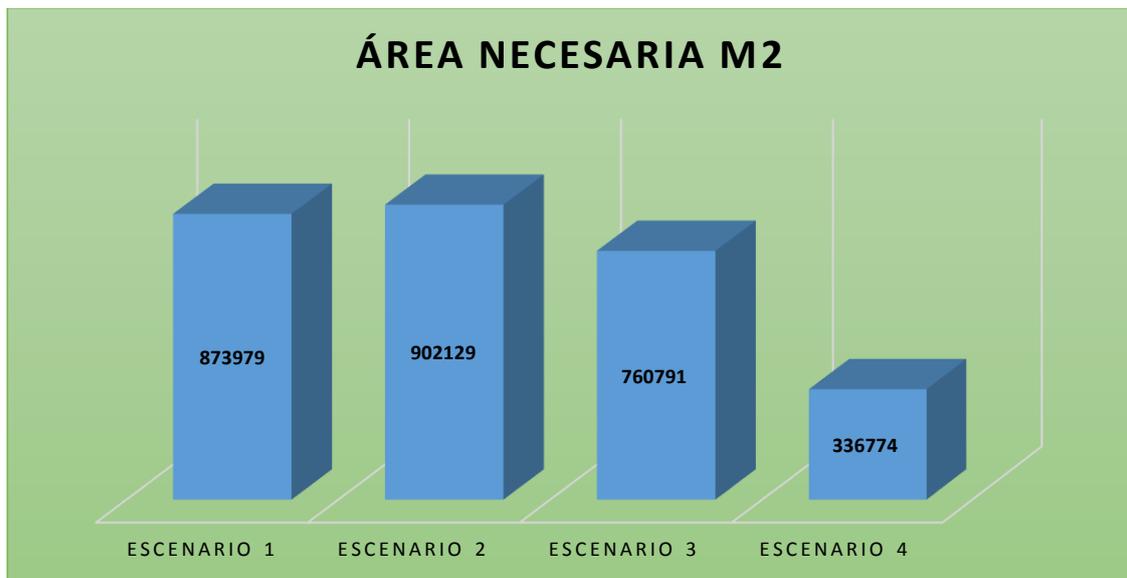


Fig.6.6. Área de tierra necesaria para cada escenario.

6.2 Conclusiones:-

- No tener en cuenta el valor de la contaminación conduce inevitablemente a un error en la estimación de los costos de la alternativa propuesta, y esto confirma la necesidad de introducir la economía ambiental como base para los cálculos en tales proyectos.
- Los costos de la contaminación ambiental son costos altos que pueden exceder los costos del proyecto en sí.
- El costo de la atención médica para las enfermedades derivadas de los vertederos incontrolados es un factor económico y social importante para impulsar la implementación de este tipo de proyectos.
- La naturaleza de los RSU en Libia y el patrón de consumo per cápita son factores que influyen en la elección del método y la tecnología de tratamiento.
- El escenario basado en el tratamiento mecánico (clasificación) y el tratamiento biológico (conversión en fertilizante) y luego el vertido del resto, ha supuesto una reducción del coste de la tonelada además de una clara reducción de las cantidades y valores de contaminación ambiental.
- El proyecto de disposición de residuos según la solución final (tratamiento mecánico y biológico y luego enterramiento dentro del relleno sanitario) es un proyecto económicamente factible, pues logra beneficios adicionales a la comunidad estimados en 779,951,199 € superando el costo adicional derivado de su implementación, el cual es estimada en 234,915,213 €, es decir, 3.32 veces.
- La cantidad de residuos con sus diversos factores (población, porción diaria de residuos per cápita) representó puntos de sensibilidad que conducen a un cambio en las preferencias de los escenarios de soluciones propuestas, ya que el estudio mostró que si la cantidad de residuos en el año base del proyecto llega a ser igual a 245,463 toneladas / año, o si la proporción de desechos disminuye Diariamente per cápita de desechos de 1.25 kg / día a 0.998 kg / día, o si la población en el año base ha llegado a 300,000 personas, entonces la solución óptima sería clasificación mecánica y luego enterrar el resto.
- El porcentaje de residuos orgánicos, dentro de la composición del residuo, representó un punto de sensibilidad que conduce a un cambio en las preferencias de los escenarios de soluciones propuestas, ya que el estudio mostró que al 35% de los residuos orgánicos dentro de la composición total de los residuos municipales, la óptima solución es realizar un proceso de clasificación mecánica y luego enterrar el resto dentro del relleno sanitario.
- El punto de equilibrio en el que los ingresos son iguales a los gastos de la solución final aprobada es cuando el valor de los materiales reciclados es igual a 145 € por tonelada de material recuperado.
- El método de disposición de los residuos domésticos sin tratamiento previo ha demostrado ser ineficaz y que conlleva muchos problemas, y que tratar los residuos de forma mecánica y biológica antes de la etapa de vertido es la mejor solución desde el punto de vista económico, medioambiental y técnico, y También ayuda a llegar a la construcción de rellenos más sanitarios y vertir final fijo para residuos de un tamaño mucho menor del volumen original de

recogida de residuos. Mediante este método es posible controlar los lixiviados en el relleno sanitario y reducir las tasas de liberación de gases nocivos, también previene la propagación de olores desagradables y logra un entierro de gran densidad y por tanto un entierro con rellenos sanitarios de menor tamaño y espacio, y lo más importante, ayuda a eliminar los efectos negativos de los desechos municipales en la salud humana, los que la sociedad gasta enormes sumas de dinero en ellos.

6.3 Recomendaciones:-

- El tratamiento mecánico-biológico de los desechos domésticos es ambientalmente eficiente, técnicamente fácil y económico, por lo que se puede aplicar en los países en desarrollo y debe reemplazar los vertederos incontrolados.
- Se debe ordenar a los ayuntamientos que trabajen en el cierre de vertederos incontrolados debido al deterioro ambiental y económico que provocan con el tiempo, y que se pasen a rellenos sanitarios, al menos al principio, hasta que se disponga de la posibilidad de introducir tecnología de tratamiento biomecánico.
- Debido a las circunstancias actuales, no pudimos realizar un estudio especial de enfermedades relacionadas con vertederos incontrolados, por lo que vale la pena continuar en esta área a través de investigaciones futuras.
- Las cuestiones de la estimación de los costos de la contaminación ambiental en general, son más propensas que otras al desacuerdo en el mecanismo de conversión de la contaminación en un valor monetario, por lo que vale la pena investigar el método de estimación de los costos de la contaminación ambiental dentro del sector de la gestión de residuos a través de investigaciones futuras.
- Trabajar en el desarrollo del modelo informático propuesto en la investigación en futuros estudios para incluir la posibilidad de introducir y modificar el detalle de los costes (mano de obra, construcción, inversión, ... etc.) además de introducir y modificar todas las demás condiciones y especificaciones técnicas para el proyecto propuesto, de modo que obtengamos una herramienta de software integrada que ayude a los especialistas a realizar los cálculos técnicos y económicos necesarios para cualquiera de los vertederos propuestos en Libia.
- Teniendo en cuenta los valores de la diferencia financiera entre monedas (euro y dinares), y estudiando la sensibilidad del cambio de valores entre las dos monedas, en cualquier estudio futuro que dependa de una moneda distinta a la local.
- Prestando atención a la tasa de interés en caso de endeudarse con bancos externos para financiar el proyecto, porque su sistema bancario se diferencia del sistema bancario libio, lo que impide la existencia de tasas de interés en las transacciones internas.

6.4 Sugerencias:-

A continuación se ofrecen algunas sugerencias para alcanzar las posibilidades deseadas para la eliminación segura de residuos:

- **Mejora del proceso de recogida y transporte de residuos domésticos:**
Deben buscarse otros sistemas de recogida de residuos domésticos, ya que el proceso de recogida diario es muy caro. Por tanto, cuando se realiza la recogida selectiva de residuos (residuos orgánicos e inorgánicos), es posible recoger los materiales orgánicos cada dos o tres días y recoger los residuos inorgánicos semanalmente, ya que el método de recogida anterior da una alta rentabilidad económica.
- **Recogida separada de sustancias nocivas y tóxicas:**
Los desechos domésticos contienen una gran cantidad de sustancias nocivas, como desechos hospitalarios, desechos industriales y baterías. Estas sustancias provocan una alta contaminación en todos los métodos de tratamiento de residuos, por lo que estos residuos nocivos deben separarse directamente del lugar donde se desechan.
- **Utilizar bolsas biodegradables en lugar de bolsas de plástico:**
Dado que la cantidad de plástico representa el 8% de los desechos domésticos y causa muchos problemas ambientales, debemos buscar formas alternativas para bolsas de plástico. Un ejemplo es el uso de bolsas de papel, bolsas de tela o bolsas biodegradables durante procesos biológicos.
- **Recogida separada:**
Para obtener altas especificaciones para los fertilizantes, los desechos domésticos en el hogar deben separarse en materiales orgánicos e inorgánicos. Dentro del campo de los materiales inorgánicos, el papel, el vidrio, el metal y el plástico también se pueden separar para aumentar la utilización de materiales reciclables.
- **Rellenos sanitarios:**
El procesamiento biomecánico crea sustancias químicamente inactivas. Por lo tanto, los rellenos sanitarios son menos costosos y de mayor calidad en comparación con los rellenos sanitarios para residuos no tratados. Como los descensos del suelo a lo largo del tiempo para los rellenos sanitarios son homogéneos y escasos. También reduce la contaminación por lixiviados y gases liberados.
- **Elevar el nivel de conciencia ambiental entre la población:**
El ser humano es el pilar básico de la sociedad, y ningún proyecto puede llevarse a cabo aislado de la comunidad que lo rodea, de ahí que la cooperación de la población en las áreas donde se establecen los proyectos de gestión de residuos en general es un factor importante en el éxito del proyecto, y esta cooperación no será factible a menos que se disponga de una adecuada conciencia ambiental entre la población sobre la importancia del proyecto y los mecanismos para su implementación.

Bibliografía:-

- 1- Badi, I, Kreidesh, M. (2020). "Evaluación de la importancia de los criterios establecidos para decidir la ubicación de un vertedero municipal de desechos sólidos: un estudio de caso en Libia". Revista de investigación académica. ed. 16.
- 2- Badi, I, Stević, Ž, Sremac, S. (2019). "An Integrated Fuzzy Model for Solid Waste Management in Libya. In Sustainability Modeling in Engineering: A multi-criteria perspectives", ed: World Scientific. p. 117-143.
- 3- Bin Hamida, A. (2015). "Empresa General de Servicios de Limpieza y Fábrica de Fertilizantes Orgánicos".
- 4- Zahid, M. (1999) "Desarrollo de procesos de eliminación de residuos sólidos municipales". Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad King Saud. p. 5.
- 5- Journal of Economy and Society. (2010). "Evaluación de proyectos utilizando el método de costo / beneficio". ed. 6 p. 10.
- 6- Hawsawi, M, Al-Rasheed, A. (2011) "Estudio de la evaluación del impacto ambiental de proyectos en el Reino de Arabia Saudita. Universidad King Saud, Facultad de Ciencias, Programa de maestría en ciencias ambientales.
- 7- Parker, J. (1994). Dealing with drumhead of death professional Engineering, V.7 N.1 Landcaster Ltd. U.S.A, p.17.
- 8- Goldberg, Ms alhoms, Goulet, N, Riberdly, L. (1995). "Incidence of cancer Among living near a municipal solid waste land fill sites". Archives of Environmental health Canada, vol 50. p. 41.
- 9- Al-Nish, N. (1999). "Los costos de la degradación ambiental y la escasez de recursos naturales entre la teoría y la aplicabilidad en los países árabes". Instituto Árabe de Planificación. Kuwait. p. 7.
- 10- El-Hendi, I, El-Masri, M y Shaheen, H. (2010) "Análisis del costo de la gestión de residuos sólidos para la ciudad de Qalqilya". Universidad Nacional An-Najah. Nablus. Palestina.
- 11- Al-Jorudi, J, Al-Qadi, T y Gabriel, F. (2010). "Comparación del análisis de costo / beneficio entre diferentes escenarios de gestión de residuos sólidos en Basora, Irak". Facultad de Ingeniería de la Universidad Ain Shams en El Cairo en cooperación con la Facultad de Ingeniería de la Universidad de El Cairo en Giza. Egipto.
- 12- Canto, M, Liao, W. (2010). "Cost Benefit Analysis between Open Dump and Sanitary Landfill: A Model for Sustainable Waste Management in Belize City". International Master's Program in Environmental Sustainable Development, Master Thesis.
- 13- Dipal, N. Tang, J. (2012). "Análisis de costo / beneficio de la recuperación de metales del incinerador de residuos municipales de Guanghan de China utilizando la técnica de separación de cenizas de la base". Viena. tesis doctoral.
- 14- Badi, A, Shetwan, A. El-Ajeil, A. (2017). "Elección de la mejor tecnología para el manejo de residuos sólidos en la ciudad de Misurata". Revista internacional arbitrada de ciencias de la ingeniería y tecnología de la información, vol. 4, ed. 1.
- 15- Shetwan, A, Abu Turkia, M. (2020). "Elegir el mejor método para la gestión de residuos sólidos". Revista de investigación académica. ed. 16.
- 16- Al-Hassan, G. (2011). Evaluación de la gestión de residuos sólidos municipales en la gobernación de Quneitra (relleno sanitario) Universidad de Damasco. Simposio de energía de biomasa. p.3-4.

- 17- Colomer, F, Gallardo, A, Monrós, G. (2021). "Asignatura de Aprovechamiento y Valorización de Residuos". Master de eficiencia energética y sostenibilidad, Universidad de Jaume I, España.
- 18- El plan de futuro para la gestión de residuos del municipio de Misurata. (2021). el concejo del municipio de Misurata.
- 19- Consejo municipal, Academia Libia, Hgaig, B. (2021). "propuesta nacional para la gestión de residuos en el municipio de Misurata".
- 20- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Manual de capacitación en evaluación del impacto ambiental. p. 107-108.
- 21- Guía de capacitación sobre los aspectos ambientales de la gestión integrada de los recursos hídricos en la región árabe. Cap. 6. "Políticas de evaluación del impacto ambiental". p. 52.
- 22- Zahran, A. (2004) "Enfoque propuesto para medir los costos y beneficios resultantes de los impactos ambientales de las instalaciones industriales". Universidad King Faisal. Riyadh, Arabia Saudita.
- 23- Usepa. (2000). "Enhancing Supply Chain Performance with Environmental Cost Information: Examples from Commonwealth Edison, Anderson Corporation and Ashland Chemical Office of Pollution Prevention and Toxics". Washington. p.15.
- 24- Informe general del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2001). Nueva York. p.13.
- 25- Referencia esencial a la evaluación ambiental. (2001) estudio 140 de la serie de estudios del Banco Mundial. p. 10-11.
- 26- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Declaración de Río de Janeiro, 1992. p. 11.
- 27- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. "Manual de capacitación sobre evaluación de impacto ambiental". p. 105.
- 28- Mkhallati, A. (2009). "Estudios de Evaluación de Impacto Ambiental para Proyectos". Rev. (May, 2021) en: <https://www.startimes.com/?t=16906090>.
- 29- Saad, T. (2003). "Estudios de viabilidad y evaluación de proyectos". Dar Tiba para publicación y distribución, Cairo. p. 163.
- 30- Vivien, F.D. (2004). "Economía y ecología". París. p. 214.
- 31- Al-Salihi, N. (2001). "Enciclopedia de la contaminación ambiental", Casa de la Cultura, Ammán. p. 7.
- 32- Al-Rasheed, R. (2004). "El hombre y el medio ambiente". Biblioteca Al-Falah, Kuwait. p. 2.
- 33- Sullivan, G, Wicks, W, Luxhoj,E, James. (2003). "Engineering Economy". p. 465.
- 34- Al-Shamrani, G. (2010). "Programa de rehabilitación ambiental integral para Wadi Hanifa". El Reino de Arabia Saudita.
- 35- Tietenberg, T. (1999). "Economic Instruments for environmental regulation". Oxford review of economic policy.Vol. 6. N.1. p. 12.
- 36- Meso environment economic Analyses. (8-May-2008).
- 37- Al-Sabaki, M. (2004). "Evaluación social de proyectos, referencia en análisis de viabilidad". Publicación Dar Al-Marikh, Riad, Arabia Saudita, p. 178.
- 38- Boujaidar, K, Ahsan, S. (2008). "Consideraciones ambientales en la evaluación de proyectos utilizando el método de costo / beneficio". Constantine (CPG). estudio de campo del complejo de palas y grúas. p. 15.
- 39- Abdel Badi, M. (2003). "Economía de la protección del medio ambiente". Dar Al-Amin para publicación y distribución, Cairo. p.10

- 40- "Análisis de los impactos económicos de los problemas ambientales". (2009). Instituto Árabe de Planificación, Kuwait. p.1-2.
- 41- Report No. 32043-IR. (2005). "Cost Assessment of Environmental Degradation". Iran. Rural Development, Water and Environment Department Middle East and North Africa Region. Worldbank. P.15
- 42- Al-Dujaili, A, Al-Ferjani, K. (2001). "Evaluación económica y social de proyectos". Estudio sistemático, Publicaciones ELGA, Malta.
- 43- Sullivan, G, Wicks, W Luxhoj,E, James. (2003). "Engineering Economy". p. 506.
- 44- Valntine,M, et al. (2009). "Mythological Approaches In Realizing and Applying COST/BENEFIT Analysis For The Investment Projects". Rep - EC:ora:journal:v2.
- 45- Al-Shamrani, G. (2010). "Proyecto de análisis de costo-beneficio". p. 33.
- 46- Sullivan, G, Wicks, W Luxhoj,E, James. (2003). "Engineering Economy". p. 509.
- 47- Campen, Benefit, Cost, and Beyond. (1986). "The Political Economy of Benefit-Cost Analysis". Cambridge, MA. p. 52-53.
- 48- Kihli, S, Ahmed, S, Qureshi, Y. 2012. "Los costos económicos de los problemas ambientales y los métodos de evaluación ambiental más importantes utilizados". Universidad de Ouargla.
- 49- Al-Shamrani, G. (2010). "Proyecto de análisis de costo-beneficio". p. 34.
- 50- Bureau of Statistics and Census Libya. (2020). Rev. (Jun, 2021) en: <https://www.bsc.ly/>.
- 51- World Bank Database. (2020). Population increase (% year). Rev. (Jun, 2021) en: <https://data.albankaldawli.org/indicator/SP.POP.GROW?locations=LY>.
- 52- Aber, M. (2012). "Métodos adecuados de eliminar la basura doméstica en países en desarrollo". Tesis doctoral. Universidad de Kassel, Alemania.
- 53- Canto, M, Liao, W. (2010). "Cost Benefit Analysis between Open Dump and Sanitary Landfill: A Model for Sustainable Waste Management in Belize City". International Master's Program in Environmental Sustainable Development, Master Thesis. p. 43-45.
- 54- Hospital Al-Hikma. (2020). Misurata, Libia. Rev. (Jun, 2021) en: <http://www.alhikma.org.ly/cgi-sys/suspendedpage.cgi>.
- 55- Kenton, W. (2020). "Sensitivity Analysis". Rev. (Jun, 2021) en: <https://www.investopedia.com/terms/s/sensitivityanalysis.asp>.
- 56- Jovanovic, P. (1999) "Application of Sensitivity Analysis in Investment Project Evaluation under Uncertainty and Risk". The Journal of Project Management Vol. 17, No. 4. p. 218
- 57- Pannell J. (1997). "Sensitivity analysis of Normative Economic Models: Theoretical Framework and Practical Strategies". Journal of Agricultural Economics, No. 16.
- 58- Abraham, W and Rafael, S. (2004). "Practical Multifactor Approach to evaluating Risk investment in engineering project". Journal of construction engineering and management. p. 357.
- 59- Couper, J. (2003). "Process Engineering Economics". Marcel Dekker Inc. New York, USA. p.157.