



UNIVERSIDAD NACIONAL  
*de* MAR DEL PLATA  
.....



FACULTAD DE  
INGENIERÍA

# Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

**Naranja Santiago**

**Sturm Agustin**

Trabajo Final de la Carrera Ingeniería Industrial  
Departamento de Ingeniería Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad Nacional de Mar del Plata

Mar del Plata, 13 de octubre de 2020



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

**Trabajo Final:**  
**“Proyecto de inversión para la creación de una  
planta de producción de compost en la ciudad  
de Mar del Plata”**

**Naranja Santiago**  
**Sturm Agustin**

**EVALUADORAS:**

Ing. Liliana Gadaleta  
*Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata*

Ing. Marina Migueles  
*Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata*

**DIRECTOR:**

Ing. Guillermo Carrizo  
*Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Mar del Plata*

## AGRADECIMIENTOS

*Queremos agradecer a la Facultad de Ingeniería, a la Universidad Nacional de Mar del Plata y a los profesores por guiarnos durante todos estos años en nuestro proceso de aprendizaje y desarrollo profesional.*

*A nuestro director de trabajo final, Guillermo Carrizo, por su predisposición, tiempo y aportes durante todos estos meses de trabajo desde la virtualidad.*

*A Matías González Trigo, por su colaboración y asesoría como parte del Ente Municipal de Servicios Urbanos.*

*Y un especial agradecimiento a nuestras familias y amigos, que nos apoyaron de forma incondicional a lo largo de este trayecto y también son parte de este logro.*

Santiago y Agustín

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
TABLA DE SIGLAS .....	ix
RESUMEN .....	x
PALABRAS CLAVE.....	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Compostaje.....	7
2.1.1 Fases.....	8
2.1.2 Factores que afectan al proceso .....	9
2.1.3 Técnicas de compostaje .....	10
2.1.4 Beneficios ambientales .....	11
2.2 Estudio de factibilidad económica de un proyecto .....	12
2.2.1 Inversión Total .....	12
2.2.2 Método de estimación por factores .....	13
2.2.3 Relación Beneficio/Costo .....	14
2.2.4 Valor actual neto .....	15
2.3 Herramientas .....	16
2.3.1 FODA.....	16
2.3.2 Diagrama de Flujo.....	16
2.3.3 Método para el diseño de la distribución en planta .....	17
2.4 Seguridad, higiene y medio ambiente .....	19
2.4.1 Elementos de protección personal .....	20
2.4.2 Impacto Ambiental .....	20
2.4.2.1 Matriz de Leopold .....	21
2.4.2.2 Matriz de impacto ambiental Conesa Fernández – Vítora.....	21
3. DESARROLLO .....	25

3.1	Análisis de la situación actual .....	25
3.1.1.	Partido de General Pueyrredon .....	25
3.1.2.	Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos .....	26
3.1.3.	Recolección de Residuos Domiciliarios .....	26
3.1.4.	Centro de Disposición Final.....	27
3.1.5.	Planta de Separación y Clasificación de Materiales .....	28
3.1.6.	Planta de tratamientos de lixiviados .....	29
3.1.7.	Tasa GIRSU.....	29
3.1.8.	Operación e ingresos al centro de disposición final .....	29
3.2.	Análisis FODA de la situación de los residuos .....	31
3.3.	Potencial del residuo orgánico utilizable .....	32
3.4	Localización.....	37
3.5.	Estudio Técnico .....	39
3.5.1	Descripción del producto.....	39
3.5.2	Alternativas de técnicas productivas .....	40
3.5.3	Capacidad.....	42
3.5.4.	Descripción del proceso .....	44
3.5.4.1.	Recepción y almacenamiento .....	44
3.5.4.2.	Pretratamiento y mezcla .....	45
3.5.4.3.	Descomposición.....	47
3.5.4.4.	Maduración .....	49
3.5.4.5.	Post-tratamiento.....	50
3.5.4.6.	Almacenamiento .....	51
3.5.5	Requerimientos de equipos e instalaciones. ....	52
3.5.6	Distribución en planta.....	54
3.5.7	Seguridad de trabajo .....	59
3.6	Estudio Económico .....	60
3.6.1	Inversión Total .....	61
3.6.2	Costos de producción.....	65

3.6.2.1 Costos Variables.....	65
3.6.2.2 Costos Fijos.....	67
3.6.3 Beneficios .....	68
3.6.3.1 Costo de tratamiento en relleno sanitario.....	68
3.6.3.2 Uso interno del compost .....	69
3.6.3.3 Cobertura final del relleno sanitario.....	70
3.6.3.4 Contribución social.....	70
3.6.3.5 Resumen de beneficios.....	71
3.6.4 Estudio de factibilidad económica del proyecto .....	71
3.6.5 Beneficios no valorizados.....	73
3.7 Impacto Ambiental.....	74
3.8 Acciones a considerar .....	78
4. CONCLUSIONES.....	79
5. BIBLIOGRAFÍA.....	81
6. ANEXOS .....	86

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Diferencias entre sistemas abiertos y cerrados .....	11
Cuadro 2. Factores experimentales propuestos por Chilton .....	14
Cuadro 3. Simbología ASME para diagrama de flujos .....	17
Cuadro 4. Códigos diagrama de relación de actividades .....	18
Cuadro 5. Valoración de las variables Conesa Fernández-Vítora.....	23
Cuadro 6. Clasificación de impactos.....	24
Cuadro 7. Análisis FODA.....	32
Cuadro 8. Descripción de las clasificaciones de residuos orgánicos .....	33
Cuadro 9. Valores mín., máx. y prom. mensuales en kg de los residuos orgánicos.....	35
Cuadro 10. Vol. mensual de residuos en el periodo mayo 2016 - abril 2017 en m <sup>3</sup> .....	36
Cuadro 11. Relación volumétrica de residuos en el periodo mayo 2016 - abril 2017 .....	37
Cuadro 12. Parámetros para el cálculo de capacidad de operación .....	43
Cuadro 13. Capacidad de operación en toneladas de residuo por día.....	43
Cuadro 14. Organismos comunes con su tiempo y temperatura de exposición .....	48
Cuadro 15. Equipos e instalaciones necesarios por operación y capacidad requerida ..	53
Cuadro 16. Hoja de trabajo importancia de cercanía.....	56
Cuadro 17. Costos de construcción.....	62
Cuadro 18. Costo de equipos .....	63
Cuadro 19. Costo de instrumentación.....	63
Cuadro 20. Costo de herramientas.....	64
Cuadro 21. Costos de componentes directos de la inversión .....	64
Cuadro 22. Cálculo de inversión fija .....	65
Cuadro 23. Costo de servicios.....	66
Cuadro 24. Costo mensual de mano de obra .....	67
Cuadro 25. Resumen de costos mensuales de operación .....	68
Cuadro 26. Área para utilización de compost .....	69
Cuadro 27. Resumen de beneficios.....	71
Cuadro 28. Detalle de inversión, costos y beneficios en dólares (US\$) .....	72
Cuadro 29. Impactos ambientales .....	76
Cuadro 30. Matriz de impactos ambientales .....	76



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de compostaje .....	7
Figura 2. Fases del compostaje.....	9
Figura 3. Composición porcentual de los RSU por tipo.....	30
Figura 4. Total de residuos ingresados en toneladas por mes durante el año 2019.....	31
Figura 5. Ingresos mensuales en kilogramos en el periodo mayo 2016 - abril 2017 .....	34
Figura 6. Vista satelital de los predios municipales para la GRSU.....	38
Figura 7. Plano de la parcela 335 BM.....	38
Figura 8. Plano de la parcela 335 BG .....	39
Figura 9. Dimensión y distribución de hileras con volteo manual .....	41
Figura 10. Dimensión y distribución de hileras con volteo mecanizado.....	42
Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de compostaje .....	44
Figura 12. Diagrama de relación de actividades .....	55
Figura 13. Diagrama adimensional de bloques.....	57
Figura 14. Distribución en planta .....	58
Figura 15. Detalle de Distribución en planta .....	59
Figura 16. Tiempo de repago .....	73

## TABLA DE SIGLAS

A.C.: Asociación Civil

ARBA: Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires

ASME: Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos

B/C: Beneficio / Costo

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

C: Carbono

CDFRSU: Centro de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos

CEAMSE: Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono

CURA: Cooperativa de Trabajo Común Unidad de Recuperados Argentinos

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental

EMSUR: Ente Municipal de Servicios Urbanos

ENGIRSU: Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

ENOSUR: Ente de Obras y Servicios Urbanos

EPP: Elementos de Protección Personal

FODA: Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas

GIRSU: Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

N: Nitrógeno

ONU: Organización de las Naciones Unidas

RSU: Residuos Sólidos Urbanos

SENASA: Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

VAN: Valor Actual Neto

## RESUMEN

El municipio de General Pueyrredon no cuenta con un tratamiento diferenciado para sus residuos orgánicos, por lo tanto, la incorporación del compostaje al tratamiento de los residuos sólidos urbanos se presenta como una alternativa sustentable. El objetivo del presente trabajo es analizar la factibilidad técnica y económica de la implementación de una planta de compostaje municipal. En base a información brindada por CEAMSE, EMSUR y fuentes secundarias, se determinó la ubicación de la planta, las fuentes de materia prima, la capacidad y el proceso productivo. La implementación de la planta de compostaje permite tratar 55,69 t/día de residuos orgánicos y requiere de una inversión total de US\$ 2.883.998 para su construcción y puesta en marcha. La evaluación económica se realizó por medio de la relación Beneficio/Costo obteniendo un resultado de 1,33 y un tiempo de repago menor a 4 años, lo que permite concluir que el proyecto es económicamente factible. Se realizó además una evaluación de impacto ambiental para identificar los posibles impactos y analizar su eliminación o mitigación. En base a los resultados obtenidos, la incorporación del compostaje a la gestión municipal generaría un impacto positivo, tanto en lo económico como en lo social y ambiental.

## PALABRAS CLAVE

Compostaje, residuos orgánicos, factibilidad, gestión de residuos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde sus comienzos el ser humano ha explotado los recursos que la naturaleza le ha brindado, haciendo abuso de los mismos. Cuando dejaban de servirles, los desechaban sin pensar que éstos podrían llegar a tener una segunda utilidad o la repercusión que traía al planeta su mal tratamiento.

Fueron los griegos quienes en el 400 A.C establecieron las primeras normativas relativas a la gestión de los desechos e implementaron el primer vertedero en un asentamiento urbano como Atenas, donde se exigía que la basura se enterrara a más de 1 km de las zonas donde habitaban.

Con la evolución industrial se manifestó el desarrollo y el crecimiento de la urbanización, momento en el cual surge la problemática real acerca del mal manejo y disposición de los residuos, pero, a su vez, surgen las primeras iniciativas de solución. Fue entonces cuando se pusieron en marcha las primeras incineradoras, planes de gestión de residuos y tratamiento de aguas.

Hoy en día, la creciente urbanización que caracteriza a las sociedades actuales sigue siendo uno de los problemas principales en términos de generación de residuos y qué se realiza con ellos. En la Agenda XXI de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo se sostuvo que el manejo racional y ambiental de los residuos estaba entre los temas de gran preocupación para mantener la calidad del medio ambiente y, especialmente, en lograr un desarrollo ambiental sostenible en todos los países (UNDS, 1992). En base a esto, se planteó un marco de acción centrado en cuatro áreas principales: minimización de desechos, maximización de la reutilización y el reciclaje de residuos, promoción de la eliminación y tratamiento de residuos, y la ampliación de la cobertura del servicio de residuos (UNDS, 1992). A su vez, los gobiernos deberían, en función de sus capacidades y recursos, asegurar suficiente capacidad para procesar y monitorear la información de tendencias de residuos e implementar políticas para su minimización, mediante una gestión de sus residuos sólidos.

En el año 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, en la cual se establecieron 17 Objetivos que constituyen un llamado universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. El Objetivo 11, “Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles”, hace referencia a la rápida urbanización que está dando como resultado un número creciente de habitantes en barrios pobres, infraestructuras y servicios inadecuados y sobrecargados (como la gestión de

residuos), lo cual está empeorando la contaminación del aire, el crecimiento urbano incontrolado y aumentando las emisiones de carbono (ONU, 2015). Específicamente, en la meta 11.6 se plantea para el 2030 reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los residuos sólidos municipales.

El término gestión de residuos sólidos puede ser definido como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos sólidos, de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, la economía, la ingeniería, la conservación de la estética, y de otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas. La gestión de residuos sólidos incluye todas las funciones administrativas, financieras, legales, de planificación y de ingeniería, involucradas en las soluciones de todos los problemas de los residuos sólidos. Las soluciones pueden implicar relaciones interdisciplinarias complejas entre campos como la ciencia política, el urbanismo, la planificación regional, la geografía, la economía, la salud pública, la sociología, la demografía, las comunicaciones, y la conservación, así como la ingeniería y la ciencia de los materiales (Tchobanoglous, 1994).

En el ámbito nacional, la gestión integral de los residuos sólidos se evidencia en el año 2004 con el dictado de la Ley 25.916, donde se establecen las pautas sobre las que debe estructurarse una gestión integral de los residuos y define estándares mínimos de calidad en la provisión del servicio, y con la posterior implementación de la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU) en el año 2005. La ENGIRSU se basa en el criterio de integralidad, incluyendo la reducción en origen, la segregación domiciliaria, la recolección y el transporte, la transferencia y la regionalización, el procesamiento, y los centros de disposición final. Dicha estrategia se encuentra regida por sus principios fundamentales que son la preservación de la salud pública, la preservación ambiental, la disposición final en forma sostenible y la disminución de la generación de residuos y su disposición, con la aplicación de mecanismos de minimización y valorización (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

A pesar de que la gestión de los residuos sólidos urbanos en el país se encuentra regulada por la Ley 25916, las provincias pueden dictar normas complementarias. La Provincia de Buenos Aires sancionó la Ley 13592 de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) en el año 2006. En ella se establece como objetivo primordial, fijar los procedimientos de gestión de los residuos sólidos urbanos y define a la GIRSU como el conjunto de operaciones que tienen por objeto dar a los residuos producidos en una zona, el destino y tratamiento adecuado, de una manera ambientalmente sustentable, técnica y

económicamente factible y socialmente aceptable. Al referirse a los residuos sólidos urbanos hace referencia a aquellos elementos, objetos o sustancias generados y desechados, producto de actividades realizadas en los núcleos urbanos y rurales, comprendiendo aquellos cuyo origen sea doméstico, comercial, institucional, asistencial e industrial no especial asimilable a los residuos domiciliarios (Boletín oficial de la provincia de Buenos Aires, 2006).

Dentro de los principios y conceptos básicos sobre los que se funda la política de gestión, se encuentran la consideración de los residuos como un recurso y la valorización de los residuos sólidos urbanos. Estos últimos conceptos se pueden asociar al pensamiento de la economía circular. El actual modelo económico denominado “lineal”, basado en extraer, producir y desperdiciar, está alcanzando su límite en cuanto a capacidad física de los recursos naturales. La economía circular es una alternativa que busca redefinir el crecimiento con énfasis en los beneficios para toda la sociedad (Ellen Macarthur Foundation, 2020). Es un concepto económico que se interrelaciona con la sostenibilidad, y cuyo objetivo es que el valor de los productos, los materiales y los recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, y que se reduzca al mínimo la generación de residuos. Se trata de implementar una nueva economía, circular, no lineal, basada en el principio de cerrar el ciclo de vida de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía (Fundación para la Economía Circular, 2020). El modelo hace una distinción entre ciclos técnicos y biológicos. Los técnicos recuperan y restauran productos componentes y materiales mediante estrategias de reutilización, reparación y reciclaje. Mientras que, en los biológicos, los alimentos y otros materiales de base biológica regresan al sistema mediante procesos de compostaje y digestión anaerobia. Los ciclos regeneran sistemas vivos, como el suelo, que ofrecen recursos renovables para la economía (Ellen Macarthur Foundation, 2020).

A su vez, los municipios son entes autónomos competentes en la materia de gestión de residuos sólidos urbanos, con potestad impositiva, capacidad de dictar sus propias normas percibir tasas y otras contribuciones; y competencia para organizar los sistemas de recolección y disposición. Los municipios tienen responsabilidad por la ejecución, operación y mantenimiento de las obras asociadas a la recolección, transporte y disposición final de los residuos sólidos urbanos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

En la ciudad de Mar del Plata, perteneciente al partido de General Pueyrredón, se pueden identificar cuatro etapas sobre el tratamiento y disposición de residuos. Desde el comienzo con los basurales a cielo abierto, luego la correspondiente al vaciadero municipal, una tercera en la que los residuos se depositan en rellenos sanitarios y la cuarta etapa, donde se implementa el plan GRSU. En el año 2012 se presenta el “Plan Básico Preliminar” del plan de GRSU con el que se inaugura el relleno sanitario en el Centro de Disposición Final y se

reacondiciona la Planta de Separación y Clasificación de Materiales (González y Ferraro, 2015). La operación de la planta de separación es otorgada mediante convenio a la Cooperativa de Trabajo Común Unidad de Recuperadores Argentinos (CURA), conformada por recuperadores que desarrollaban sus tareas en el predio del basural utilizado previamente (Gareis et al, 2016).

Tanto el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) como el Banco Mundial participaron del financiamiento del proyecto de gestión integral de residuos que incluyó la construcción del relleno sanitario en el Centro de Disposición Final (Municipalidad de General Pueyrredón, 2015). A su vez, desde el año 2010, el BID brinda asistencia técnica bajo el programa “Ciudades Emergentes y Sostenibles”. Mediante este programa se busca ayudar a las ciudades en la identificación, priorización y estructuración de proyectos para mejorar su sostenibilidad ambiental, urbana y fiscal (Leis, 2015). La gestión de los residuos sólidos domiciliarios figura entre los objetivos y son analizados mediante una serie de indicadores, dentro de los cuales se destacan la vida remanente del relleno sanitario y el porcentaje de residuos sólidos que son compostados (Municipalidad de General Pueyrredón, 2013).

Desde junio de 2018, la empresa pública Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) se encuentra a cargo de la operación del Centro de Disposición Final. CEAMSE, en conjunto con el municipio de General Pueyrredón, busca una solución integral a la problemática medioambiental y social, con una mirada a largo plazo mediante la construcción de una planta de lixiviados y la ejecución de la planta de separación y clasificación de materiales junto a la cooperativa CURA.

En cuanto al compostaje en la ciudad, en el año 2013 se inició la implementación del Proyecto de la Planta de Compostaje mediante la compra del equipamiento necesario para comenzar en forma parcial durante el año 2014 en el predio del Vivero con vista a la futura construcción a realizarse en el corto plazo. El proyecto incluía la articulación con el Ente de Obras y Servicios Urbanos (ENOSUR) para la instalación de un Punto Verde como centro de chipeado para la poda de la ciudad (ENOSUR, 2013). Posterior a esa fecha, no se logró encontrar información al respecto, suponiendo que el proyecto no se ha ejecutado.

Ante la necesidad de buscar soluciones al problema que representan los residuos a nivel local, surge el compostaje como alternativa para el tratamiento y valorización de los residuos orgánicos. El compostaje es una técnica antigua utilizada en la agricultura que estaba ligada exclusivamente a la conservación de la fertilidad del suelo. El sector agrícola ganadero utilizaba el estiércol del ganado y los restos vegetales de sus cosechas para recuperar la materia orgánica y utilizarla como abono agrícola. En el área urbana, se han desarrollado sistemas de recolección selectiva de residuos orgánicos con el fin de reutilizarlos mediante su

tratamiento, transformarlos en compost, devolver los nutrientes al suelo y reiniciar el ciclo (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016).

El compostaje consiste en un tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables por medio de una actividad microbiológica compleja, realizada en condiciones aeróbicas y mayoritariamente termófilas. Este tratamiento recupera los recursos en forma de compost, producto estable que se puede almacenar sin inconvenientes, que se higieniza sanitariamente, que contribuye a la protección del suelo contra la erosión, incrementa los niveles de materia orgánica y mejora la retención de agua en los suelos. Las características más destacables del proceso de compostaje son las siguientes (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016):

- Reduce el volumen de residuos, facilita su almacenamiento y permite un mejor aprovechamiento minimizando el riesgo sanitario.
- Es muy robusto y versátil, se puede aplicar a diferentes tipos de residuos orgánicos y mezclas, y a escalas de trabajo muy diversas.
- Es una alternativa viable desde puntos de vista sociales, ambientales y económicos.

A su vez, se podría mejorar la sostenibilidad integrando el sistema de gestión de residuos con otros sistemas locales. Se podría utilizar el compost resultante para aplicar en zonas urbanas para parquizar espacios verdes, plazas y fomentar su uso en la agricultura de la zona. De esta manera se conduciría a un sistema de ciclo cerrado dentro de la ciudad o el municipio, reduciendo así el ingreso de materias primas, materiales y bienes del exterior y los transportes (Van de Klundert, 1999).

A partir de toda la información presentada, teniendo en cuenta la situación actual en el ámbito de los residuos y la creciente necesidad de proponer soluciones que consideren el cuidado del medio ambiente, el presente trabajo final plantea como objetivo general la formulación y evaluación de un proyecto de inversión para el sector público, a los fines de la creación de una planta de compostaje en la ciudad de Mar del Plata. Este proyecto tomará parte de los residuos orgánicos que se reciben en el Centro de Disposición Final y, a través de procesos controlados de degradación de materia orgánica, se obtendrá compost como producto final.

La puesta en práctica de este proyecto permitirá afrontar la problemática de los residuos desde una mirada ambiental, reduciendo la cantidad de residuos que son depositados en el relleno sanitario y, consecuentemente, se alargará su vida útil. Se logrará cerrar el ciclo de la materia orgánica siguiendo los lineamientos de la economía circular,



utilizando los que originalmente eran residuos como productos para brindar nutrientes y estructurar los suelos de parques, plazas o áreas agrícolas de la zona.

El documento se estructura en capítulos. En cada uno de ellos se estudian diferentes aspectos del proyecto.

En el capítulo del marco teórico se presentarán los conceptos y herramientas aplicados al desarrollo del presente documento, como así también se hace mención del marco legal asociado al desarrollo y aplicación de la tecnología de compostaje al tratamiento y valorización de los residuos sólidos urbanos.

En el capítulo de Desarrollo se presentarán las metodologías y resultados obtenidos que permitan cumplir con el objetivo general expuesto. Así, se desarrollaran los objetivos específicos del proyecto: relevamiento de información sobre la situación actual y la materia prima disponible; definición del proceso de compostaje a utilizar entre todas sus variantes existentes, debido a la materia prima a utilizar y las características ambientales de la región; análisis de la factibilidad técnica, realizando cálculos de capacidad, analizando fuentes de abastecimiento, tipos de procesos productivos, como así también la distribución de la planta; determinación de la relación Beneficio/Costo para el análisis económico del proyecto; y la evaluación del impacto ambiental.

Por último, se incluirá una sección para sintetizar los análisis y conclusiones a las que se llegan en el presente proyecto, y otra sección para dejar registradas todas las fuentes de información utilizadas. Asimismo, se incluyen Anexos que tienen por finalidad presentar con mayor detalle algunos aspectos del análisis.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Compostaje

El compostaje es un proceso de transformación aeróbica controlada de los materiales orgánicos contenidos en los residuos por medio de la actividad de los microorganismos (Vázquez, 2018). Se trata de un proceso bio-oxidativo, el cual es posible interpretar como la sumatoria de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos que, en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno y el carbono presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, se genera calor, dióxido de carbono, agua y un sustrato sólido de materia orgánica estabilizada denominado compost. (Martínez et. al., 2013). Como se puede observar en la Figura 1. Los materiales que pueden emplearse como sustrato orgánico para compostar son:

- Residuos animales: estiércol bovino, caballar, caprino, porcino, aviar y de conejos.
- Residuos vegetales: restos de cosechas, de podas en fruticultura, de actividades forestales, tubérculos, hortalizas, frutas.
- Residuos industriales: restos de semillas o de frutos una vez extraído el elemento esencial, restos de carpintería, resto de maderas procesados.
- Residuos domiciliarios: sólidos orgánicos generados en los hogares.

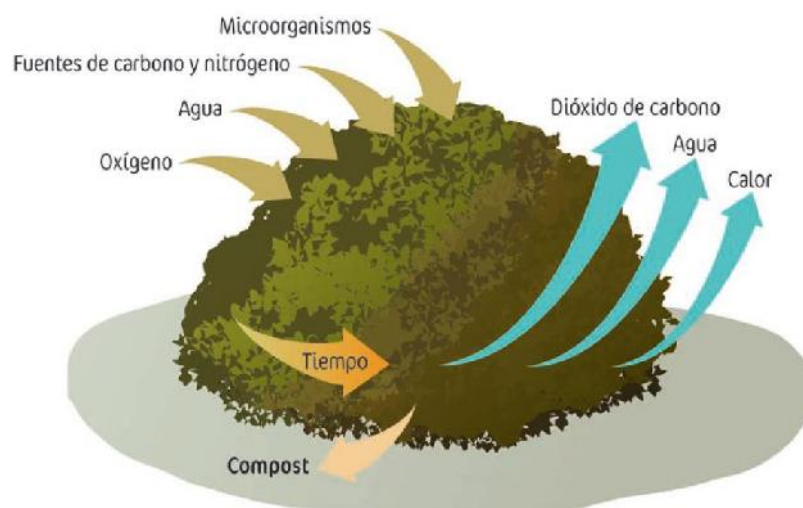


Figura 1. Proceso de compostaje  
Fuente: Agencia de Residuos de Cataluña, 2016

### 2.1.1 Fases

Al descomponerse la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor, medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en el compostaje. Las diferentes etapas se muestran en la Figura 2, y se describen a continuación (Martínez et. al., 2013):

#### 1. **Descomposición.** Se encuentra compuesta por dos fases:

- **Fase Mesófila.** El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a la actividad microbiana. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura entre dos y ocho días.
- **Fase Termófila.** Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos), son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias termófilas, que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de carbono, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco, por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de 60°C, aparecen las bacterias que producen esporas y actino bacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de carbono complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y el método utilizado.

**2. Enfriamiento o Maduración.** Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa. Al bajar de 40°C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere un tiempo en el orden de semanas.

**3. Fase final.** Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.



Figura 2. Fases del compostaje

Fuente: Agencia de Residuos de Cataluña, 2016

#### 2.1.2 Factores que afectan al proceso

Debido a que el compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Entre estos, los factores a los cuales se les debe prestar mayor atención son:

- **Relación Carbono/Nitrógeno (C/N):** el carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Debido a esto, y para poder obtener un compost de calidad, es importante que exista una relación equilibrada entre ellos. Teóricamente, la relación C/N 25-35 es la más adecuada, aunque en función de las materias primas que conforman el compost esto puede variar. Si la relación C/N es muy elevada disminuye la actividad biológica, mientras que si es muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco (Vázquez, 2018).
- **Humedad:** Sin suficiente agua (contenidos menores al 40%), la actividad microbiana disminuye y el proceso se vuelve excesivamente lento, y con demasiada humedad (mayor del 70%) se produce una mala aireación que conduce a condiciones anaerobias y a la putrefacción de la materia orgánica (Vázquez, 2018).
- **pH:** Durante el compostaje la acción de diversos microorganismos en la degradación de la materia orgánica, hace que el pH varíe considerablemente. Los residuos pueden presentar un valor bajo de pH, pero durante la primera etapa del

proceso, el pH disminuye aún más. Posteriormente, el material compostado sufre una reacción alcalina, alcanzando valores de pH próximos a 8,5. En la última fase de compostaje, el pH vuelve a disminuir estabilizándose en valores cercanos a la neutralidad o ligeramente básicos (Vázquez, 2018).

- **Oxígeno:** El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termófila. La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente anaerobio (Martínez et. al., 2013).
- **Temperatura:** El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C, para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente. Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización (Martínez et. al., 2013).
- **Tamaño de las partículas:** influye química y biológicamente durante el proceso de compostaje. Cuanto menor sea el tamaño, mayor será la superficie específica, más intenso será el ataque de enzimas y microorganismos. Sin embargo, si el tamaño de la partícula fuera demasiado pequeño reduciría la porosidad facilitando las condiciones anaerobias (Vázquez, 2018).

### 2.1.3 Técnicas de compostaje

Las diferentes técnicas se dividen generalmente en sistemas abiertos y sistemas cerrados, dependiendo si se realizan al aire libre o se llevan a cabo en recipientes respectivamente (Negro et. al., 2000). Dentro de los sistemas abiertos se encuentran:

- **Compostaje en pilas estáticas con aireación natural:** Se realiza en pilas, de altura reducida, y no se mueven durante el compostaje. La ventilación es natural a través de los espacios de la masa a compostar.
- **Compostaje en pilas por volteo:** La aireación de las pilas de compost se realiza por volteo con volteadoras mecánicas.

- **Compostaje en pilas estáticas con ventilación forzada:** La pila de fermentación es estática y en su formación se ha dispuesto un sistema mecánico de ventilación por tuberías perforadas o por un canal empotrado en la superficie. Las tuberías se conectan con un ventilador que asegura la entrada de oxígeno y la salida de CO<sub>2</sub>. Esta ventilación puede hacerse por succión o inyección de aire o bien, mediante sistemas alternantes de succión e inyección.

De los sistemas cerrados, los más utilizados son los sistemas de compostaje por reactor, dentro de los cuales se diferencian dos tipos. Se denomina sistema flujo-pistón cuando el material en degradación permanece igual durante todo el proceso. En cambio, si el material es mezclado mecánicamente durante el procesamiento, se lo denomina sistema dinámico.

En el Cuadro 1, se presentan las diferencias principales entre dichos sistemas.

Elemento de comparación	Sistemas abiertos	Sistemas cerrados
<b>Superficie</b>	Grande	Reducida
<b>Clima</b>	Temperaturas no extremas	Variable y frío
<b>Sustrato</b>	Todos, pero con agentes estructurantes	Principalmente aquellos con elevada humedad
<b>Tecnología</b>	Relativamente sencilla	Relativamente sofisticada
<b>Sistema</b>	Discontinuo a semicontinuo	Discontinuo a continuo
<b>Inversiones</b>	Bajas a moderada	Elevadas a muy elevadas
<b>Costos de explotación</b>	Variable	Elevado
<b>Consumo energético</b>	Bajo a medio	Medio a elevado
<b>Mano de Obra</b>	Variable, según tipo de instalación	Especializada
<b>Duración</b>	Semanas a meses	Días a semanas
<b>Olores</b>	Problemas si: No hay suficiente aireación Volteos alargados en el tiempo	Se puede controlar según el sistema de aireación

Cuadro 1. Diferencias entre sistemas abiertos y cerrados

Fuente: Negro et. al., 2000

#### 2.1.4 Beneficios ambientales

La elaboración y el uso del compost tienen un impacto positivo en el medio ambiente. Entre los beneficios ambientales relacionados con el compost se encuentran (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016):

- El cierre del ciclo de la materia orgánica.
- Retención del carbono en el suelo, aumentando su potencial como reservorio.
- Disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Al destinar residuos orgánicos al proceso de compostaje, disminuyen las entradas a los depósitos controlados y las incineradoras, y por lo tanto las emisiones de metano debido a la descomposición anaeróbica y las de dióxido de carbono en las combustiones.
- Ahorro de recursos y uso de abonos químicos.
- Incremento de la materia orgánica en los suelos, mejorando la fertilidad, la estructura y la retención hídrica, previniendo su erosión y degradación.

## 2.2 Estudio de factibilidad económica de un proyecto

La preparación y evaluación de proyectos es un instrumento de uso prioritario en la asignación de recursos para implementar iniciativas de inversión. Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema. Cualquiera que sea la idea que se pretende implementar, la inversión, la metodología o la tecnología por aplicar, conlleva necesariamente la búsqueda de proposiciones coherentes destinadas a resolver las necesidades de las personas. Si se desea evaluar un proyecto de creación de un nuevo negocio, ese proyecto debe evaluarse en términos de conveniencia, de manera que se asegure que resolverá una necesidad humana, eficiente, segura y rentablemente.

La evaluación de proyectos pretende medir objetivamente ciertas magnitudes cuantitativas resultantes del estudio del proyecto, y dan origen a operaciones matemáticas que permiten obtener diferentes coeficientes de evaluación. Existen diversos mecanismos operacionales por los cuales se decide invertir recursos económicos en un determinado proyecto. En proyectos sociales y ambientales se utiliza la relación Beneficio/Costo, la cual compara los beneficios y costos que una determinada inversión pueda tener para la comunidad. No siempre un proyecto que es rentable para un particular también es rentable para la comunidad, ya que se debe tener en cuenta los efectos indirectos y externalidades que generan sobre el bienestar, como la redistribución de los ingresos o la disminución de la contaminación ambiental (Sapag Chain, 2008).

### 2.2.1 Inversión Total

La inversión total representa la cantidad de dinero necesaria para poner un proyecto en operación y se compone de dos partes: la inversión fija total y la inversión en capital de trabajo.

La inversión fija total es el dinero necesario para adquirir todos los activos fijos, tangibles e intangibles, necesarios para construir totalmente la planta, instalar los servicios auxiliares y ubicarla en situación de poder comenzar a producir. Constituyen activos fijos los terrenos, las obras físicas (edificios industriales, sala de venta, oficinas administrativas, vías de acceso, estacionamientos, depósitos, entre otras), el equipamiento de la planta y oficinas (en maquinarias, muebles, herramientas, vehículos y decoración en general) y la infraestructura de servicios de apoyo (agua potable, desagües, red eléctrica, comunicaciones, energía, entre otros). Por otro lado, las inversiones en activos intangibles son todas aquellas que se realizan sobre activos constituidos por los servicios o derechos adquiridos, necesarios para la puesta en marcha del proyecto (Sapag Chain, 2008).

La segunda parte que compone la inversión total es el capital de trabajo, el cual constituye el conjunto de recursos necesarios, en la forma de activos corrientes, para la operación normal del proyecto durante un ciclo productivo, para una capacidad y tamaño determinados, antes de percibir beneficios (Sapag Chain, 2008).

### 2.2.2 Método de estimación por factores

Este es un método mediante el cual puede extrapolarse el costo de un sistema completo a partir del costo de los equipos principales del proceso (Chilton, 1949) y determinar una estimación de la inversión fija con un error de 10-15% del valor real, por la selección cuidadosa de los factores dentro del rango dado. Se recomienda el ajuste de los factores experimentales por combinación de los resultados de diferentes casos.

Los datos que componen este método se pueden utilizar en el desarrollo de ecuaciones de costo a fin de optimizar las partes de un determinado proceso. El punto de partida en este método es la estimación de la inversión de los equipos principales de proceso. Se observa que el costo de otros rubros esenciales, necesarios para completar el sistema puede correlacionarse con la inversión en los equipos principales y que la inversión fija puede estimarse por aplicación de factores experimentales a la inversión en equipos (FAO, 2020). Los factores experimentales propuestos por Chilton se observan en el Cuadro 2.



Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Factores experimentales como fracción de $I_E$		Factores experimentales como fracción de la inversión directa	
<b>Tuberías de proceso</b>	$f_1$	<b>Ingeniería y construcción</b>	$f_{11}$
Proceso de sólidos	0,07 - 0,10	Ingeniería inmediata	0,20 - 0,35
Proceso de mixtos	0,10 - 0,30	Ingeniería compleja	0,35 - 0,50
Proceso de fluidos	0,30 - 0,60	<b>Factores de tamaño</b>	$f_{12}$
<b>Instrumentación</b>	$f_2$	Unidad comercial grande	0,02 - 0,05
Control poco automatizado	0,02 - 0,05	Unidad comercial pequeña	0,05 - 0,10
Control parcialmente autom.	0,05 - 0,10	Unidad experimental	0,10 - 0,15
Control complejo, centralizado	0,10 - 0,15	<b>Contingencias</b>	$f_{13}$
<b>Edificios de fabricación</b>	$f_3$	De la compañía	0,10 - 0,20
Construcción abierta	0,05 - 0,20	Variaciones imprevistas	0,20 - 0,30
Construcción semiabierta	0,20 - 0,60	Procesos exploratorios	0,30 - 0,50
Construcción cerrada	0,60 - 1,00	<b>Inversión fija</b>	
<b>Plantas de servicio</b>	$f_4$	$IF = I_E \times \left(1 + \sum f_i\right) \times f_I$	
Escasa adición a las existentes	0,00 - 0,05	Factor de inversión indirecta	$f_I = \sum f_{Ii} + 1$
Adición considerable a las existentes	0,05 - 0,25	Inversión directa	$I_E \times \left(1 + \sum f_i\right)$
Plantas de servicios nuevas	0,25 - 1,00	Valor del Equipo instalado de Proceso	$I_E$
<b>Conexiones entre unidades</b>	$f_5$		
Entre las unidades de servicio	0,00 - 0,05		
Entre unidades de proceso separadas	0,05 - 0,15		
Entre unidades de proceso dispersas	0,15 - 0,25		

Cuadro 2. Factores experimentales propuestos por Chilton  
Fuente: Elaboración propia en base a Chilton (1949)

La aplicación de este método es recomendable en el caso de no conocer o no disponer con los recursos necesarios para obtener los valores reales específicos de cada uno de los componentes que conforman la inversión. En caso de disponer de información específica, el método permite utilizar estos datos y a su vez estimar los restantes.

### 2.2.3 Relación Beneficio/Costo

El método de selección de alternativas más comúnmente utilizado por los gobiernos nacionales, provinciales y municipales para analizar la factibilidad de los proyectos de obras públicas es la razón Beneficio/Costo ( $B/C$ ). Como su nombre lo sugiere, el método de análisis  $B/C$  está basado en la razón de los beneficios a los costos asociados con un proyecto particular. Se considera que un proyecto es atractivo cuando los beneficios derivados de su implementación y reducidos por los beneficios negativos esperados, exceden los costos

asociados. Por tanto, el primer paso en un análisis *B/C* es determinar cuáles de los elementos son beneficios positivos y negativos, y los costos (Blank y Tarquin, 2000). Se pueden utilizar las siguientes descripciones que deben ser expresadas en términos monetarios.

- Beneficios (*B*). Ventajas experimentadas por el propietario o la sociedad.
- Beneficios negativos (*BN*). Desventajas para el propietario o la sociedad cuando el proyecto bajo consideración es implementado.
- Costos (*C*). Inversión, gastos de operación, mantenimiento, entre otros.

Una vez realizada la relación Beneficio/Costo, se debe analizar el resultado obtenido. Si es un valor mayor a la unidad, quiere decir que los beneficios obtenidos son mayores a los costos implicados, por lo tanto, el proyecto es factible desde la mirada económica.

Si al momento de determinar los beneficios y costos, estos se perciben en distintos periodos de tiempo, no es correcto analizar su valor monetario de igual manera. Se deben llevar a valores monetarios en un mismo espacio temporal que permita su análisis y comparación; para ello se utiliza el concepto del Valor Actual Neto.

#### 2.2.4 Valor actual neto

En el estudio de las inversiones, su análisis se basa en la consideración de que el dinero, sólo porque transcurre el tiempo, debe ser remunerado con un interés por no usarlo hoy y aplazarlo a un futuro conocido, lo cual se conoce como valor temporal del dinero. Determinar los valores actuales del dinero proporciona una base idéntica de comparación para realizar el análisis de rentabilidad. Para poder calcular el valor actual (*VA*) de un monto futuro (*VF*) conocido se utiliza la ecuación 1, donde *i* representa la tasa de interés que se aplica por periodo y *n* la cantidad de períodos, desde el tiempo del monto futuro hasta el presente (Sapag Chain, 2008).

$$VA = \frac{VF}{(1+i)^n} \quad (1)$$

De esta última ecuación surge el término del Valor Actual Neto (*VAN*), donde el *VAN* es la sumatoria de todos los valores futuros de cada periodo a lo largo de la vida útil del proyecto, expresados en moneda actual. Su cálculo se muestra en la ecuación 2.

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{VF}{(1+i)^j} \quad (2)$$

## 2.3 Herramientas

### 2.3.1 FODA

El análisis FODA consiste en realizar una evaluación de las fortalezas y debilidades que, en su conjunto, diagnostican la situación interna de una organización, así como su evaluación externa, es decir, las oportunidades y amenazas. Es una herramienta que puede considerarse sencilla y que permite obtener una perspectiva general de la situación estratégica de una organización determinada (Ponce, 2007).

Una fortaleza es alguna función que se realiza de manera correcta, como son ciertas habilidades y capacidades de la organización, y además la evidencia de su competencia. Otro aspecto identificado como una fortaleza son los recursos considerados valiosos y la misma capacidad competitiva de la organización como un logro que brinda esta o una situación favorable en el medio social. En cambio, una debilidad se define como un factor que hace vulnerable a la organización o simplemente una actividad que la empresa realiza en forma deficiente, lo que la coloca en una situación débil.



Las oportunidades constituyen aquellas fuerzas ambientales de carácter externo no controlables por la organización, pero que representan elementos potenciales de crecimiento o mejora. Las amenazas representan la suma de las fuerzas ambientales no controlables por la organización, pero que representan fuerzas o aspectos negativos y problemas potenciales. Las oportunidades y amenazas no sólo pueden influir en el atractivo del estado de una organización, sino que establecen la necesidad de emprender acciones de carácter estratégico (Ponce, 2007).

Lo importante de este análisis es evaluar sus fortalezas y debilidades, las oportunidades y las amenazas, y llegar a conclusiones.

### 2.3.2 Diagrama de Flujo

Los diagramas de flujo son una representación gráfica mediante la cual se representan las distintas operaciones de que se compone un procedimiento o parte de él, estableciendo su secuencia cronológica. Clasificándolos mediante símbolos según la naturaleza de cada cual. Se les llama diagramas de flujo porque los símbolos utilizados se conectan por medio de flechas para indicar la secuencia de la operación (Sequeira Gutiérrez, 2009).

Esta herramienta es de gran utilidad para una organización, debido a que su uso contribuye con el desarrollo de una mejor gestión institucional. Para su elaboración, existen distintos tipos de simbologías desarrolladas. En este caso se emplean signos convencionales propuestos por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) que se muestran en el Cuadro 3.

Símbolo	Representa
	<b>Operación.</b> Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento.
	<b>Inspección.</b> Indica que se verifica la calidad y/o cantidad de algo
	<b>Transporte.</b> Indica cada vez que un documento o material se mueve o traslada de un sector a otro.
	<b>Espera.</b> Indica demora en el desarrollo de los hechos.
	<b>Almacenamiento permanente.</b> Indica el depósito de un documento o material cualquiera en un almacén.

Cuadro 3. Simbología ASME para diagrama de flujos

Fuente: Elaboración propia en base a ASME

### 2.3.3 Método para el diseño de la distribución en planta

El flujo de la manufactura en las organizaciones o empresas se debe analizar para determinar la correcta ubicación de los distintos sectores operativos, los demás departamentos, servicios e instalaciones. Los materiales fluyen de la recepción a los almacenes, las bodegas y los envíos. La información fluye entre las oficinas y el resto de la instalación, y las personas se mueven de un lugar a otro. Cada departamento, oficina e instalación de servicio debe situarse de manera apropiada en relación con las demás.

Existen distintas técnicas propuestas por Meyers y Stephens (2006) que, aplicadas de manera secuencial, permiten determinar la ubicación apropiada de cada sector o área de la organización.

#### Diagrama de relación de actividades

El diagrama de la relación de actividades muestra las relaciones de cada departamento, oficina o área de servicios, con cualquier otro departamento y área. Responde a la pregunta: ¿Qué tan importante es para este departamento, oficina o instalación de servicios, estar cerca de otro departamento, oficina o instalación de servicios? Este

cuestionamiento se plantea utilizando códigos de cercanía para reflejar la importancia de cada relación. Los códigos utilizados se muestran en el Cuadro 4.

Código	Definición
A	Absolutamente necesario que estos dos departamentos estén uno junto al otro
E	Excepcionalmente importante
I	Importante
O	Ordinariamente importante
U	Sin importancia
X	No deseable

Cuadro 4. Códigos diagrama de relación de actividades  
Fuente: Elaboración propia en base a Meyers y Stephens (2006)

### Hoja de trabajo

La hoja de trabajo es una etapa intermedia entre el diagrama de relación de actividades y el diagrama adimensional de bloques. Reemplaza al diagrama de relación de actividades y obtiene los datos básicos para elaborar el diagrama adimensional de bloques a través de un cuadro que se compone de todos los sectores identificados anteriormente en las filas, y los códigos utilizados en las columnas.

### Diagrama adimensional de bloques

El diagrama adimensional de bloques es el primer intento de distribución y resultado de la gráfica de relación de actividades y la hoja de trabajo. Aun cuando esta distribución es adimensional, será la base para hacer la distribución maestra y el dibujo del plan.

Cada departamento o actividad se representa como un bloque de igual tamaño y luego se siguen los siguientes pasos:

1. Se escribe el número de actividad en el centro de cada bloque.
2. Dentro de cada bloque, y en base al tipo de actividad, se colocan los siguientes datos:
  - En la esquina superior izquierda, las actividades con código A.
  - En la esquina superior derecha, las actividades con código B.
  - En la esquina inferior izquierda, las actividades con código I.
  - En la esquina inferior derecha, las actividades con código O.

- Se omiten las relaciones con código U.
  - En el centro van las relaciones X, debajo del número de actividad.
3. Una vez realizado sobre todas las actividades, se les coloca en el arreglo que satisfaga tantos códigos de actividad como sea posible. Lo único importante a satisfacer es que, todos los códigos A tiene un lado completo en contacto; todos los E deben tener al menos una esquina en contacto; ningún código X debe estar en contacto.

Si se obedecen los códigos de las actividades resultará una buena distribución y una vez que se ha determinado el tamaño de cada departamento, oficina e instalación de apoyo, se asignará espacio a cada actividad por medio de la distribución del diagrama adimensional de bloques.

#### 2.4 Seguridad, higiene y medio ambiente

Las condiciones y medio ambiente de trabajo están constituidas por los factores socio técnicos y organizacionales del proceso de producción implantado en la organización y por los factores de riesgo del medio ambiente de trabajo. Ambos grupos de factores constituyen las exigencias, requerimientos y limitaciones del puesto de trabajo, cuya articulación sinérgica o combinada da lugar a efectos directos e indirectos, positivos o negativos, sobre la vida y la salud física, psíquica y/o mental de los trabajadores (Fundación MAPFRE, 1991).

Existe entonces una relación estrecha, pero no unidireccional, entre el proceso de trabajo y la salud. La esperanza de vida y la salud de los trabajadores están fuertemente condicionadas, e incluso determinada, por las condiciones y el medio ambiente de trabajo soportados durante su vida activa. Es por eso que se debe estudiar la higiene industrial y la seguridad industrial.

La higiene industrial es la ciencia de la anticipación, la identificación, la evaluación y el control de los riesgos que se originan en el lugar de trabajo o en relación con él y que pueden poner en peligro la salud y el bienestar de los trabajadores, teniendo también en cuenta su posible repercusión en las comunidades vecinas y en el medio ambiente en general.

La seguridad industrial es el conjunto de principios, leyes, criterios y normas formuladas cuyo objetivo es prevenir accidentes de trabajo y controlar riesgos que puedan ocasionar daños a personas, equipos, materiales y al medio ambiente. Según la Ley de Riesgos de Trabajo (Nº 24557) se llama accidente de trabajo a todo acontecimiento súbito y violento ocurrido por el hecho u en ocasión del trabajo, o en el trayecto entre el domicilio del

trabajador y el lugar del trabajo, siempre y cuando el damnificado no hubiere interrumpido o alterado dicho trayecto por causas ajenas al trabajo.

#### 2.4.1 Elementos de protección personal

Los elementos de protección personal (EPP) son cualquier equipo, conjunto de equipos o elementos de uso directo sobre el cuerpo del trabajador, que por sí solas no eliminan ni corrigen el factor de riesgo que pueda amenazar su seguridad o su salud en el trabajo, sino que son unas barreras colocadas frente a él. Los EPP no eliminan el riesgo o el peligro, solamente protegen al individuo del ambiente y disminuyen la gravedad o probabilidad del riesgo (Fundación MAPFRE, 1991).

Por este motivo deben ser constantemente vigilados y conservados, teniendo por finalidad impedir o disminuir las lesiones consecutivas de los accidentes y preservarlo de un riesgo concreto que, actuando sobre la persona de una manera permanente y continuada, le originaría el padecimiento de una enfermedad profesional. Pueden aplicarse como métodos complementarios de otras medidas a las que nunca deben sustituir.

Los equipos de protección individual deben ofrecer una protección tan completa como sea posible de las partes del cuerpo amenazadas:

- Cabeza: Cráneo, ojos, cara, cuello y vías respiratorias.
- Tronco: Hombros, pecho, cintura, espalda y abdomen.
- Miembros superiores: Dedos, manos, muñecas, antebrazos, codos y brazos.
- Miembros inferiores: Pies, tobillos, rodillas y piernas.

#### 2.4.2 Impacto Ambiental

Conseguir el equilibrio entre el medio ambiente, la sociedad y la economía está considerado como algo esencial para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de futuras generaciones. Al hacer referencia al medio ambiente, se lo puede entender como el sistema natural o transformado en que vive la humanidad, con todos sus aspectos sociales y biofísicos y sus relaciones.

Durante mucho tiempo el impacto ambiental fue asociado a los temas de contaminación y también estuvo centrado en lo urbano, luego se le hizo extensible a especies animales, vegetales y ecosistemas naturales. Por ello, se puede definir ampliamente el impacto ambiental como la alteración significativa de los sistemas naturales y transformados

y de sus recursos, provocada por acciones humanas (Espinoza, 2007). Es por eso que hoy en día, cualquier tipo de proyecto implica necesariamente impactos ambientales, ya sea en forma directa o indirecta.

La dimensión ambiental debe analizarse, en un sentido amplio, en sus aspectos naturales, como el suelo, la flora y la fauna, la contaminación, el valor paisajístico, la alteración de costumbres humanas y el impacto sobre la salud de las personas.

Uno de los instrumentos ambientales hoy más usadas por las instituciones gubernamentales alrededor del mundo es la evaluación de impacto ambiental (EIA), cuyo sustento racional y metódico es bastante simple. Básicamente se trata de decidir si se debiese avanzar con una propuesta, basándose en la comprensión y evaluación de las consecuencias ambientales de su implementación (Espinoza, 2007).

#### 2.4.2.1 Matriz de Leopold

Esta metodología, desarrollada en 1971 en Estados Unidos, fue el primer método que se utilizó en evaluaciones de impacto ambiental. Se basa en una matriz de interacciones complejas, donde en las columnas hay 100 acciones y en las filas hay 88 factores ambientales. Todos estos factores se muestran en el Anexo I.

Los cruces son posibles efectos ambientales o impactos. Las cuadrículas del cruce que presenten impactos significativos se dividen con una diagonal marcando en la parte superior la magnitud del impacto, valorada entre 0 y 10, y en la inferior la importancia, también en una escala de 0 a 10. Sumando por filas se realiza una estimación del impacto producido sobre un determinado factor ambiental, y sumando por columnas, una estimación del impacto producido por una cierta acción.

Si bien muchas veces es criticada por su simplificación y por el hecho de que la suma de los valores totales no es representativa de una situación que pueda abordarse en las medidas de gestión, permite tener una visión rápida y sintética de las principales acciones impactantes y componentes afectados (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019).

#### 2.4.2.2 Matriz de impacto ambiental Conesa Fernández – Vítora

La metodología propuesta por Conesa Fernández y Vítora (1997), continúa siendo la herramienta de más amplia utilización. Esta matriz es un método analítico que permite asignar



la importancia ( $I$ ) a cada impacto ambiental posible de la ejecución de un proyecto en todas y cada una de sus etapas.

Para el cálculo de la importancia ( $I$ ) de un impacto ambiental, se utiliza la valoración mostrada en el Cuadro 5 y la ecuación 3.

$$I = \pm(3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (3)$$

Dónde:

- *Signo (+/-)*. Hace alusión al carácter beneficioso o perjudicial de las distintas acciones que van a actuar sobre los distintos factores considerados.
- *Intensidad (i)*. Es el grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en el que actúa.
- *Extensión (EX)*. Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto.
- *Momento (MO)*. Es el plazo de manifestación del impacto, alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.
- *Persistencia (PE)*. Se refiere al tiempo que permanece el efecto desde su aparición y a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales o mediante la introducción de medidas correctoras.
- *Reversibilidad (RV)*. Se refiere a la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez que aquella deja de actuar sobre el medio.
- *Recuperabilidad (MC)*. Se refiere a la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana.
- *Sinergia (SI)*. Es el atributo que contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que se espera de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente, no simultánea.
- *Acumulación (AC)*. Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.
- *Efecto (EF)*. Es el atributo que se refiere a la relación causa-efecto, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

- *Periodicidad (PR)*. Se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente, de forma impredecible en el tiempo, o constante en el tiempo.

De esta manera queda conformada la matriz de impactos, la cual está integrada por una valoración de importancia que se obtiene a través del modelo propuesto. Luego, a partir de esta valoración obtenida, se clasifican los impactos en Bajos, Moderados, Severos o Críticos. Su determinación se muestra en el Cuadro 6.

Signo		Intensidad (i) *	
Beneficioso	+	Baja	1
Perjudicial	-	Total	12
Extensión (EX)		Momento (MO)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Mediano plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Crítico	8
Crítica	12		
Persistencia (PE)		Reversibilidad (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
Efecto (EF)		Acumulación (AC)	
Indirecto	1	Simple	1
Directo	4	Acumulativo	4
Sinergia (SI)		Periodicidad (PR)	
Sin sinergismo	1	Irregular	1
Sinérgico	2	Periódico	2
Muy sinérgico	4	Continuo	4
Recuperabilidad (MC)		* Admite valores intermedios	
Recuperabilidad inmediata	1		
Recuperable	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

Cuadro 5. Valoración de las variables Conesa Fernández-Vítora  
Fuente: Elaboración propia en base a Conesa Fernández-Vítora (1997)

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

---

Valor I (Entre 13 y 100)	Calificación	Significado
<25	<b>Bajo</b>	La afectación del mismo es irrelevante en comparación con los fines y objetivos del Proyecto en cuestión
$25 \geq < 50$	<b>Moderado</b>	La afectación del mismo, no precisa prácticas correctoras o protectoras intensivas.
$50 \geq < 75$	<b>Severo</b>	La afectación de este, exige la recuperación de las condiciones del medio a través de medidas correctoras o protectoras. El tiempo de recuperación necesario es en un periodo prolongado
$\geq 75$	<b>Crítico</b>	La afectación del mismo, es superior al umbral aceptable. Se produce una pérdida permanente de la calidad en las condiciones ambientales. No hay posibilidad de recuperación alguna.

Cuadro 6. Clasificación de impactos

Fuente: Elaboración propia en base a Conesa Fernández-Vítora (1997)

### 3. DESARROLLO

#### 3.1 Análisis de la situación actual

##### 3.1.1. Partido de General Pueyrredon

La provincia de Buenos Aires está conformada por 135 partidos; General Pueyrredon es uno de ellos. El partido se encuentra ubicado sobre la costa atlántica, al sureste del territorio provincial, y tiene una superficie de 1453.4 km<sup>2</sup>. Limita con los partidos de Mar Chiquita, Balcarce y General Alvarado, siendo Mar del Plata la ciudad de mayor importancia de dichos partidos, lo que le otorga una posición de liderazgo para el desarrollo de proyectos regionales (CEPAL, 2002).

La economía del partido de General Pueyrredon se encuentra liderada por el sector servicios, en el que se destaca la actividad turística, convirtiendo a la ciudad de Mar del Plata como el principal destino turístico del país. A través de su cordón frutihortícola, además de autoabastecerse, provee de sus productos a la ciudad de Buenos Aires y a otras ciudades importantes de la región. Es el principal puerto pesquero del país, desembarcando 418.500 toneladas anuales de pescado, que representan el 53% de la pesca nacional, y son procesadas en plantas locales (Ministerio de Hacienda, 2019). Dentro del sector industrial se destaca la industria alimenticia, que representa el 43% de las empresas de la ciudad, y el Parque Industrial General Savio, donde se han radicado importantes empresas vinculadas a la alimentación, insumos médicos, metalurgia, plásticos, construcción y otros rubros de la industria, con un total de 89 operando actualmente (Parque Industrial General Savio, 2020). También se destaca la actividad minera relacionada con las canteras de cuarcita de la zona (Municipalidad de General Pueyrredón, 2020).

Considerando aglomerados urbanos y localidades compuestas, Mar del Plata es la segunda ciudad más poblada de la provincia de Buenos Aires, solo detrás de Gran La Plata, y la séptima del país según el último Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas realizado en el año 2010 (INDEC, 2012). La ciudad cuenta con 618.989 habitantes y, debido a la actividad turística, recibe 8.000.000 de turistas anualmente caracterizados por un fuerte componente estacional durante la temporada de verano (Municipalidad de General Pueyrredon, 2020). Esta característica estacional también afecta a la generación de residuos sólidos urbanos.

Los datos de población han quedado desactualizados a la espera del nuevo censo nacional planificado para el corriente año. Se estima que la ciudad cuenta con una población

mucho mayor a la informada por el último censo del año 2010. Según la propia municipalidad del partido, la población estimada para el 2020 en la ciudad es de 656.456 personas (Municipalidad de General Pueyrredón, 2020). Pero se hace difícil pensar en esa cifra considerando que la población electoral de la ciudad para las elecciones presidenciales del 2019 fue de 573.174 personas y la población entre el rango de edad de 0 a 15 años representaba el 23% del total de habitantes de la ciudad (INDEC, 2012). A su vez, a partir de estadísticas mundiales de estimación de basura generada por persona en condiciones socioeconómicas similares a las de la región y considerando la basura generada en el partido, Mar del Plata estaría cerca del millón de habitantes (CEAMSE, 2019).

### 3.1.2. Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

Dentro del partido de General Pueyrredón se implementa un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU). La GIRSU es un sistema de manejo de residuos sólidos urbanos (RSU) que, basado en el concepto de Desarrollo Sostenible, tiene como objetivo primordial la reducción de los residuos enviados a disposición final. Ello deriva en la preservación de la salud humana y la mejora de la calidad de vida de la población, como así también el cuidado del ambiente y la conservación de los recursos naturales.

El Plan GIRSU se encuentra constituido por: un plan de inclusión social; un programa de separación de residuos sólidos urbanos, comunicación y educación ambiental; una planta de separación y clasificación de materiales; un centro de disposición final; la utilización de contenedores para disposición de residuos sólidos urbanos; y el cierre y saneamiento del antiguo basural a cielo abierto.

La División Control de Prestaciones Privadas, depende actualmente de la Dirección de Gestión de Residuos del Ente Municipal de Servicios Urbanos (EMSUR), y es la encargada de controlar el correcto cumplimiento de las condiciones especificadas en los pliegos licitatorios de Higiene Urbana, realizando periódicamente las inspecciones, actas, e informes de descuento, por multas u otros motivos, los que son tenidos en cuenta a la hora de efectuar los pagos por los servicios prestados (EMSUR, 2019).

### 3.1.3. Recolección de Residuos Domiciliarios

El servicio de recolección de residuos se encuentra a cargo de una empresa privada, Transportes 9 de Julio S.A., contratada mediante una licitación pública. El servicio incluye la recolección de los residuos de poda, de montículos, el barrido manual, mecánico o mixto de las calles, la limpieza de las playas públicas, el manejo de contenedores, el lavado y barrido

de las veredas del sector costero y de la peatonal San Martín, y la recolección de los residuos domiciliarios.

La cantidad de cuadras incluidas en el servicio de recolección de residuos domiciliarios es de 36.578 cuadras, realizándose un promedio diario de 24.761 cuadras. Del total de cuadras servidas, aproximadamente el 40% son calles no asfaltadas. El total de toneladas recolectadas diariamente, es de aproximadamente 450 t/día durante los meses invernales y asciende a 800 t/día durante los meses de verano (EMSUR, 2019).

La zona urbana de la ciudad cuenta con recolección regular de residuos sólidos bajo el Programa de Separación en Origen. Con él se obliga a los generadores de residuos sólidos urbanos a separar en fracciones recuperables y no recuperables, utilizando bolsas verdes y negras respectivamente, con días determinados exclusivamente para cada fracción. La separación en origen es la primera etapa en toda Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, y es esencial para establecer un sistema eficiente.

#### 3.1.4. Centro de Disposición Final

La ciudad cuenta con un Centro de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos (CDFRSU) que comenzó su operación en mayo de 2012 bajo el programa Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), siendo el único sitio habilitado para la disposición final de RSU y residuos industriales no especiales, operado por la firma TECSAN IASA a partir de ese momento. Las instalaciones comprenden los sectores de disposición final dentro del Módulo I, planta de tratamiento de lixiviados, planta de tratamiento de biogás, caminos de acceso, instalaciones edilicias para oficinas, galpones de depósito, estación transformadora y laboratorio, cortina forestal.

El proyecto inicial contempló en su totalidad el diseño de 2 (dos) módulos para la disposición de residuos sólidos urbanos y asimilables, con capacidad total receptiva de 4.916.280 m<sup>3</sup>. La capacidad de recepción de los módulos fue recalculada en el año 2015, de acuerdo a las características de compactación y otros parámetros operativos, pero debido a posteriores variaciones en la secuencia de disposición final de los RSU esos cálculos ya han perdido vigencia.

La vida útil remanente del Centro de Disposición Final, según información de la Dirección de Gestión de Residuos, era de aproximadamente siete años a fines del 2018, considerando la tasa de disposición de residuos al momento de la estimación.

La planta de quema de biogás, cuya operación contribuirá a la reducción de emisión de gases de efecto invernadero, instalada en forma previa al inicio de operaciones del CDFRSU, todavía no ha sido puesta en funcionamiento al no alcanzarse aún el caudal mínimo de gas necesario para su operación.

Desde junio de 2018, la empresa pública Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) se encuentra a cargo de la operación del Centro de Disposición Final. A partir de su contratación, se modificaron las funciones del personal afectado al Centro de Disposición Final y se le asignó la tarea de registrar a todos los comercios e industrias del Partido de General Pueyrredón para que se inscriban en el Registro de Grandes Generadores de Residuos Sólidos Urbanos y Asimilables, lo que permite cobrar la Tasa por Disposición Final de Residuos y aumentar los ingresos municipales para afrontar el incremento del costo operativo actual del predio (EMSUR, 2019).

#### 3.1.5. Planta de Separación y Clasificación de Materiales

La Instalación de Recuperación de Materiales o Planta de Separación y Clasificación de Materiales, ubicada en Av. Antártida Argentina 9.900, realiza la separación de los materiales recuperables de los residuos que recibe diariamente. Esta tarea se encuentra a cargo de los trabajadores de la cooperativa CURA, que obtienen un ingreso a través de la comercialización de los reciclables separados.

Los residuos provienen principalmente del servicio de recolección de los residuos sólidos urbanos del partido de General Pueyrredón a través de la empresa "Transportes 9 de Julio S.A.". Además, se ingresan residuos provenientes de industrias que transportan sus residuos recuperables a la planta, del Partido de Mar Chiquita y del Programa de Selección y Reciclado Interno del Municipio de General Pueyrredón.

Los materiales recuperados actualmente son papel, cartón, PET (Polietileno tereftalato), PEAD (Polietileno de alta densidad), nylon, vidrio y metales.

El valor de comercialización de los materiales determina si los mismos son recuperados o no. Existen ciertos materiales que podrían ser recuperados en la planta, y de esta forma evitar su disposición en el relleno sanitario, pero son rechazados por su bajo valor de venta. La Cooperativa CURA decide qué materiales recuperar y la forma de trabajar en la instalación (EMSUR, 2019).

### 3.1.6. Planta de tratamientos de lixiviados

Un lixiviado es un líquido que se ha filtrado procedente de los residuos dispuestos. Debido a su carga bacteriológica y química los lixiviados deben ser tratados antes de verterlos en medios naturales ya que pueden contaminar las aguas superficiales, subterráneas o el suelo (CEAMSE, 2020).

La planta de tratamiento de lixiviados poseía una capacidad de 100 m<sup>3</sup> que, a mediados de 2018, se encontraba funcionando al 60%. Con la llegada de CEAMSE, se logró trabajar al 100% y se colocó una planta móvil, de características similares, que se encontraba operando hasta 150 m<sup>3</sup> de máxima capacidad para marzo de 2019. El proyecto de CEAMSE tiene una mirada a largo plazo, en el cual se encuentra una planta de procesamiento de lixiviados de 300 m<sup>3</sup> por día que estará en funcionamiento en el año 2030 (CEAMSE, 2020).

### 3.1.7. Tasa GIRSU

Por Ordenanza N° 21.175/2013 (Ordenanza Fiscal) y Ordenanza N° 21.176/2013 (Ordenanza Impositiva) se crea la “Contribución para la Gestión Sustentable del Ambiente Natural y Urbano”, aplicado sobre todos los contribuyentes y una “Tasa por Disposición Final de Residuos” para los grandes generadores. A mayo de 2019, se encontraban inscriptas 264 empresas en el Registro de Grandes Generadores (EMSUR, 2019).

Esta contribución está destinada a financiar los mayores costos de operación del nuevo relleno sanitario y obtener recursos para solventar mejoras en el tratamiento y la disposición final de los residuos.

### 3.1.8. Operación e ingresos al centro de disposición final

El centro de disposición final recibe todos los residuos domiciliarios procedentes del Municipio de General Pueyrredón y, a su vez, desde agosto de 2013 también recibe residuos sólidos urbanos domiciliarios generados en el partido de Mar Chiquita. Este último partido entrega sus materiales recuperables en la Planta de Separación de Residuos y dispone los residuos sólidos urbanos en el Centro de Disposición Final.

El Municipio determina si un residuo es o no aceptable para ser dispuesto en el relleno. Aplicando sus criterios, ha decidido que no se aceptan residuos industriales líquidos, semilíquidos, volátiles, inflamables, reactivos, corrosivos, tóxicos, irritantes, patógenos, infecciosos, capaces de producir cambios genéticos, radiactivos, contaminantes, explosivos, o que resulten peligrosos para la operación.



Los equipos de recolección y transporte que trasladan residuos municipales, privados o de la empresa contratada para la recolección urbana de residuos, son dirigidos hacia la oficina de pesaje donde se procede a su identificación y registro de la carga. Una vez efectuado este procedimiento, los equipos de recolección continúan siguiendo la señalización correspondiente hacia la zona de descarga. Luego, una topadora procede a distribuir los residuos en el interior de la celda de disposición final.

En la Figura 3 se presenta el peso porcentual de cada tipo de residuo en el cual se evidencia el amplio aporte de los residuos domiciliarios y la categoría “Otros”, que no se encuentra especificada. Esta clasificación era realizada por el EMSUR, previo a la llegada de la empresa CEAMSE a la operación del predio. Actualmente no se poseen datos sobre la composición de los residuos ya que no se realiza una clasificación en el registro de residuos ingresados al relleno sanitario. A su vez, en el Anexo II se presenta en detalle la cantidad de residuo que ha ingresado al predio y su tipo u origen durante el periodo comprendido entre el mes de mayo de 2016 y el mes de abril de 2017.

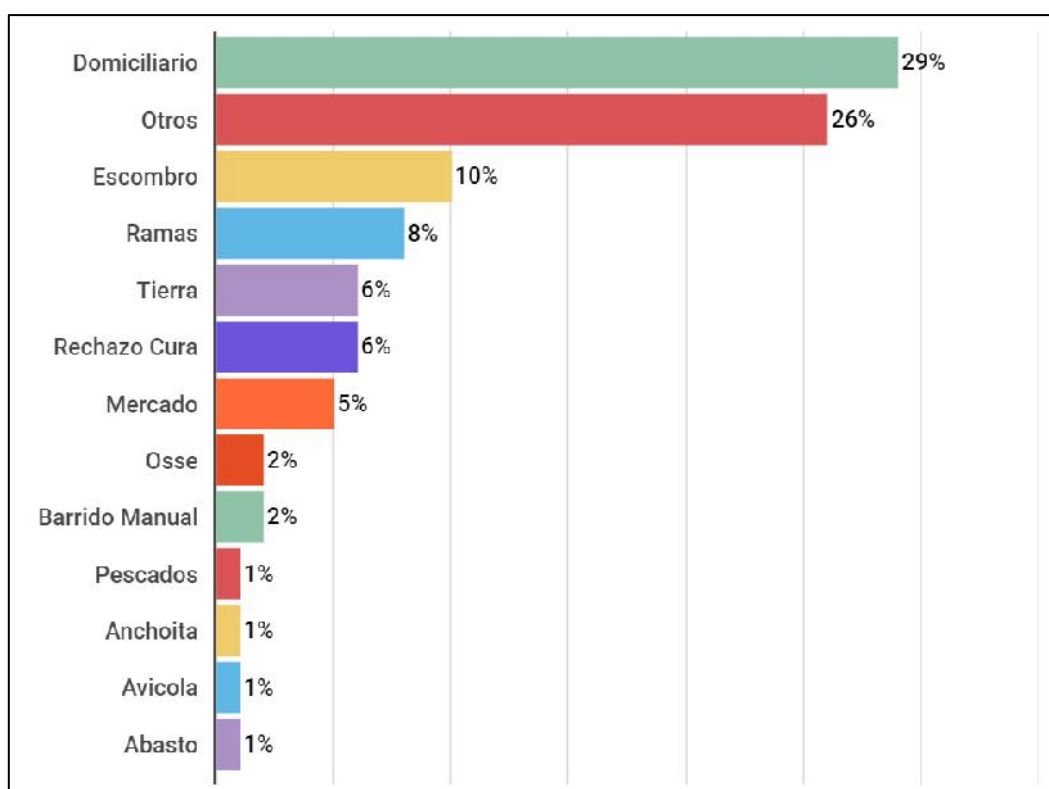


Figura 3. Composición porcentual de los RSU por tipo  
Fuente: Elaboración propia en base a datos de EMSUR

Durante el año 2019, han ingresado al centro de disposición final 409.000 toneladas de residuos.

Se puede observar en la Figura 4, que el periodo de mayor ingreso corresponde al mes de enero, producto de la actividad turística de la ciudad, y el de menor ingreso, junio.

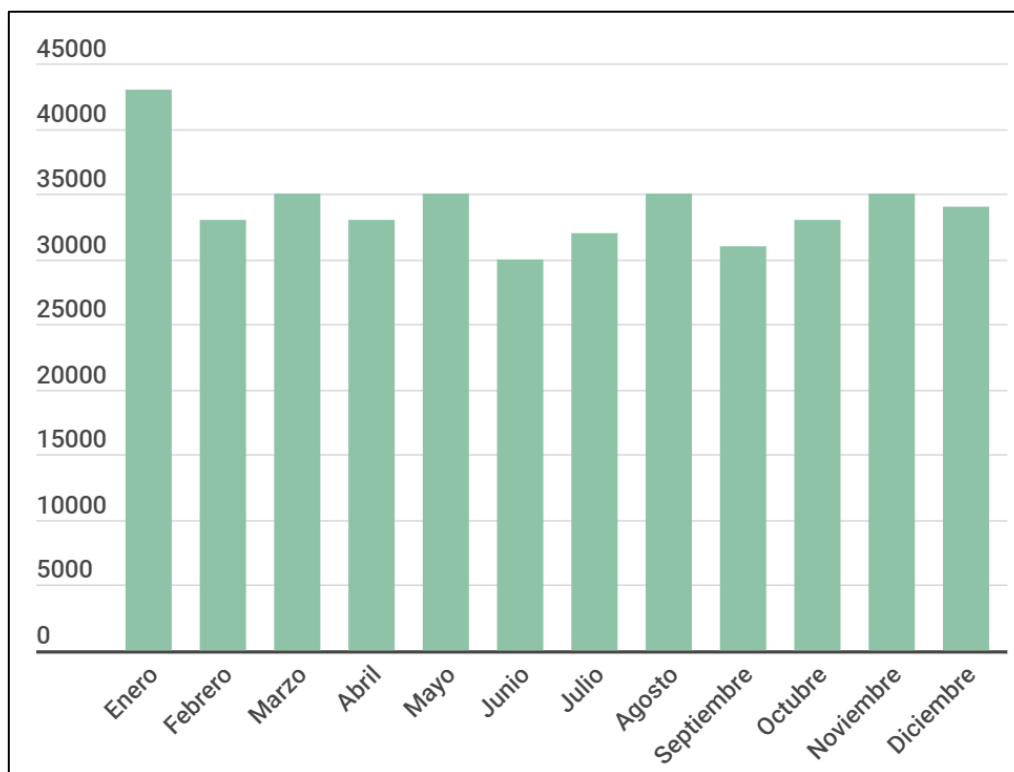


Figura 4. Total de residuos ingresados en toneladas por mes durante el año 2019  
Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por CEAMSE

En estos doce meses ha ingresado un promedio de 1.120,54 t/día, de los cuales 504,24 t/día corresponden a residuos de origen domiciliario, por medio de rechazo de la cooperativa CURA y camiones de la empresa Transportes 9 de julio S.A, y las 616,30 t/día restantes corresponden a residuos de la actividad privada y residuos de otro origen que no son considerados domiciliarios. Durante este periodo se dispusieron 0,78 kg/día de residuos domiciliarios por habitante y, considerando el resto de los residuos no domiciliarios, se dispusieron 1,74 kg/día por habitante (CEAMSE, 2020).

### 3.2. Análisis FODA de la situación de los residuos

En la Cuadro 7 se presenta un análisis FODA de la situación actual de los residuos en la ciudad y la posibilidad de incorporar una planta de compostaje a la gestión integral de los residuos. Para la realización del análisis se tuvieron en cuenta variables económicas, sociales y políticas actuales. Además, se tuvo en cuenta información brindada por la Dirección de Gestión de Residuos del EMSUR.

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Implementación de un modelo GIRSU por parte del municipio</li> <li>● Operación del predio por una empresa con experiencia</li> <li>● Programa de separación en origen</li> <li>● Existencia de terrenos municipales disponibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Falta de regulación específica en el ámbito del compostaje.</li> <li>● Baja rentabilidad asociada al compostaje.</li> <li>● Alrededor de 500 recuperadores informales.</li> <li>● Falta de tratamiento específico para los residuos orgánicos</li> <li>● Escasa recuperación de materiales reciclables. En el 2016 solo se recuperó el 7,3% de los residuos recibidos por la planta de separación de residuos (Mar del Plata Entre Todos, 2018).</li> <li>● Escaso compromiso ambiental en la población. Sólo el 30% de los marplatenses realiza la separación de residuos en los hogares (CURA, 2020).</li> </ul>
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Movilizaciones sociales por la conciencia de la contaminación y el cuidado del medio ambiente</li> <li>● 60% de fracción orgánica en los residuos de la región (Leis, 2015)</li> <li>● Plantas de compostaje funcionando en otras localidades, como Bella Vista y la Ciudad de Buenos Aires. Posibilidad de adquirir conocimientos y experiencias, para ser aplicados en el Gral. Pueyrredon.</li> <li>● Agregado de valor al residuo orgánico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Crisis económica entrante</li> <li>● Pérdida de compromiso con el correcto tratamiento de los residuos</li> </ul>

Cuadro 7. Análisis FODA  
Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Potencial del residuo orgánico utilizable

La calidad del producto final depende en gran medida de la calidad de su materia prima (Guzmán y Jiménez, 2011). En el caso del compost propuesto en este trabajo, la materia prima es el residuo orgánico que llega al centro de disposición final. Es por eso que resulta fundamental seleccionar adecuadamente el residuo a utilizar.

Es importante destacar que los residuos domiciliarios contienen un amplio porcentaje de fracción orgánica. En la ciudad de Mar del Plata, los residuos orgánicos representan el 60% del total de residuos domiciliarios generados por sus habitantes (Jacob et. al., 2003). Teniendo en cuenta que la ciudad genera 504,24 t/día de residuo domiciliario, el valor orgánico alcanzaría las 300 t/día.

El hecho de que no se realiza una separación en origen de este tipo de residuo, dificulta su separación y selección para el aprovechamiento. A su vez, la materia orgánica se puede ver contaminada por el contacto con residuos de origen desconocido o metales pesados dispuestos en el residuo domiciliario.

En el Cuadro 8 se presenta una breve descripción de las categorías de residuos orgánicos que llegan de manera diferenciada según la clasificación utilizada por el EMSUR mostrada en el Anexo II.

Producto	Descripción
<b>Abasto</b>	Residuo del mercado del abasto
<b>Anchoíta</b>	Subproducto de explotación portuaria
<b>Avícola</b>	Subproducto de la industria avícola
<b>Visón</b>	Subproducto de la industria textil
<b>Cascarilla</b>	Subproducto de la industria agropecuaria (Desperdicio de papa)
<b>Chinchilla</b>	Subproducto de la industria textil
<b>Liebre</b>	Subproducto de la industria agropecuaria
<b>Mercado</b>	Residuos del mercado fruti-hortícola
<b>Pescados</b>	Subproducto de explotación portuaria
<b>Ramas</b>	Residuos de la poda, césped cortado, desmalezado de terrenos

Cuadro 8. Descripción de las clasificaciones de residuos orgánicos  
Fuente: Leis (2015)

Si bien todos estos tipos de residuos son de origen orgánico, para la elaboración del trabajo se considera únicamente los que contengan 100% de residuos orgánicos de origen vegetal. De esta manera, se facilita o, en algunos casos, se elimina la tarea de separación de los productos no deseados para el proceso de compostaje. Estos productos son las categorías Abasto, Cascarilla, Mercado y Ramas. La cantidad ingresada al predio y variación anual se visualiza en la Figura 5. No se incluye la Cascarilla con el propósito de facilitar la visualización del gráfico debido a su baja cantidad en comparación con las demás categorías. Tampoco se presentan los datos del mes de noviembre debido a inconsistencias en la información brindada por la fuente.

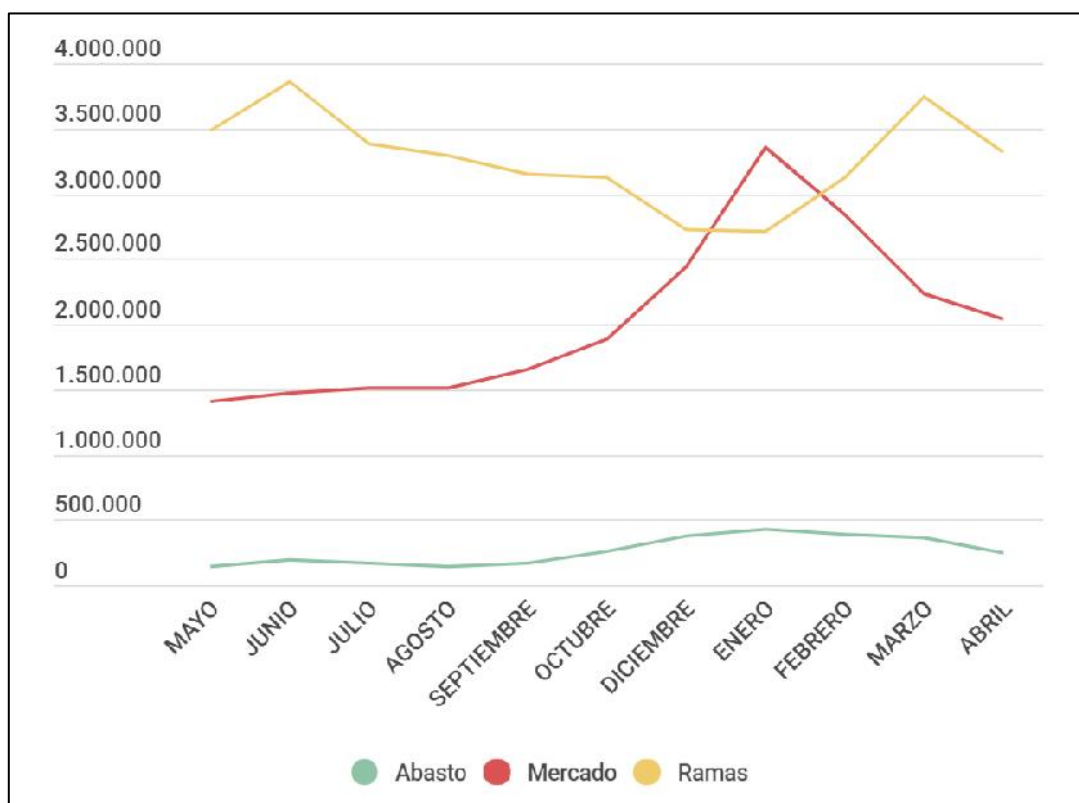


Figura 5. Ingresos mensuales en kilogramos en el periodo mayo 2016 - abril 2017  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del EMSUR

Se observa una clara estacionalidad en las tres categorías presentadas. Los residuos generados en el Abasto Central y en el mercado fruti-hortícola presentan un aumento en la etapa de verano, comprendida entre los meses de diciembre y marzo. Esto se debe al aumento del consumo zonal generado por el movimiento turístico y al aumento del desperdicio por dificultades para conservar los productos con el aumento de la temperatura. La categoría Ramas, también presenta estacionalidad debido a cuestiones climáticas. Durante el periodo otoñal e invernal, comprendido entre los meses de marzo y julio, se observa un crecimiento de la generación de residuos debido al aumento del número de podas, ramas y hojas.

Debido a la variabilidad en la generación de estos tipos de residuos, se presenta en el Cuadro 9 un análisis de valores promedios, mínimos y máximos mensuales de cada uno.

	Mínimo	Máximo	Promedio
<b>Abasto</b>	141060	422080	261002
<b>Cascarilla</b>	9100	38180	22998
<b>Mercado</b>	1408700	3355760	2032315
<b>Ramas</b>	2713129	3854012	3263513
<b>Total</b>	4953053	6510349	5579828

Cuadro 9. Valores mínimos, máximos y promedios mensuales en kilogramos de los residuos orgánicos

Fuente: Elaboración propia en base a datos de EMSUR

Estos valores permiten determinar la capacidad de operación potencial de la planta. Los residuos presentan amplias variaciones en sus cantidades generadas como se observa en los valores mínimos y máximos de cada uno. En consecuencia, plantear una capacidad en función del promedio no sería correcto, debido a que estaría dejando capacidad ociosa durante algunos periodos y residuos sin ser utilizados en otros.

Plantear utilizar todos los residuos generados, requiere poseer una capacidad igual o superior al máximo del total mensual. De esta manera, no quedarán residuos orgánicos sin ser utilizados en ningún momento del año, pero, a su vez, existirán periodos donde se recibirán cantidades mucho menores a la capacidad de operación.

Otra alternativa sería, plantear una capacidad en función del total mínimo mensual. De esta forma, se estaría dejando residuo orgánico sin utilizar, pero se aprovecharía el total de la capacidad instalada durante todo el año.

Este análisis no solo requiere tener en cuenta las cantidades en kilogramos de los residuos a utilizar, sino también los componentes y características orgánicas de cada uno. Para que el proceso de compostaje sea factible y se desarrolle correctamente, es necesario recurrir a mezclas con materiales complementarios que permitan mantener ciertos parámetros básicos dentro de los valores deseados. Dichos parámetros son: porosidad que permita la circulación del aire y la retención de agua; estructura que mantenga la porosidad; humedad y pH adecuados a la actividad microbiana; proporción de materia orgánica biodegradable suficiente; y relación de carbono y nitrógeno (C/N) que minimice las pérdidas de nitrógeno.

Los residuos utilizados para la elaboración de compost pueden clasificarse en dos tipos: de baja degradabilidad y alta degradabilidad (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016). Los residuos de baja degradabilidad poseen una descomposición microbiana muy escasa y mayoritariamente corresponden a materiales con un importante componente leñoso y de lenta degradación (también llamado estructurante): madera de poda, restos forestales, corteza,

hojas secas, entre otros. Estos materiales, aportan principalmente carbono y tienen escasa humedad. El material estructurante otorga o mejora la porosidad y la estructura del residuo destinado a compostaje. Esta clasificación se corresponde con los residuos categorizados como Ramas dentro de los tipos que se proponen compostar en el presente trabajo.

Los residuos de alta degradabilidad, son los susceptibles de ser biodegradados con facilidad; aportan principalmente nitrógeno y tienen elevado contenido de humedad y sales. Un claro ejemplo de residuos de esta característica, son los desechos de frutas y verduras. En los materiales considerados para compostar en el presente trabajo, esta clasificación corresponde a las categorías denominadas Abasto, Cascarilla y Mercado.

Para la correcta elaboración de la mezcla, se debe cumplir con proporciones volumétricas mínimas aceptables entre el material estructurante. Según la Agencia de Residuos de Cataluña (2016), por cada unidad volumétrica de residuo de alta degradabilidad debe haber dos unidades volumétricas de material estructurante, si la descomposición se realiza de manera estática, y tres unidades volumétricas si la descomposición se realiza de manera dinámica.

A partir de lo anteriormente mencionado, se muestran en el Cuadro 10 las cantidades de residuos por mes, en metros cúbicos, considerando una densidad de 0,3 t/m<sup>3</sup> para los restos de poda (previo chipeado) y una densidad de 0,6 t/m<sup>3</sup> para los residuos orgánicos de alta degradabilidad (Agencia de Residuos de Cataluña, 2014).

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Diciembre
<b>R. alta degrad. (Abasto, Cascarilla y Mercado)</b>	2606	2812	2860	2769	3047	3637	4770
<b>R baja degrad. (Ramas)</b>	11599	12847	11263	10973	10508	10408	9084
<b>Relación</b>	4,45	4,57	3,94	3,96	3,45	2,86	1,90
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril			
<b>R. alta degrad. (Abasto, Cascarilla y Mercado)</b>	6329	5416	4364	3856			
<b>R baja degrad. (Ramas)</b>	9044	10419	12481	11036			
<b>Relación</b>	1,43	1,92	2,86	2,86			

Cuadro 10. Volumen mensual de residuos en el periodo mayo 2016 - abril 2017 en m<sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de EMSUR

Se pueden diferenciar dos periodos, con respecto a la relación volumétrica de los residuos. Un primer periodo, correspondiente entre los meses de mayo y septiembre, donde la relación es superior a la recomendada (Volumen Estructurante/Volumen Orgánico = 3). Por lo tanto, el residuo limitante corresponde al de alta degradabilidad, y existe un excedente de

residuo estructurante. El segundo periodo, que se presenta entre los meses de octubre y abril, en donde la relación volumétrica en todos los meses resulta menor a 3. Esto quiere decir que el residuo limitante es el estructurante, existiendo un excedente de residuo de alta degradabilidad.

Se deben analizar los meses donde se presentan los mínimos volúmenes para determinar cuál es el residuo limitante. Considerando mayo como el mes de menor generación de residuos de alta degradabilidad y enero como el mes de menor generación de residuos de baja degradabilidad, se obtiene una relación volumétrica de 3,47 (Cuadro 11). Esta relación determina que el residuo limitante es el de alta degradabilidad, estableciendo una capacidad operativa máxima potencial definida por la menor generación mensual de residuos correspondientes al Abasto, la Cascarilla y el Mercado.

Mes	Mínimo
R. alta degrad. (Abasto, Cascarilla y Mercado)	2606,1 (Mayo)
R baja degrad. (Ramas)	9043,7 (Enero)
Relación	3,47

Cuadro 11. Relación volumétrica de residuos en el periodo mayo 2016 - abril 2017  
Fuente: Elaboración propia en base a dato del EMSUR

En base a estos resultados se define el volumen de operación máximo potencial de cada tipo de residuo. Se determinó un volumen máximo mensual de 2606,1 m<sup>3</sup> de residuos de alta degradabilidad y 9043,7 m<sup>3</sup> de residuos de baja degradabilidad, lo que representa 1563,66 t/mes y 2713,11 t/mes respectivamente.

### 3.4 Localización

Al ser la planta de compostaje un proyecto municipal, el predio destinado a la construcción se limita a los terrenos disponibles por el municipio.

En la Figura 6 se pueden observar los predios que son propiedad del municipio, incluyendo el actual Predio de Disposición Final, el ex basural y la Planta Municipal de Separación y Clasificación de Residuos Sólidos Urbanos.





Figura 6. Vista satelital de los predios municipales para la GIRSU  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del EMSUR

Las parcelas 335 AW, 335 BH, 335 BA y 335 BK son necesarias para la remediación del ex basural. Las parcelas que quedan disponibles para la planta de compostaje son 335 BM y 335 BG. Al ser terrenos sin uso, se deberán desmalezar y nivelar.

La parcela 335 BM posee la distribución que se muestra en la Figura 7; resultando, por lo tanto, una superficie total de aproximadamente 56.000 m<sup>2</sup>.

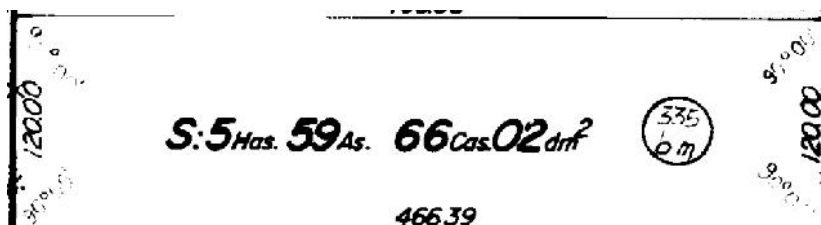


Figura 7. Plano de la parcela 335 BM  
Fuente: ARBA (2020)

Por el otro lado, la parcela 335 BG posee la distribución que se muestra en la Figura 8 y una superficie total de aproximadamente 50.500 m<sup>2</sup>.

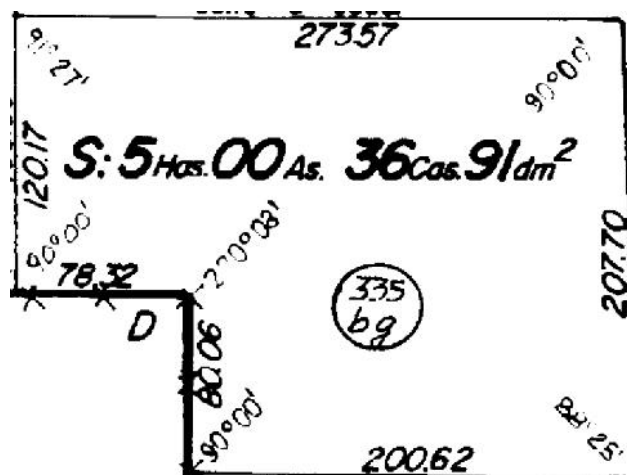


Figura 8. Plano de la parcela 335 BG  
Fuente: ARBA (2020)

### 3.5. Estudio Técnico

#### 3.5.1 Descripción del producto

El objetivo final del proceso de compostaje es obtener compost, que permite aportar materia orgánica y nutrientes a los suelos, pero sus distintas aplicaciones y usos dependen de la calidad del compost obtenido. Es por eso que se debe establecer la calidad deseada del producto final.

Anteriormente, el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (Senasa) no permitía la comercialización de compost elaborado en base a residuos urbanos, bajo un “Reglamento para el Registro de Fertilizantes, Enmiendas, Sustratos, Acondicionadores, Protectores y Materias Primas en Argentina”. Sin embargo, en enero de 2019 se aprobó un “Marco Normativo para la Producción, Registro y Aplicación de Compost”. Este marco normativo establece las posibles aplicaciones y los requisitos que deben cumplir los compost elaborados a partir de residuos urbanos orgánicos, separados en origen y recolectados de manera diferenciada (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019).

A partir de esta nueva resolución por parte de los organismos estatales, es posible comercializar el producto final como fertilizante para usos agrícola y cultivos. Esta finalidad implica obtener un compostaje de alta calidad y un cumplimiento de requisitos, que no se pretenden alcanzar en el presente trabajo.

Es por eso, que el producto final que se propone obtener en el presente trabajo, será utilizado para las tareas de parquizado, mantenimiento de espacios verdes municipales y acondicionamiento de espacios verdes en obras públicas. También será destinado a cobertura

del relleno sanitario, ya que debe ser cubierto diariamente para proteger la superficie de las celdas de los residuos sólidos depositados, brindando resistencia a los procesos erosivos y minimizando el impacto en el medio ambiente. Cabe destacar que este último uso permitirá una calidad aún menor.

### 3.5.2 Alternativas de técnicas productivas

Se descartaron los procesos de compostaje por sistemas cerrados debido a la alta inversión requerida y a que su producto final es un compost de mayor calidad a ser utilizado con otros fines de los que se plantean para el compost de este proyecto.

Dentro de las alternativas de los sistemas abiertos, se decidió llevar a cabo el compostaje en pilas por volteo, descartando el de ventilación forzada, debido al requerimiento de un sistema de ventilación difícil de aplicar a la magnitud del presente trabajo. A continuación, se proponen dos alternativas para dicha técnica. Para ambas alternativas, llevando a cabo el procedimiento de forma correcta, el tiempo total del compostaje será de 5 a 7 semanas para la etapa de descomposición y entre 6 a 7 semanas para la etapa de maduración (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016).

- Alternativa 1: Compostaje en pilas estáticas con volteo manual.

Mediante esta alternativa, la maquinaria a utilizar será mínima, priorizando el desarrollo de tareas manuales. Las hileras se conformarán de dos metros de ancho por uno de alto, permitiendo así que los volteos se hagan de forma manual.

Es importante que dichos volteos se realicen de forma periódica para lograr la aireación y la homogeneización de la masa de compostaje y, además, que el material perteneciente al núcleo de compostaje pase a formar parte de la corteza y viceversa.

Estas hileras permiten un volumen de un metro cúbico de residuos por metro lineal de hilera. Se dejará además dos metros de pasillo entre cada hilera. Por lo que teniendo en cuenta los pasillos, se tendrá un factor de ocupación de 1 m<sup>3</sup> de residuos cada 4 m<sup>2</sup>. En la Figura 9 se muestra la distribución mencionada.

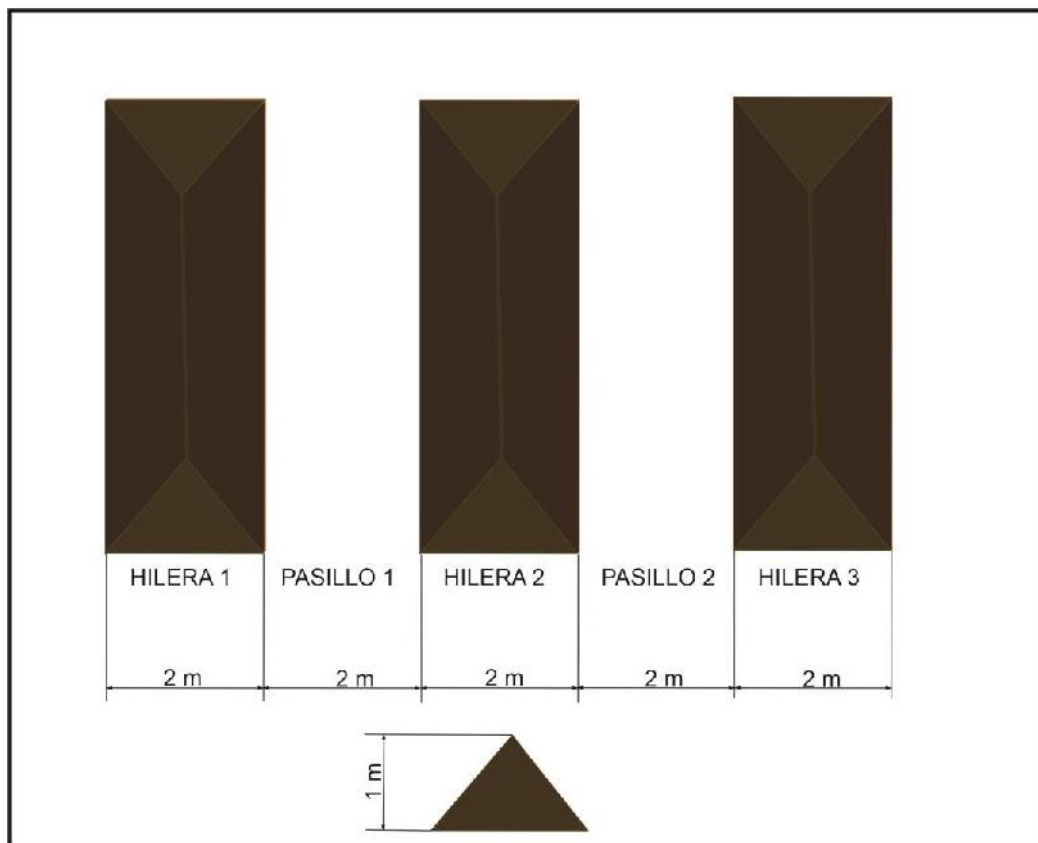


Figura 9. Dimensión y distribución de hileras con volteo manual  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del EMSUR

- Alternativa 2: Compostaje en pilas estáticas con volteo mecanizado.

Mediante esta alternativa, se propone el método de compostaje en hileras similar al anterior, pero utilizando maquinaria para realizar los volteos de los residuos.

En este caso, las hileras se conformarán de tres metros de ancho por uno y medio de alto. Esto nos da un volumen de  $2.25 \text{ m}^3$  de residuos por metro lineal de hilera. Entre cada fila se debe dejar un pasillo de 4 metros para permitir la circulación de la maquinaria. Por lo que, teniendo en cuenta los pasillos, se tendrá un factor de ocupación de  $2.25 \text{ m}^3$  de residuos cada  $7 \text{ m}^2$ . Se muestra en la Figura 10 la distribución mencionada.

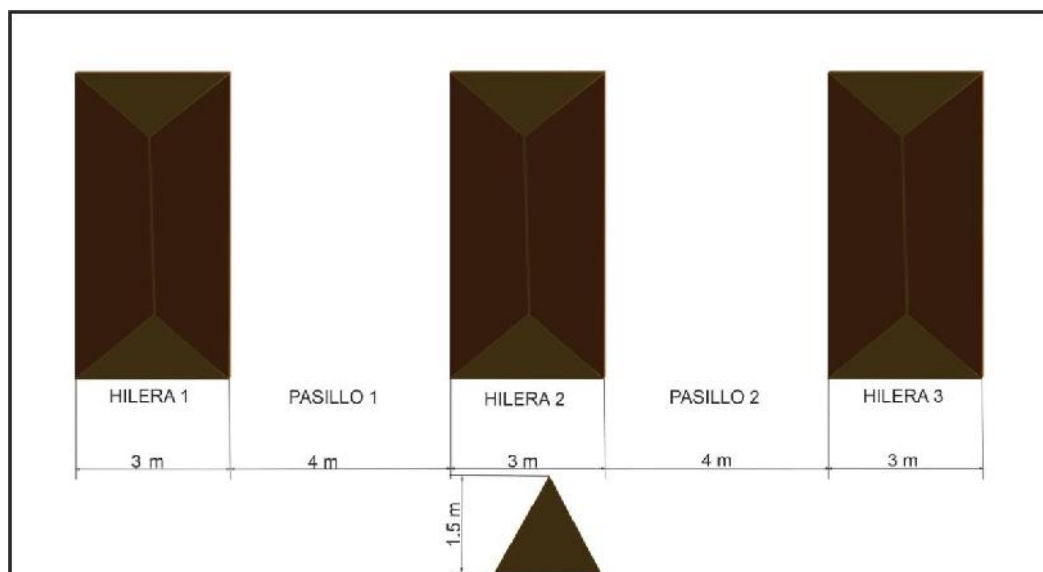


Figura 10. Dimensión y distribución de hileras con volteo mecanizado  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del EMSUR

### 3.5.3 Capacidad

Al hablar de capacidad, se hace referencia a la capacidad productiva de la planta o instalación, que es expresada como un volumen de producción en un periodo de tiempo determinado.

Ambas alternativas, tanto la de volteo manual como la de volteo mecanizado, poseen tiempos de descomposición y maduración iguales. Considerando la peor situación, se selecciona el mayor tiempo correspondiente a 14 semanas de proceso. Por otro lado, al ser los tiempos de ambas etapas igual (7 semanas), se podría proponer una distribución equitativa del terreno para cada uno, pero no se tendría en cuenta el volumen propio de cada etapa. El material, durante el proceso de descomposición, reduce su volumen considerablemente, en un valor cercano al 35% (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016), entrando a la etapa de maduración con un volumen del 65% respecto al volumen inicial. Debido a esto, es posible destinar mayor área del terreno al proceso de descomposición.

En cuanto a la mezcla para iniciar el proceso de compostaje, también es la misma, por lo que la densidad inicial de ambos será igual.

La diferencia entre técnicas se encuentra en el ancho de hileras y pasillos, y en el volumen de procesamiento por metro lineal de hilera.

En el Cuadro 12 se presentan los parámetros a tener en cuenta para la elaboración de los cálculos y en el Cuadro 13 los resultados obtenidos.

Características	Alternativa 1: Volteo Manual	Alternativa 2: Volteo Mecanizado
Densidad (t/m <sup>3</sup> )	0,375	0,375
Ancho de hileras (m)	2	3
Ancho de pasillos (m)	2	4
Volumen/metro lineal de hilera (m <sup>3</sup> /m)	1	2,25
	Parcela 335 BG	Parcela 335 BM
Área disponible para hileras	32600 m <sup>2</sup> (70x180+100x200)	38000 m <sup>2</sup> (100x380)

Cuadro 12. Parámetros para el cálculo de capacidad de operación  
Fuente: Elaboración propia

Parcela	Alternativa 1 (t/día)	Alternativa 2 (t/día)
335 BG	30,00	50,63
335 BM	37,13	55,69

Cuadro 13. Capacidad de operación en toneladas de residuo por día  
Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que para la elaboración de los cálculos no sólo se tienen en cuenta las características presentadas en el Cuadro 12, sino que también se debe tener en cuenta el largo de las hileras y la cantidad de hileras conformadas. Para facilitar la trazabilidad, el análisis de parámetros fisicoquímicos durante el proceso y la organización de la operación de la planta se plantea conformar números enteros de hileras por día. De esta manera, las hileras se conforman en la totalidad de su largo o se aguarda al día siguiente para obtener mayor cantidad de residuo y poder conformar la hilera completa. No respetar esta regla de operación, ocasiona hileras de residuo en proceso de compostaje con diferentes mezclas y diferencia en días de procesamiento, desencadenando diferencias de descomposición.

Las cuatro alternativas disponibles entre las parcelas y las dos técnicas seleccionadas, poseen una capacidad de operación menor a la cantidad de residuos disponibles a tratar por día. La elaboración del trabajo propone la utilización de un único terreno para el desarrollo de la planta. Por lo tanto, se selecciona la alternativa de volteo mecanizado en la parcela 335 BM que posee la mayor capacidad de operación diaria, pudiendo tratar 55,69 t/día de residuo, y se descarta la parcela 335 BG. Teniendo en cuenta que cada 100kg de residuo orgánico se obtienen 30 kg de compost (Municipalidad de General Pueyrredon, 2020), la planta generará 16,7 t/día de compost, lo que equivale a 400 t/mes aproximadamente.

### 3.5.4. Descripción del proceso

El proceso de una planta de compostaje consiste en una serie de operaciones que comienza con la recepción de los residuos a utilizar y finaliza en el almacenamiento del compost para su futura expedición para los distintos usos (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016). En la Figura 11 se presenta el diagrama de flujo del proceso con las principales etapas, y a continuación, la descripción de cada una de ellas.

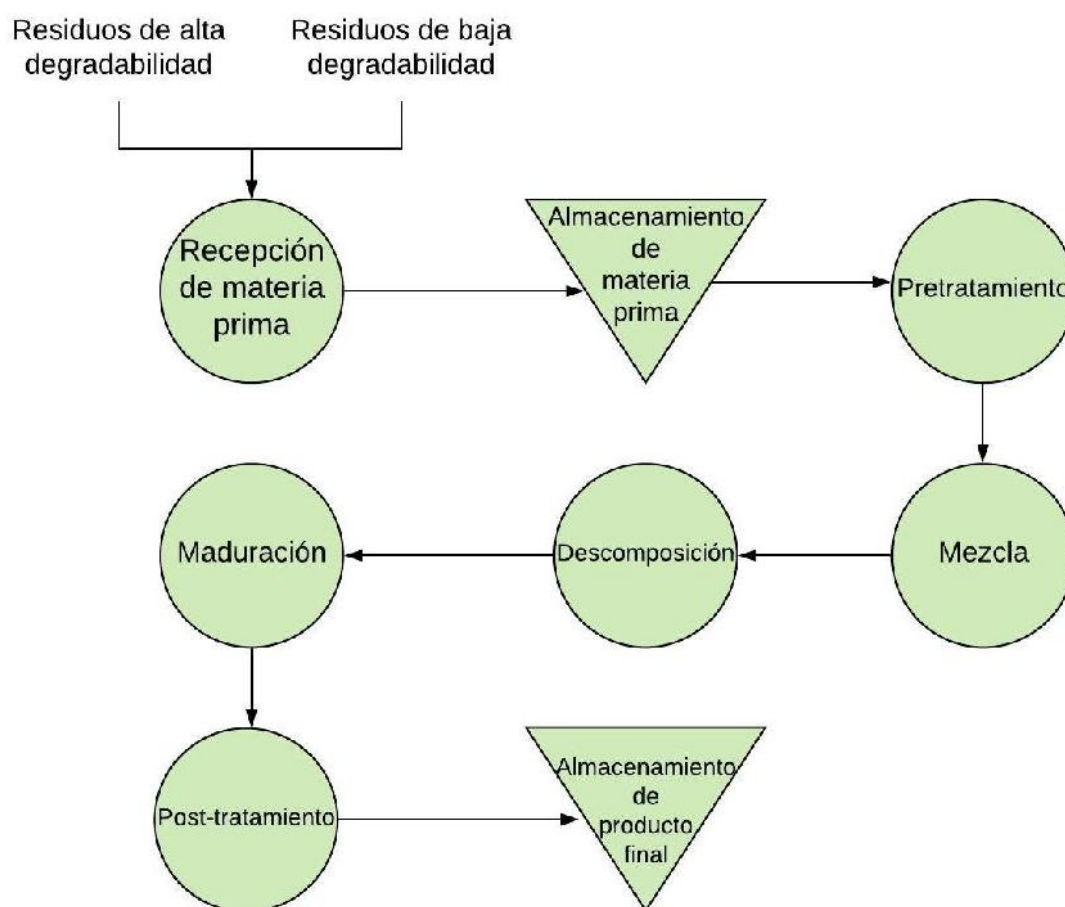


Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de compostaje  
Fuente: Elaboración propia

#### 3.5.4.1. Recepción y almacenamiento

Esta etapa tiene en cuenta todas las actividades necesarias desde la llegada de los residuos a la planta hasta su paso a la etapa de pretratamiento. Dichas actividades comprenden la recepción de los materiales destinados al compostaje con su correspondiente identificación y pesaje, su descarga, el almacenamiento temporal y la salida del transporte utilizado para su provisión.

Para la correcta administración de los ingresos a la planta, se debe contar con un área de recepción, que permita identificar todos los datos correspondientes de los transportes, y con una báscula, capaz de realizar el pesaje de los residuos.

Debido a que se reciben dos tipos de residuos, de alta degradabilidad (Abasto, Cascarilla y Mercado) y baja degradabilidad (Ramas), se debe destinar áreas definidas y separadas unas de otras para que no se mezclen los materiales y se facilite su manipulación.

El área de alta degradabilidad debe poseer una impermeabilización de suelos o una base pavimentada y una pendiente capaz de recoger los lixiviados propios de los residuos. En cambio, para el área destinada al almacenamiento de los restos de poda, es suficiente con una base de tierra compactada, ya que no genera lixiviados.

En cuanto al tiempo de almacenamiento, también varía para los dos casos. Los residuos de baja degradabilidad pueden almacenarse hasta noventa días, siempre teniendo en cuenta el riesgo de autoencendido para evitar posibles incendios. Los residuos de alta degradabilidad, por su parte, no pueden superar las 24 horas de almacenamiento, y deben pasar a la etapa de pretratamiento en el mismo día que se reciben en la planta.

Se debe operar con un almacenamiento del tipo FIFO (*First In First Out*)<sup>1</sup>. De esta manera se evita que se acumule material durante periodos de tiempo excesivos, o no deseados, que ocasionen aumento de lixiviados y diferencias en las características de los residuos.

#### 3.5.4.2. Pretratamiento y mezcla

Con el objetivo de que el compostaje se desarrolle correctamente, se deben lograr determinados valores de algunos parámetros. Es por eso que en esta etapa se realiza un pretratamiento de los materiales que ingresan para luego conformar la mezcla adecuada para el inicio del proceso. Los parámetros que se tienen en cuenta y sus rangos recomendados son:

- Humedad (50% - 70%) y pH (6 - 8) adecuados para la actividad microbiana
- Proporción suficiente de materia orgánica biodegradable (mayor al 40% sobre materia seca)
- Relación de C/N que minimice las pérdidas de nitrógeno (25 - 35)

---

<sup>1</sup> *First In First Out*. Primero en entrar, primero en salir.



- Porosidad que permita la circulación de aire por el interior y la retención de agua (25% - 35%)

La primera actividad que se realiza, consiste en la eliminación de impropios. Se denomina así a los elementos que contaminan o ensucian el material a compostar, o presentan características físicas inapropiadas para el proceso. Esta actividad se puede realizar de manera manual mediante la inspección de los residuos en el área de almacenamiento. Se retiran los impropios de mayor tamaño ya que los más pequeños pueden ser eliminados en etapas posteriores.

Los restos de poda deben ser triturados o chipeados para lograr actuar como estructurante en la mezcla. La característica del estructurante es que permite que la mezcla mantenga una capacidad de apilamiento suficiente, sin que se compacte excesivamente y logre la porosidad deseada para la circulación de aire y la retención de agua. Esta operación puede ser realizada inmediatamente después del ingreso a la planta para reducir su volumen y, así, el área ocupada en la planta. Se debe contar con personal con herramientas que permitan la reducción de los componentes más voluminosos y maquinaria especial para la trituración.

A su vez, los residuos de alta degradabilidad pueden requerir una trituración si la presencia de residuos gruesos es elevada. De este modo se incrementa la superficie de ataque microbiano.

Luego de realizar las actividades de trituración, se continúa con la elaboración de la mezcla que dará comienzo a la etapa de descomposición. La mezcla se realiza en proporciones volumétricas de residuos de alta degradabilidad y restos de poda luego de ser chipeados. La proporción a utilizar es 3 unidades volumétricas de residuos de poda chipeados por cada unidad volumétrica de residuos de alta degradabilidad. La mezcla se llevará a cabo mediante la utilización de una pala mecánica y la ayuda manual de operarios.

Además, para conseguir los valores deseados de los parámetros, se tienen en cuenta otros materiales. La incorporación de agua o lixiviado del mismo proceso a la mezcla permite aumentar la humedad en caso de ser necesario. También es posible la incorporación de carbonato cálcico o cal para aumentar el pH si el parámetro se encuentra por debajo del valor deseado.

### 3.5.4.3. Descomposición

La tercera etapa del proceso corresponde a la fase en la que se produce la descomposición biológica de las moléculas más fácilmente degradables. Esta etapa se caracteriza por el aumento de la temperatura de la mezcla, la disminución del pH por la formación de ácidos orgánicos, la reducción de la humedad por evaporación de agua, la disminución de volumen de material y su peso, además de que permite la higienización del material, gracias al mantenimiento de un ambiente óptimo para el desarrollo de microorganismos.

No se debe dar inicio a esta fase hasta no contar con el material suficiente equivalente a una unidad de compostaje o hilera. Así se facilita el seguimiento de los lotes diarios que entran en el proceso y las actividades operativas necesarias se realizan sobre unidades específicas con iguales características y valores de parámetros.

Debe existir, de manera obligatoria, un periodo de higienización para la totalidad del material biodegradable en proceso de compostaje. Este periodo consiste en un tiempo de exposición necesario a una determinada temperatura para la destrucción de organismos parásitos y patógenos. En el Cuadro 14 se presentan los organismos más comunes.

Organismo	Temperatura y tiempo de exposición
<i>Salmonella typhosa</i>	Se elimina rápidamente del montón de compost. Son suficientes 30 minutos a 55°C - 60°C para su eliminación. No se desarrolla a temperaturas mayores que 46°C.
<i>Salmonella sp.</i>	Se destruye al exponerse 1 h a 55°C o 15 minutos - 20 minutos a 60°C.
<i>Shigella sp.</i>	Se destruye al exponerse 1 h a 55°C.
<i>Escherichia coli</i>	La mayoría muere con una exposición de 1 h a 55°C o a 15 minutos - 20 minutos a 60°C.
<i>Taennía saginata</i>	Se elimina en unos pocos minutos a 55°C.
<i>Larvas de Trichinella spiralis</i>	Mueren rápidamente a 55°C e instantáneamente a los 60°C.

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

<i>Brucella abortus</i>	Se elimina con exposiciones a 62°C - 63°C durante 3 minutos o a 55°C durante 1 h.
<i>Micrococcus pyogenes var. Aureus</i>	Muere después de 10 minutos de exposición a 50°C.
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Muere después de 10 minutos de exposición a 54°C.
<i>Mycobacterium tuberculosis var. Hominis</i>	Muere después de 15 minutos - 20 minutos a 60°C o instantáneamente a 67°C.
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Se elimina por exposición durante 45 minutos a 55°C.
Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	Mueren en menos de 1h a temperaturas mayores que 55°C.

Cuadro 14. Organismos más comunes con su tiempo y temperatura de exposición necesario  
Fuente: Norma IRAM 29556- 1 (2012)

Es necesario medir la temperatura en varios puntos equidistantes de la hilera de compostaje, de modo de obtener un perfil de valores descriptivos. Las mediciones se deben realizar en distintos puntos a lo largo de la hilera y también a distintas alturas, ya que el material presenta variación de temperatura en su interior.

El agua es uno de los factores más determinantes en el proceso. Si su contenido es muy bajo, se detiene la actividad microbiológica, y si es muy alto se generan condiciones anóxicas porque el agua desplaza el aire en los espacios libres. A su vez, la humedad elevada favorece la pérdida de nitrógeno y la desnitrificación. El valor deseado de humedad se encuentra entre el 50% y el 60% en peso.

Es muy importante controlar las condiciones de trabajo para evitar dos situaciones no deseadas: temperaturas excesivas y condiciones anaeróbicas. Las soluciones son la incorporación de agua mediante riego para reducir la temperatura del material, que produce aumento de humedad, y la aireación para reponer el oxígeno consumido, que también conlleva una reducción de temperatura.

Las frecuencias de aireación y riego no se encuentran preestablecidas debido a que son muchas las variables a tener en cuenta y que afectan los parámetros de seguimiento del compostaje. Una recomendación es determinar la necesidad de oxígeno o riego en función de la temperatura. Luego de alcanzar un valor máximo y comenzar a descender, se debe

airear mediante volteo de la hilera, y en caso de presentar valores bajos de humedad también debe incorporarse agua al material mediante riego. Se debe asegurar que en cada volteo, el material del núcleo del compostaje pase a formar parte de la corteza y viceversa. Esta operación procura que la descomposición se cumpla homogéneamente en toda la masa del compostaje. Para la realización de los volteos de las hileras es necesario contar con maquinaria especializada.

La duración mínima establecida para la descomposición completa de la totalidad del material es de 5 semanas, pero el tiempo necesario puede aumentar por cuestiones de experiencia operativa, diferencias entre valores reales y deseados de los parámetros de seguimiento o condiciones climáticas adversas. Es por eso que la duración de esta etapa se establece en el rango de 5 a 7 semanas.

Para poder tener un mayor control de los parámetros se recomienda disponer las pilas en una superficie cubierta que las proteja de condiciones climáticas desfavorables. El impacto de la lluvia ocasiona una reducción de la temperatura y un aumento considerable de la humedad, escenarios que imposibilitan el correcto proceso de descomposición. Debido al volumen operativo determinado, se dificulta la construcción de una superficie cubierta, por esa razón se plantea operar con cubiertas de geotextil impermeable y transpirable sobre las pilas. Deben ser impermeables para que impidan el paso de agua de lluvia al material y transpirables para permitir la liberación de agua que se genera por la evaporación.

La zona destinada a esta etapa debe estar impermeabilizada ya que se generan lixiviados. A su vez, se debe dar una pequeña pendiente al terreno para recoger los lixiviados y realizar un sistema de conducción o canaletas que permitan almacenarlos para luego tratarse o utilizarse en las operaciones de riego.

#### 3.5.4.4. Maduración

En la parte final del proceso de compostaje se encuentra la etapa de maduración, donde el material continúa su degradación convirtiéndose lentamente en compost. La descomposición de la materia orgánica sigue presente, pero con una actividad mucho menor, por lo que el consumo de oxígeno, la liberación de energía y la temperatura también son menores. Estas características permiten que el control de las condiciones de trabajo no sea exhaustivo. Igualmente deben seguir siendo controladas para evitar temperaturas demasiado elevadas que inhiban la actividad microbiana, o una sequedad excesiva que potencie el calentamiento del material. Ambas situaciones se evitan mediante volteos y el riego de las

hileras para controlar la humedad del material durante el proceso, aunque bajo una frecuencia menor, comparada con la necesaria en la etapa de descomposición.

Para la realización de los volteos y el riego de las hileras se utiliza la misma maquinaria empleada en el proceso de descomposición.

La duración de la etapa tiene un tiempo mínimo de 6 semanas que puede extenderse en caso de no alcanzar los valores finales deseados del compost. Se estima entonces que el rango de duración de la etapa se encuentra entre 6 y 7 semanas.

Un factor a tener en cuenta es la reducción de volumen que conlleva la etapa de descomposición. En ella se reduce en un 35% el volumen del material destinado al compostaje, por lo que la etapa de maduración recibe sólo el 65% del volumen inicial de residuos. Es por ello que el área requerida a esta actividad es menor.

Debido a que el proceso de maduración también genera lixiviados, es necesario realizar una impermeabilización de área destinada a esta etapa y disponer de una pendiente adecuada con un sistema de canaletas que permitan almacenarlos para su posterior uso o tratamiento.

#### 3.5.4.5. Post-tratamiento

El post-tratamiento consiste en operaciones que son necesarias para mejorar las condiciones finales del producto o para eliminar elementos que no forman parte del compost y son considerados impropios.

Acá se diferencian dos tipos de productos. Uno es el compost que va a ser utilizado para cubrir el relleno sanitario. Este compost no requiere de operaciones de post-tratamiento ya que es suficiente con un nivel bajo de calidad. En cambio, el compost que se va a destinar para actividades de parquizado, jardinería y acondicionamiento de áreas verdes de la ciudad debe sufrir, obligatoriamente, operaciones de post-tratamiento.

La operación que se realiza es el cribado. Este es un proceso mecánico que separa los materiales de acuerdo a su tamaño, mediante una malla que permite el paso de las partículas de menor tamaño y retiene las más grandes que no son deseadas en el producto final. Su aplicación es necesaria para:

- Recuperar el estructurante en caso de que en el transcurso del proceso no haya logrado una degradación completa. Se puede aprovechar incorporándolo nuevamente

como estructurante en la elaboración de las mezclas iniciales del proceso de compostaje.

- Separar los impropios que no se hayan detectado y eliminado anteriormente en el compost generado.
- Mejorar las características físicas del compost para aumentar su calidad y posibilitar otros usos.

Para este tipo de finalidad, es necesario utilizar un equipo de cribado que cuente con una malla no mayor a 30mm.

Finalizada esta etapa, se obtiene un producto higienizado y estabilizado con una humedad máxima de 40% y una relación C/N menor a 20.

#### 3.5.4.6. Almacenamiento

El compost no va ser utilizado inmediatamente luego de finalizada su etapa de maduración, por lo que es necesario almacenarlo hasta su salida de la planta. Se debe diseñar una capacidad de almacenamiento que permita afrontar fluctuaciones de la demanda.

Al trabajar con dos calidades distintas de compost, su almacenamiento también tiene que ser diferenciado. Se debe disponer de un área para el compost destinado al relleno sanitario y otra para el compost destinado a parques y áreas verdes.

Como ambos tipos de compost poseen un destino interno y no buscan comercializarse, no se debe realizar controles de temperatura, humedad y pH durante su almacenamiento. Además, al ser un producto que se encuentra estabilizado y no se comercializa, su peso y humedad no afectan, por lo que puede almacenarse a la intemperie sin influencia de las lluvias. Tampoco es necesario impermeabilizar el área ya que no produce lixiviados, aunque sí se debe compactar el terreno y proporcionar una pendiente que permita recoger las aguas pluviales.

El almacenamiento se realiza a granel en ambos casos. Si su destino final es el relleno sanitario, mediante palas mecánicas se cargará en los transportes que realizarán su traslado hacia el predio. En cambio, si se utilizara para parques o espacios verdes, antes de su traslado, se deberá realizar el correspondiente envasado.

El envasado se realiza por personal de la planta que se encargará de disponer el compost en bolsas cerradas que faciliten el traslado y manipulación en cantidades reducidas.

### 3.5.5 Requerimientos de equipos e instalaciones.

Para poder determinar los equipos, instalaciones y áreas destinadas a cada etapa se debe tener en cuenta la cantidad total de toneladas de residuo que se van a tratar, el volumen que representan y el tiempo disponible de operación. La planta recibirá 55,7 t/día conformadas por 33,4 t/día de restos de poda y 22,3 t/día de residuos de alta degradabilidad. Esto representa 148,5 m<sup>3</sup> diarios de residuos, 111,4 m<sup>3</sup> correspondientes a restos de poda y 37,1 m<sup>3</sup> a residuos de alta degradabilidad. La planta operará 6 días a la semana, en un total de 12 horas por día.

Se presenta en el Cuadro 15 los equipos e instalaciones necesarios para todas las operaciones que se llevan a cabo durante los diferentes procesos en la planta de compostaje y las capacidades requeridas en cada caso, si aplica.

Etapa	Operación	Equipo o instalación	Capacidad requerida
<b>Recepción</b>	Identificación	Garita de recepción	6 m <sup>2</sup>
<b>Almacenamiento</b>	Almacenaje Ramas	Área de tierra compactada	330 m <sup>2</sup>
	Almacenaje Residuos Alta Degradabilidad	Área de suelo impermeabilizado	40 m <sup>2</sup>
	Movimiento de residuos	Pala mecánica	110 m <sup>3</sup> por día
<b>Pre-tratamiento</b>	Chipeado	Chipeadora	6 t/h
		Área de tierra compactada	75 m <sup>2</sup>
	Mezcla	Pala mecánica	150 m <sup>3</sup> /día
		Camión para carga de la mezcla	150 m <sup>3</sup> /día
		Área de suelo impermeabilizado	100 m <sup>2</sup>
<b>Descomposición</b>	Disposición de hileras	Área de suelo impermeabilizado (considerando espacio entre hileras)	23000 m <sup>2</sup>
		Pala mecánica	150 m <sup>3</sup> /día
	Cubrimiento de hileras	Cubierta de geotextil impermeable y transpirable	84 cubiertas de 33 m x 4.5 m
	Medición de temperatura	Termómetro	336 equipos
	Medición de humedad	Equipo para medición de humedad	84 mediciones por día
	Volteo de las hileras	Máquina de volteo	1050 m <sup>3</sup> /día

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

	Riego de hileras	Máquina de riego	N/A
<b>Maduración</b>	Disposición de hileras	Área de suelo impermeabilizado (considerando espacio entre hileras)	14500 m <sup>2</sup>
		Pala mecánica	150 m <sup>3</sup> /día
	Medición de temperatura	Termómetro	15 equipos
	Medición de Humedad	Equipo para medición de humedad	42 mediciones por día
	Volteo de las hileras	Máquina de volteo	700 m <sup>3</sup> /día
<b>Post-tratamiento</b>	Desarmado de hileras	Pala mecánica	100 m <sup>3</sup> /día
		Camión para transporte	100 m <sup>3</sup> /día
	Cribado	Máquina cribadora	15 t/día
		Área de suelo de tierra compactada	30 m <sup>2</sup>
<b>Almacenamiento final</b>	Almacenaje	Área de tierra compactada para compost sin cribar	200 m <sup>2</sup>
		Área de tierra compactada para compost cribado	600 m <sup>2</sup>
	Envasado	Área	10 m <sup>2</sup>

Cuadro 15. Equipos e instalaciones necesarios por operación y capacidad requerida  
Fuente: Elaboración propia

Existen ciertas herramientas que son necesarias para el complemento de las operaciones. Para el acondicionamiento de ramas y restos de poda, se debe contar con motosierras que permitan reducir los volúmenes manipulados. Al momento de la conformación de las hileras, el trabajo realizado por las palas mecánicas debe ser acompañado por operarios con la ayuda de palas de uso manual. A su vez, las hileras que requieran un aumento de humedad necesitan contar con un sistema de riego. Este debe ser lo suficientemente flexible como para, alcanzar todas las hileras en la amplia superficie ocupada y además permitir la circulación de la maquinaria utilizada en la operación de la planta.

Además de los equipos e instalaciones mencionados en el Cuadro 15 para el correcto funcionamiento de la planta, se requieren las siguientes edificaciones para actividades complementarias:

- Depósito de lixiviados. Los lixiviados generados en las etapas de almacenamiento, descomposición y maduración se deben gestionar mediante un depósito que permita su almacenamiento y la contención de los malos olores hasta ser transportado para su tratamiento. Los líquidos recolectados serán tratados en la planta de tratamiento de



lixiviados ubicada en el predio. La cantidad de lixiviado se estima en un 5% de la masa del residuo de alta degradabilidad (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016). Considerando una generación de 1,1 m<sup>3</sup> diario, se requerirá un depósito con capacidad de contener 7 m<sup>3</sup> realizando un vaciado semanal. Además, se debe considerar el agua de lluvia que cae sobre el área de maduración ya que también se consideran lixiviados. Tomando el valor máximo de precipitaciones promedio histórico de la ciudad, el cual corresponde al mes de enero, se deben almacenar 400 m<sup>3</sup> semanales adicionales.

- De servicios a los trabajadores, como vestuarios y aseo, se consideran 0,9 m<sup>2</sup> por persona y mínimo 16 m<sup>2</sup> (Reglamento General de Construcciones Gral. Pueyrredón, 2017)
- Laboratorio y oficinas, para el control de los procesos. Se destinan 60 m<sup>2</sup>.
- Estacionamiento para la maquinaria móvil y taller de mantenimiento. Se destinan 225 m<sup>2</sup>.
- Estacionamiento de vehículos privados (200 m<sup>2</sup>).
- Báscula de pesaje de camiones. Con el propósito de reducir los costos de inversión del presente trabajo se propone utilizar las básculas que se encuentran en funcionamiento en el predio de disposición final de residuos. Esta decisión no modifica la operación diaria de las básculas, ya que la cantidad de camiones que se deberán pesar seguirá siendo la misma. La modificación se encuentra en que luego del pesaje, en vez de continuar hacia el relleno sanitario, los camiones se dirigirán hacia la planta de compostaje.

### 3.5.6 Distribución en planta

En base a los requerimientos de equipos, instalaciones y áreas necesarias para el desarrollo de las etapas operativas y actividades complementarias, se utiliza el método propuesto por Meyers y Stephens (2006) para el diseño de su distribución. Se comienza con la numeración de todas las actividades y áreas necesarias para establecer el grado de importancia de su cercanía en la distribución de la planta. Las relaciones A, como son el estacionamiento y las oficinas, corresponden a una necesidad absoluta de cercanía entre actividades debido a su gran circulación de personal o material en el proceso. La necesidad de cercanía desciende en orden alfabético de las letras vocales utilizadas hasta llegar a la X que representa el deseo de evitar su cercanía, como es en el caso del área de descomposición y las oficinas. Este método se ilustra mediante un diagrama de relación de actividades que se muestra en la Figura 12.

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

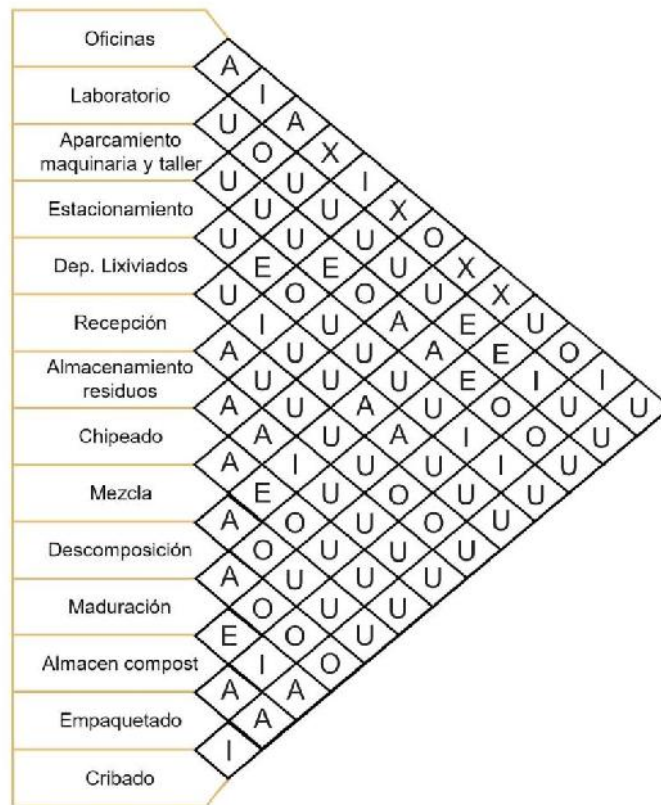


Figura 12. Diagrama de relación de actividades  
Fuente: Elaboración propia

Para una mejor visualización de las relaciones se realiza una hoja de trabajo que permitirá una mejor comprensión y desarrollo del método. En el Cuadro 16 se muestra la hoja de trabajo con todas las actividades y la escala de importancia de cercanía.

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Nº	Actividad	A	E	I	O	U	X
1	Oficinas	2, 4		3, 6, 13	8, 12	11, 14	5, 7, 9, 10
2	Laboratorio		10, 11	12	4	1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14	
3	Aparcamiento maquinaria y taller	9, 10	7, 11	1	8, 12, 13	2, 4, 5, 6, 14	
4	Estacionamiento	1	6	12, 13	2, 7	3, 5, 8, 9, 10, 11, 14	
5	Dep. de lixiviados	10, 11		7		2, 3, 4, 6, 8, 9, 12, 13, 14	1
6	Recepción	7	4	1	12, 13	2, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 14	
7	Almacenamiento residuos	6, 8, 9	3	5, 10	4	2, 5, 11, 12, 13, 14	1
8	Chipeado	7, 9	10		1, 3, 11	2, 4, 5, 6, 12, 13, 14	
9	Mezcla	3, 7, 8, 10			11	1, 2, 4, 5, 6, 12, 13, 14	1
10	Descomposición	3, 5, 9, 11	2, 8	7	12, 13, 14	4, 6	1
11	Maduración	5, 10, 14	2, 3, 12	13	8, 9	1, 4, 6, 7, 11	
12	Almacén compost	13, 14	11	2, 4	1, 3, 6, 10	5, 7, 8, 9, 12	
13	Empaquetado	12		1, 4, 11, 14	3, 6, 10	2, 5, 7, 8, 9, 13	
14	Cribado	11, 12		13	10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	

Cuadro 16. Hoja de trabajo importancia de cercanía  
Fuente: Elaboración propia

A partir de las relaciones presentadas, se realiza un diagrama adimensional de bloques. En él se pretende lograr una distribución orientativa de manera adimensional como el resultado de los requerimientos de cercanía. Luego, junto con el área necesaria calculada para cada actividad, se utilizará como base para la elaboración de la distribución en planta final. Cuanto más se respeten sus reglas de elaboración, mejor distribución se logrará. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 13 y, a su vez, se muestra el correcto flujo del material obtenido en forma de "U" por las distintas actividades.

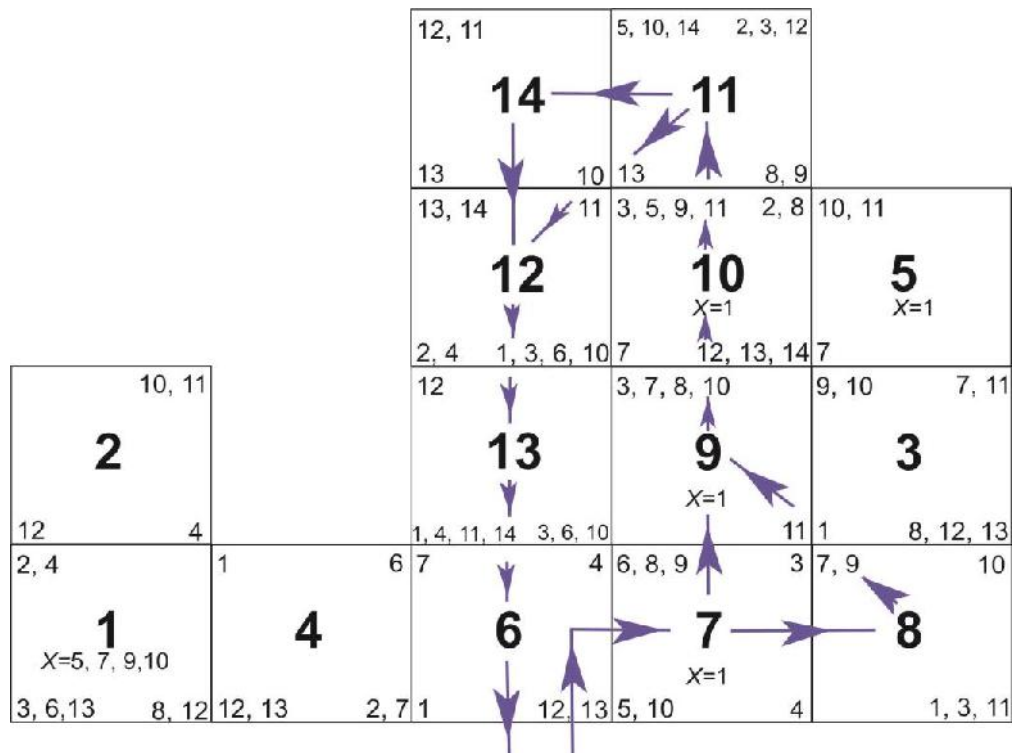


Figura 13. Diagrama adimensional de bloques  
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, teniendo en cuenta los resultados obtenidos y el terreno previamente seleccionado, se realiza la distribución en planta. En este último paso se dificulta la elaboración, ya que es donde cobran importancia las dimensiones de las instalaciones y requerimientos de movilidad de maquinarias. El terreno seleccionado corresponde a la parcela 335 BM que posee 120 metros de ancho y 465 metros de largo. Respetando la disposición adimensional de la Figura 13 y las áreas requeridas de cada actividad se obtuvo la distribución en planta que se muestra en la Figura 14. Los rectángulos de color marrón corresponden al sector de maduración y los de color naranja al sector de descomposición. Además, se muestra el detalle las edificaciones necesarias y las hileras en la Figura 15.

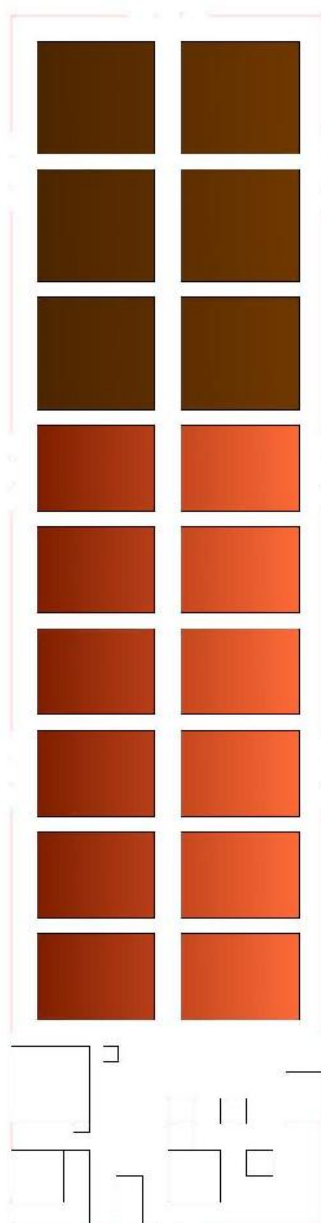


Figura 14. Distribución en planta  
Fuente: Elaboración propia

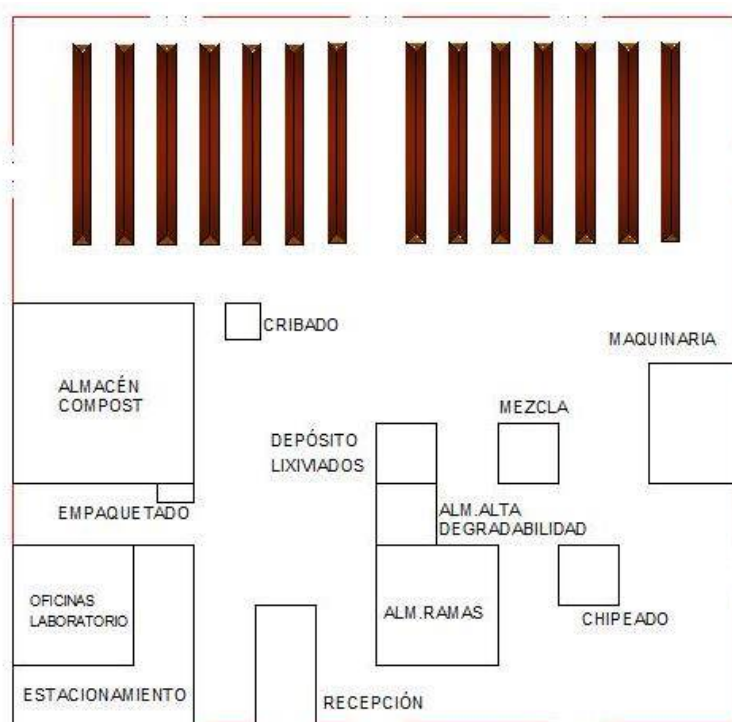


Figura 15. Detalle de Distribución en planta  
Fuente: Elaboración propia

### 3.5.7 Seguridad de trabajo

En el estudio de proyectos, la seguridad de los trabajadores debe considerarse un tema de relevancia, por lo que resulta importante analizar las futuras condiciones de operación y los posibles riesgos asociados a las actividades y equipos para disminuir las posibilidades de un accidente de trabajo. Si bien se podría considerar que un accidente de trabajo sufrido por un trabajador sólo ocasiona la pérdida, temporal o permanente, de la persona implicada, esto no es así. Un accidente de trabajo, además de afectar física y mentalmente al trabajador, aumenta notablemente los costos de la actividad productiva ya que representa pérdidas de tiempo y producción por alterar el funcionamiento normal de operación, disminución del rendimiento del accidentado luego de su incorporación, tiempo invertido por supervisores para determinar las causas del accidente, elaborar informes, retrasos en la producción, costos de materiales o equipos dañados, costos de capacitación del nuevo trabajador en caso de requerir, entre otros factores.

Considerando que se pretende trabajar con maquinaria móvil de gran porte, herramientas o elementos cortopunzantes, movimiento de grandes volúmenes de material y equipos con motores eléctricos y a explosión, se debe analizar la seguridad de los trabajadores. Previo a la puesta en marcha de la planta de compostaje, es necesario realizar capacitaciones a todo el personal. Es de vital importancia que los trabajadores conozcan los

peligros y riesgos asociados a su ambiente de trabajo, tomen conciencia de los posibles accidentes y se comprometan a cumplir con las políticas de Seguridad e Higiene de la organización. A su vez, con el paso del tiempo, se deben llevar a cabo nuevas capacitaciones y jornadas de concientización para mantener las buenas prácticas del personal.

Por otro lado, toda persona que desarrolle tareas o pretenda circular en los sectores de la planta que no sea el edificio de oficinas y laboratorio, deberá utilizar elementos de protección personal (EPP). A continuación, se presentan los EPP necesarios para las actividades implicadas en el proceso.

- Casco de seguridad: brinda protección contra aplastamiento y golpes por caída de objetos o materiales.
- Guantes de seguridad: previene accidentes por contacto con elementos cortopunzantes.
- Gafas con cubiertas laterales: protegen la vista evitando el contacto con material particulado y brindan una ventilación adecuada.
- Zapatos de seguridad: deben ser impermeables y con puntera protectora, para proteger los pies de caídas de grandes pesos y evitar la permeabilidad de líquidos.
- Indumentaria de trabajo: no debe contar con partes flexibles que cuelguen ni bolsillos. Debe ser impermeable a líquidos como lixiviados y de un color que contraste con la superficie del suelo y las hileras de compost, permitiendo su fácil visualización para operarios de maquinaria.
- Mascarillas: protegen el sistema respiratorio evitando la inhalación de polvos o material particulado.
- Protectores auditivos: protegen el aparato auditivo por exposición a un nivel sonoro elevado. Este elemento de protección sólo será necesario en el sector de chipeado y al momento de usar la motosierra.

### 3.6 Estudio Económico

Todo proyecto de ingeniería no sólo debe ser factible de realizar en el aspecto técnico, sino también debe serlo en lo económico. La evaluación de la viabilidad económica identifica en términos monetarios las necesidades para la puesta en marcha, los costos de operación,

las fuentes de financiamiento y valora los posibles ingresos y beneficios para definir la mejor posibilidad de recursos para el proyecto.

Los métodos utilizados comúnmente para evaluar la rentabilidad de proyectos, no aplican al presente trabajo ya que no tiene como fin la comercialización de un producto final o servicio ni la búsqueda del beneficio económico privado. Al tratarse de un proyecto que busca un beneficio social y ambiental para la comunidad, se utiliza la razón beneficio/costo.

Este método identifica tres elementos para su aplicación. La inversión inicial para la puesta en marcha del proyecto, los costos de operación mientras el proyecto se encuentra activo y los beneficios obtenidos. Los beneficios en este proyecto están representados por el ahorro de no tratar estos residuos en el relleno sanitario, la utilización del compost para la cobertura del relleno sanitario, la contribución social por su donación y, por último, la utilización del compost para el mantenimiento de áreas verdes y las actividades de parqueado necesarias por parte de la municipalidad.

### 3.6.1 Inversión Total

La inversión total se compone por dos partes: la inversión fija total y la inversión de capital de trabajo.

#### **Inversión fija total**

La inversión fija total corresponde a la inversión fija (elementos directos e indirectos) más el terreno, y para su cálculo se tienen en cuenta los siguientes componentes.

Terreno: Si bien el terreno no representa un costo adicional, ya que se utiliza uno de propiedad municipal, que forma parte de los terrenos disponibles para la implementación de la GIRSU, se debe tener en cuenta el costo de oportunidad por no disponer del terreno para otros posibles usos o proyectos. Para determinar el valor del terreno se utiliza la valuación fiscal establecida por la Agencia de Recaudación Provincia de Buenos Aires (ARBA) para el año 2020, siendo esta de **US\$ 4.555** para el terreno seleccionado.

Acondicionamiento de terreno: Se debe considerar que, al estar el terreno en desuso, es necesario desmalezar y nivelar la superficie. La superficie comprende unos 56.000 m<sup>2</sup> y 0,5 m de altura. El costo unitario de desmalezar y nivelar el área es de 13,21 US\$/m<sup>3</sup> (Revista arquitectura y construcción, 2020), por lo que el costo es de US\$ 369.880. A su vez, se debe cercar con un alambrado perimetral una longitud de 1.200 m, teniendo un costo unitario de 12,20 US\$/m (Alambres Balagna, 2020), resultando un costo total de US\$ 14.640.



Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Considerando ambas acciones, el costo total del acondicionamiento del terreno es de **US\$ 384.520**.

Construcción: Para el cálculo de la construcción se tienen en cuenta las edificaciones necesarias para el funcionamiento de la planta, como son los espacios de recepción de residuos, el estacionamiento de autos particulares, las oficinas, los vestuarios del personal, el depósito de producto terminado, el depósito de lixiviados, el área de chipeado, de cribado y el depósito de maquinarias.

Además, se deben considerar las tareas de impermeabilización y generación de pendiente para la captación de lixiviados en las áreas de descomposición y maduración, como así también la construcción de un cerco perimetral.

En el Cuadro 17 se detallan los diversos costos implicados en la obra civil.

Espacio	Descripción	Superficie requerida	Costo unitario	Costo total	Presupuestado por (Julio 2020)
<b>Laboratorios, oficinas, depósito de lixiviados, garita de recepción.</b>	Construcción de edificios	166 m <sup>2</sup>	703 US\$/m <sup>2</sup>	US\$ 116.698	Consejo Profesional de Agrimensores, Ingenieros y Profesiones Afines
<b>Estacionamiento y área de almacenaje de materia prima</b>	Construcción de área de hormigón	670 m <sup>2</sup>	27 US\$/m <sup>2</sup>	US\$ 18.090	AyC Revista
<b>Almacenamiento para compost, área de chipeado, estacionamiento de maquinaria y taller de mantenimiento</b>	Construcción de galpones metálicos	1.100 m <sup>2</sup>	357 US\$/m <sup>2</sup>	US\$ 392.700	Consejo Profesional de Agrimensores, Ingenieros y Profesiones Afines
<b>Impermeabilización para descomposición y maduración</b>	Instalación de geomembrana de PEAD (1.500 micrones) y geotextil no tejido para punzonado	38.000 m <sup>2</sup>	5,58 US\$/m <sup>2</sup>	US\$ 212.040	Agroredes
<b>TOTAL</b>				<b>US\$ 739.528</b>	

Cuadro 17. Costos de construcción

Fuente: Elaboración propia

Equipos: Se detallan en el Cuadro 18, las distintas máquinas utilizadas para cada etapa del proceso, como así también sus capacidades y costos de adquisición.

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Equipo	Capacidad requerida	Descripción	Costo	Proveedor
<b>Mezcladora con sistema de riego</b>	1.750 m <sup>3</sup> /día	RCT300AH. Mezcladora 3 m x 1 m, 1.800 m <sup>3</sup> /h, sistema de riego de 1.000 l.	US\$ 29.000	Deisa
<b>Chipeadora</b>	6 t/h	Rotochopper MP-2. 300 HP, 10 t/h	US\$ 310.000	Deisa
<b>Cribadora</b>	15 t/día	ZT 390. 5 t/h, malla de 5 mm	US\$ 34.610	Deisa
<b>Pala mecánica</b>	660 m <sup>3</sup> /día	Lonking CDM860N Balde de 4 m <sup>3</sup> Motor 220 HP	US\$ 118.100	Biscayne Servicios S.A.
<b>Camión con caja volcadora</b>	250 m <sup>3</sup> /día	Iveco Tector Attack 170E28 Caja de 15 m <sup>3</sup>	US\$ 67.052	Econovo
<b>Tractor</b>	100 HP	Pauny 210 A 105 HP	US\$ 27.917	P.S. INNOVACIONES AGRÍCOLAS S.A.
<b>TOTAL</b>			<b>US\$ 586.679</b>	

Cuadro 18. Costo de equipos

Fuente: Elaboración propia

Instrumentación: Se detalla en el Cuadro 19 instrumentos para control y registros de las distintas variables del proceso en cada una de sus etapas.

Instrumento	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Proveedor
<b>Termómetro (Analogico TFA)</b>	351	US\$ 34	US\$ 11.934	Don Agro
<b>Equipo para determinación de humedad (Draminski HMM)</b>	1	US\$ 470	US\$ 470	Copains
<b>TOTAL</b>			<b>US\$ 12.404</b>	

Cuadro 19. Costo de instrumentación

Fuente: Elaboración propia

Herramientas: Se detalla en el Cuadro 20 los equipos auxiliares y herramientas utilizados en cada una de las etapas.

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Herramienta	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Proveedor
<b>Pala (Biassoni)</b>	20	US\$ 45	US\$ 900	EASY
<b>Motosierra (KLDM020)</b>	1	US\$ 125	US\$ 125	EASY
<b>Manta para hileras (PlusTex® T 25/25 HLT)</b>	16	US\$ 2.100	US\$ 33.600	CORIPA
<b>TOTAL</b>			<b>US\$ 34.625</b>	

Cuadro 20. Costo de herramientas  
Fuente: Elaboración propia

En base a lo detallado en los Cuadros 17, 18, 19 y 20 se muestra en el Cuadro 21 el resumen de los montos correspondientes a los componentes directos de la inversión fija.

Componentes	Costo
<b>Acondicionamiento de terreno</b>	US\$ 384.520
<b>Construcción</b>	US\$ 739.528
<b>Equipos</b>	US\$ 586.679
<b>Instrumentos</b>	US\$ 12.404
<b>Herramientas</b>	US\$ 34.625
<b>TOTAL Componentes Directos Inversión Fija</b>	<b>US\$ 1.757.756</b>

Cuadro 21. Costos de componentes directos de la inversión  
Fuente: Elaboración propia

El resultado obtenido en el Cuadro 21 muestra la suma de los componentes directos de la inversión fija. Si se desea obtener el total de la inversión fija, se debe sumar los componentes indirectos. Para su cálculo se utiliza la estimación por el método de Chilton (1949), donde la inversión fija se obtiene mediante las ecuaciones 4 y 5.

$$Inversión Fija = Inversión directa \times Factor de inversión indirecta (Fi) \quad (4)$$

$$Fi = 1 + \sum Fii \quad (5)$$

La utilización de los factores propuestos por Chilton se muestra en el Cuadro 22, mediante los cuales se obtiene el valor de inversión fija.

Factores experimentales como fracción de la inversión directa	Valor
Ingeniería y Construcción: Ingeniería inmediata	0,275
Factores de tamaño: Unidad comercial grande	0,035
Contingencias: Variaciones imprevistas	0,25
Factor de inversión indirecta (Fi)	1,56
<b>Inversión Fija (Inversión directa x Fi)</b>	<b>US\$ 2.742.099</b>

Cuadro 22. Cálculo de inversión fija  
Fuente: Elaboración propia, en base a Chilton (1949)

Considerando el valor del terreno y el valor de la inversión fija, la inversión fija total será de **US\$ 2.746.654**.

### Capital de trabajo

Teniendo en cuenta que el proceso de compostaje tiene una duración de 14 semanas, se deberá contemplar los costos de producción sin incluir la depreciación durante este tiempo, considerados como el capital de trabajo. Así, resulta un capital de giro de **US\$ 137.344**. El cálculo y análisis de los costos de producción se detallan en el ítem 3.6.2.

A partir de la determinación de la inversión fija total y el capital de trabajo, se obtiene una inversión total de **US\$ 2.883.998**.

#### 3.6.2 Costos de producción

Además de la inversión total para poner en marcha el proyecto, se deben estimar todos los costos implicados en la producción y el funcionamiento de la planta una vez que comienza su operación.

##### 3.6.2.1 Costos Variables

Costo de materia prima: La totalidad de la materia prima utilizada serán residuos que actualmente ingresan al predio de disposición final, por lo que su adquisición no generaría un costo.

Costo de envases: Todo compost destinado a consumo interno por parte de la municipalidad, ya sea para parqueado o áreas verdes, y se desee transportar en pequeñas cantidades, deberá ser envasado en bolsas de 30 kg. Cada bolsa tiene un valor de US\$ 1,08 (Grupo AP Contenedores y Suministros, 2020) y se proyecta envasar 3 t/día, lo que representa un costo mensual en envases de **US\$ 2.568**.

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Costo de servicios: Este componente contempla los costos en servicios requeridos para el proceso de producción del compost. En el Cuadro 23 se detallan los servicios necesarios y su costo mensual.

Servicio	Consumo	Uso mensual	Costo Unitario (Julio 2020)	Costo total	Proveedor
<b>Electricidad</b>					
Cribadora	5,22 kW	72 h	0,0369 US\$/kWh	US\$ 13,89	EDEA
<b>Combustible</b>					
Chipeadora	70 l/h	96 h	0,72 US\$/l	US\$ 4.838,4	YPF
Pala mecánica	55 l/h	192 h	0,72 US\$/l	US\$ 7.603,2	YPF
Camión	0,4 l/km	480 km	0,72 US\$/l	US\$ 138,24	YPF
Tractor	23 l/h	48 h	0,72 US\$/l	US\$ 794,88	YPF
<b>Agua</b>		84 m <sup>3</sup>		US\$ 48,65	OSSE
<b>TOTAL Costo de servicios mensual</b>				<b>US\$ 13.437,26</b>	

Cuadro 23. Costo de servicios  
Fuente: Elaboración propia

Costo de mantenimiento: Esta sección incluye los costos de materiales y mano de obra empleados en planes de mantenimiento preventivos y en reparaciones debidas a roturas o desperfectos en el funcionamiento de las instalaciones edilicias, en las maquinarias de chipeado, mezcla y cribado, y en los vehículos de traslado, como son la pala mecánica y el camión. Debido a que el tipo de operación propia de la planta se considera un proceso simple, este costo anual se estima en un 2% de la inversión fija. Obteniendo así un costo mensual de mantenimiento de **US\$ 4.570**.

Costo de suministros: Incluye los materiales usados por la planta para las distintas tareas requeridas, excluyendo los correspondiente a materia prima, reparaciones o envasado, como pueden ser los materiales de limpieza, aceites y lubricantes para las máquinas. Este costo se estima en un 0,5% anual de la inversión fija. Obteniendo así un costo mensual de suministros de **US\$ 1.143**.

Costo de mano de obra directa: En este apartado se incluyen los sueldos de los operarios y empleados cuyo trabajo está directamente asociado a la operación de la planta de compostaje. En el Cuadro 24 se muestra el detalle del personal requerido para cada tarea y su costo mensual asociado, teniendo en cuenta las cargas sociales. Las tareas de control de

ingreso, operación de la pala mecánica y los operarios para tareas varias se distribuyen en dos turnos de trabajo de 6 horas. El resto de las actividades sólo poseen un turno de trabajo.

Tarea	Personal requerido	Costo mensual por trabajador	Costo total mensual
Control de ingreso	2	US\$ 620	US\$ 1.240
Recepción residuos	1	US\$ 620	US\$ 620
Chipeado	2	US\$ 880	US\$ 1.760
Operario de Pala mecánica	2	US\$ 880	US\$ 1.760
Chofer de camión interno	1	US\$ 710	US\$ 710
Operario de tractor	1	US\$ 880	US\$ 880
Controlador de parámetros	1	US\$ 1.030	US\$ 1.030
Operario de cribadora	1	US\$ 880	US\$ 880
Operario de envasado	1	US\$ 620	US\$ 620
Operarios para tareas varias	5	US\$ 620	US\$ 3.100
<b>TOTAL Costo de mano de obra</b>			<b>US\$ 12.600</b>

Cuadro 24. Costo mensual de mano de obra

Fuente: Elaboración propia, en base a datos del EMSUR

### 3.6.2.2 Costos Fijos

Costos de depreciación: Para el cálculo de este costo, se utilizó el método de línea recta, en el que el valor del bien decrece en forma lineal en función del tiempo. El valor se obtiene mediante la ecuación 6.

$$\text{Costo de depreciación (mensual)} = \frac{I_f - L}{n \times 12} \quad (6)$$

Siendo:

$n$  = Vida útil. Se considera una vida útil de 15 años para todas las instalaciones y equipos.

$I_f$  = Inversión fija = US\$ 2.742.099

$L$  = Valor residual = US\$ 411.315 Se estima un valor residual del 15% del valor original.

Utilizando los valores descriptos, se obtiene un costo mensual de depreciación de **US\$ 12.949**.

Costos de impuestos: Al ser un proyecto municipal no corresponde el pago de impuestos.

Costos de seguros: Este costo hace referencia a los seguros sobre la propiedad, los equipos de trabajo de oficina, las maquinarias de chipeado, mezcla y cribado, los vehículos de traslado, y el personal. Se estima su valor anual como el 0,5% de la inversión fija, obteniendo así un costo mensual de **US\$ 1.143**.

## Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Costo de dirección, supervisión y administración: Este componente incluye los gastos para una persona encargada de las tareas administrativas, los gastos de dirección y supervisión (un director general y un supervisor por turno), y los gastos generales como los servicios de telefonía, internet, energía eléctrica para oficinas. Se estima un valor anual del 40% del costo directo de mano de obra, obteniendo así un costo mensual de **US\$ 5.040**.

Costo de ventas y distribución: Debido a que el compost no es comercializado, el costo de ventas no corresponde. El transporte del compost de uso interno queda a cargo del área de Espacios Verdes de la Municipalidad, mientras que el compost destinado a donaciones será retirado en la planta por las organizaciones y sus beneficiarios.

En base a todos los costos mencionados anteriormente, se muestra en el Cuadro 25 un resumen y el valor total del costo operativo mensual que deberá afrontar la planta de compostaje para su funcionamiento.

Componente	Costo mensual
<b>Costos variables</b>	
Costo de envases	US\$ 2.568
Costo de servicios	US\$ 13.437
Costo de mantenimiento	US\$ 4.570
Costo de suministros	US\$ 1.143
Costo de mano de obra directa	US\$ 12.600
<b>Costos fijos</b>	
Costo de depreciación	US\$ 12.949
Costo de seguros	US\$ 1.143
Costo de dirección y administración	US\$ 5.040
<b>TOTAL Costos operativos mensuales</b>	<b>US\$ 53.450</b>

Cuadro 25. Resumen de costos mensuales de operación

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3 Beneficios

Con el fin de evaluar la factibilidad económica, es necesario contar con un valor monetario para los beneficios sociales y ambientales asociados al proyecto. A continuación, se muestra el análisis de cada uno de los beneficios implicados.

#### 3.6.3.1 Costo de tratamiento en relleno sanitario

El relleno sanitario tiene un costo operativo el cual puede ser calculado en tonelada de residuos. Si una parte de esta cantidad de residuo ahora pasa a ser tratada por la planta de

compostaje, este ahorro que representa la disminución de residuo que se debe tratar en el relleno sanitario puede ser considerado como un beneficio para el presente trabajo.

Actualmente, según información brindada en entrevistas con el personal de CEAMSE, el costo de tratamiento de los residuos tiene un valor de 1.000 \$/t. Por lo tanto, teniendo en cuenta que se proyectan tratar 55,69 t/día, operando 24 días al mes, y que el costo de tratamiento representa un ahorro de 13,51 US\$/t, el beneficio mensual resulta **US\$ 18.057**.

### 3.6.3.2 Uso interno del compost

El uso interno del compost hace referencia a la posibilidad de aplicarlo en las áreas verdes que se encuentran bajo responsabilidad del municipio. Si bien es una tarea que no se realiza en la totalidad de estos espacios, su uso beneficiaría el acondicionamiento de los suelos, el desarrollo de la flora, y mejoraría su aspecto y apariencia.

Se realizó un relevamiento de las distintas áreas verdes de la ciudad, con sus respectivas superficies y el porcentaje de área factible de aplicar compost, el resultado se muestra en el Cuadro 26. No se considera la totalidad de las superficies ya que se propone su utilización únicamente en áreas ocupadas por plantas, árboles, flores, y no en espacios de césped.

Área Verde	Superficie	Factor de uso de área para aplicación de compost	Superficie aplicable de compost
Vivero Playa Grande	500 m <sup>2</sup>	80%	400 m <sup>2</sup>
Vivero Municipal Laguna de los Padres	90.000 m <sup>2</sup>	80%	72.000 m <sup>2</sup>
Parque Camet	1.360.000 m <sup>2</sup>	30%	408.000 m <sup>2</sup>
Parque San Martín	38.500 m <sup>2</sup>	20%	7.700 m <sup>2</sup>
Parque Primavesi	40.000 m <sup>2</sup>	20%	8.000 m <sup>2</sup>
Plazas de la ciudad	1.170.000 m <sup>2</sup>	20%	234.000 m <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>			<b>730.100 m<sup>2</sup></b>

Cuadro 26. Área para utilización de compost  
Fuente: Elaboración propia

Se recomienda aplicar compost una vez al año a razón de 1,2 kg/m<sup>2</sup> con fines de jardinería y paisajismo (Junta de Andalucía, 2003), y teniendo en cuenta la superficie calculada en el Cuadro 26, se debería utilizar 876.120 kg de compost anualmente.



Asumiendo que el municipio decidiera utilizar esta cantidad de compost para el acondicionamiento de áreas verdes, a un valor de mercado de 0,337 US\$/kg (Terrafertil, 2020), representaría un costo anual de US\$ 295.252 o un costo mensual de **US\$ 24.604**. Al utilizar la producción de compost propuesta por el presente trabajo, este monto puede ser considerado como un beneficio para el municipio.

#### 3.6.3.3 Cobertura final del relleno sanitario

Una parte del compost generado en la planta es destinada a la cobertura final del relleno sanitario. Según la información brindada en entrevistas con el personal de CEAMSE, en el centro de disposición final de la ciudad se utilizan tres tipos de cobertura. Una cobertura provisoria de material árido variado que se realiza de manera periódica para cubrir los residuos de tal manera de mitigar voladuras, emisión de olores y garantizar la trazabilidad sobre el módulo operativo. Luego, una vez alcanzado la cota de proyecto el módulo es cubierto de manera definitiva. Se coloca una capa de 40 cm de suelos arcillosos de baja permeabilidad para aislar todo lo que se pueda los residuos del ambiente, impidiendo el ingreso de precipitaciones y, a su vez, impidiendo la emisión de gases y olores. Por encima de esta capa es deseable una cobertura final orgánica de 20 cm que permita el crecimiento de vegetación, para la cual se utiliza tierra negra. Esta última capa es la que permite la utilización de compost como material.

La cantidad anual de cobertura final orgánica estimada por CEAMSE es de 3.000 m<sup>3</sup>. Si esta cantidad de tierra negra es reemplazada por compost producido en la planta propuesta, representa un ahorro en el tratamiento de residuos. Considerando un valor de 78,38 US\$/m<sup>3</sup> de tierra negra (Transportes Esteban, 2020), la utilización de compost genera un beneficio de **19.595 US\$/mes**.

#### 3.6.3.4 Contribución social

Todo el excedente de compost que no es destinado al uso interno de la municipalidad, para el acondicionamiento de áreas verdes o como cobertura del relleno sanitario, puede ser utilizado para donar a fundaciones, ONGs, pequeños emprendimientos y cualquier ciudadano que lo desee, siempre y cuando no sea destinado al cultivo de alimentos. De esta forma, se cumple con los propósitos sociales del presente trabajo.

Este fin representa un beneficio social al brindar un producto requerido el cual no deberán de adquirir por otros medios (Blank y Tarquin, 2000). El volumen excedente mensual

de compost es de 177 toneladas que puede ser contabilizado a un valor de mercado de 0,337 US\$/kg, lo que genera un beneficio a estas personas o agrupaciones de **59.649 US\$/mes**.

### 3.6.3.5 Resumen de beneficios

A modo de resumen, se muestra en el Cuadro 27 los beneficios destacados anteriormente y su valorización mensual. La suma de todos estos representa un beneficio total mensual de **US\$ 121.905** por la implementación de la planta de compostaje.

Beneficio	Cantidad destinada de compost	Valor mensual
<b>Costo de tratamiento de relleno sanitario</b>	-	US\$ 18.057
<b>Uso interno del compost</b>	73 t/mes	US\$ 24.604
<b>Cobertura final del relleno sanitario</b>	150 t/mes	US\$ 19.595
<b>Contribución social</b>	177 t/mes	US\$ 59.649
<b>Beneficio total</b>	<b>400 t/mes</b>	<b>US\$ 121.905</b>

Cuadro 27. Resumen de beneficios  
Fuente: Elaboración propia

### 3.6.4 Estudio de factibilidad económica del proyecto

La razón Beneficio/Costo se calcula utilizando el Valor Actual Neto (VAN), obtenido a partir de los beneficios obtenidos durante toda la vida útil, sus costos operativos y la inversión requerida para la implementación del proyecto. Para su cálculo se utiliza la tasa de interés empleada en proyectos sociales y ambientales, la cual tiene un valor de 12% si la moneda utilizada es el dólar (CEPAL, 2002). En el Cuadro 28 se muestra la inversión requerida, los costos operativos y los beneficios obtenidos por la operación de la planta durante sus 15 años de vida útil. El beneficio menor visualizado en el primer año se debe a que el proceso requiere de 14 semanas para obtener el primer lote de compost.

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Año	Inversión	Costo operativo	Beneficios	Beneficio Neto
0	-\$ 2.883.998	\$ -	\$ -	\$ -
1	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.097.145	\$ 455.745
2	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
3	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
4	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
5	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
6	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
7	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
8	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
9	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
10	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
11	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
12	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
13	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
14	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460
15	\$ -	-\$ 641.400	\$ 1.462.860	\$ 821.460

Cuadro 28. Detalle de inversión, costos y beneficios en dólares (US\$)

Fuente: Elaboración propia

El VAN se calcula tanto para los costos operativos como para los beneficios, mediante la ecuación 7.

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{Beneficio\ o\ costo}{(1+i)^j} \quad (7)$$

Donde  $n$  son los años de vida útil del proyecto,  $i$  es la tasa de interés y el *Beneficio o costo* representa el beneficio o costo operativo de cada año.

Teniendo en cuenta los datos propios del proyecto se obtiene un VAN para los costos de US\$ 4.265.508 y un VAN para los beneficios de US\$ 9.636.810. Luego, con los resultados obtenidos y el valor de inversión del proyecto, se calcula a continuación la relación Beneficio/Costo.

$$\frac{Beneficio}{Costo} = \frac{VAN\ Beneficios}{Inversión + VAN\ Costos} = \frac{US\$ 9.636.810}{US\$ 2.883.998 + US\$ 4.368.488} = 1,33 > 1$$

Al ser el resultado mayor a la unidad, se puede afirmar que el presente trabajo es factible para llevarse a cabo.

A su vez, si se analiza el tiempo de recuperación de la inversión del proyecto, se puede determinar que la inversión realizada, sin considerar el valor del terreno y el del capital de trabajo, se recupera durante el cuarto año de operación como se observa en la Figura 16.

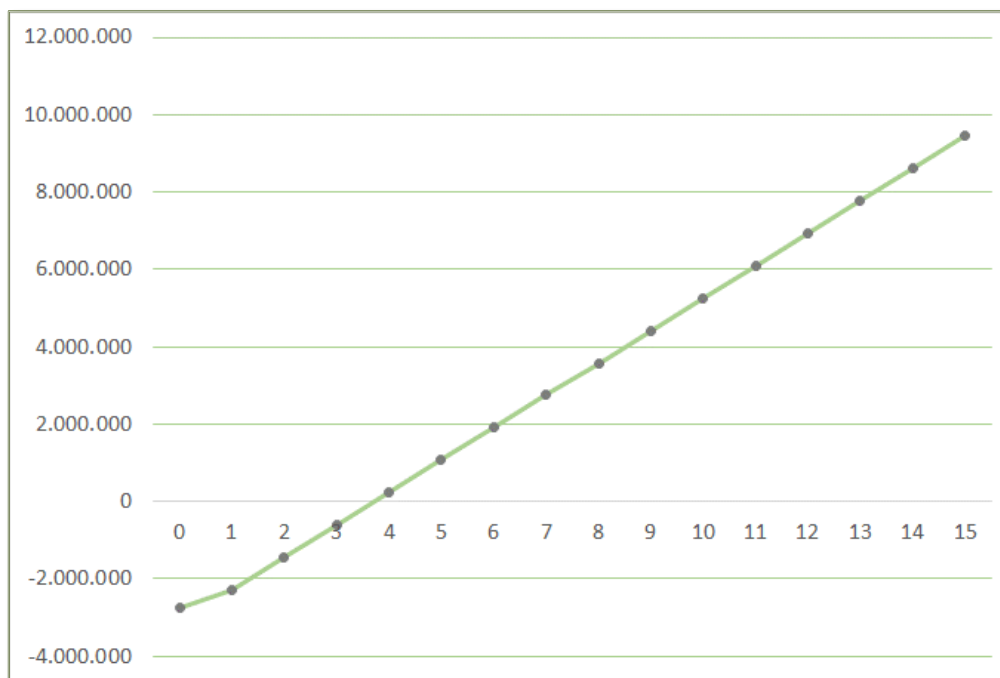


Figura 16. Tiempo de repago  
Fuente: Elaboración propia

### 3.6.5 Beneficios no valorizados

A continuación, se describen otros beneficios generados por el proyecto los cuales presentan una dificultad mayor al querer valorizarlos, pero que de igual manera se deben tener en cuenta.

- *Aumento de la vida útil del relleno sanitario.* Al destinar una proporción de residuos orgánicos a la producción de compost, se disminuye la cantidad de residuo destinada a disposición final en el relleno sanitario. De esta manera, según las cantidades proyectadas a operar y la actual operación del relleno, se reduce un 5% aproximadamente la cantidad de residuo dispuesta. Esta reducción genera un alargamiento de los años de operatividad proyectados originalmente para el relleno sanitario.
- *Creación de puestos de trabajo.* Con la puesta en marcha de la planta de compostaje, se estaría creando puestos de trabajo fijo. A su vez, los puestos de trabajo para tareas varias podrían ser ocupados por los trabajadores informales que actualmente se

desempeñan en el predio. Esto les permitiría dejar atrás las condiciones insalubres de trabajo y obtener un trabajo formal estable con todos los beneficios que esto genera.

- *Concientización sobre el impacto de residuos.* La implementación del compostaje en la gestión de residuos de la ciudad conlleva una concientización indirecta a toda la población de la ciudad. Saber que los residuos orgánicos de la ciudad no se destinan a disposición final, es un llamado de atención a los ciudadanos sobre el impacto que puede tener una mala gestión de los residuos. De esta manera, se logra aumentar el interés de la sociedad por el cuidado del medio ambiente.
- *Contribuir a la imagen pública.* El proyecto contribuirá a la imagen que la población posee del Municipio en cuanto a su interés por el cuidado ambiental y la gestión responsable y sustentable de los residuos sólidos urbanos.

### 3.7 Impacto Ambiental

El impacto ambiental es la alteración o modificación que causa una acción humana sobre el medio ambiente. Un proyecto puede tener impactos positivos, como la generación de empleo, la disponibilidad de nuevos bienes y servicios, o también negativos, como la generación de ruido, la remoción de vegetación nativa, entre otros. Es por eso que previo a la toma de decisión sobre la ejecución de un proyecto, se debe realizar una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Esta evaluación es el proceso que permite identificar, predecir, evaluar y mitigar los potenciales impactos que un proyecto o actividad puede causar al ambiente, en el corto, mediano y largo plazo.

Previo a identificar los potenciales impactos del presente trabajo, es necesario enumerar y clasificar las distintas acciones que van a ser llevadas a cabo para la puesta en marcha del proyecto y su posterior operación, y los factores o condiciones ambientales a los cuales podrían causar modificaciones. Para esto se utiliza la clasificación propuesta por Leopold (1971), el cual fue el primer método que se utilizó en evaluaciones de impacto ambiental y se encuentra considerada en la “Guía para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental” dentro del Anexo I de la Resolución 337/19 de la Ley 25.675. Los potenciales impactos obtenidos se muestran en el Cuadro 29.

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Etapa del proyecto: Construcción			
Acción	Factor Ambiental		Impacto
Acondicionamiento de terreno	Suelo	Movimiento de tierras	1. Alteración de la estructura del suelo
	Atmósfera	Generación de partículas suspendidas	2. Contaminación del aire
	Flora	Movimiento de tierras y remoción de vegetación	3. Destrucción de la vegetación del terreno
	Fauna	Modificación del hábitat	4. Destrucción del hábitat de especies animales
Impermeabilización del terreno	Suelo	Movimiento de tierras	5. Alteración de la composición del suelo
	Atmósfera	Generación de partículas suspendidas	6. Contaminación del aire
	Recursos hídricos	Impedimento del drenaje natural del área	7. Disminución de la infiltración del área
Construcción de edificaciones	Atmósfera	Generación de ruido	8. Molestias para la comunidad, los trabajadores y la fauna.
		Generación partículas suspendidas	9. Contaminación del aire
	Recursos hídricos	Impedimento del drenaje natural	10. Disminución de la infiltración del área
Utilización de maquinaria	Atmósfera	Generación de ruido	11. Molestias a trabajadores y fauna
		Generación de gases por combustión	12. Contaminación del aire
	Recursos energéticos	Utilización de combustible	13. Agotamiento de recurso natural no renovable
Etapa del proyecto: Operación			
Acción	Factor Ambiental		Impacto
Transporte de residuos y material	Atmósfera	Generación de ruido	14. Molestias para la comunidad.
	Recursos energéticos	Utilización de combustible	15. Agotamiento de recurso natural no renovable
Utilización de maquinaria	Atmósfera	Generación de ruido	16. Molestias a trabajadores y fauna
	Recursos energéticos	Utilización de combustible	17. Agotamiento de recurso natural no renovable
Uso de agua para riego	Recursos naturales	Utilización de agua	18. Agotamiento de recurso natural
Descomposición materia orgánica	Atmósfera	Generación de olores	19. Molestias a los trabajadores y comunidad.
		Generación de gases	20. Contaminación del aire
	Suelo	Generación de lixiviados	21. Contaminación del suelo
Generación de compost	Suelo	Generación de abono natural	22. Reincorporación de nutrientes al suelo
			23. Disminución de utilización de fertilizantes químicos
			24. Reutilización de residuos
	Recursos naturales	Disminución de uso de tierra	25. Disminución de consumo de recurso natural

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Reducción de residuos en relleno sanitario	Suelo	Disminución de tasa de disposición diaria	26. Aumento de la vida útil del relleno sanitario
	Atmósfera	Disminución de la generación de gases	27. Reducción de la contaminación del aire

Cuadro 29. Impactos ambientales

Fuente: Elaboración propia en base a Leopold (1971)

Una vez identificados los potenciales impactos ambientales ocasionados por la planta de compostaje, se utiliza un método de cuantificación de importancia de cada impacto. El método seleccionado es la Matriz de Impacto Ambiental, propuesta por Conesa Fernández - Vitora (1997). En el Cuadro 30 se muestra los resultados obtenidos.

Impacto	Naturaleza del impacto	Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Recuperabilidad	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Valoración	Calificación
1	Negativo	2	1	4	4	2	2	1	1	4	1	-27	Moderado
2	Negativo	2	2	4	1	1	1	2	1	1	1	-22	Bajo
3	Negativo	3	1	4	4	2	2	1	1	4	1	-30	Moderado
4	Negativo	2	1	4	4	2	2	1	1	1	1	-24	Bajo
5	Negativo	2	1	4	4	4	2	1	1	4	4	-32	Moderado
6	Negativo	1	1	4	1	1	1	2	1	1	1	-17	Bajo
7	Negativo	3	1	4	4	4	2	1	1	4	4	-35	Moderado
8	Negativo	2	2	4	1	1	1	2	1	1	1	-22	Bajo
9	Negativo	2	2	4	1	1	1	2	1	1	1	-22	Bajo
10	Negativo	2	1	4	4	4	1	1	1	4	4	-31	Moderado
11	Negativo	2	2	4	1	1	1	2	1	1	1	-22	Bajo
12	Negativo	3	2	4	4	4	4	2	4	4	1	-40	Moderado
13	Negativo	4	2	4	4	2	4	2	4	4	2	-42	Moderado
14	Negativo	2	2	4	1	1	1	2	1	1	4	-25	Moderado
15	Negativo	4	2	4	4	2	4	2	4	4	4	-44	Moderado
16	Negativo	2	2	4	1	1	1	2	1	1	4	-25	Moderado
17	Negativo	4	2	4	4	2	4	2	4	4	4	-44	Moderado
18	Negativo	3	1	4	4	2	2	1	1	4	2	-31	Moderado
19	Negativo	6	2	8	2	1	2	2	1	4	4	-46	Moderado
20	Negativo	3	2	4	4	4	4	2	4	4	4	-43	Moderado
21	Negativo	6	2	8	4	2	4	1	4	4	4	-53	Severo
22	Positivo	5	4	2	4	2	2	1	4	4	2	44	Nulo
23	Positivo	3	4	2	2	2	2	1	1	4	2	33	Nulo
24	Positivo	6	4	4	4	2	2	2	4	4	4	52	Nulo
25	Positivo	2	2	2	2	1	2	1	1	4	2	25	Nulo
26	Positivo	5	2	2	2	4	2	2	4	4	4	43	Nulo
27	Positivo	3	4	2	4	4	2	2	1	4	4	40	Nulo

Cuadro 30. Matriz de impactos ambientales

Fuente: Elaboración propia en base a Conesa Fernández – Vitora (1997)

Esta valoración permite identificar los impactos de mayor importancia, ya sea con efectos positivos o negativos en el ambiente. Estos deben ser los impactos a los que se les destine mayor esfuerzo y recursos para poder reducir o aumentar sus efectos según corresponda.

Se seleccionaron los impactos negativos y positivos que poseen una mayor valoración con el fin de analizarlos en mayor profundidad. Siendo estos:

- *Ítems 15 y 17.* Estos hacen referencia al agotamiento de los recursos no renovables por la utilización de maquinaria en el proceso. No es posible eliminar el impacto generado por el uso de maquinaria ya que actualmente no existe una tecnología económica y eficiente que permita realizar las actividades necesarias en el proceso sin la utilización de combustibles derivados del petróleo. Se debe concientizar a los operarios sobre un uso responsable y eficiente de las maquinarias, y de esta manera disminuir el consumo de recursos no renovables.
- *Ítem 19.* La generación de malos olores es un impacto negativo que afecta principalmente al personal del área. Por esa razón es que se considera de uso obligatorio las mascarillas como elementos de protección personal para los trabajadores y se utilizan mantas especiales para cubrir las pilas durante la etapa de descomposición. Además, es importante el continuo control de parámetros y aireación de las pilas para evitar la descomposición anaeróbica de los residuos.
- *Ítem 21.* El impacto negativo evaluado como el de mayor importancia es la generación de lixiviados. Es por eso que previo a la construcción de la planta se considera la aplicación de geomembranas para impermeabilizar el área donde se producen los lixiviados. Además, se propone la generación de pendientes y canaletas para su captación en un depósito propio para la posterior recolección y tratamiento en la planta de tratamientos de lixiviados.
- *Ítem 26.* El primer impacto positivo identificado es el aumento de la vida útil del relleno sanitario. Este impacto es generado por la reducción diaria de residuos destinados a disposición final en el relleno sanitario. Al disminuir el volumen de ingreso, los años de vida útil del relleno sanitario aumentan.
- *Ítem 22.* La reincorporación de nutrientes al suelo debido a la generación de compost y su posterior aplicación en áreas verdes es un importante impacto positivo en el ambiente. Todos los nutrientes que anteriormente se destinaban a disposición final,



mediante la generación de compost se reponen al medio ambiente generando un ciclo cerrado natural. Esta aplicación mejora la estructura del suelo y aporta componentes necesarios que benefician el desarrollo de la vida natural en los lugares donde se utiliza.

- *Ítem 24.* El mayor impacto positivo del proyecto, la reutilización de elementos que antes eran considerados residuos. Mediante el proceso de compostaje, se toman componentes orgánicos de los residuos que antes no tenían valor y a través de una degradación controlada se logra obtener un producto con valor agregado. Si bien el presente trabajo no tiene la finalidad de comerciar el producto, se le destina a un uso que posee beneficios económicos y medioambientales que antes no existían.

### 3.8 Acciones a considerar

Previo a la puesta en marcha del proyecto, se debe considerar la realización de una actividad fundamental para la óptima operación de la planta de compostaje. Los residuos orgánicos generados en el mercado frutihortícola central y el mercado del abasto, actualmente llegan al predio de disposición final mediante una separación en origen; pero no se realiza un control en su ingreso al predio. Por lo tanto, es necesario realizar una campaña de capacitación para la toma de conciencia y compromiso por parte de los trabajadores de ambos mercados. De esta manera se busca lograr una separación de origen de manera correcta y, al utilizar los residuos orgánicos para la elaboración de compost, no se debería encontrar objetos o residuos no aptos para el proceso, evitando así posibles retrasos en la operación y contaminación del producto final.

#### 4. CONCLUSIONES

La ciudad de Mar del Plata contempla dentro de su gestión de los residuos sólidos urbanos su disposición final en un relleno sanitario operado por la empresa CEAMSE y una proporción de los residuos reciclables es retenida por la Planta de Separación y Clasificación de Materiales para luego ser reutilizada. En cuanto a los residuos de origen orgánico, no se realiza ninguna diferenciación ni tratamiento especializado que permita darle un valor agregado y obtener beneficios.

En base al análisis de situación actual de la ciudad, su gestión de tratamiento de residuos y la información brindada por personal del EMSUR, de CEAMSE y fuentes secundarias, se identificó la importancia de incorporar el tratamiento diferenciado de los residuos orgánicos. Es por esto que se analizó la viabilidad técnica y económica de implementar una planta de compostaje municipal para el tratamiento de los residuos orgánicos generados en la ciudad.

Se evaluaron las distintas fuentes generadoras de residuos que eran trasladadas al predio de disposición final y se seleccionaron las fuentes que realizan una separación de origen adecuada y envían al predio los residuos orgánicos diferenciados. Siendo estos el Mercado Fruti-Hortícola, el Mercado del Abasto y los restos de poda generados en la ciudad y recolectados por la municipalidad. Luego, en base a esta información, a los terrenos municipales disponibles y al método de compostaje seleccionado, se determinó una capacidad de tratamiento de 55,69 t/día, lo que representa un 4,97% del total de residuos diarios dispuestos en el relleno sanitario.

Dentro de las alternativas evaluadas, se decidió llevar a cabo una de sistema abierto, mediante un compostaje en pilas por volteo de manera mecanizada, debido a la baja inversión requerida en comparación con los otros sistemas, y a las finalidades planteadas para el compost obtenido. Considerando el método seleccionado, los procesos que implican y los espacios adicionales, se realizó la distribución en planta que optimiza el flujo de las actividades y materiales. Se evitó el flujo cruzado por medio un flujo en "U", cumpliendo con los requisitos de cercanía entre actividades.

Se realizó una Evaluación de Impacto Ambiental, en la cual se identificaron y valorizaron los potenciales impactos que el proyecto puede causar al ambiente, en el corto, mediano y largo plazo. De esta manera, se logró analizar los impactos para poder tener un mayor conocimiento y control sobre los mismos, concluyendo que los impactos negativos no generan un daño significativo y son controlables, además que el proyecto también genera impactos positivos al medio ambiente.

Para la evaluación económica del proyecto se llevó a cabo el análisis por medio de la relación Beneficio/Costo. La construcción y puesta en marcha de la planta de compostaje, teniendo en cuenta las maquinarias y herramientas requeridas para su funcionamiento, representa una inversión total de US\$ 2.883.998. Los costos asociados a su operación mensual representan un valor de US\$ 53.450. Los beneficios obtenidos por la implementación de la planta de compostaje son principalmente del tipo social y ambiental, por lo que para poder aplicar la relación Beneficio/Costo se debió valorizarlos. Los de mayor impacto cuantificable resultaron de un beneficio mensual de US\$ 121.905.

La relación Beneficio/Costo obtenida fue de 1,33, lo que permite afirmar que el proyecto es factible de realizar económicamente y que la totalidad de la inversión requerida para su implementación se recupera durante el cuarto año de operación. Además, es importante destacar que no todos los beneficios generados por la implementación de la planta de compostaje fueron valorizados para el análisis de factibilidad económica. Existen otros beneficios no menores, como el aumento de la vida útil del relleno sanitario y la creación de puestos de trabajo, entre otros, que son de mayor dificultad para valorizar, pero darían un valor de la relación Beneficio/Costo aún mayor.

Por último, se lograron cumplir los objetivos planteados al comienzo del proyecto, demostrando que el compostaje se presenta como una alternativa viable al tratamiento de los residuos orgánicos, generando un producto de valor agregado y cerrando el ciclo de la economía circular. La aplicación del compostaje como parte de la gestión municipal de los residuos sólidos urbanos representa un compromiso social y ambiental que se requiere cada vez más por parte de las instituciones gubernamentales para cumplir con su rol de responsabilidad social y la reducción de la contaminación. Su implementación fortalece las políticas del cuidado del medio ambiente y permite concientizar a la población sobre la necesidad de comprometerse con el cuidado del planeta.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Residuos de Cataluña (2014). Residuos municipales, materia orgánica. Extraído el 15 de mayo de 2020, de [http://residus.gencat.cat/es/ambits\\_dactuacio/recollida\\_selectiva/residus\\_municipals/materia\\_organica\\_form\\_-\\_fv/que\\_es\\_la\\_form/densitat/](http://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/recollida_selectiva/residus_municipals/materia_organica_form_-_fv/que_es_la_form/densitat/).
- Agencia de Residuos de Cataluña (2016). Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje. Ed. *Contrast Comunicació*.
- ARBA (Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires). Cartografía territorial operativa. Extraído el 15 de mayo de 2020, de <https://carto.arba.gov.ar/cartoArba/>
- Alambres Balagna (2020). Cotización de producto e instalación. Comunicación telefónica con personal de la empresa el 6 de julio de 2020.
- BLANK, L. y TARQUIN, A (2000). Ingeniería Económica. Cuarta edición. Ed. Mc Graw Hill.
- Boletín oficial de la provincia de Buenos Aires (2006). Ley provincial 13.592. Extraído el 19 de mayo de 2020, de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/provincial/ley-13592-123456789-0abc-defg-295-3100bvorpyel/actualizacion>
- CEAMSE (2019). “Mar del Plata ya genera la basura de una ciudad de 1 millón de habitantes”. Extraído el 10 de mayo de 2020, de <https://www.lacapitalmdp.com/mar-del-plata-ya-genera-la-basura-de-una-ciudad-de-1-millon-de-habitantes/>.
- CEAMSE (2020). Operación en Mar del Plata. Extraído el 9 de mayo de 2020, de <https://www.ceamse.gov.ar/mdq/>
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2002). Manual de Formulación, Evaluación y Monitoreo de Proyectos Sociales, División de Desarrollo Social, Santiago de Chile.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2002). Mar del Plata productiva: diagnóstico y elementos para una propuesta de desarrollo local. Extraído el 10 de mayo de 2020, de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4834/1/S0280595\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4834/1/S0280595_es.pdf)
- CHILTON, C. (1949). *Cost data correlated*. New York, United States. 1er Edición. Ed. McGraw.
- CONESA FERNÁNDEZ y VITORA (1997). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Ed. Mundi-Prensa.

- Ellen MacArthur Foundation (2020). Economía circular. Extraído el 17 de abril de 2020, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto>
- EMSUR (Ente Municipal de Servicios Urbanos) (2019). Informe anual ambiental 2019. Municipalidad de General Pueyrredón.
- ENOSUR (Ente de Obras y Servicios Urbanos) (2013). Informe anual ambiental 2013. Municipalidad de General Pueyrredón.
- ESPINOZA GUILLERMO (2007). Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental. Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Santiago de Chile.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2020). Ingeniería económica aplicada a la industria, Inversión. Extraído el 22 de julio de 2020 de <http://www.fao.org/3/v8490s/v8490s05.htm>
- Fundación MAPFRE (1991). Manual de Seguridad en el Trabajo, Madrid. Ed. MAPFRE S.A.
- Fundación para la Economía Circular (2020). Economía circular, Apoyar el cambio hacia una economía eficiente en el uso de los recursos. Extraído el 17 de abril de 2020, de [https://economiacircular.org/wp/?page\\_id=62](https://economiacircular.org/wp/?page_id=62)
- GAREIS M. C.; GONZÁLEZ INSÚA, M.; FERRARO, R. (2016). Incidencia de los recuperadores en las sub huellas de RSU y papel y cartón. El caso de Mar del Plata, Argentina. Estudios Socioterritoriales. Revista de Geografía N° 19, (pp. 63 - 77).
- GONZÁLEZ INSÚA M.; FERRARO, R. (2015) Los residuos sólidos urbanos en Mar del Plata, Argentina: ¿problema ambiental o insumos para la industria? Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales, N° 17, (pp. 57 - 85).
- Grupo AP Contenedores y Suministros (2020). Cotización de producto. Comunicación telefónica con personal de la empresa el 7 de julio de 2020.
- GUZMÁN C. H.; JIMÉNEZ B. R. (2011). El arte de reducir gastos en la empresa. Primera edición. Procesos Digitales.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) (2012). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, Resultados definitivos. Extraído el 18 de abril de 2020, de [https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/censo2010\\_tomo1.pdf](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/censo2010_tomo1.pdf)
- JACOB, S.; MENNA, M; PLAZA, G; PACHECO, O; BRANDA, J.; MURCIA, G. (2003) Reformulación del sistema de manejo de residuos: Identificación de impactos ambientales. Grupo de Estudio de Energías Alternativas y Ambiente, Facultad de Ingeniería, UNMDP. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 7, N° 1, (pp. 01.41 - 01.45).

- JUNTA DE ANDALUCÍA (2003). Los residuos urbanos y asimilables. Consejería de medio ambiente, Junta de Andalucía, España.
- LEIS, A.N. (2015). Análisis de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en Mar del Plata desde un enfoque económico. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- LEOPOLD, L.B.; CLARKE, F.E.; HANSHAW, B. B. & BALSLEY, J.R. (1971). *A procedure for evaluating environmental impact. U. S. Geological Survey, Circular 645. Washington, United States.*
- Mar del Plata Entre Todos (2018). Segundo Informe de Monitoreo Ciudadano. Dimensión Sostenibilidad Ambiental. Gestión de Residuos Sólidos. Extraído el 16 de abril de 2020, de <https://mardelplataentretodos.org/documentos>
- MARTÍNEZ, M; PANTOJA, A; ROMÁN P. (2013) Manual de compostaje del agricultor. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- MEYERS y STEPHENS (2006). Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales. Tercera edición, Ed. Pearson, Prentice Hall.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020). Extraído el 16 de abril de 2020, de <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/preservacion-control/gestionresiduos/estrategianacional>
- Ministerio de Hacienda (2019). Informes de cadenas de valor, Pesca - Septiembre 2019. Extraído el 20 de mayo de 2020, de <https://www.senado.gob.ar/upload/32040.pdf>
- Municipalidad de General Pueyrredón (2013). Plan de Acción de Mar del Plata, Argentina. Programa Ciudades Emergentes y Sostenibles (CES). Extraído el 15 de abril de 2020, de <https://www.mardelplata.gob.ar/documentos/gobierno/plan%20de%20accion%20mdp-bid.pdf>
- Municipalidad de General Pueyrredón (2015). Hay posibilidad de nuevos financiamientos medioambientales para la ciudad. Extraído el 16 de abril de 2020, de <https://www.mardelplata.gob.ar/Contenido/artime-%E2%80%9Chay-posibilidad-de-nuevos-financiamientos-medioambientales-para-la-ciudad%E2%80%9D>
- Municipalidad de General Pueyrredón (2020). Residuos Urbanos. Extraído el 17 de abril de 2020, de <https://www.mardelplata.gob.ar/residuosurbanosmgp>
- NEGRO, VILLA, AIBAR, ALARCÓN, CIRIA, CRISTÓBAL, DE BENITO, GARCÍA MARTÍN, GARCÍA MURIEDAS, LABRADOR, LACASTA, LEZAÚN, MECO, PARDO,

SOLANO, TORNER y ZARAGOZA. (2000). Producción y gestión del compost. CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, España). Extraído el 5 de mayo de 2020, de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf>

- Norma IRAM 29556-1 (2012). Calidad ambiental - Calidad del suelo. Compostaje aeróbico. Parte 1 - Conceptos básicos, factibilidad del tratamiento y buenas prácticas del proceso de compostaje de residuos verdes. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas) (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible, Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Extraído el 13 de octubre de 2020 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Parque Industrial General Savio (2020). Listado de empresas del Parque Industrial. Extraído el 15 de mayo de 2020, de <http://pimdq.com.ar/#!/-empresas/>
- PONCE (2007). La matriz foda: Alternativa de diagnóstico y determinación de estrategias de intervención en diversas organizaciones. Consejo Nacional para la Enseñanza en Investigación en Psicología A.C.
- Reglamento General de Construcciones Gral. Pueyrredón (2017). Generalidades sobre servicios de salubridad en locales o edificios públicos, comerciales e industriales.
- Revista Arquitectura y Construcción (2020). Análisis de costos de la construcción. Extraído el 15 de julio de 2020, de <https://aycrevista.com.ar/precios-la-construccion/analisis-de-costos/>
- SAPAG CHAIN, N. y SAPAG CHAIN, R. (2008). Preparación y evaluación de proyectos, 5ta Edición. Santiago de Chile. Ed. McGraw Hill.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2019). Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental. Presidencia de la Nación, Buenos Aires, Argentina.
- Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental (2019). Marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost. Extraído el 3 de agosto de 2020, de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-1-2019-318692/texto>
- SEQUEIRA GUTIERREZ M. (2009). Guía para la elaboración de diagramas de flujo. Ministerio de planificación nacional y política económica, Perú.
- TCHOBANOGLIOUS G. THEISEN H. VIGIL S. (1994) Gestión Integral de Residuos Sólidos. Ed. Mc Graw - Hill.

- Terrafertil (2020). Costo de compost comercial. Comunicación telefónica con personal de la empresa el 7 de julio de 2020.
- Transportes Esteban (2020). Costo de tierra negra. Comunicación telefónica con personal de la empresa el 8 de julio de 2020.
- UNDS (*United Nations Development System*) (1992). Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Agenda XXI. Capítulo 21. Manejo Ecológicamente Racional de los Residuos Sólidos. (pp 254 - 266).
- VAN DE KLUNDERT ARNOLD (1999). *Integrated Sustainable Waste Management. CEDARE/IETC Inter-Regional Workshop on Technologies for Sustainable Waste Management, Alexandria Egypt.*
- Vázquez, Mabel Elena (2018). Abonos Orgánicos. Curso de manejo y conservación de suelos. Ingeniería Forestal. Facultad de ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata.



## 6. ANEXOS

### ANEXO I

En el punto 2.4.2.1 sobre la Matriz de Leopold, se hace referencia a las acciones y factores propuestos por el autor para identificar los posibles impactos ambientales. Las acciones se muestran en el Cuadro I. 1 y los factores en el Cuadro I. 2.

Acciones de la Matriz de Leopold	
Modificación del régimen	Introducción de flora o fauna exóticas
	Controles biológicos
	Modificación de hábitat
	Alteración de la cobertura vegetal del suelo
	Alteración del flujo de agua subterránea
	Alteración de patrones de drenaje
	Control de ríos y modificación de flujo
	Canalización
	Irrigación
	Modificación del clima
	Quema de bosques
	Pavimentación
	Ruido y vibraciones
Transformación del terreno y construcción	Urbanización
	Sitios y edificios industriales
	Aeropuertos
	Carreteras y puentes
	Caminos y senderos
	Ferrocarriles
	Cables y ascensores
	Líneas de transmisión, gasoductos y corredores
	Barreras, incluyendo cercas
	Dragado y enderezamiento de canales
	Revestimiento de canales
	Canales
	Presas y embalses
	Muelles, malecones, marinas, y terminales marítimos
	Estructuras de altamar
	Estructuras de recreación
	Perforación y voladura
Corte y relleno	
Túneles y estructuras subterráneas	
Explotación de recursos	Perforación y voladura
	Excavación de superficie
	Excavación del subsuelo
	Perforación de pozos
	Dragado
	Tala de bosques
Pesca comercial y caza	
Procesamiento	Agricultura
	Ganadería y pastoreo
	Plantas de engorde de ganado
	Plantas de producción de leche
	Generación de energía
Procesamiento de minerales	

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

	Industria metalúrgica
	Industria química
	Industria textil
	Automóviles y aeronaves
	Refinación de petróleo
	Alimentos
	Madera
	Pulpa y papel
	Almacenamiento de productos
Modificación del terreno	Control de erosión y terrazas
	Sellado de minas y control de desechos
	Rehabilitación de minas a tajo abierto
	Paisajismo
	Dragado de puertos
	Drenaje de humedales y pantanos
Renovación de recursos	Reforestación
	Gestión de vida silvestre
	Recarga de agua subterránea
	Aplicación de fertilizantes
	Reciclaje de residuos
Cambios en el tráfico	Red ferroviaria
	Automóviles
	Camiones
	Transporte de carga
	Aviones
	Ríos y canales
	Botes de placer
	Senderos
	Cables y ascensores
	Comunicación
	Tuberías y conductos forzados
Emplazamiento y tratamiento de residuos	Vertido en los océanos
	Rellenos sanitarios
	Colocación de residuos mineros
	Almacenamiento debajo del terreno
	Eliminación de basura
	Inundación de pozos de petróleo
	Colocación de pozos de petróleo
	Agua de enfriamiento industrial
	Aguas servidas municipales, incluyendo irrigación
	Descarga de efluentes municipales
	Lagunas de estabilización y oxidación
	Tanques sépticos, comerciales y domésticos
	Emisiones de chimeneas al aire libre
	Lubricantes usados
Tratamientos químicos	Fertilización
	Deshielo de carreteras
	Estabilización de suelos
	Control de malezas
	Control de insectos con pesticidas
Accidentes	Explosiones
	Vertidos y filtraciones
	Falla operacional

Cuadro I.1. Acciones de la Matriz de Leopold  
Fuente: Elaboración propia en base a Leopold (1971)

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

Factores de la Matriz de Leopold				
Características físicas y químicas	Tierra	Recursos minerales		
		Materiales de construcción		
		Suelos		
		Forma del terreno		
		Ondas electromagnéticas y radiación de fondo		
		Condiciones físicas únicas		
	Agua	Superficial		
		Océano		
		Subterránea		
		Calidad del agua		
		Temperatura		
		Recarga		
		Nieve y hielo		
	Atmósfera	Calidad del aire (gases, partículas)		
		Clima (micro, macro)		
		Temperatura		
	Procesos	Avenida		
		Erosión		
		Deposición (sedimentación, precipitación)		
		Solución		
Adsorción (intercambio iónico)				
Compactación y asentamiento				
Estabilidad de taludes (deslizamientos)				
Esfuerzo-deformación (terremotos)				
Movimientos de masas de aire				
Condiciones biológicas		Flora	Árboles	
	Arbustos			
	Pastos			
	Productos agrícolas			
	Microflora			
	Plantas acuáticas			
	Especies en peligro			
	Barreras			
	Corredores			
	Pájaros			
	Fauna	Animales terrestres, incluyendo reptiles		
		Peces y moluscos		
		Organismos bentónicos		
		Insectos		
		Microfauna		
		Especies en peligro		
		Barreras		
		Corredores		
		Factores culturales	Uso de la tierra	Vida silvestre y espacios abiertos
				Humedales
Bosques				
Pastoreo				
Agricultura				
Residencial				
Comercial				
Industrial				
Minería y extracción de materiales				
Recreación	Caza			
	Pesca			

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

		Navegación por placer
		Natación
		Camping y caminatas
		Salidas al campo
		Centros de vacaciones y placer
	Interés estético y humano	Vistas escénicas
		Calidad de vida silvestre
		Calidad de espacio abierto
		Diseño de paisaje
		Condiciones físicas únicas
		Parques y reservas forestales
		Monumentos
		Especies o ecosistemas raros y únicos
		Sitios y objetos históricos
		Presencia de elementos raros
	Aspectos culturales	Patrones culturales
		Salud y seguridad
		Empleo
		Densidad de población
	Facilidades y actividades humanas	Estructuras
Red de transporte		
Redes de servicios		
Manejo de residuos		
Barreras		
Corredores		
Relaciones ecológicas	Salinización de recursos hídricos	
	Eutroficación	
	Insectos vectores de enfermedades	
	Cadenas tróficas	
	Salinización del terreno	
	Aumento del área arbustiva	
	Otros	

Cuadro I. 2. Factores de la Matriz de Leopold  
Fuente: Elaboración propia en base a Leopold (1971)

## ANEXO II

Como se menciona en el punto 3.1.8, se detalla la cantidad de residuo que ha ingresado al predio, como también su tipo u origen durante el periodo comprendido entre el mes de mayo de 2016 y el mes de abril de 2017.

Proyecto de inversión para la creación de una planta de producción de compost en la ciudad de Mar del Plata

MES	Mayo 16	Junio 16	Julio 16	Agosto 16	Septiembre 16	Octubre 16	Noviembre 16	Diciembre 16	Enero 17	Febrero 17	Marzo 17	Abril 17	TOTAL
<b>PRODUCTO</b>													
Abasto	145,86	195,97	165,21	141,06	163,34	260,76	79,86	379,76	422,08	390,02	365,38	241,58	2950,88
Anchoita	82,16	21,73	33,16	11,48	55,04	1466,65	1273,61	30,41	5,32	31,69	8,00	26,98	3046,23
Avicola	139,20	272,59	240,83	285,01	238,76	252,86	135,34	278,98	268,54	267,86	364,94	245,90	2990,81
Barredora	128,65	103,36	138,84	153,90	132,24	116,17	143,60	91,06	103,68	84,53	131,04	130,92	1457,98
Barrido Manual	1041,88	793,11	483,34	824,65	811,00	730,37	798,68	836,03	950,19	702,57	650,70	585,30	9207,82
Barros	0,00	4,05	5,25	6,48	51,40	41,30	0,00	44,22	68,00	42,96	52,64	14,58	330,89
Barros Osse	0,00	0,00	0,00	3,76	0,00	0,00	0,00	10,88	0,00	0,00	30,42	16,68	61,74
Visión	9,88	11,50	19,49	0,00	3,52	0,00	15,25	2,90	2,30	8,64	0,00	0,00	73,48
Cascarilla	9,10	14,76	36,84	16,02	15,02	32,98	0,00	38,18	19,38	15,48	19,46	35,76	252,98
Chinchilla	0,00	0,00	4,23	4,72	0,00	5,84	9,56	6,02	11,58	0,00	0,00	0,00	41,95
Cub.usadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	435,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	435,25
Domiciliario	9834,06	10204,11	10270,57	9739,02	10474,53	10280,09	4939,51	12401,83	15233,39	13629,70	12485,18	11294,56	130786,53
Escombros	6218,54	3242,32	4903,05	4591,25	4351,47	5106,60	14,09	3388,58	4686,96	2984,83	3567,59	2610,68	45665,96
Lana	4,48	11,84	8,77	8,14	6,06	5,28	0,00	9,84	14,14	4,32	18,89	9,58	101,34
Liebre	15,00	49,47	58,35	30,95	0,00	3,50	22,42	3,80	8,12	8,96	0,00	0,00	200,56
Mercado	1408,70	1476,35	1513,94	1504,12	1650,02	1888,22	0,00	2444,28	3355,76	2843,91	2233,85	2036,31	22355,46
Osse	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10063,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10063,34
Otros	8730,99	8936,76	10106,31	9982,60	8864,45	11565,53	148,43	13104,09	11120,95	10596,16	12558,30	11198,94	116913,51
Patogénico	171,62	165,89	194,51	188,61	179,25	168,54	97,30	182,28	171,80	118,70	184,56	204,72	2027,78
Pescados	265,00	16,58	17,26	16,51	48,76	46,23	3570,65	15,53	51,46	7,86	10,00	19,20	4085,03
Ramas	3479,66	3854,01	3379,04	3291,85	3152,35	3122,41	1853,05	2725,30	2713,13	3125,75	3744,22	3310,92	37751,69
Rechazo Cura	1771,51	1862,14	971,90	1583,29	2209,34	1117,69	9121,53	1662,60	1478,91	1373,37	2165,20	2073,63	27391,11
Tierra	3317,23	2135,34	2444,36	1896,64	1463,80	4899,76	3115,56	1052,04	3718,81	1918,58	1310,68	971,83	28244,63
<b>Total</b>	<b>36773,52</b>	<b>33371,88</b>	<b>34995,25</b>	<b>34280,06</b>	<b>33870,35</b>	<b>41110,77</b>	<b>35837,00</b>	<b>38708,61</b>	<b>44404,50</b>	<b>38155,88</b>	<b>39901,05</b>	<b>35028,07</b>	<b>446436,95</b>

Cuadro II. 1. Ingresos mensuales por tipo de residuo en toneladas  
Fuente: Elaboración propia en base a datos de EMS