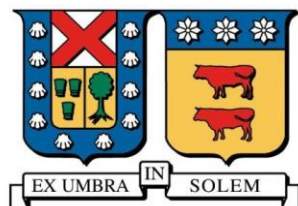


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
VALPARAÍSO – CHILE



**“ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN
PLAN DE GESTIÓN PARA LOS MEDICAMENTOS CADUCADOS EN
PUNTA ARENAS”**

ESTEFAN KURT TONK AGUILAR
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

Profesor Guía: Dra. Andrea Lazo Acuña
Profesor Co-Referente: Dr. Daniel Ramírez Livingston
Diciembre 2023

AGRACEDIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido al desarrollo de este trabajo. En primer lugar, a mis padres y mi hermano, quienes han sido un pilar fundamental al apoyarme y confiar en mí en todo momento. A mis abuelos, les estoy agradecido por todo el cariño y los hermosos momentos que compartimos. A toda mi familia, gracias por su apoyo.

Agradezco a la profesora Andrea por brindarme sus conocimientos, atención, paciencia y orientación, elementos que me ayudaron enormemente en el desarrollo y culminación de este trabajo. Siempre recordaré su invaluable ayuda. De igual manera, quiero agradecer al profesor Daniel por todo su apoyo y orientación durante este proceso.

Expreso mi gratitud hacia mis amigos, quienes han sido compañeros en los buenos y malos momentos. Las risas compartidas y las diversas experiencias son momentos que siempre atesoraré.

Asimismo, deseo agradecer a todos los compañeros, profesores y funcionarios de la Universidad Técnica Federico Santa María. Su presencia ha creado un ambiente propicio para mi desarrollo universitario.

Finalmente, quiero reconocer a todas aquellas personas que, de una u otra manera, han contribuido indirectamente a lo largo de este recorrido.

A todos los mencionados, muchas gracias.

RESUMEN

El descubrimiento de los contaminantes emergentes ha sido objeto de investigación constante en las últimas décadas. Aunque el panorama completo de los efectos generados por estas sustancias al entrar en contacto con el medioambiente es desconocido, existen estudios que han demostrado ciertos cambios en los seres vivos que habitan las áreas contaminadas. Entre estos contaminantes se encuentran los desechos farmacéuticos, que incorporan los medicamentos descartados en los domicilios. Actualmente, en Chile, estos residuos no son gestionados correctamente, lo que resulta en su depósito en vertederos y rellenos sanitarios sin un tratamiento adecuado, provocando su liberación al medioambiente.

En el presente trabajo se presenta un estudio de prefactibilidad técnico-económica sobre la implementación de un plan de gestión de los medicamentos desechados en la ciudad de Punta Arenas. Para ello se analizan distintos planes de gestión de medicamentos domiciliarios empleados a nivel mundial, incluyendo el manejo del residuo, su categorización y el tratamiento final. A su vez, se investiga como la existencia de la responsabilidad extendida del productor afecta en los sistemas de recolección.

El plan de gestión propuesto en este documento incorpora distintas actividades para realizar una gestión efectiva de los medicamentos. Estas actividades son la realización de campañas de concientización a nivel local, recolección programada de los medicamentos desechados en puntos de recolección concurrentes, vinculación y contacto con establecimientos de salud, encapsulación e inertización de los medicamentos recolectados y la disposición final del residuo inerte en un relleno.

Del estudio técnico se desprende que la viabilidad de implementar el plan de gestión propuesto en Punta Arenas depende en gran medida de la efectividad de las campañas de concientización. Independientemente del método de disposición final, la participación de la comunidad es crucial para garantizar el éxito del plan de gestión, ya que representa el avance en el nivel de conciencia de los habitantes, lo cual se reflejará en la cantidad de medicamentos depositados.

Como resultado de la evaluación financiera evaluada durante 10 años, se concluye que la inversión inicial del proyecto es de 106.841.527 [CLP], con unos gastos operacionales iniciales de 39.240.879 [CLP] para el año 2026. Adicionalmente, se analizan los indicadores de rentabilidad para proyectos de carácter social como el Valor Actual de los Costos (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE), junto a las estimaciones de los precios sociales entregados por el Sistema Nacional de Inversiones. Los resultados del análisis de sensibilidad concluyen que la variable del nivel de recolección no afecta indicadores de rendimiento a menos que los valores cambien en grandes cantidades, como también que los gastos operacionales vinculados las remuneraciones y los costos de inversión si representan un riesgo mayor debido a que modificaban el valor del VAC y CAE en 14,79% y 7,42%. Por último, se realiza una comparación de los indicadores de rendimientos entre el plan de gestión propuesto con un plan de gestión similar, con la diferencia de que el segundo no encapsulará los medicamentos, sino que los almacenará y entregará a un tercero autorizado para su disposición final. Las conclusiones de este análisis entregan resultados similares, pero el valor del VAC y CAE son levemente inferiores para el plan propuesto, proporcionando una mejor solución desde el punto de vista económico con la consideración de que la ejecución de este plan necesitará hacer uso del

relleno. En conclusión, se estima que la opción propuesta en el presente trabajo es factible de ser realizada siempre y cuando se cumplan los requerimientos de disposición final y funcione como una solución transitoria.

GLOSARIO

Almacenamiento: Se refiere a la conservación de residuos en un sitio por un lapso determinado.

Antineoplásico: Sustancia que inhibe el desarrollo y crecimiento de tejidos anormales.

Citotóxico: Sustancia tóxica para las células.

Citostático: Sustancia que suprime el crecimiento de las células.

Contenedor: Recipiente portátil en el cual un residuo es almacenado, transportado o eliminado.

Corrosividad: Proceso de carácter químico causado por determinadas sustancias que desgasten a los sólidos o que puede producir lesiones más o menos graves a los tejidos vivos.

Destinatario: Propietario, administrador o persona responsable de la instalación expresamente autorizada para eliminar residuos generados fuera de ella.

Disposición final: Procedimiento de eliminación mediante el depósito definitivo en el suelo de los residuos, con o sin tratamientos previos.

Eliminación: Operación asociada a la destrucción de los residuos.

Estabilización: Proceso mediante el cual un residuo es convertido a una forma química más estable, el que puede incluir la solidificación cuando esta produce cambios químicos para reducir la movilidad de los contaminantes.

Generador: Titular de toda instalación o actividad que de origen a los residuos.

Hoja de Seguridad para el Transporte de Residuos Peligrosos: Documento para transferir información sobre las características esenciales y grados de riesgo que presentan los residuos peligrosos para las personas y el medioambiente, incluyendo aspectos de transporte, manipulación, almacenamiento y acción ante emergencias desde que una carga de residuos peligrosos es entregada por el generador a un medio de transporte hasta que es recibido por el destinatario.

Incineración: Proceso térmico que destruye las sustancias orgánicas contenidas del residuo.

Inflamabilidad: Capacidad de iniciar la combustión provocada por la elevación local de la temperatura. Este fenómeno se convierte en una combustión cuando se alcanza la temperatura de inflamación.

Instalación de eliminación: Planta o estructura destinada a la eliminación de residuos.

Lixiviado: Líquido que ha percolado o drenado a través de un residuo y que contiene componentes solubles de este.

Manejo: Todas las operaciones a las que se somete un residuo luego de su generación, incluyendo, entre otras, su almacenamiento, transporte y eliminación.

Minimización: Acciones para evitar, reducir o disminuir en su origen, la cantidad y/o peligrosidad de los residuos peligrosos generados. Considera medidas tales como la reducción de la generación, la concentración y el reciclaje.

Principio activo: Ingrediente principal de un medicamento, responsable del efecto principal. Algunos medicamentos contienen más de un principio activo que actúa de diferentes maneras en el cuerpo. También se le conoce como ingrediente farmacéutico activo (IFA) o sustancia farmacéutica.

Reactividad: Potencial de los residuos para reaccionar químicamente liberando en forma violenta energía y/o compuestos nocivos ya sea por descomposición o por combinación con otras sustancias.

Reciclaje: Recuperación de residuos o de materiales presentes en ellos, para ser utilizados en su forma original o previa transformación, en la fabricación de otros productos en procesos productivos distintos al que los generó.

Relleno de seguridad: Instalación de Eliminación destinada a la disposición final de residuos peligrosos en el suelo, diseñada, construida y operada cumpliendo con los requerimientos solicitados en el D.S. N°148/03 del Ministerios de Salud

Residuo o desecho: Sustancia, elemento u objeto que el generador elimina, se propone eliminar o está obligado a eliminar.

Residuo incompatible: Residuos que al entrar en contacto pueden generar efectos adversos.

Residuo peligroso: Residuo o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medioambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto, como consecuencia de presentar algún tipo de toxicidad, inflamabilidad, reactividad y corrosividad.

Riesgo: Probabilidad de ocurrencia de un daño.

Solidificación: Proceso en el que ciertos materiales son adicionados a los residuos para convertirlos en un sólido, para reducir su movilidad de contaminantes o mejorar su manipulación y sus propiedades físicas. El proceso puede o no involucrar una unión química entre el residuo, sus contaminantes y el material aglomerante.

Toxicidad: Capacidad de una sustancia de ser letal en baja concentración o de producir efectos tóxicos acumulativos, carcinogénicos, mutagénicos o teratogénicos.

Transportista: Persona que asume la obligación de realizar el transporte de residuos determinados.

Tratamiento: Todo proceso destinado a cambiar las características físicas y/o químicas de los residuos, con el objetivo de neutralizarlos, recuperar energía o materiales o eliminar o disminuir su peligrosidad.

ÍNDICE

AGRACEDIMIENTOS.....	1
RESUMEN	2
GLOSARIO	4
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	11
1.1. Introducción	11
1.2. Objetivos	11
1.2.1. Objetivo General	11
1.2.2. Objetivos Específicos	11
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES	13
2.1. Contaminantes emergentes	13
2.1.1. Contaminantes emergentes en el medioambiente	16
2.2. Problemática asociada a los productos farmacéuticos, el caso de los medicamentos caducados y en desuso.....	20
2.2.1. Medicamentos en el medioambiente	21
2.2.2. Situación Internacional.....	28
2.2.3. Categorización de los medicamentos como residuos farmacéuticos domiciliarios en el mundo	32
2.2.4. Situación Nacional	34
2.2.5. Categorización de los medicamentos como residuos farmacéuticos domiciliarios en el Chile.....	37
2.2.6. Consumo de medicamentos en Chile.....	39
2.2.7. Situación en Punta Arenas.....	42
CAPÍTULO 3. ESTUDIO TÉCNICO Y PROPUESTA DEL PLAN DE GESTIÓN	44
3.1. Objetivos del plan de gestión	44
3.2. Marco Legislativo.....	44
3.3. Funcionamiento del plan de gestión	45
3.4. Generación del residuo	47
3.5. Recolección y transporte del residuo	51
3.5.1. Detalles de la recolección, retiro y transporte del residuo	56
3.5.2. Modo de operación para la recolección y transporte de medicamentos desechados ...	58
3.6. Almacenamiento y tratamiento del residuo.....	59
3.7. Encapsulación y disposición final del residuo	62

3.7.1 Modo de operación del trabajador encargado de la encapsulación y depósito de los medicamentos recolectados	65
3.8. Campañas de concientización	67
3.8.1. Métodos de difusión	69
3.9. Monitoreo y evaluación	70
3.10. Participantes y sus funciones	72
3.11. Principales activos y requerimientos.....	73
3.11.1 Personal.....	73
3.11.2. Materiales, Instalaciones y Equipos	74
3.11.3. Vinculación con el medio	75
3.11.4. Legislación	75
3.12. Principales actividades para la implementación y ejecución del plan	76
CAPÍTULO 4. ESTUDIO ECONÓMICO	79
4.1. Consideraciones previas.....	79
4.2. Evaluación Financiera	80
4.2.1. Análisis presupuestario	80
4.3. Evaluación Socioeconómica	84
4.3.1. Análisis Costo-eficiencia	85
4.3.2. Indicadores de rentabilidad.....	87
4.3.3. Análisis de sensibilidad.....	87
4.3.4. Comparación de alternativas.....	88
4.4. Discusión de resultados.....	89
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
CAPÍTULO 6. REFERENCIAS.....	92
ANEXOS	96
Anexo A: Estimación de la cantidad de medicamentos de origen domiciliarios que son recolectados por el plan de gestión	96
Anexo B: Estimación de la cantidad de medicamentos caducados de origen hospitalario	97
Anexo C: Estimación de las dimensiones del galpón para el almacenamiento y tratamiento de medicamentos desechados.....	98
Anexo D: Estimación del volumen de mezcla y la cantidad de materiales necesarios para la encapsulación de medicamentos.....	99
Anexo E: Cálculo de la cantidad de tambores necesarios por jornada de recolección	100
Anexo F: Costos de inversión asociados a la habilitación de los espacios de trabajo	101

Anexo G: Resumen de las inversiones del proyecto	102
Anexo H: Resumen de los costos operacionales del proyecto	104
Anexo I: Costos sociales del proyecto	106
Anexo J: Cálculo de los indicadores de rendimiento social	109
Anexo K: Análisis de sensibilidad a las remuneraciones del proyecto	110
Anexo L: Análisis de sensibilidad a las inversiones del proyecto	112
Anexo M: Análisis de sensibilidad a la recolección de medicamentos.....	114
Anexo N: Análisis de alternativas	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vías de transporte de los contaminantes emergentes	17
Figura 2. Vías y destinos de los medicamentos.....	22
Figura 3. Prevalencia de los medicamentos más consumido bajo uso terapéutico.....	39
Figura 4. Prevalencia de los medicamentos más consumidos bajo uso anatómico.....	40
Figura 5. Motivos de obtención de medicamentos.....	40
Figura 6. Lugar de obtención de medicamentos	41
Figura 7. Medicamentos más vendidos en Chile el año 2021	42
Figura 8. Esquema general del funcionamiento del plan de gestión de medicamentos desechados	46
Figura 9. Logo del Plan de Gestión de Medicamentos en Desuso	46
Figura 10. Prototipo de los contenedores pertenecientes al plan de gestión.....	54
Figura 11. Ruta de recolección de medicamentos desechados	55
Figura 12. Citroën Ė-Berlingo.....	57
Figura 13. Ubicación del centro de gestión de residuos sólidos de Magallanes	60
Figura 14. Áreas dentro del centro de gestión de residuos sólidos de Magallanes	61
Figura 15. Esquema general de encapsulación de medicamentos desechados.....	62
Figura 16. Rango de edades de los consumidores de al menos 1 principio activo	68
Figura 17. Logo del plan de gestión de medicamentos desechados	69
Figura 18. Programación de las principales actividades durante los primeros 36 meses	77
Figura 19. Programación de las principales actividades realizadas en los 30 días previos a un mes de difusión.....	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contaminantes emergentes más estudiados.....	15
Tabla 2. Principales efectos y resultados adversos relacionados a la exposición de contaminantes emergentes	19
Tabla 3. Compuestos farmacéuticos encontrados en aguas superficiales, subterráneas y bebestibles	24
Tabla 4. Concentraciones de diversas sustancias encontradas en los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales y en aguas superficiales	25
Tabla 5. Principales efectos descubiertos para los medicamentos de uso común.....	27
Tabla 6. Fuentes de desechos farmacéuticos y los problemas que provocan la liberación de contaminantes.....	28
Tabla 7. Métodos de disposición y eliminación de medicamentos	31
Tabla 8. Distintas categorías y ejemplos para los residuos farmacéuticos en Estados Unidos	32
Tabla 9. Listado de Sustancias Peligrosas	35
Tabla 10. Categorías del D.S. N°148/03 del Ministerio de Salud sobre residuos farmacéuticos.....	37
Tabla 11. Predicciones de la recolección de medicamentos desde 2026 a 2035.....	48
Tabla 12. Predicciones de los medicamentos caducados generados mensualmente por los establecimientos de salud en Punta Arenas	50
Tabla 13. Farmacias ubicadas en Punta Arenas.....	51
Tabla 14. Establecimientos de Salud en Punta Arenas	52
Tabla 15. Guía de retiro de medicamentos recolectados.....	59
Tabla 16. Estimación de insumos necesarios para la encapsulación de un tambor.....	63
Tabla 17. Predicciones de la cantidad de tambores necesarios para la encapsulación de medicamentos recolectados	64
Tabla 18. Contenido de las campañas de difusión anual	70
Tabla 19. Inversiones del plan de gestión.....	81
Tabla 20. Insumos del plan de gestión durante la vida útil del proyecto	83
Tabla 21. Análisis presupuestario del plan de gestión	83
Tabla 22. Estimación de los costos sociales durante el horizonte de evaluación del plan de gestión	86
Tabla 23. Resultados e indicadores de rentabilidad del plan de gestión evaluado en 10 años	87

Tabla 24. Resultados e indicadores de rentabilidad relacionados con el aumento y disminución en el costo de operación de los trabajadores	88
Tabla 25. Resultados e Indicadores de rentabilidad relacionados con el aumento y disminución en el coste de inversión.....	88
Tabla 26. Resultados e indicadores de rentabilidad relacionados con el aumento y disminución en la recolección	88
Tabla 27. Resultados e indicadores de rentabilidad de la alternativa de disposición final	89

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

En los últimos años, se han identificado diversas sustancias que no son comúnmente halladas en entornos acuáticos. A estas sustancias se les denominó contaminantes emergentes y han estado siendo investigadas por sus posibles efectos en el medioambiente. Si bien las propiedades de los contaminantes emergentes son muy variadas, existe un grupo de sustancias que son utilizados constantemente por la población y no son manejados correctamente después de su uso, estos son los residuos farmacéuticos, específicamente los medicamentos de origen domiciliario. A través de diversos estudios, se ha evidenciado que la liberación de estas sustancias en el medioambiente ha ocasionado efectos perjudiciales, tales como modificaciones en el comportamiento de los peces y un incremento en la resistencia microbiana.

En la actualidad, se está trabajando constantemente en cómo afrontar la problemática de los medicamentos y para ello se han optado distintos métodos que mejoran la situación en el corto, mediano y largo plazo, como son las propuestas de cambios en la formulación de los medicamentos hasta el desarrollo de nuevas tecnologías que tienen como objetivo la recuperación de los principios activos del medicamento desechado. Independiente del método utilizado en cada país, sigue siendo necesaria la correcta gestión de los residuos para poder depositar de manera segura y efectiva los medicamentos en desuso.

En el presente trabajo se tiene como objetivo conocer la situación internacional y nacional de los contaminantes emergentes, poniendo énfasis en la información relacionada a los medicamentos caducados y desechados. Posteriormente se propondrá un método de gestión de medicamentos, analizando los distintos métodos de disposición final del residuo. Por último, se confeccionará un estudio económico que considere los beneficios y costos sociales del proyecto, comparando las alternativas y realizando un análisis de sensibilidad con las variables más importantes.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Proponer y estudiar la factibilidad técnica y económica de un plan de gestión de medicamentos caducados en la ciudad de Punta Arenas.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Investigar los efectos de los medicamentos en el medioambiente.

- Reconocer las prácticas más utilizadas en el manejo de los medicamentos caducados.
- Revisar la información de los planes de gestión de contaminantes emergentes en el mundo.
- Plantear tecnologías para el tratamiento de los medicamentos, teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas del residuo y las instalaciones disponibles en la ciudad.
- Desarrollar un plan de gestión que cumpla y se pueda incorporar con los principios de la Ley N°20.920.
- Estudiar la situación actual de los medicamentos en Chile, desde las prácticas de consumo hasta la disposición del residuo.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.1. Contaminantes emergentes

La química del medioambiente siempre ha sido un tema de estudio muy importante para la comprensión y seguridad de los seres vivos. La constante investigación de los fenómenos físicos, químicos y biológicos han permitido entender nuestro entorno y a su vez, comprender numerosas variables que pueden afectar la estabilidad del medio. Por esta razón la comunidad científica, constantemente, está descubriendo y redefiniendo las problemáticas ambientales, colocando énfasis en las consecuencias de la actividad antropogénica. En las últimas décadas, el interés sobre ciertas sustancias ha ido en aumento producto de su presencia en medios en los cuales no deberían encontrarse. Debido a que dichas sustancias también pueden perturbar al medioambiente es que se les conoce como contaminantes emergentes. La definición formal de estos contaminantes defiere ligeramente dependiendo del organismo, pero la agencia “United States Geological Survey” entrega una definición general, la cual describe a los contaminantes emergentes como “cualquier producto químico, sintético o natural, o cualquier microorganismo que no sea comúnmente monitoreado en el medioambiente, pero que tenga el potencial de ingresar y ocasionar daños ecológicos y/o efectos a la salud humana” (Poynton & Robinson, 2018).

Debido a que estos contaminantes son numerosos y diversos, son categorizados de acuerdo a sus distintas características. Usualmente, existen distintas clasificaciones, ya sea en base a su uso, naturaleza o fuente de cada sustancia, pero estas categorías se solapan, lo que provoca una dificultad al momento de estandarizar los contaminantes (Raghav et al., 2013). De todas formas, existen algunos términos que permiten entender de mejor manera los contaminantes emergentes, estos agrupan a las sustancias y le asocian sus posibles efectos en el medioambiente. A continuación, se presentan los términos utilizados para agrupar a las sustancias emergentes a partir de la base de datos de la red “NORMAN” (NORMAN, 2023)

- Biocidas.
- Químicos en el agua bebestible.
- Drogas.
- Retardantes de fuego.
- Aditivos de comida.
- Químicos en contacto de comida.
- Metabolitos humanos.
- Neurotoxinas humanas.
- Sustancias ambientales de interiores.
- Químicos industriales.
- Metales y sus compuestos.
- Toxinas naturales.
- Sustancias perfluoroalquiladas.
- Sustancias persistentes, móviles y tóxicas.
- Productos de cuidado personal.

- Fármacos.
- Productos de protección de plantas.
- Aditivos de plástico.
- Compuestos del humo.
- Químicos REACH.
- Surfactantes.

Por otro lado, la EPA (Environmental Protection Agency) dispone de hojas técnicas que resumen brevemente los contaminantes emergentes que presentan problemas únicos y los mayores desafíos para la comunidad ambiental (EPA, 2022). Los compuestos que actualmente cuentan con una hoja técnica son:

- 1,2,3 Tricloropropano.
- 1,4-Dioxano.
- 2,4,6-Trinitrotolueno.
- Dinitrotolueno.
- Hexahidro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazino.
- Nanomateriales.
- N-Nitroso-dimetilamina.
- Percloratos.
- Ácido perfluorooctano-sulfónico, ácido perfluorocaprílico y otras sustancias perfluoroalquiladas.
- Bifenilos polibromados.
- Éteres de polibromodifenilo.
- Tungsteno.

Por último, existen algunas clases de contaminantes emergentes que son más comunes que otros, como se puede visualizar en la tabla 1. Es importante tener en cuenta que los contaminantes nombrados en la tabla 1 pueden ser categorizarlos en grupo más generales, como, por ejemplo, por su uso (industrial o doméstico), tipo de productos (medicamentos, aditivos y otros), tipo de contaminante (químico o biológico), entre otras clasificaciones.

Tabla 1. Contaminantes emergentes más estudiados

Clases de contaminantes	Ejemplos	Definición
Antibióticos	Tetraciclina, Eritromicina	Medicamentos que inhiben o detienen el crecimiento bacteriano.
Antimicrobianos	Triclosán	Bioquímicos que inhiben o detienen el crecimiento de microorganismos, incluyendo bacterias y hongos.
Agentes anticorrosivos	Benzotriazoles	Sustancias que reducen la velocidad de corrosión de una superficie expuesta a un medio corrosivo por actividad químicas sin cambiar significativamente la concentración del agente corrosivo (Montinelli, 2018).
Metabolitos de los detergentes	Nonifenol	Compuestos químicos formados en el procesamiento de los detergentes dentro del tratamiento de las aguas o por degradación en el medioambiente.
Desinfectantes	Alcoholes, aldehídos y agentes oxidantes	Agente químico usado en superficies no vivas para destruir, neutralizar o inhibir el crecimiento de microorganismos causantes de enfermedades.
Productos de los agentes de desinfección	Cloroformo, NDMA	Sustancias químicas generadas por la interacción de la materia orgánica en el agua con los agentes desinfectantes (clorina).
Compuestos estrogénicos	Estradiol, Bifenol A	Químico natural o sintético que puede generar una respuesta estrogénica.
Aditivos alimenticios	Citrato de trietilo	Sustancias añadidas a los alimentos para mantener o mejorar su seguridad, frescura, sabor, textura o apariencia (Organización Mundial de la Salud, 2018).
Retardantes de fuego	Éteres de polibromodifenilo	Cualquier material o recubrimiento que resista o inhiba la propagación del fuego.
Sustancias usadas en explosiones	Éster de nitratos y percloratos	Sustancias potencialmente explosivas (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016).
Fragancias	Galaxolido	Sustancias químicas que dan un olor dulce o placentero.
Repelentes de Insecto	DEET	Sustancias químicas que son aplicadas en la piel u otras superficies para evitar que insectos tenga contacto directo.
PAHs	Naftaleno, Fluoranteno	Gran grupo de sustancias químicas usualmente encontradas en el ambiente como resultado de la combustión incompleta de materiales como combustibles fósiles, madera o basura.
Productos de cuidado personal	Oxibenzona, siloxanos	Sustancias químicas utilizadas en el cuidado personal.
Pesticidas o Insecticidas	Fenitrotión, Permetrina	Sustancias químicas o agentes microbianos que matan, incapacitan o previenen que las plagas provoquen daños.
Fármacos	Carbamazepina, Fluoxetina	Sustancias químicas utilizadas en la prevención o tratamiento de condiciones fisiológicas.
Plastificantes	Diocil Ftalato	Aditivo químico que incrementa la plasticidad o fluidez.
Hormonas	Estradiol, Progesterona	Grupo de sustancias químicas cuyo propósito es estimular ciertas funciones reproductivas.
Nanopartículas	Fullereno	Gran grupo de materiales con una dimensión menor a los 100 [nm] (Khan, Saaed, & Khan, 2019).
Solventes	Etanol, querosén	Soluciones químicas, diferentes al agua, capaces de disolver otras sustancias.
Esteroides	Colesterol, Croptanol	Gran grupo de compuestos orgánicos liposolubles con una estructura molecular característica, se incluyen varias hormonas sintéticas y naturales.
Surfactantes o tensoactivos	Lauril sulfato de sodio	Sustancias químicas que afectan la tensión superficial de un líquido.

(Elaboración propia a partir (Raghav et al., 2013); (Gil et al., 2012); (Poynton & Robinson, 2018); (Petrovic, Gonzalez, & Barceló, 2003))

2.1.1. Contaminantes emergentes en el medioambiente

Gracias a la gran variedad de estructuras químicas, toxicidades y usos en los contaminantes emergentes es que existen numerosas rutas a través de las cuales estas sustancias pueden entrar en contacto con el medioambiente, tal como se puede visualizar en la figura 1. Estas distintas rutas permiten que los contaminantes emergentes puedan afectar los suelos, aguas y aire, teniendo como consecuencia la posibilidad de poner en riesgo la salud humana y la estabilidad en los ecosistemas (Yadav et al., 2021).

El agua es un componente esencial para la vida que se ha visto fuertemente influenciado por la urbanización, esto es debido a que el consumo de agua ha aumentado en función de las magnitudes de las actividades domésticas, industriales y agrícolas. Adicionalmente, este incremento en el uso del agua no solo genera mayores cantidades de aguas contaminadas, sino que también pone énfasis en la importancia en la efectividad y capacidad de las tecnologías empleadas en el tratamiento de los residuos (Yadav et al., 2021).

La contaminación de las aguas es provocada por la actividad antropogénica a través del contacto entre el agua y los efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas, efluentes de industrias, lixiviados en vertederos, residuos líquidos de hospitales, residuos líquidos de laboratorios, efluentes de granjas agrícolas e instalaciones animales. (Raghav et al., 2013); (Saidulu et al., 2021). Esta contaminación ocurre porque, generalmente, los tratamientos convencionales no son capaces de remover la mayoría de los contaminantes emergentes, adicionalmente, no se cuenta con un monitoreo que permita conocer la presencia de estas sustancias en el agua (Poynton & Robinson, 2018). Un caso particular es el de las plantas de tratamiento de aguas servidas con lodos activos, este método y otros tratamientos avanzados pueden ser inefectivos para algunas sustancias, e incluso en ocasiones la porción removida de contaminantes emergentes puede acumularse en los lodos, los cuales terminan depositándose en el suelo y, posteriormente, terminan reingresando a las aguas (Raghav et al., 2013).

El medio terrestre y el aire también han sufrido las consecuencias de la urbanización e industrialización. El suelo, uno de los mayores depósitos de sustancias, contiene diversos químicos que pueden ser inofensivos, pero también existen otras sustancias emergentes que representan una amenaza para los organismos vivos como los fármacos, productos de cuidado personal, productos industriales, entre otros. En cuanto a uno de los contaminantes emergentes más alarmantes presentes en el suelo, se encuentran los microplásticos, que se sabe que son depositados por procesos de lixiviación en vertederos o la mala disposición de residuos. Estos contaminantes disminuyen la productividad del suelo, pero también son fácilmente bioacumulable por los organismos, lo que provoca que estas sustancias puedan ser transportadas dentro de la cadena alimenticia (Yadav et al., 2021). De manera similar, en el aire se han encontrado diversos contaminantes que representan un riesgo para la salud humana. Estas sustancias pueden provocar problemas cardiovasculares y cardiopulmonares debido a que ingresan directamente a las vías respiratorias del organismo. En cuanto a las sustancias más reconocidas por generar problemas a la salud humana, se considera que son los materiales particulados, carbón negro, carbón orgánico, partículas ultrafinas y aerosoles inorgánicos secundarios, sustancias que usualmente son liberadas por actividades industriales y de combustión (Yadav et al., 2021).

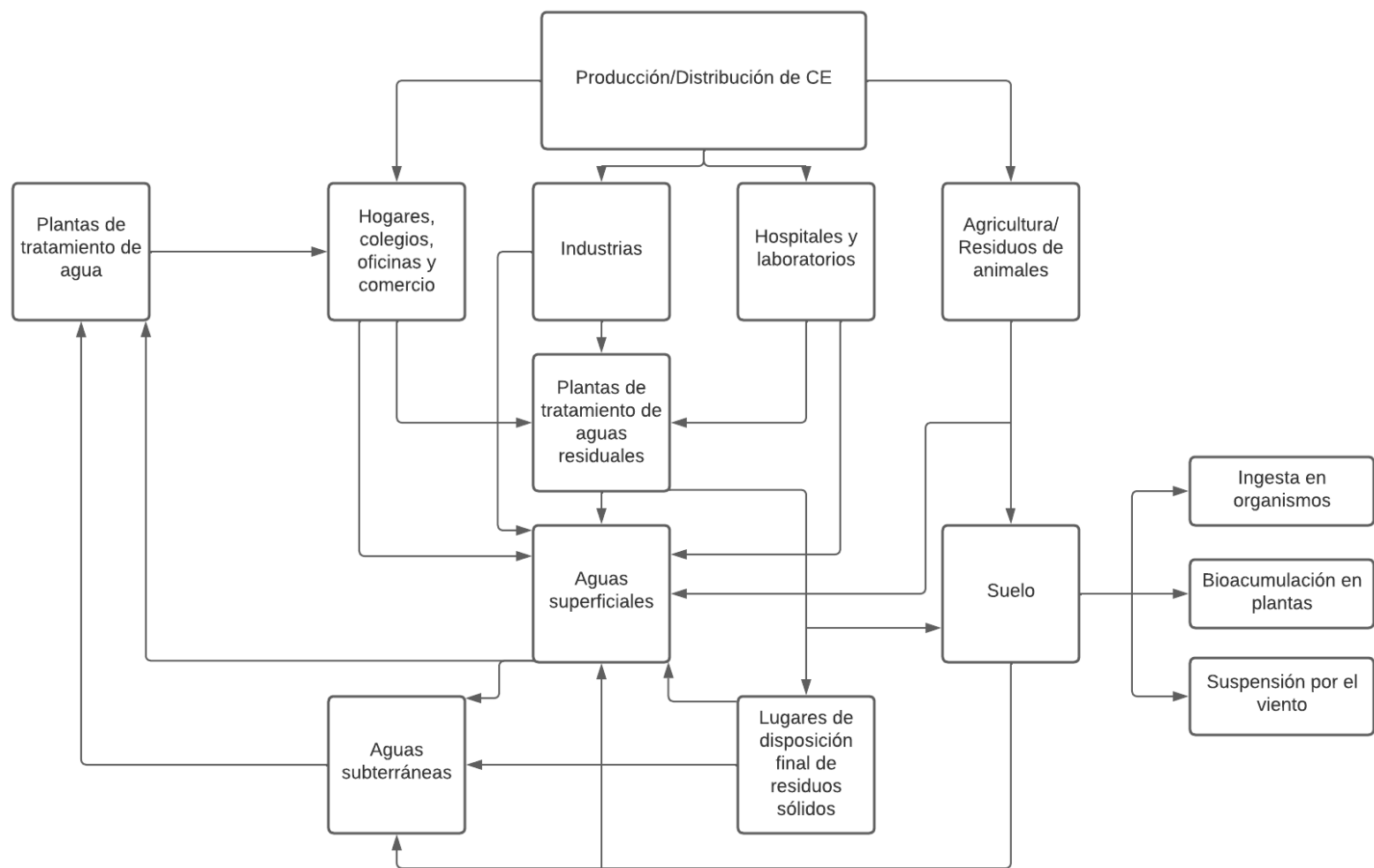


Figura 1. Vías de transporte de los contaminantes emergentes

(Elaboración propia a partir de (Petrovic, Gonzalez, & Barceló, 2003); (Yadav et al., 2021); (Raghav et al., 2013))

Respecto a la permanencia de los contaminantes emergentes, la mayoría de estas sustancias poseen una alta movilidad en el medioambiente y difícilmente son biodegradados o hidrolizados en condiciones ambientales (Saidulu et al., 2021), es por este motivo que los efectos principales están estrechamente vinculados a la toxicidad de estos compuestos. Si bien todas las sustancias son tóxicas, sus concentraciones o dosis son las que determinan esta característica. Existen estudios que corroboran que todas las sustancias pueden inducir cáncer a altas concentraciones, por lo que los efectos perjudiciales son independientes de si las sustancias son naturales o sintéticas (Poynton & Robinson, 2018). Otro punto para tener en cuenta al momento de estudiar la toxicidad de los contaminantes emergentes es que se debe considerar que los efectos no necesariamente son letales, sino que existen otros efectos anteriores, como aquellos que pueden dificultar el crecimiento y la reproducción del individuo. Sumado a lo anterior, la efectividad de estas sustancias también depende de otros factores, como la edad, condición fisiológica, estado reproductivo; factores ambientales como salinidad, temperatura, ubicación, niveles de oxígeno y la posibilidad de ser afectado por una mezcla de contaminantes. Por último, para evaluar correctamente los efectos de los contaminantes emergentes, se debe considerar la concentración del químico cuando este alcanza un nivel crítico específico en el punto de destino, donde este sitio de destino puede ser una proteína, enzima o alguna macromolécula que interactúe con el contaminante de tal forma que interrumpa las funciones celulares que habitualmente desarrolla. Los sitios de destino dependerán de la ruta bioquímica que tome la sustancia y la respuesta química se basará en la potencia del contaminante (Poynton & Robinson, 2018).

Los contaminantes emergentes tienen la particularidad de ser sustancias complicadas de reconocer. Incluso si se conoce la presencia de alguna sustancia dentro de un medio, no es posible identificar correctamente si están produciendo efectos tóxicos o si al menos se están bioacumulando en los tejidos de los organismos. Si bien los efectos de los químicos han sido estudiados a distintos niveles de organización biológica, recientemente las investigaciones han optado por enfocar los efectos mediante un proceso escalonado llamado vías de resultados adversos. Este método permite organizar la información a todo nivel biológico, resaltando los eventos claves de un contaminante, como también la relación que tienen los organismos en el traspaso de sustancias hasta como se inician los efectos adversos al momento de que el sitio de destino (acumulación) alcanza la concentración crítica del contaminante. Esta forma de estudiar las interacciones de los contaminantes emergentes se enfoca en encontrar la concentración que pueda iniciar los eventos claves. Esta herramienta permite combatir el problema de los contaminantes emergentes desde el desarrollo de los productos, permitiendo identificar tempranamente los posibles efectos de la sustancia. De todas formas, este método enfrenta otros tipos de desafíos como la adquisición de información de los eventos claves y cuáles son los eventos iniciales específicos que representan un mayor riesgo, entre otras incógnitas. (Poynton & Robinson, 2018). A continuación, la tabla 2 ilustra los principales efectos y resultados adversos que pueden ocurrir frente a un cierto grado de exposición de distintos contaminantes emergentes.

Tabla 2. Principales efectos y resultados adversos relacionados a la exposición de contaminantes emergentes

Contaminante emergente	Efecto – Resultados Adversos
Grafeno (Nanopartícula)	Daño al ADN.
Dióxido de titanio (Nanopartícula)	Inflamación, daño oxidativo y cáncer.
Penicilina (Antibiótico)	Resistencia entre los patógenos, alterando la estructura de la comunidad microbiana y generando efectos en los altos niveles de la cadena alimenticia.
Roxitromicina (Antibiótico)	Inhibición en el crecimiento de algas.
Cafeína (Estimulante)	Disrupción endocrina en peces dorados.
Diclofenaco (Antinflamatorio)	Lesiones renales y alteraciones branquiales de trucha arcoíris.
Bifenol A (Disruptor endocrino)	Efectos estrogénicos en roedores y efectos hormonales que incrementan cáncer en los humanos.
Fragancias	Cancerígeno para los roedores y fácilmente absorbido por la piel humana con posibles daños al sistema nervioso.
Desinfectantes	Acción como agentes tóxicos y provocan resistencia microbiana.
Estrona / 17-β Estradiol / 17-α Etinilestradiol (anticonceptivos)	Feminización en peces.
Triometano ionizado y Ácido Haloacéticos (Productos de desinfección)	Cáncer y tumores (colon y vejiga) Problemas de infertilidad y mal crecimiento del feto.
Metil ter-butil éter (Aditivos de la gasolina)	Efectos cancerígenos, neurotóxicos e incrementos en el nitrógeno ureico en sangre.
Compuestos perfluorados (Retardantes de llama)	Cáncer de próstata y pechos.

(Elaboración propia a partir de (Gogoi et al., 2018); (Poynton & Robinson, 2018); (Lei et al., 2015))

Los productos farmacéuticos son un caso particular de los contaminantes emergentes, estos conforman un gran grupo de sustancias (metabolitos y agentes activos) con diferentes estructuras, características y toxicidades (Poynton & Robinson, 2018). Al ser un grupo tan extenso, con diversos efectos e indispensables para la vida humana (Klatte et al., 2016), es que estas sustancias son actualmente estudiadas para conocer sus interacciones en el medio y prevenir los posibles efectos adversos.

2.2. Problemática asociada a los productos farmacéuticos, el caso de los medicamentos caducados y en desuso

El desarrollo de la tecnología y el progreso en la medicina ha resultado en un incremento en la esperanza de vida. Según informes de la Organización Mundial de la Salud, la esperanza de vida ha aumentado desde los 66,79 años a los 73,31 entre los años 2000-2019 (Rogowska & Zimmermann, 2022). Si bien la vida del ser humano ha aumentado, el número de habitantes también ha incrementado y este proceso ha venido acompañado de cambios culturales, sociales y económicos que han provocado la aparición de diversas enfermedades, las cuales han sido controladas gracias al uso de los medicamentos. Este gran aumento en el consumo de productos farmacéuticos tiene como consecuencia un incremento en los desechos medicinales, que, por culpa de malos manejos, falta de estudios toxicológicos y sobreproducción ha resultado en un problema global a nivel ecológico, ético y económico (Alnahas et al., 2020).

En general, el concepto de producto farmacéutico posee distintas definiciones dependiendo del país u organización, pero para efectos legislativos en Chile se acoge la siguiente definición, la cual es extraída del artículo N°95 del Código Sanitario de Chile: “producto farmacéutico o medicamento es cualquier sustancia natural, biológica, sintética o las mezclas de ellas, originada mediante síntesis o procesos químicos, biológicos o biotecnológicos, que se destine a las personas con fines de prevención, diagnóstico, atenuación, tratamiento o curación de las enfermedades o sus síntomas o de regulación de sus sistemas o estados fisiológicos particulares, incluyéndose en este concepto los elementos que acompañan su presentación y que se destinan a su administración” (Ministerio de Salud Pública, 1968). Por otro lado, Organización Mundial de la Salud (OMS) tiene una definición para los desechos de productos farmacéuticos, la cual los clasifica como todos los medicamentos indeseados, incluyendo expirados, desuso, derramados, y productos infectados con fármacos, medicinas, vacunas y sueros que no sean requeridos y deban ser depositados correctamente (Alshemari et al., 2020).

Como se mencionó anteriormente, el problema de los medicamentos desechados ha generado un impacto multifacético. Desde el punto de vista económico, estos desechos representan una masiva pérdida de recursos financieros, incluso en Reino Unido, la receta de medicamentos es el segundo gasto más alto (Alshemari et al., 2020). En el año 2019, cerca de 1,25 billones de dólares fueron gastados en medicina a nivel global, representando un considerable aumento frente a los 887 mil millones gastados en 2010, e incluso se espera alcanzar un gasto cercano a los 1,59 billones para el año 2024 (Alshemari et al., 2020). En países desarrollados como Australia, se estima que el valor económico de los desechos farmacéuticos representa unos 1.280 dólares americanos anuales por paciente (Alnahas et al., 2020). Lo anterior refleja el inmenso gasto de recursos en el sistema del cuidado de la salud, el que también es afectado por otras actividades como errores en las recetas, mal manejo de los medicamentos en desuso, sobreacumulación de fármacos e incorrectos métodos de disposición final. Este tipo de descuidos en el manejo de los medicamentos también tiene consecuencias a nivel ético. La problemática se resume en la pérdida de medicamentos usables por parte de los países desarrollados, mientras que en otros continentes hay escases de fármacos. Según un reporte de las naciones unidas, más de 1,5 millones de personas fallecieron en África en 2015 debido a enfermedades que podían haber sido prevenidas o tratadas con medicamentos de bajo

costo (Alnahas et al., 2020). Si bien los problemas económicos y éticos son muy importantes, a lo largo de este trabajo se pondrá un mayor énfasis en la componente ambiental de los medicamentos desechados. Estos productos en general son biológicamente activos, que al ser liberados al medioambiente producto de malos manejos, son capaces de poner en riesgo la estabilidad del medioambiente.

2.2.1. Medicamentos en el medioambiente

La forma en que se distribuyen y direccionan los medicamentos desechados en el medioambiente está directamente ligada a las características físicas y químicas de los compuestos. Esto también está relacionado a las distintas fuentes de contaminantes como la manufactura de medicamentos, residuos domiciliarios y la agricultura, (Poynton & Robinson, 2018) destacando que los países que no cuentan con medidas correctas para la disposición de medicamentos obtendrán una mayor cantidad de contaminantes provenientes de los hogares (Alnahas et al., 2020). Por otro lado, la gran estabilidad química de algunos productos farmacéuticos permite que entre el 30-90% de los principios activos de productos oralmente consumidos sean excretados en su forma original hacia el medioambiente (Rogowska & Zimmermann, 2022).

En general, los productos farmacéuticos están presentes en el medioambiente bajo diversas rutas, las cuales permiten que estas sustancias puedan ingresar a distintos seres vivos mediante el contacto directo o el consumo alimenticio (OCDE, 2019). La figura 2 representa la mayoría de las vías y destinos que pueden tener los medicamentos en el medioambiente.

Teniendo en cuenta el aporte de contaminantes al medioambiente por el consumo domiciliario de medicamentos (OCDE, 2019), es importante abordar la problemática ambiental a partir de la generación de los residuos. Un gran número de artículos recetados son entregados cada año, pero no estos son consumidos o administrados, convirtiéndose en desechos (OCDE, 2019). En Estados Unidos, se estima que cerca de un tercio de los 4.000 millones de medicamentos recetados anualmente se convierten en basura. Además, la sobre medicación, automedicación y errores en los diagnósticos pueden incrementar la cantidad de productos activos recetados y a su vez, generar una acumulación de productos no utilizados (OCDE, 2019).

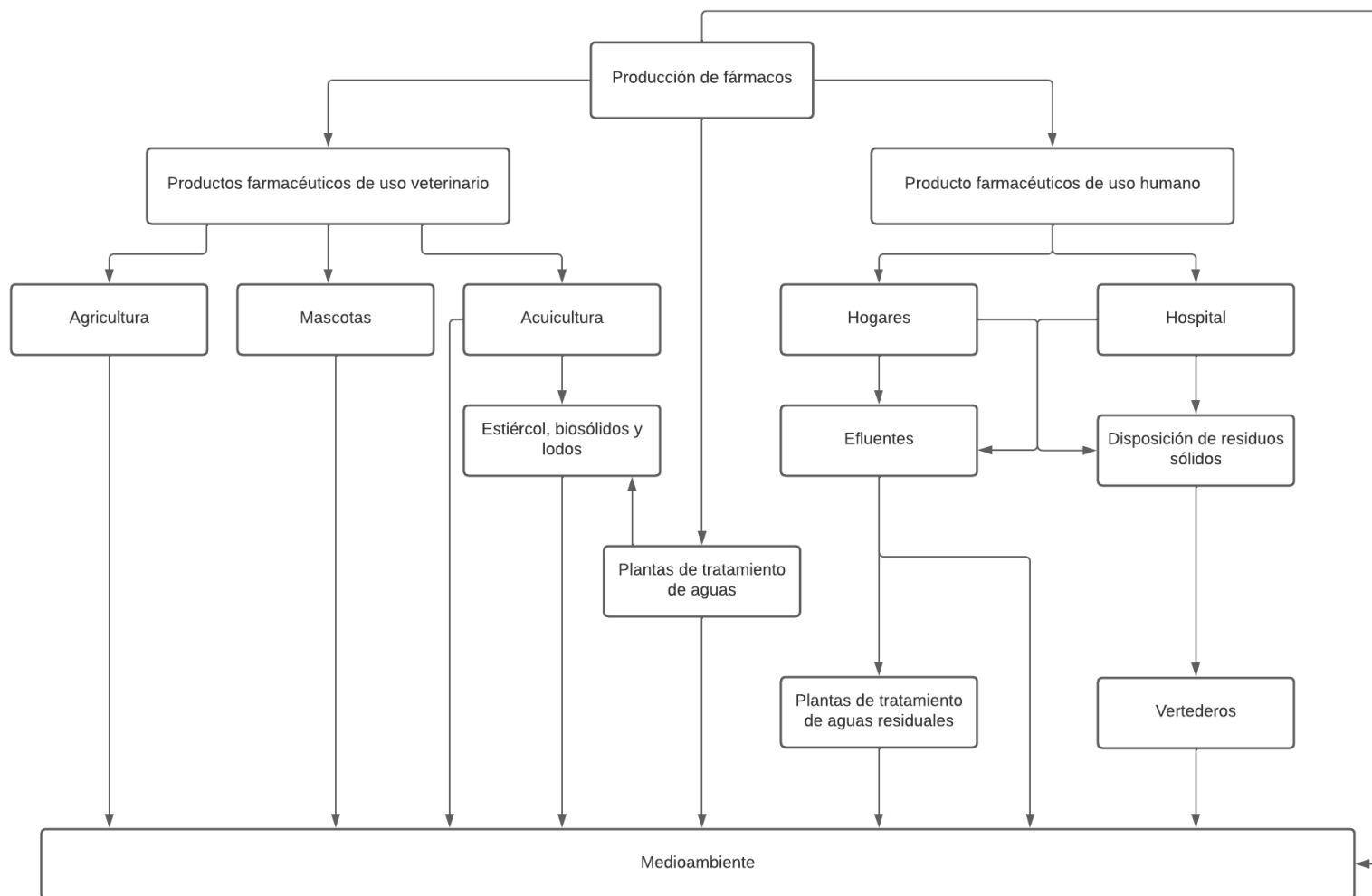


Figura 2. Vías y destinos de los medicamentos

(Elaboración propia)

Es importante notar que los medicamentos están diseñados para generar efectos biológicos específicos bajo pequeñas dosis, por lo que estos efectos han sido maximizados, mientras tanto los efectos secundarios han sido minimizados durante el desarrollo (Poynton & Robinson, 2018). Como se mencionó en los efectos de los contaminantes emergentes, los medicamentos están creados para seguir una ruta bioquímica hacia los sitios de destino en humanos, por este motivo no es una sorpresa encontrar efectos adversos creados por rutas bioquímicas similares en otros organismos frente a la exposición de medicamentos. Otro aspecto para destacar es que los productos farmacéuticos no siempre siguen la curva típica de respuesta frente a las dosis, sobre todo si el receptor es muy específico. En ocasiones, una baja dosis puede causar efectos al momento de que la concentración acumulada alcance el valor crítico, dejando saturado al receptor, lo que posteriormente se traduce en que el ingreso de más contaminantes no necesariamente va a provocar una respuesta mayor (Poynton & Robinson, 2018). Considerando el uso terapéutico de los medicamentos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) entrega una lista con los productos farmacéuticos más esenciales para la salud humana (World Health Organization, 2021), este documento también incorpora las vías de ingreso, dosis recomendadas y alternativas para algunos productos. A continuación, se nombran los principales grupos terapéuticos:

- Anestésicos, medicinas preoperatorias y gases medicinales.
- Medicinas para el dolor y cuidado paliativo.
- Antialérgicos y medicinas usadas en caso de anafilaxia.
- Antídotos y otras sustancias para envenamamientos.
- Anticonvulsivos y antiepilépticos.
- Medicinas antiinfecciosas (Antibióticos/Antivirales).
- Medicinas contra la migraña.
- Inmunomoduladores y antineoplásicos.
- Medicina contra el Parkinson.
- Medicinas que afectan la sangre.
- Sustitutos de productos de origen humano en sangre y plasma.
- Medicinas cardiovasculares.
- Medicinas dermatológicas.
- Agentes de diagnóstico.
- Desinfectantes y antisépticos.
- Diuréticos.
- Medicinas gastrointestinales.
- Medicinas para desórdenes endocrinos.
- Medicinas para el sistema inmunológico.
- Relajantes musculares.
- Preparaciones oftalmológicas.
- Medicinas para la salud reproductiva y cuidados perinatales.
- Solución de diálisis peritoneal.
- Medicinas para desórdenes mentales y de comportamiento.
- Medicinas que actúan en el tracto respiratorio.
- Soluciones para corregir perturbaciones hídricas, electrolíticas y ácido-base.
- Vitaminas y minerales.

- Medicinas para oídos, nariz y garganta.
- Medicinas para enfermedades de las articulaciones.
- Preparaciones dentales.

En la tabla 3 se presentan los compuestos farmacéuticos mayormente encontrados en aguas superficiales, subterráneas y bebestibles a nivel global. Por otro lado, en la tabla 4 se encuentra la información sobre la presencia y concentración de diversas sustancias encontradas en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales y en las aguas superficiales de países desarrollados. (OCDE, 2019).

Los resultados presentados en la tabla 4 refuerzan la idea de que las políticas de gestión y usos de medicamentos en distintos países afecta a la calidad de sus aguas. Además, ejemplifica que las concentraciones en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas son mayores a las que habitualmente se encuentran en aguas superficiales. Por otro lado, hay registros de que la mayor cantidad de medicamentos en las aguas se registra en las temporadas de bajas temperaturas (OCDE, 2019), la razón principal es el incremento en el uso de antiinflamatorios, analgésicos y antibióticos, pero a su vez se relaciona con la menor actividad microbiana dentro de los lodos activos. En los últimos años, el planeta fue golpeado por la pandemia del COVID-19, la cual ha causado un incremento en el consumo de medicinas bajo automedicación. Los estudios y encuestas informan que la mayoría de las personas se automedicaban con ibuprofeno y paracetamol de manera preventiva en presencia de síntomas y posible contagio (Rogowska & Zimmermann, 2022).

Tabla 3. Compuestos farmacéuticos encontrados en aguas superficiales, subterráneas y bebestibles

Compuesto farmacéutico	Grupo terapéutico	N° de países	Promedio [µg/L]	Máximo [µg/L]
Diclofenaco	Analgésico	50	0,032	18,74
Carbamazepina	Anticonvulsivo	48	0,187	8,05
Ibuprofeno	Analgésico	47	0,108	303
Sulfametoxazol	Antibiótico	47	0,095	29
Naproxeno	Analgésico	45	0,050	32
Estrona	Estrógeno	35	0,016	5
Estradiol	Estrógeno	34	0,003	0,012
Etinilestradiol	Estrógeno	31	0,043	5,9
Trimetoprima	Antibiótico	29	0,037	13,6
Paracetamol	Analgésico	29	0,161	230
Ácido Clofibrato	Agente modificador de lípidos	23	0,022	7,91
Ofloxacino	Antibiótico	20	18,99	6500
Ciprofloxacino	Antibiótico	16	0,278	17,7
Estriol	Estrógeno	15	0,009	0,48
Norfloxacino	Antibiótico	15	3,457	520
Ácido acetilsalicílico	Analgésico	15	0,922	20,96

(OCDE, 2019)

Tabla 4. Concentraciones de diversas sustancias encontradas en los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales y en aguas superficiales

Compuesto farmacéutico molécula	Rango en concentración [ng/L]						% del compuesto original excretado por seres humanos
	Norteamérica		Europa		Asia y Australia		
	Efluente de plantas de tratamientos aguas residuales	Agua superficial	Efluente de Plantas de tratamientos aguas residuales	Agua superficial	Efluente de Plantas de tratamientos aguas residuales	Agua superficial	
Antibiótico							
Trimetoprina	<0,5-7900	2-212	99-1264	0-78,3	58-321	4-150	>70
Ciprofloxacino	110-1100	-	40-3353	-	42-720	ND-1300	>70
Sulfametoxazol	5-2800	7-211	91-794	<0,5-4	3,8-1400	1,7-2000	6-39
Analgésico y antiinflamatorios							
Naproxeno	<1-5100	0-135,2	450-1840	<0,3-146	128-548	11-181	-
Ibuprofeno	220-3600	0-34	134-7100	14-44	65-1758	28-360	<5
Ketoprofeno	12-110	-	225-954	<0,5-14	-	<0,4-79,6	-
Diclofenaco	<0,5-177,1	11-82	460-3300	21-41	8,8-127	1,1-6,8	6-39
Ácido acetilsalicílico	47,2-180	70-121	40-190	<0,3-302	9-2098	-	6-39
Ácido mefenámico	-	-	1-554	<0,3-169	4,45-396	<0,1-65,1	-
Paracetamol	-	24,7-65,2	59-220	<12-777	1,8-19	4,1-73	<5
Anticonvulsivos							
Carbamazepina	111,2-187	2,7-113,7	130-290	9-157	152-226	25-34,7	<5
Betabloqueantes							
Propanolol	-	-	30-44	20	50	-	<0,5
Atenolol	879	-	1720	314	-	-	9-50
Agentes modificadores de lípidos							
Ácido Clofibrato	ND-33	3,2-26,7	27-120	1-14	154	22-248	-
Gemfibrozilo	9-300	5,4-16	2-28,571	-	3,9-17	1,8-9,1	-
Bezafibrato	ND-260	-	233-340	16-363	-	-	40-69

(OCDE, 2019)

Como se puede observar en los datos representados en la tabla 4, los principales grupos terapéuticos encontrados en las aguas son los analgésicos, antibióticos, anticonvulsivos y los estrógenos (OCDE, 2019), otros estudios refuerzan esta idea demostrando la presencia de antibióticos en las aguas de Barcelona (Rogowska & Zimmermann, 2022). Dos de los grupos terapéuticos más comúnmente utilizados son los analgésicos y los antibióticos. Estos medicamentos son ampliamente consumidos debido a su efectividad en el tratamiento de dolores comunes e infecciones. Además, su disponibilidad a bajo costo y su capacidad para complementar otros medicamentos también contribuyen a su popularidad (Amoabeng et al., 2022).

En lo que respecta a la seguridad, los especialistas sostienen que las concentraciones de farmacéuticos presentes en el agua potable se encuentran muy por debajo de los niveles perjudiciales y no afectan directamente la salud humana. Esta noción se basa en el hecho de que aún no se comprende completamente la conexión entre los medicamentos en el medioambiente y los efectos directos en la salud humana. Incluso la Organización Mundial de la Salud afirma que los resultados de varios estudios recientes indican que es altamente improbable que los productos farmacéuticos presentes en el agua potable provoquen una amenaza para la salud humana a concentraciones tan bajas, sin embargo, la OMS enfatiza que no se debe pasar por alto el problema de los residuos de productos farmacéuticos y destaca el desconocimiento en los posibles efectos que puedan ocurrir a exposiciones de largo plazo en poblaciones más vulnerables. (OCDE, 2019). De todas formas, existe una excepción a que los medicamentos no puedan afectar la salud humana y es en el estudio de los disruptores endocrinos, algunas fuentes afirman que estos compuestos químicos aumentan el riesgo de cáncer de mama en mujeres, cáncer de próstata en hombres, así como también representan riesgos para los sistemas reproductivos, endocrinos y nerviosos (OCDE, 2019); (Poynton & Robinson, 2018). Un estudio adicional que se basó en datos sobre el consumo, la ecotoxicidad y las predicciones ambientales de productos farmacéuticos en Europa (excluyendo antibióticos) reveló que los medicamentos más peligrosos son aquellos que afectan el sistema endocrino (con una relación PEC/PNEC >10), seguidos por un riesgo moderado (PEC/PNEC >1) en antidepresivos y bloqueadores beta, y concluyendo con un bajo riesgo en los demás medicamentos (OCDE, 2019). Por otro lado, la salud humana puede sufrir efectos indirectos debido a los antibióticos, ya que estos agentes contribuyen al desarrollo de resistencia antibiótica. Este fenómeno permite que estas bacterias sean capaces de sobrevivir en presencia de antibióticos, incluso a concentraciones que normalmente serían suficientes para eliminar o inhibir a los microorganismos (Klatte et al., 2016).

Los animales son los más afectados por la presencia de medicamentos en el medioambiente. Se han documentado casos de alteraciones en peces debido a la exposición a antidepresivos, problemas en el sistema endocrino de peces por contacto con hormonas, fallo renal en buitres por consumir ganado tratado con diclofenaco y la pérdida ecosistémica debido a los efectos de los antiparasitarios en los escarabajos peloteros (OCDE, 2019).

Por último, es importante destacar que los medicamentos y sus residuos no se encuentran de forma aislada en el medioambiente, sino que se encuentran en mezclas que pueden contener otros medicamentos y contaminantes externos. Esto dificulta la identificación de los impactos negativos de los desechos de productos farmacéuticos y provoca una mayor incertidumbre en la veracidad de sus estudios (Rogowska & Zimmermann, 2022). En la tabla 5 se resumen los principales efectos encontrados para algunos medicamentos de uso común.

Tabla 5. Principales efectos descubiertos para los medicamentos de uso común

Grupo Terapéutico	Ejemplo de productos farmacéuticos	Impacto y efectos en el organismo
<i>Analgésicos</i>	Diclofenaco, ibuprofeno	Daño a los órganos y reducción de eclosión en peces. Genotoxicidad, neurotoxicidad y estrés oxidativo en moluscos. Interrupción hormonal en ranas.
<i>Antibióticos</i>	-	Reducción del crecimiento de bacterias, algas y plantas acuáticas.
<i>Anticancerígenos</i>	Ciclofosfamida, mitomicina C, fluorouracilo, cisplatino, doxorubicina	Ecotoxicidad y genotoxicidad.
<i>Antidiabéticos</i>	Metformina	Potenciales efectos de interrupción endocrina en peces.
<i>Anticonvulsivos</i>	Carbamazepina, fenitoína, ácido valproico	Toxicidad reproductiva en invertebrados. Retraso en el crecimiento en peces.
<i>Antifúngicos</i>	Ketoconazol, clotrimazol, triclosán	Crecimiento reducido en algas y peces. Reducción el crecimiento de comunidades de algas. Interrupción de hormonas en roedores.
<i>Antihistamínicos</i>	Hidroxicina, fexofenadina, difenhidramina	Cambios de comportamiento, crecimiento y tasa de alimentación en peces. Cambios de comportamiento y toxicidad reproductiva en invertebrados.
<i>Antiparasitarios</i>	Ivermectina	Crecimiento y reproducción reducida en invertebrados.
<i>Bloqueadores Beta</i>	Propranolol	Problemas reproductivos en peces. Toxicidad reproductiva en invertebrados.
<i>Fármacos activadores endocrinos</i>	Estradiol, 17 α -etinilestradiol, levonorgestrel	Interrupción hormonal y toxicidad reproductiva en peces y ranas.
<i>Medicinas psiquiátricas</i>	Fluoxetina, sertralina, oxazepam, citalopram, clorpromazina	Cambios de comportamiento, alimentación, audacia, actividad y sociabilidad en peces. Interrupción hormonal en peces. Cambios de comportamiento en el nado de los invertebrados. Toxicidad reproductiva e interrupción hormonal en invertebrados.

(OCDE, 2019)

2.2.2. Situación Internacional

Durante las últimas décadas, se han logrado avances significativos en varios aspectos relacionados con la problemática de los medicamentos en el medioambiente. Diversas propuestas y soluciones han sido desarrolladas tanto por organismos de la salud como por gobiernos de diversos países. En esta sección, se abordará la situación a nivel internacional, brindando un enfoque práctico sobre las diferentes formas de enfrentar el problema de los medicamentos. En la tabla 6 se presentan las distintas fuentes de desechos farmacéuticos, junto con los problemas que provocan su liberación.

Tabla 6. Fuentes de desechos farmacéuticos y los problemas que provocan la liberación de contaminantes

<i>Fuentes de desechos farmacéuticos</i>	<i>Problema asociado</i>
<i>Fabricación</i>	Sobreproducción basada en la predicción de demanda.
	Sobreproducción basada en la actual demanda.
<i>Farmacias</i>	Exceso de solicitudes de medicinas.
	Condiciones de almacenamiento insuficientes.
<i>Hospitales y clínicas</i>	Exceso de inventario solicitado.
	Medicamento prescrito incorrectamente para pacientes e información insuficiente.
	Fallecimiento de un paciente, pero la medicación posee su nombre y no puede ser utilizado por otras personas.
	Medicamentos no usados efectivamente o sistema de manejo de inventario no efectivo para reducir la obsolescencia.
	La medicina del paciente se pierde en admisión y, por lo tanto, no están disponible para su uso.
	Recursos inadecuados para apoyar efectivamente el manejo de la separación y depósito de los desechos farmacéuticos.
<i>Médico general</i>	Prescripción desmesurada del médico general.
	Prescripción remota por médico general.
<i>Hogares de cuidado</i>	Exceso de medicinas recibidas y almacenadas por los pacientes.
<i>Pacientes</i>	Uso repetido de las recetas.
	Asesoramiento del médico general o profesional de salud cuando no pueden conseguir un medicamento y cuando ya no lo necesitan.

(Alshemari et al., 2020)

Teniendo en cuenta que los medicamentos pueden llegar al medioambiente desde los hogares y las instalaciones de salud, las prácticas más empleadas en el corto plazo son los planes de gestión de residuos a nivel domiciliario. Si bien existen diversos planes de acción, el tipo y nivel de las políticas implementadas dependerá del país.

La situación en los países menos desarrollados es muy diversa, pero generalmente se caracterizan por la falta de normas o directrices con relación al manejo de los medicamentos utilizados. Ejemplos de estas situaciones abundan en países como Etiopía, Tanzania y Malasia (Rogowska & Zimmermann, 2022). En Brasil, se ha observado una situación diferente en comparación con otros países. Durante las últimas décadas, el país ha estado desarrollando diversas regulaciones con respecto al manejo de los productos farmacéuticos. Sin embargo, en el año 2020 se implementó el decreto N°10.338, el

cual estableció un sistema de devolución de medicamentos caducados o en desuso. Dentro de este sistema, los usuarios depositan los medicamentos junto con sus envases en los puntos de recolección (usualmente farmacias), y posteriormente son procesados. De acuerdo con la normativa, las farmacias ubicadas en ciudades con más de 100.000 habitantes tienen la obligación de adquirir y mantener contenedores para la recolección de medicamentos no deseados, funcionando como puntos de recolección de desechos (Rogowska & Zimmermann, 2022).

En otras partes del mundo la realidad es incluso más variada. Por ejemplo, en Kuwait, la legislación solo se limita a desarrollar el manejo de medicamentos vencidos únicamente en las farmacias. En Arabia Saudita, no hay pautas oficiales para la disposición de medicamentos no deseados, aunque cuenta con la opción de devolver los medicamentos a las farmacias. Y en Israel, no hay regulaciones específicas sobre los desechos farmacéuticos provenientes de los hogares, pero el gobierno solicita que las farmacias acepten los medicamentos no utilizados (Rogowska & Zimmermann, 2022). Otra situación es la que se presenta en la Unión Europea, en la cual todos los miembros están obligados a depositar todos los fármacos no deseados de forma correcta. Bajo la ambigüedad de esta solicitud, los países europeos han respondido de distintas formas. Hay casos como Italia, Grecia y Bélgica que la devolución de los medicamentos no utilizados a las farmacias es obligatoria por ley (Alnahas et al., 2020) y otros países en los cuales los residuos son manejados por organizaciones impulsadas por la responsabilidad extendida del productor. Uno de ellos es Francia, el cual exige por ley que las farmacias acepten los medicamentos no deseados de los pacientes para posteriormente ser manejados por una organización sin ánimo de lucro, Cyclamed. El sistema de manejo de los medicamentos funciona de tal manera que los distribuidores mayoristas son responsables de entregar los contenedores a las farmacias y posteriormente recoger los envases llenos, mientras que las farmacias son responsables de la recolección de los medicamentos no deseados por los pacientes. La eliminación (incineración) de los desechos medicinales recolectados es financiada por Cyclamed a través de las contribuciones de las empresas farmacéuticas (Rogowska & Zimmermann, 2022).

Portugal cuenta con una organización sin fines de lucro llamada VALORMED, la cual es una entidad encargada del manejo responsable de los productos y desechos farmacéuticos. Su función principal es establecer un sistema autónomo que recolecte y aplique tratamientos a los medicamentos expirados, generados por la industria, hospitales y veterinarias con una valorización posterior. A diferencia de Francia y Cyclamed, en Portugal los desechos farmacéuticos son separados y clasificados para poder valorizarlos mediante un sistema de reciclaje basado en la recuperación de los papeles, cartones, plásticos y vidrios de los medicamentos, mientras que los demás residuos son incinerados para una recuperación energética. (Veiga et al, 2023). De manera similar, en España existe SIGRE, un sistema financiado por la industria farmacéutica del país, que se encarga del manejo de los residuos medicinales. En este sistema, las farmacias desempeñan un papel importante como puntos de recogida, mientras que los distribuidores mayoristas se encargan de recoger los desechos medicinales de las farmacias a través de un proceso de recolección inversa. En este proceso, los mismos vehículos que entregan nuevos medicamentos a las farmacias también se encargan de recoger los contenedores con los residuos medicinales y llevarlos a un punto de almacenamiento. Posteriormente, gestores autorizados se encargan de transportar estos residuos a una única planta de tratamiento de envases y medicamentos. En dicha instalación, los materiales se clasifican y se envían a plantas de reciclaje, incineradoras o se eliminan de acuerdo con la naturaleza evaluada de cada material (Rogowska & Zimmermann, 2022).

Otro país con políticas distintas es Finlandia, el cual clasifica como residuos peligrosos a todos los desechos farmacéuticos provenientes de los hogares y farmacias. La legislación dicta que todo individuo que genere estos residuos peligrosos debe hacerse cargo de su manejo y transporte, a excepción de los desechos producidos por hogares y granjas que son manejados por las municipalidades locales. Si bien las municipalidades son las encargadas de todo lo relacionado a los desechos, la mayoría de los puntos de recolección son farmacias, que en la práctica no tienen ninguna obligación legal, pero de todas formas recolectan los medicamentos, juntando sus propios residuos con los entregados por los consumidores (Mehtonen, y otros, 2020). Adicionalmente, existen países como Alemania en los que no se realizan planes de recolección selectiva a nivel nacional y los residuos farmacéuticos de origen domiciliario son depositados en rellenos luego de pasar por un tratamiento térmico junto a los residuos municipales.

En el caso de Norteamérica, especialmente en Estados Unidos, la “Food and Drug Administration” y la “Drug Enforcement Administration” promulgaron en el año 2014 la regla final en la disposición controlada de sustancias, en la que se especificaba la posibilidad que los pacientes devuelvan sus medicamentos en desuso mediante eventos de “take-back”, dentro de colectores autorizados en envoltorios que cumplan con los criterios de la regla ya mencionada. (Rogowska & Zimmermann, 2022)

Es importante mencionar que la Organización Mundial de la Salud también elaboró una guía para la disposición segura de los medicamentos no deseados en situaciones de emergencia. A grandes rasgos, el contenido de esta guía se puede dividir en 3 puntos claves, siendo el primero los métodos de disposición final, seguido de las categorías para separar a los desechos farmacéuticos y, por último, el método de disposición final recomendada en base a estas categorías (Organización Mundial de la Salud, 1999).

Como se mencionó en los planes de manejo, la forma más común de disposición final para los residuos farmacéuticos es la incineración. Este proceso se realiza a altas temperaturas con el fin de eliminar cualquier posibilidad de liberación de compuestos peligrosos. Además, cuenta con la posibilidad de recuperación energética dependiendo de la instalación. De todas formas, existen otras prácticas para eliminar estos residuos, cuyas características y funcionamientos están expuestos en la tabla 7. Adicionalmente existen otras posibilidades de afrontar esta problemática ambiental, hay estudios que evalúan la estabilidad de los principios activos después de las fechas de expiración (Zilker et al., 2019), otras que analizan la posibilidad de redistribución de los medicamentos en desuso que no hayan caducado, la evaluación de implementar un sistema circular en la producción de fármacos, el desarrollo de tecnologías más avanzadas para la remoción de contaminantes emergentes en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales e incluso la producción de fármacos más seguros que permitan la recuperación o reutilización de sus principios activos (Alshemari et al., 2020).

Tabla 7. Métodos de disposición y eliminación de medicamentos

Método de disposición	Tipos de Medicamentos	Resumen	Características/Comentarios
<i>Retorno al donante o fabricante, disposición transfronteriza</i>	Todos los productos farmacéuticos de residuos a granel, particularmente antineoplásicos.	Envío de medicamentos a los fabricantes siguiendo las instrucciones de disposición y transporte seguro.	Usualmente no práctico debido a la gran cantidad de procesos y tiempos consumidos.
<i>Incineración a altas temperaturas</i>	Sólidos, semisólidos, polvos, antineoplásicos, sustancias controladas.	Incineración de medicamentos a altas temperatura (>1.200°C) en una baja proporción (<5%) del material combustible.	Costoso, particularmente para solo este uso, se recomendando usar plantas existentes.
<i>Incineración a medias temperaturas</i>	En ausencia de incineradores de alta temperatura, sólidos, semisólidos, polvos, sustancias controladas.	Incineración en doble cámara a temperaturas medias (>850°C).	Antineoplásicos deben ser incinerados a altas temperaturas.
Inmovilización			
<i>Encapsulación</i>	Sólidos, semisólidos, polvos, antineoplásicos, líquidos, sustancias controladas.	Inmovilización de los medicamentos en un bloque sólido dentro tambores (75%).	Consideraciones especiales para la encapsulación de antineoplásicos.
<i>Inertización</i>	Sólidos, semisólidos, polvos, antineoplásicos, sustancias controladas.	Variante de la encapsulación que crea pasta sólida con los medicamentos (65%).	Trabajadores necesitan indumentaria adecuada. Bajo costo.
Vertedero			
<i>Vertedero sanitario de alta ingeniería</i>	Cantidades limitadas de sólidos no tratados, semisólidos y polvos. Disposición de residuos posterior a un proceso de inmovilización. Plásticos PVC.	Depósito de desechos en un sitio controlado que ofrece relativa seguridad. Los residuos se compactan y son cubiertos con tierra.	Alta protección de los acuíferos y aislado de todo curso de agua.
<i>Vertedero de ingeniería</i>	Sólidos, semisólidos, polvos, preferentemente luego de inmovilización. Plásticos PVC.	Descargas en un medio con protección frente a la infiltración de químicos.	Se recomienda el uso de algún método de inmovilización antes del depósito.
<i>Vertedero abierto y no controlado</i>	Como último recurso para sólidos, semisólidos, polvos, debe ser cubierto inmediatamente con desechos municipales.	Método común en países en desarrollo. Los desechos no tratados son dispuestos en vertederos abiertos y no controlados.	No recomendado para sustancias no tratadas.
<i>Alcantarillado</i>	Líquidos diluidos, fluidos intravenosos, pequeñas cantidades de desinfectantes diluidos (supervisado).	Disposición en bajas cantidades de algunos productos líquidos diluidos directamente en el alcantarillado.	No recomendado para antineoplásicos, desinfectantes no diluidos y antisépticos.
<i>Cursos de agua rápidos</i>	Líquidos diluidos, fluidos intravenosos, pequeñas cantidades de desinfectantes diluidos (supervisado).	Disposición en bajas cantidades de algunos productos líquidos diluidos directamente en cursos de agua.	No recomendado para antineoplásicos, desinfectantes no diluidos y antisépticos.
<i>Quema abierta</i>	Como último recurso, para envoltorios y papeles.	Quema de papeles y cartones.	No recomendado para PVC y medicinas.
<i>Descomposición química</i>	No recomendado a menos de poseer el suficiente conocimiento químico y los materiales.	Inactivación química de largos periodos.	No práctico para cantidades mayores a los 50 [kg].

(Organización Mundial de la Salud, 1999)

2.2.3. Categorización de los medicamentos como residuos farmacéuticos domiciliarios en el mundo

Tal como se ha mencionado, los países desarrollados han elaborado distintos métodos para afrontar la problemática de los medicamentos, dentro de las cuales destacan las guías y lineamientos que buscan definir qué tipo de residuos son los medicamentos domiciliarios y, a su vez, entregar la información de cómo se debe recolectar, utilizar y eliminar estos residuos. Si bien la implementación de un plan de recolección aborda hasta cierto punto los medicamentos desechados por los hogares, la problemática general de los medicamentos desechados es gestionado con otras estrategias a corto, mediano y largo plazo, las cuales afectan directamente a la producción y diseño de los medicamentos, las tecnologías para el tratamiento de las aguas, un mayor cuidado del inventario de medicamentos, mayor consideración en la entrega de recetas y el conocimiento general del efecto negativo de los medicamentos en el medioambiente. (Organización Mundial de la Salud, 1999)

En Estados Unidos, los medicamentos forman parte de los residuos farmacéuticos domiciliarios y son recolectados de forma segregada por los organizadores de los “Take Back Collection Program”, los organizadores del “National Prescription Drug Take Back Day” y los programas de devolución de medicamentos por correo en farmacias autorizadas (FDA, 2021). A su vez, la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), dispone de instructivos de cómo se pueden desechar los medicamentos a nivel domiciliario en caso de que no existan programas de recolección dentro del estado.

A nivel legislativo, en los Estados Unidos los residuos farmacéuticos peligrosos son todos los residuos sólidos que presentan una o más características identificadas en la parte 261 subparte C (corrosividad, inflamabilidad, reactividad y toxicidad) o esta enlistado en la parte 261 subparte D (RCRA listas U, P, F, K) del “Code of Federal Regulations” (Code of Federal Regulations, 2019). En el caso de los residuos farmacéuticos domiciliarios, estos son gestionados como no peligrosos, independiente de las características, debido a la exclusión señalada para los residuos domiciliarios en el “Code of Federal Regulations”, la cual está acompañada con la excepción de que los encargados de los programas de recolección y disposición deben cumplir con las reglas de la “Drug Enforcement Administration” en la eliminación de estos residuos. En cuanto a la caracterización de los residuos farmacéuticos en establecimientos dedicados al cuidado de las personas, los residuos farmacéuticos peligrosos que se generan en los hospitales son cerca del 5% al 15% del total (Michigan GOV, 2019), por lo cual gran parte de los residuos no son considerados peligrosos. A continuación, se presenta la tabla 8 con algunos ejemplos para cada tipo de residuo farmacéutico utilizado en Estados Unidos.

Tabla 8. Distintas categorías y ejemplos para los residuos farmacéuticos en Estados Unidos

No peligroso	Residuo peligroso (Toxicidad Aguda)	Residuo Peligroso (Toxicidad Crónica)
Medicamentos sin receta	Trióxido de arsénico	Melfalán
Antibióticos	Warfarina > 0,3%	Warfarina <0,3%
Hormonas	Epinefrina	Daunorubicin
Anticonceptivos	Nitroglicerina	Fenobarbital
Compuestos disruptores endocrinos	Azida de sodio	Retonona

Residuos que no solo contengan principios activos dentro de las listas U y P	Fisostigmina	Mercurio
Medicamentos catalogados como tóxicos por la “OSHA”, pero considerados no tóxicos por la “RCRA”	Nicotina	Ciclofosfamida

(Elaboración propia a partir de (Michigan GOV, 2019), (VLS Enviromental Solutions, 2022))

A su vez, en Estados Unidos se utiliza el término “medicamento peligroso”, el cual difiere con la definición de residuo peligroso y se rige por lo estipulado por la “NIOSH” y “ASPH”, cuya definición se aplica principalmente en establecimientos de salud y categoriza como medicamento peligroso si la sustancia tienen efectos cancerígenos, teratógenos, toxicidad reproductiva, toxicidad en órganos a bajas dosis, genotoxicidad o nuevos medicamentos con estructuras que imiten otros ya catalogados como peligrosos en animales o humanos. Esta lista busca orientar a las instituciones en la creación de sus propias listas de medicamentos peligrosos, indicando el peligro que existe en el manejo y consumo de estos medicamentos, acompañado del equipamiento personal y las medidas de seguridad necesarias para trabajar con estas sustancias (National Institute for Occupational Safety and Health, 2020).

En la Unión Europea, la situación es similar y la categorización de los residuos proviene de la lista europea de residuos y la legislación local, a partir de estos documentos se categoriza a los medicamentos según su lugar de generación (Eurostat, 2010) y se define solamente como peligroso a los medicamentos citostáticos y los citotóxicos. Esta condición puede alterarse al encontrar medicamentos o preparaciones que incumplan con la legislación por sus condiciones principales de peligrosidad (inflamabilidad, toxicidad, reactividad, corrosividad) categorizando a la preparación como residuo peligroso o definirlos como medicamento peligroso si existen riesgos en su manejo. En concreto, asociaciones o sistemas impulsados por la legislación (aplicación de la responsabilidad extendida del productor) como SIGRE en España y Cyclamed en Francia, se encargan de gestionar los medicamentos a nivel doméstico. Específicamente en el sistema español, los residuos son categorizados en base a su peligrosidad y la posibilidad de valorización. Estas categorías son:

- Empaques de medicamentos con posibilidad de reciclaje.
- Medicamentos no peligrosos con posibilidad de valorización energética.
- Medicamentos catalogados como residuos peligrosos para ser eliminados por gestores autorizados.

Acorde a lo mencionado en la situación internacional, existen diversos métodos de disposición final para los medicamentos, pero el más utilizado es la incineración. Este método debe cumplir con la legislación vigente de cada país y asumir altos costos de inversión y operación, pero permite eliminar la mayoría de los residuos farmacéuticos, disminuyendo el volumen del desecho y eliminando la toxicidad de la sustancia. Adicionalmente, en la actualidad hay países que están implementando tecnologías emergentes para la eliminación de medicamentos como la gasificación por plasma y el vapor sobrecalentado (Organización Mundial de la Salud, 2018), como también existen estudios que buscan recuperar los principios activos de los medicamentos mediante extracción por solvente, separación basada en sistemas acuosos bifásicos, separación por membrana y separación cromatográfica (Han, 2022).

2.2.4. Situación Nacional

La legislación chilena es bastante similar a las de otros países en vías de desarrollo en relación con el manejo de los productos farmacéuticos. El Código Sanitario en su artículo N°96 le encarga al Instituto de Salud Pública de Chile el control sanitario de todos los productos farmacéuticos, de los establecimientos del área y de fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones sobre la materia contenida en el Código Sanitario y sus reglamentos (Ministerio de Salud Pública, 1968).

En cuanto a los residuos farmacéuticos, el D.S. N°148/03 del Ministerio de Salud “Reglamento sanitario sobre el manejo de residuos peligrosos” dentro de su artículo 18, entrega un listado de los residuos que son considerados peligrosos para el estado chileno, incluyendo los residuos resultantes en la preparación de productos farmacéuticos y medicamentos, drogas y productos farmacéuticos desechados. En el artículo 22 se cita a que las sustancias incluidas en los artículos 88 (toxicidad aguda) y 89 (toxicidad crónica) del reglamento serán consideradas como residuos peligrosos si son desechadas, superaron su fecha de vencimiento, están fuera de especificación o se encuentren como remanentes en envases y recipientes. El resto del reglamento entrega todas las características a cumplir en el manejo de los residuos peligrosos considerando el almacenamiento, transporte y tratamiento (Ministerio de Salud, 2003).

En el año 2012 se promulgó el Circular N°B35/38, en el cual se esclarecen diversos puntos del reglamento sobre el manejo de residuos de establecimientos de atención de salud, como la tabla 9, la cual presenta un listado con los principios activos presentes en algunos medicamentos y que son clasificados como peligrosos en establecimiento de salud. Por otro lado, también se aclara que los productos farmacéuticos que tengan principios altamente activos como antibióticos, hormonas, citostáticos, Beta-lactámicos, radiofármacos e inmunosupresores son considerados peligrosos y deben fabricarse en condiciones específicas (Ministerio de Salud, 2012). Por último, se habla de la eliminación de estos productos caducados, en mal estado de conservación, envases alterados, alteraciones físico química, con presencia de cuerpo extraños y decomisados de acuerdo con las siguientes instrucciones:

- Los desechos de medicamentos con principios “altamente activos”, como hormonas, citostáticos, antibióticos, radiofármacos e inmunosupresores, así como los que contengan los principios activos individualizados en la tabla 9, además de aquellos contenidos en envases de aerosoles, que presenten características de peligrosidad descritas en el D.S. N°148/03 deben eliminarse de acuerdo en lo establecido en el D.S. N°6/09 del Ministerio de Salud, “Aprueba Reglamento Sobre Manejo de Residuos de Establecimientos de Atención de Salud” o según lo especificado en el D.S. N°148/03 del Ministerio de Salud.
- Los desechos no incluidos en el punto precedente deben destruirse e inutilizarse para evitar el riesgo de consumo accidental de la siguiente forma:
 1. Si el residuo es de forma farmacéutica sólida, deben extraerse los productos de su envase primario. Si es comprimido, se debe triturar; si es cápsula, se debe desencapsular su contenido. En ambos casos, el producto puede ser eliminado a través del alcantarillado o por el sistema de recolección de basura domiciliaria.
 2. Si el residuo es de forma farmacéutica líquida, su contenido puede ser eliminado directamente por el alcantarillado, con la adecuada dilución.

3. Para otras formas farmacéuticas no individualizadas, se debe considerar que el residuo debe ser destruido e inutilizado, pudiendo luego ser eliminado por el alcantarillado o por el sistema de recolección de basura domiciliaria.

Tabla 9. Listado de Sustancias Peligrosas

Sustancia	Número de Residuo Peligroso	Observación	¿Registro ISP vigente?
<i>Acetato de Fenilmercurio</i>	P092/D009	Fungicida en descongestionantes nasales y ungüentos oftálmicos	No
<i>Acetona</i>	U002	Como excipiente en preparaciones farmacéuticas	No
<i>Sulfato de Bario</i>	D005	Medio de Contraste para Imagenología	Si
<i>Ciclofosfamida</i>	U005	Quimioterapia	Si
<i>Clorambutil</i>	U058	Quimioterapia	No
<i>Daunorubicina</i>	U035	Quimioterapia	Si
<i>Diclorodifluorometano</i>	U059	Propelente, inhaladores, aerosoles	No
<i>Dietilestilbestrol</i>	U089	Quimioterapia	No
<i>Epinefrina</i>	P042	Adrenérgico, antiasmático	Si
<i>Estreptozotocina</i>	U206	Quimioterapia	No
<i>Etil carbamato</i>	U238	Antineoplásico	No
<i>Etil éter</i>	U117	Solvente, anestésico	No
<i>Fenol</i>	U188	Antiséptico, desinfectante, analgésico	Si
<i>Fentermina</i>	P046	Supresor del apetito	Si
<i>Hexacloroetano</i>	U131/D034	Antihelmitico	No
<i>Hidrato de Cloral</i>	U034	Sedante Hipnótico	No
<i>Lindano</i>	U129/D013	Pediculicida y Escabicida	No
<i>m-Cresol</i>	D024	Preservante de Insulina Humana	Si
<i>Melfalan</i>	U150	Quimioterapia	Si
<i>Mercurio</i>	U151/D009	Vacunas Con Timerosal, colirios, aerosoles	Si
<i>Metilfenol</i>	D052	Antisépticos, desinfectantes	No
<i>Mitomicina</i>	U010	Quimioterapia	Si
<i>Mostaza de Uracilo</i>	U237	Quimioterapia	No
<i>Nicotina</i>	P075	Parches	Si
<i>Nitroglicerina</i>	P081	Antianginoso	Si
<i>Óxido de Hidroxidimetilarsina</i>	U136	Agente dermatológico	No

<i>Oxinaro (Óxido de etileno)</i>	U115	Esterilización, bactericida, desinfectantes, fungicida	No
<i>Paraldehído</i>	U182	Sedante con efectos anticonvulsionantes	No
<i>Percloroetino</i>	U210	Antihelmitico	No
<i>Plata</i>	D011	Sulfadiazina de plata	Si
<i>Reserpina</i>	U200	Antihipertensivo	No
<i>Resorcinol</i>	U201	Anti acné	No
<i>Sacarina y sus sales</i>	U202	Edulcorante	Si
<i>Sulfuro de Selenio</i>	U205/D010	Antiseborreico	No
<i>Tribromometano</i>	U225	Antitusivo sedante	No
<i>Triclorofluorometano</i>	U121	Propelente en inhaladores y aerosoles	No
<i>Trióxido de arsénico</i>	P012	Quimioterapia	Si
<i>Warfarina</i>	P001/U248	Anticoagulante oral	Si

*Código P### para sustancias tóxicas agudas; *Código D### para residuos tóxicos por lixiviación; *Código U### para sustancias tóxicas crónicas;

(Ministerio de Salud, 2012)

Un problema vinculado a la legislación es la discrepancia en el manejo de los residuos de productos farmacéuticos, si bien existen documentos que entregan indicaciones para el manejo en instalaciones de salud como el D.S. N°6/09 del Ministerio de Salud, “Aprueba Reglamento Sobre Manejo de Residuos de Establecimientos de Atención de Salud” o las demás instalaciones con el D.S. N°148/03 del Ministerio de Salud, no existen ningún reglamento o normativa que regule el manejo de los productos farmacéuticos en los hogares, los cuales son depositados comúnmente con los residuos domiciliarios o desechados por la alcantarilla sin ser tratados. La única indicación disponible para este tipo de residuos es entregada por Instituto Nacional de la Salud, la cual da indicaciones de qué hacer con los medicamentos caducados a nivel personal aplicando técnicas de inmovilización, es decir, eliminando los medicamentos líquidos en recipientes y encapsulando los residuos farmacéuticos en botellas PET con el fin de desechar estos objetos junto a los residuos domiciliarios (Instituto de Salud Pública, 2023).

Como se mencionó en la situación internacional, la Unión Europea cuenta con el apoyo de los fabricantes a la hora de manejar los residuos farmacéuticos gracias a la inclusión de estos desechos en la responsabilidad extendida del productor, a diferencia de lo que está ocurriendo en Chile. Actualmente la Ley N°20.920 “Marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje” no incluye a los medicamentos como producto prioritario, los cuales fueron removidos durante el proceso de aprobación junto a los pesticidas y los vehículos con el fundamento de que estos ya estaban siendo regulados por los servicios sectoriales y debido a su baja revalorización (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2016). Con el tiempo se espera que los medicamentos se incorporen nuevamente como productos prioritarios, esta acción ayudaría a facilitar la gestión y financiación del manejo de los residuos farmacéuticos e incluso permitiría crear instalaciones similares a las que se encuentran en Europa con el fin de valorizar este residuo a nivel nacional.

Por último, en Chile también existe una instancia para la devolución de productos farmacéuticos. En el artículo 100 del Código Sanitario se permite la donación de productos farmacéuticos a establecimientos asistenciales sin fines de lucro, siempre que aquellos se encuentren comprendidos en el Formulario Nacional de Medicamentos (Ministerio de Salud Pública, 1968).

2.2.5. Categorización de los medicamentos como residuos farmacéuticos domiciliarios en el Chile

La catalogación de los medicamentos desechados como residuo no es exacta y bajo la definición formal del D.S. N°148/03 del Ministerio de Salud, los medicamentos desechados son catalogados como peligrosos al encontrarse dentro de la lista I del artículo 18 “residuos considerados peligrosos a menos que su generador pueda demostrar ante la Autoridad Sanitaria que no presentan ninguna característica de peligrosidad” y la categoría A4010 “Residuos Resultantes de la producción, preparación y utilización de productos farmacéuticos” del artículo 90 del mismo reglamento, cuyas especificaciones son presentadas en la tabla 10. Dentro del reglamento no se menciona explícitamente que catalogación recibe el empaque de estos medicamentos, pero se considerarán parte del residuo por su contacto directo con las sustancias.

Tabla 10. Categorías del D.S. N°148/03 del Ministerio de Salud sobre residuos farmacéuticos

D.S. N°148 artículo 18	I.3 Medicamentos, drogas y productos farmacéuticos desechados. I.1 Residuos hospitalarios (1)
D.S. N°148 artículo 19 y 90	A4010 Residuos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos farmacéuticos (1) A4020 Residuos clínicos y afines; es decir residuos resultantes de prácticas médicas, de enfermería, dentales, veterinarias o actividades similares, y residuos generados en hospitales u otras instalaciones durante actividades de investigación o el tratamiento de pacientes, o de proyectos de investigación (1)

(1) Consideración en el caso del manejo de los residuos generados en la actividad hospitalaria
(Elaboración propia a partir D.S. N°148/03 del Ministerio de Salud)

En los centros de salud, los productos farmacéuticos caducados en Chile son manejados de manera categorizada, algunos de estos medicamentos presentan características de toxicidad crónica y aguda, por lo que dichos establecimientos tratan los medicamentos bajo un reglamento propio de las instalaciones de salud, eliminándolos e incinerándolos mediante la contratación de servicios de terceros. A su vez, existen medicamentos que no están indicados directamente en los documentos, pero si se encuentran en documentos complementarios (Ministerio de Salud, 2012), en los cuales se menciona qué medicamentos con principios altamente activos utilizados en formulaciones médicas, deben ser tratados de la misma forma que los residuos catalogados como residuos peligrosos, además de considerar el correcto manejo de los medicamentos especificados en la lista de “antineoplásicos y otras sustancias peligrosas en entornos de atención médica” del “National Institute for Occupational Safety and Health” (National Institute for Occupational Safety and Health, 2020), también se aclara que todos los otros medicamentos que no se encuentren en las categorías ya mencionadas pueden ser eliminados con los residuos domiciliarios o por el alcantarillado. Por

otro lado, no se encuentra información específica sobre los medicamentos desechados de origen domiciliario, lo único aplicable es la catalogación como residuo peligroso al considerar la definición proporcionada por el D.S. N°148/03 del Ministerio de Salud, pero a su vez, esta categorización permite que los medicamentos puedan no ser considerados como peligrosos al presentar estudios que descarten las características enlistadas en el artículo 11 del mismo documento, como es el caso de algunos medicamentos nombrados en el circular N°B 35 asociado a los Residuos de Establecimientos de Atención de Salud (REAS) y los que no se consideran residuos peligrosos en países avanzados como los medicamentos sin receta, antibióticos, hormonas, compuestos disruptores endocrinos, entre otros. Otro aspecto para tener en cuenta en el manejo de los residuos es la presencia de los medicamentos controlados, específicamente los psicotrópicos y estupefacientes. Estos medicamentos presentan ciertas condiciones de manejo, además de que su eliminación debe realizarse por gestores autorizados acompañado de la entrega de una notificación (con el listado de medicamentos a eliminar) al “Instituto de Salud Pública” por parte del generador del residuo.

Teniendo en consideración todo lo anterior, los medicamentos domiciliarios pueden identificarse dentro de una de las siguientes 3 categorías. Las categorías son:

- Medicamentos domiciliarios citotóxicos y citostáticos: Medicamentos recetados para el tratamiento del cáncer. Usualmente son de uso oral o inyectable y deben ser manejados con cuidado, evitando el contacto directo por la peligrosidad de estos.
- Medicamentos domiciliarios controlados (Estupefacientes y psicotrópicos): Medicamentos recetados con alto potencial de dependencia y que son fácilmente reconocibles por presentar un símbolo en su empaque (Estrella roja para estupefacientes y Estrella verde para psicotrópicos).
- Medicamentos domiciliarios que son no citotóxicos, no citostáticos y no controlados: Son todos los demás medicamentos que se puedan encontrar en los hogares como antibióticos, hormonas, los comercializados sin recetas, entre otros. Estos medicamentos pueden ocasionar efectos negativos en el medioambiente, pero no están vinculados a peligros en su manejo y actualmente son manipulados como un residuo domiciliario.

Independiente de que en Chile no existan consideraciones legales para los medicamentos desechados por los domicilios, la Municipalidad de Vitacura implementó un punto limpio que incorpora la recolección de residuos peligrosos, considerando un contenedor exclusivo para los medicamentos provenientes de los hogares. En este punto de recolección se aceptan la mayoría de los medicamentos (excepto los citotóxicos) junto a sus envases y en el año 2013 lograron recaudar 1.783 [kg], los cuales fueron eliminados por terceros autorizados (incineración/inertización y depósito en relleno de seguridad). Dentro del documento “Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Comuna de Vitacura” (Municipalidad de Vitacura, Dirección de Medio Ambiente, Aseo y Ornato, 2014), estos residuos fueron catalogados como residuo peligroso de toxicidad crónica, dentro de los códigos I.3 del artículo 18 y A4010 del artículo 90 del D.S. N°148/2003.

Considerando todo lo evaluado a nivel nacional e internacional, el presente trabajo tiene como objetivo afrontar la problemática de los medicamentos desechados mediante la implementación de un plan de gestión que se encargue de la recolección, almacenamiento y disposición final de los

medicamentos caducados, en desuso y en mal estado a nivel doméstico. Los residuos recolectados entrarán en la categoría de “Medicamentos domiciliarios que son no citotóxicos, no citostáticos y no controlados”, los cuales se considerarán como residuos domiciliarios. Adicionalmente, el trabajo también afrontará esta problemática considerando los futuros cambios legislativos y, en caso de que los residuos recolectados sean categorizados como peligrosos, se evaluará una alternativa que incorpore estos conceptos.

2.2.6. Consumo de medicamentos en Chile

La situación postpandemia sobre el consumo de medicamentos en Chile junto al manejo de estos residuos es desconocida, por lo que se establecerán las bases de este trabajo a partir de los datos de la “Encuesta Nacional de Salud” realizada en los años 2017 y 2016 por el Ministerios de Salud, la cual entrega diversas tendencias en el consumo de medicamentos. Los resultados de dicha encuesta están formulados en base a la prevalencia en el uso de medicamentos, la cual mide la cantidad de personas que padecen o realizan una actividad en relación al total de encuestados. El detalle de la encuesta de salud está presente en las figuras 3,4,5 y 6.

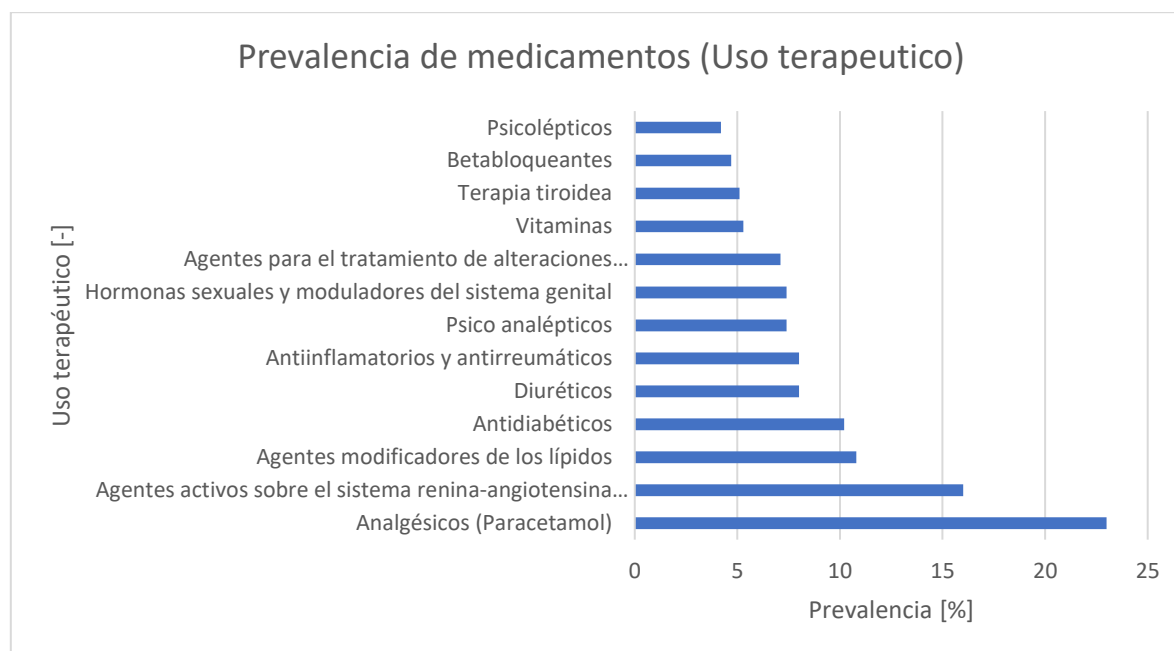


Figura 3. Prevalencia de los medicamentos más consumido bajo uso terapéutico

(Elaboración propia a partir de (Ministerios de Salud, 2017))

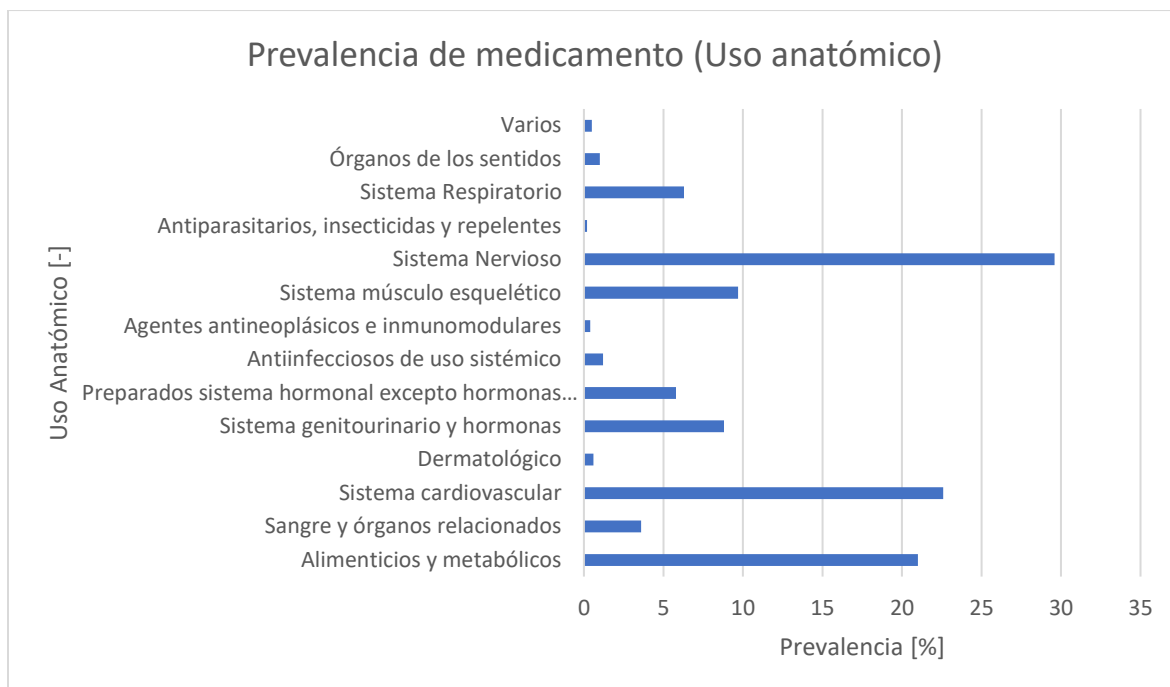


Figura 4. Prevalencia de los medicamentos más consumidos bajo uso anatómico

(Elaboración propia a partir de (Ministerios de Salud, 2017))

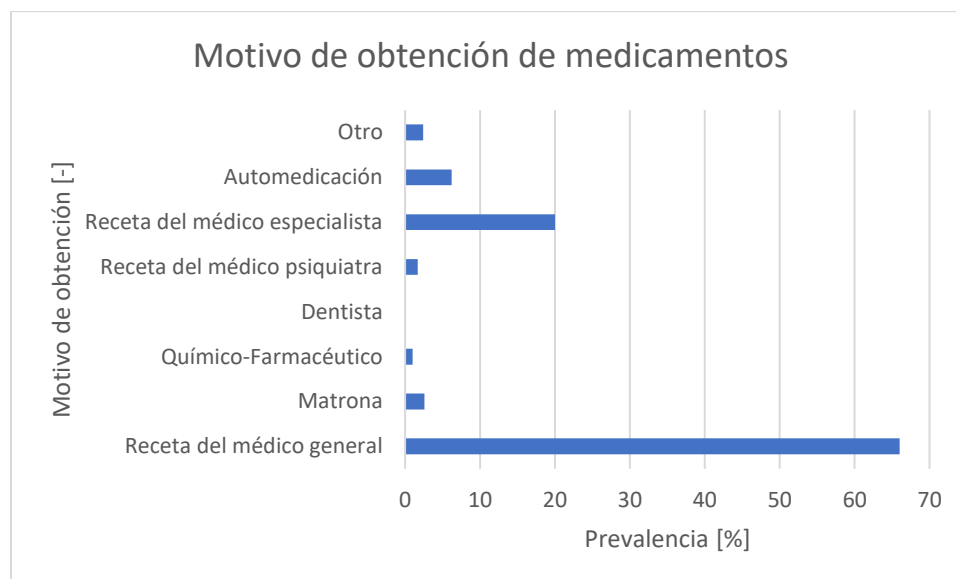


Figura 5. Motivos de obtención de medicamentos

(Elaboración propia a partir de (Ministerios de Salud, 2017))

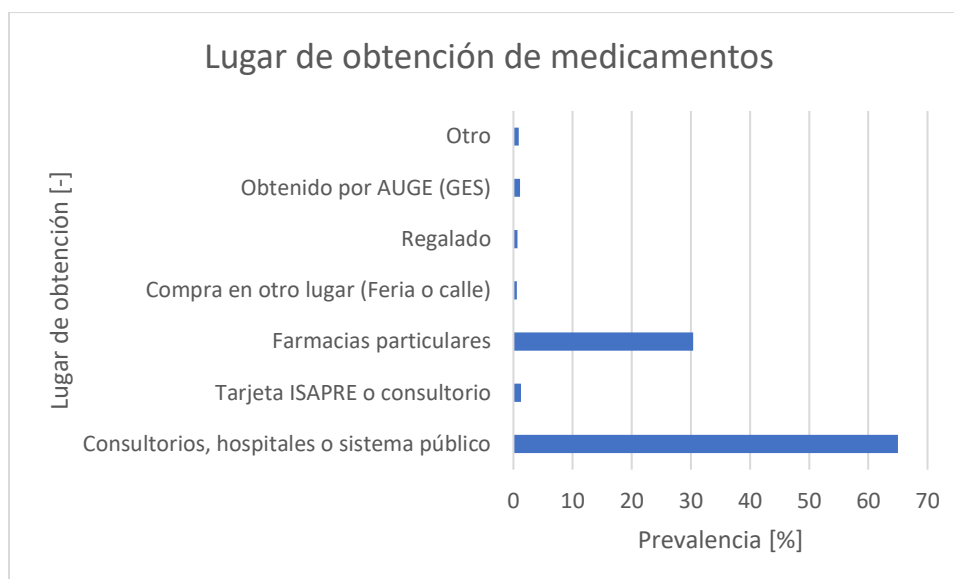


Figura 6. Lugar de obtención de medicamentos

(Elaboración propia a partir de (Ministerios de Salud, 2017))

A partir de estos datos, se concluye que la mayoría de los medicamentos son aquellos empleados para tratar afecciones del sistema nervioso y cardiovascular, destacando también el uso de medicamentos hormonales. Por otro lado, la razón principal para que los ciudadanos adquieran sus medicamentos es por la recomendación de los médicos generales. En cuanto al lugar de adquisición de medicamentos, la mayoría de los consumidores adquiere sus productos farmacéuticos en centros de salud y farmacias particulares. Por último, la encuesta también enuncia que en promedio se consumen 2,21 principios activos por persona, el 48,2% de los encuestados consume al menos 1 principio activo y cerca del 10,2% de los encuestados usan al menos 5 principios activos dentro de la región (Ministerios de Salud, 2017).

Para conocer las ventas de medicamentos en Chile, el Instituto de Salud Pública junto al Departamento Agencia Nacional de Medicamentos (ANAMED) realizaron un estudio que recopila toda la información de las ventas generadas por tres cadenas de farmacias y siete distribuidores farmacéuticos. El resultado de este informe se puede visualizar en la figura 7, presentando los 10 medicamentos más vendidos entre los meses de enero y octubre del año 2021 (Instituto de Salud Pública, 2021).

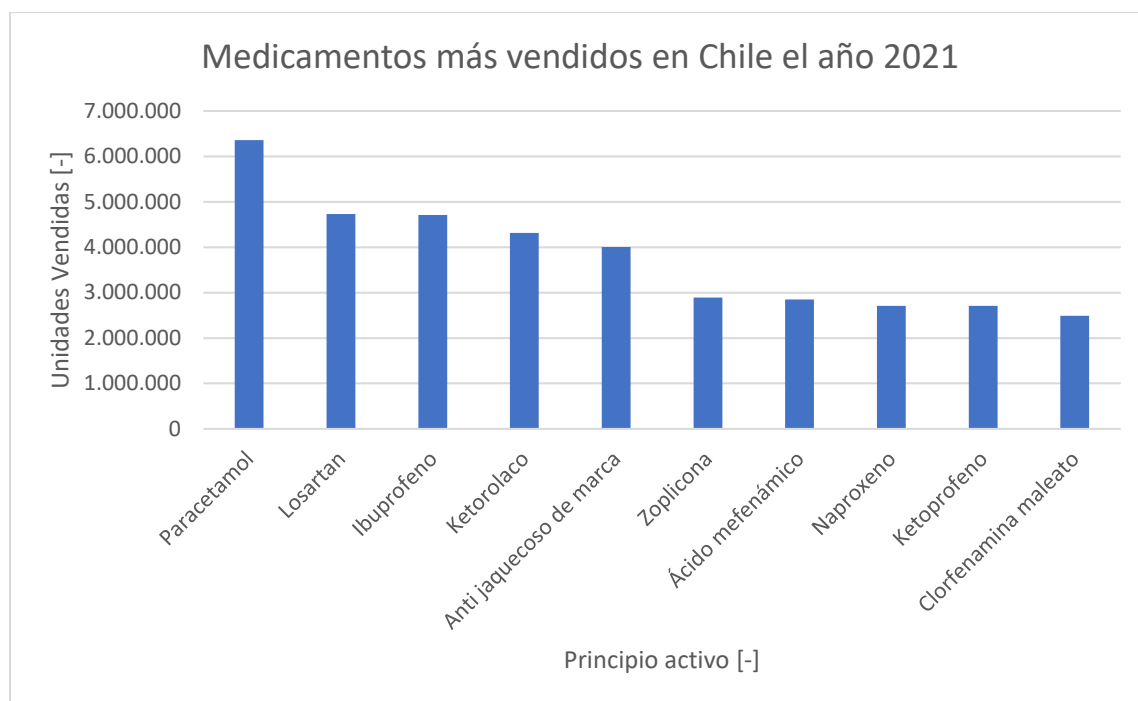


Figura 7. Medicamentos más vendidos en Chile el año 2021

(Elaboración propia a partir de (Ministerios de Salud, 2017))

2.2.7. Situación en Punta Arenas

La ciudad y comuna de Punta Arenas está ubicada en la zona austral de Chile dentro de la XII Región de Magallanes y la Antártica Chilena, Provincia de Magallanes. Según datos del censo efectuado en el año 2017, la ciudad de Punta Arenas cuenta con una población total de 131.592 habitantes, de los cuales 65.538 son hombres y 66.054 son mujeres con un promedio de edad de 36,8 años para la población (Instituto Nacional de Estadísticas, 2017).

La ciudad de Punta Arenas cuenta con numerosos establecimiento que pueden ser utilizados como punto de recolección para los medicamentos desechados, estas instalaciones engloban un total de 27 farmacias privadas (Ministerio de Salud, 2023), 2 farmacias populares, 5 centros de salud familiar, 2 centros comunitarios de salud familiar, 2 hospitales y 3 clínicas, además de otras instalaciones como los vacunatorios y centros de atención de salud (Departamento de Estadísticas e Información de Salud, 2023).

Considerando la importancia en la disposición final de los medicamentos de los hogares, en Punta Arenas las aguas del alcantarillado son tratadas por Aguas Magallanes, empresa que realiza un tratamiento con la intención de que las aguas servidas cumplan con el D.S. N°90/2000 MINSEGREP y poder descargar sus efluentes en el mar (Aguas Magallanes S.A., 2021), en el caso de los residuos domiciliarios, estos son depositados en el Vertedero Municipal y actualmente se está evaluando la implementación de un relleno sanitario a 18 kilómetros al sur de Punta Arenas (La Prensa Austral, 2022). Es importante destacar que no se encontraron empresas que manejen los residuos peligrosos y

tampoco instalaciones que posean incineradores que operen a 1.200 [°C], por lo que la mayoría de los generadores de estos desechos deben contactar con empresas situadas fuera de la región.

Particularmente en la zona de estudio, Punta Arenas, no se registran actividades vinculadas a la recolección y tratamiento de medicamentos caducados generados por los hogares. En cambio, para los residuos farmacéuticos provenientes de establecimientos de salud, el manejo se basa en la catalogación del residuo como residuo asimilable a domiciliario, residuo especial o residuo peligroso. Se desconoce la composición exacta de cada grupo, pero se identifica que la mayoría de los residuos generados no son catalogados como peligrosos. En cuanto al método de disposición final, los residuos asimilables a domiciliarios y especiales son depositados en el vertedero Municipal, mientras que los residuos peligrosos son almacenados por 6 meses en bodegas autorizadas para posteriormente ser transportados y manejados por empresas especializadas que se encuentran fuera de la región (Hospital Clínico Magallanes, 2013).

Teniendo en cuenta que los medicamentos se descartan por el alcantarillado o bien como residuos sólidos que llegan a depositarse en el vertedero municipal, es importante encontrar una solución integral que permita manejar los residuos medicinales de tal forma que se optimicen los costos y se impida el depósito indebido.

CAPÍTULO 3. ESTUDIO TÉCNICO Y PROPUESTA DEL PLAN DE GESTIÓN

Tal como se mencionó en capítulos anteriores, Chile presenta una situación particular con relación a los medicamentos caducados debido a que la legislación categoriza de diferentes maneras a estos residuos dependiendo de su generador. En consecuencia, los residuos asociados a los medicamentos caducados y desechados por los hogares usualmente no son recolectados y tratados correctamente, lo que provoca que sean depositados directamente al medioambiente a través de rellenos sanitarios, vertederos o el alcantarillado. Esta incorrecta disposición de los medicamentos puede generar diversos efectos negativos, por lo que en este trabajo se presenta un plan de gestión para los medicamentos desechados por los hogares en la ciudad de Punta Arenas. El funcionamiento de este plan considera los procesos de recolección, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos, acompañado de campañas de concientización para la comunidad y procesos de vinculación entre los distintos organismos y entes encargados de la salud y el medioambiente.

En específico para la recolección de los residuos dentro del plan de gestión, se aceptarán todos los medicamentos caducados, en mala condición o en desuso junto a sus correspondientes empaques (también se aceptarán empaques de medicamentos ya utilizados y/o vacíos), sin recibir los medicamentos citostáticos, citotóxicos, psicotrópicos y estupefacientes. Además, se evitará el depósito de algunos materiales utilizados en los hogares como agujas, termómetros, radiografías, gasas, guantes, mascarillas, productos químicos y baterías por pertenecer a otro tipo de residuos. Posteriormente estos residuos serán almacenados y tratados para su disposición final.

3.1. Objetivos del plan de gestión

- Evitar y controlar el consumo de medicamentos caducados y en mal estado.
- Evitar la contaminación por medicamentos desechados proveniente de los hogares.
- Generar conciencia sobre las consecuencias del mal manejo de los medicamentos.
- Disponer de manera segura residuos que actualmente no están siendo tratados.
- Instaurar un plan piloto para manejar los medicamentos desechados desde los hogares dentro de la ciudad de Punta Arenas.
- Proponer un plan que pueda acoplarse con los futuros cambios en la legislación, entregando una estructura base de recolección que se pueda adaptar a los cambios nacionales.

3.2. Marco Legislativo

- D.S. N°1.150, Constitución Política de Chile de 1980, Ministerio General de la Presidencia de la República, Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Constitución Política de la República de Chile.
- Ley N°19.300/1994 del Ministerio General de la Presidencia de la República, "Bases Generales del Medio Ambiente".

- Ley N°21.505/2022 del Ministerio de Energía, "Promueve el almacenamiento de energía eléctrica y la electromovilidad".
- Ley N°20.417/2010 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, "Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente".
- D.S. N°40/2013 del Ministerio del Medio Ambiente "Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental".
- D.F.L. N°725 Ministerio de Salud Pública "Código Sanitario".
- D.F.L. N°1, Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, Fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley 18.290 "Ley de Tránsito y Modificaciones".
- D.S. N°148/03 Ministerios de Salud "Reglamento Sanitario sobre el Manejo de Residuos Peligrosos".
- D.S. N°298/1994 Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones "Reglamento de transporte de carga peligrosa por calle y caminos".
- D.S. N°1/13 del Ministerio del Medio Ambiente "Reglamento de Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC)".
- D.S. N°189/05 del Ministerio de Salud "Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básica en los rellenos sanitarios".
- Ley N°20.920/2016 del Ministerio del Medio Ambiente, "Establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje".
- Ley N°16.744/1968 del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, "Establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales".

3.3. Funcionamiento del plan de gestión

El Plan de Gestión propuesto tiene como fin el tratamiento de los contaminantes emergentes relacionados a los medicamentos vencidos o parcialmente consumidos que son descartados por los usuarios finales. El plan busca gestionar adecuadamente la recolección, transporte y disposición final, sin aceptar medicamentos citotóxicos, citostáticos, psicotrópicos o estupefacientes. En cuanto a los objetivos más específicos del proyecto se busca evitar que existan potenciales riesgos para la salud y el medioambiente, lograr una disminución en el consumo indebido de medicamentos y generar una mayor conciencia en el ciudadano sobre los posibles efectos que conlleva el mal manejo de sus medicamentos. Esta propuesta también busca ofrecer un plan de gestión que pueda acoplarse a los cambios legislativo y necesidades que puedan surgir en Chile. El método de recolección implementado por este plan se puede transformar en una base para los importadores y productores de medicamentos a la hora de que la Ley N°20.920 haga efecto sobre estos productos. En la figura 8, se presenta el esquema general de como funcionaría el plan de gestión mediante un proceso de evaluación y mejora continua.

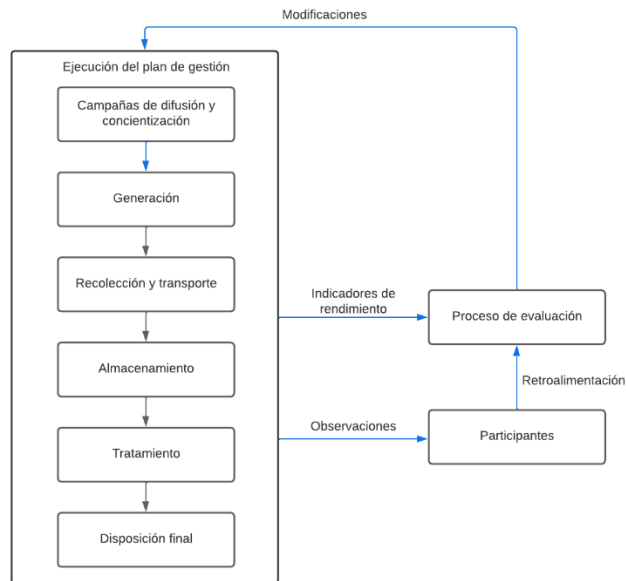


Figura 8. Esquema general del funcionamiento del plan de gestión de medicamentos desechados

(Elaboración propia)

La Municipalidad de Punta Arenas, mediante la Dirección de Medio Ambiente, Aseo y Ornato, será la encargada del funcionamiento del plan de gestión propuesto. Considerando que la financiación de este plan, que llevará el nombre de Gestión de Medicamentos en Desuso (GEMED) como se puede visualizar en la figura 9, será parte de los gastos municipales, se busca presentar una solución óptima desde perspectivas económicas, técnicas y legislativas.



Gestión de Medicamentos en Desuso

Figura 9. Logo del Plan de Gestión de Medicamentos en Desuso

(Elaboración propia)

3.4. Generación del residuo

Debido a que la información con respecto al consumo y la cantidad exacta de residuos generados en Punta Arenas es escasa e incluso inexistente, para la aplicación de este plan se estimará la cantidad de medicamentos en base a la población y predicción del Instituto Nacional de Estadísticas, datos de la “Encuesta Nacional de Salud” del año 2017, peso promedio de los medicamentos más comunes, predicciones en el uso mensual y tendencias de recolección en otras partes del mundo.

Para los residuos generados desde los hogares, se utilizará la población estimada por el Instituto Nacional de Estadísticas a partir del año 2026 hasta el año 2035 con la intención de generar un horizonte con el cual trabajar, a su vez, se utilizará una tasa de recolección base perteneciente a la cantidad de medicamentos por persona que la municipalidad de Vitacura recolectó en un año, esto se realiza con el propósito de generar datos que se asemejen a las posibles conductas de la población de Punta Arenas. En cuanto al peso promedio de la unidad “medicamento desechado” se tiene en cuenta que los envases (blisters, cajas e instructivos) pesan aproximadamente 28 [g] (Logística PRESS, 2023) y el medicamento como tal presenta cerca de 7 [g] en masa. Es importante mencionar que se tendrá en cuenta que la mayoría de los medicamentos desechados están presentados en pastillas o píldoras dentro de blísters o similares, por lo que el peso en general será asociado a estos medicamentos en lugar de otros formatos como frascos y aerosoles. Por último, para reflejar un aumento en la concientización de la población se incorporó un factor de incremento, el cual aumentará el valor de la tasa de recolección en 5% por cada año en funcionamiento. El detalle de las predicciones y los valores adaptados se encuentran detallados en el anexo A y en la tabla 11.

Tabla 11. Predicciones de la recolección de medicamentos desde 2026 a 2035

Datos	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
<i>Tasa de recolección base [g/habitantes-año]</i>	21,18	21,18	21,18	21,18	21,18	21,18	21,18	21,18	21,18	21,18
<i>Población [habitantes]</i>	147.192	147.892	148.576	149.224	149.839	150.428	150.984	151.509	152.011	152.488
<i>Factor de incremento [-]</i>	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45
<i>Medicamentos [kg/ año]</i>	3.117,68	3.289,13	3.461,70	3.634,83	3.808,50	3.982,78	4.157,40	4.332,31	4.507,65	4.683,29
<i>Medicamentos [kg/mes]</i>	259,81	274,09	288,47	302,90	317,37	331,90	346,45	361,03	375,64	390,27
<i>Peso promedio [kg/medicamento]</i>	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
<i>Medicamentos [medicamentos/año]</i>	89.076	93.975	98.905	103.852	108.814	113.793	118.782	123.780	128.790	133.808
<i>Medicamentos [medicamentos/mes]</i>	7.423	7.831	8.242	8.654	9.067	9.482	9.898	10.315	10.732	11.150

(Elaboración propia)

En la situación asociada a la eliminación de los medicamentos por los hospitales, el informe de la subsecretaría de redes asistenciales del 2021 enuncia que se eliminaron cerca de 60.213 medicamentos en mal estado o caducados durante el periodo comprendido entre enero 1 del 2017 y 31 de diciembre del año 2018, dando lugar a 30.106 medicamentos por año. A este valor se incorporó un factor correctivo de 1,3 para considerar los otros centros de salud más pequeños en Punta Arenas, esto con el motivo de trabajar no solamente con el Hospital Clínico de Magallanes Dr. Lautaro Navarro Avaría. Similar al caso anterior, se utilizará el peso promedio de 35 [g] por medicamento desechado, pero la predicción se realizará utilizando un factor entre los habitantes del año 2018 y la población en Punta Arenas de las predicciones del Instituto Nacional de Estadísticas hasta el año 2035, cuya ejemplificación, la cual puede ser considerada en el futuro si es que se incorpora el manejo de los residuos provenientes de establecimiento de salud, se puede visualizar en la tabla 12 y su cálculo se detalla en el anexo B.

Tabla 12. Predicciones de los medicamentos caducados generados mensualmente por los establecimientos de salud en Punta Arenas

Año	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
<i>Población [habitantes]</i>	147.192	147.892	148.576	149.224	149.839	150.428	150.984	151.509	152.011	152.488
<i>Medicamentos [medicamentos/mes]</i>	3.472	3.489	3.505	3.520	3.534	3.548	3.562	3.574	3.586	3.597
<i>Peso promedio [g/medicamento]</i>	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035	0,035
<i>Medicamentos [kg/mes]</i>	121	122	122	123	123	124	124	125	125	125

(Elaboración propia)

3.5. Recolección y transporte del residuo

Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los medicamentos son adquiridos en centros de salud de la red asistencial de Magallanes y las distintas farmacias distribuidas por la región, por este motivo se escogerán estos lugares como los potenciales puntos de recolección del plan de gestión de medicamentos caducados y en desuso. La posibilidad de entablar una conexión con estos establecimientos también ofrece otras ventajas como evitar consumos indebidos, la posible extracción de los medicamentos recolectados y la oportunidad de contar con un encargado apropiado, el cual será capacitado y se podrá contactar con los trabajadores del plan de gestión en caso de que existan problemas en la recolección de medicamentos.

En la ciudad de Punta Arenas, se identificaron 29 farmacias, de las cuales 27 son privadas y 2 Municipales, por otro lado, existe un total de 29 establecimientos de salud, 13 de ellos son nombrados en la red asistencial de Magallanes, separándose en 9 establecimientos de salud pública y 4 establecimientos privados. A continuación, la tabla 13 especifica todas las farmacias registradas en el Ministerio de Salud (Ministerio de Salud, 2023) y la tabla 14 identifica todos establecimientos relacionados a la salud, destacando los puntos de recolección establecidos para el plan de gestión, cuyo factor de selección fue la pertenencia a la red asistencial de salud.

Tabla 13. Farmacias ubicadas en Punta Arenas

N°	Nombre	Dirección	Tipo
1	Farmacia Magallanes	21 de Mayo 3190	Privada
2	Cruz Verde	Pedro Aguirre Cerca 0413	Privada
3	Farmacia Más Ayuda	Martinez de Aldunate 1449 B	Privada
4	Farmacia La Estrella	Av. Salvador Allende 0349	Privada
5	Farmacia del Recetario	Errazuriz N° 567	Privada
6	Cruz Verde	José Nogueira 1120	Privada
7	Farmacia Dr Simi	Plaza Benjamín Muñoz Gamero 1011	Privada
8	Salcobrand	Gobernador Carlos Bories 970-972	Privada
9	Farmacia Cruz Verde	Gobernador Carlos Bories 990 998	Privada
10	Farmacia Ahumada	Gobernador Carlos Bories 950 958	Privada
11	Fuente de Salud	José Menéndez 619-a	Privada
12	Farmacia Dr. Simi	Gobernador Carlos Bories 781	Privada
13	La Estrella	Ignacio Carrera Pinto 716	Privada
14	Cruz Verde	Gobernador Carlos Bories 701	Privada
15	Farmacia KNOP	Gobernador Carlos Bories 689	Privada
16	Farmacia Salcobrand	Gobernador Carlos Bories 683	Privada
17	Cruz Verde	Sarmiento 722	Privada
18	Liga Chilena Contra la Epilepsia	Av. Bulnes N° 315	Privada
19	Farmacia Ahumada	Avenida Eduardo Frei Montalva 01110 Local 2	Privada
20	Farmacia Cruz Verde	Avenida Eduardo Frei Montalva 01110	Privada
21	Farmacia Cruz Verde	Enrique Abello 8	Privada

22	Farmacia Ahumada	Avenida España 01377 A	Privada
23	Farmacia Cruz Verde	Avenida España 01358	Privada
24	Farmacia Salcobrand	Avenida España 01395	Privada
25	Farmacia Magallanes	Avenida Bulnes 3.5 Norte, Local 39-1 Zona Franca	Privada
26	Farmacia Cruz Verde	Avenida Bulnes 02235	Privada
27	Farmacia La Estrella	Avenida los Flamencos 01364	Privada
28	Farmacia Comunal Sur	Zenteno 2850	Municipal
29	Farmacia Comunal Norte	Suiza 01441	Municipal

(Ministerio de Salud, 2023)

Tabla 14. Establecimientos de Salud en Punta Arenas

N°	Nombre del Establecimiento	Dirección	Servicio Nacional de Servicios de Salud	Red Asistencial
1	Laboratorio Clínico de Agostini y Cia. Ltda.	Calle Perez de Arce 472	No	No
2	Centro Comunitario de Salud Familiar Dr. Juan Damianovic	Calle Linao 370	Si	Si
3	PRAIS (S.S. Magallanes)	Calle Lautaro Navarro 1228	No	No
4	Vacunatorio SEREMI de Salud Magallanes	Calle Balmaceda 756	Si	No
5	Hospital Clínico de Magallanes Dr. Lautaro Navarro Avaria	Calle Los Flamencos 1364	Si	Si
6	Hospital FFAA Cirujano Guzmán	Avenida Bulnes 256	No	Si
7	Clínica Magallanes	Avenida Bulnes 1448	No	Si
8	Centro de Atención Instituto de de Seguridad del Trabajador Punta Arenas	Avenida Bulnes 1643	No	No
9	Centro de Salud Mutual CChC Punta Arenas	Avenida España 1890	No	No
10	Centro Médico Medvital	Calle Armando Sanhueza 1057	No	No
11	Clínica de Recuperación Hogar de Cristo Juan Pablo II	Calle Balmaceda 736	No	No
12	Instituto Médico Sarmiento	Calle Sarmiento 607	No	No
13	Centro Médico y Dental Megasalud S.A. Punta Arenas	Calle Libetador Bernardo O'Higgins 850	No	No
14	Centro de Rehabilitación Club de Leones Cruz del Sur	Calle Suiza 1411	No	Si
15	Vacunatorio Centro Médico Colón	Avenida Colón 1144	No	No

16	Policlínico de las Fuerzas Armadas y de Orden	Calle José Menendez 611	No	No
17	Vacunatorio Alfamed	Avenida Bulnes 1641	No	No
18	Clínica Croacia	Calle Sarmiento 1053	No	Si
19	Central Odontológica de Magallanes 3ra Zona Naval	Avenida Bulnes 256	No	No
20	Laboratorio Clínico Corporación Municipal Punta Arenas	Calle España 1890	Si	No
21	Centro de Salud Familiar Dr. Mateo Bencur	Calle Capitán Guillermo 781	Si	Si
22	Centro de Salud Familiar Dr. Juan Damianovic	Calle Zenteno 1102	Si	Si
23	Centro de Salud Familiar 18 septiembre	Calle Mateo de Toro y Zambrano 1893	Si	Si
24	Centro de Salud Familiar Dr. Thomas Fenton	Calle Prolongación Velastegui 762	Si	Si
25	Centro de Salud Familiar Carlos Ibáñez	Avenida Eduardo Frei N° 1102	Si	Si
26	COSAM Punta Arenas	Calle Junta de Gobierno 225	Si	No
27	Centro Comunitario de Salud Familiar Dr. Mateo Bencur	Calle Juan Ruiz García 1814	Si	Si
28	Centro Médico Fermín Roca	Calle Luis Navarro 716	No	No
29	Centro de Salud Familiar Río Seco	Charles Darwin 013271 Río Seco	Si	Si

(Ministerio de Salud, 2023)

Debido a la gran cantidad de puntos de recolección y la posible diferencia en sus tasas de acumulación, el plan de gestión contempla la realización de 1 programa de recolección base con la posibilidad del retiro extraordinario en caso de que las farmacias o establecimientos asistenciales de salud se encuentren superando su capacidad de almacenamiento. Por otro lado, la frecuencia de recolección se define en base a la generación mensual de 259,81 [kg/mes] durante el primero año, por lo que se realizarán jornadas de recolección cada 2 semanas con el propósito de evitar la acumulación en los contenedores.

Cada punto de recolección contará con un contenedor, este tendrá unas dimensiones de 25 [cm] de largo, 35 [cm] de ancho y 50 [cm] (35 [cm] útiles) de alto, conformando un volumen útil de 30 [L]. Dentro de los contenedores se almacenarán los medicamentos en una bolsa de polietileno de alta densidad (HDPE), es decir, la recolección y transporte de los medicamentos se realizará con las bolsas de polietileno de alta densidad mientras que los contenedores de acero inoxidable siempre estarán dentro del establecimiento, gracias a esto el encargado de la recolección pesará la bolsa con los

residuos, colocará una nueva bolsa en el contenedor y transportará los medicamentos desechados al lugar de tratamiento. Estos contenedores deben contar con señalética que dé a conocer su función y evitar el retiro no autorizado de los medicamentos, para ello se propone la siguiente configuración, la cual cuenta con una entrada especial, una sección de retiro asegurado con candado y una sección informativa, el prototipo de dicha configuración se encuentra en la figura 10.

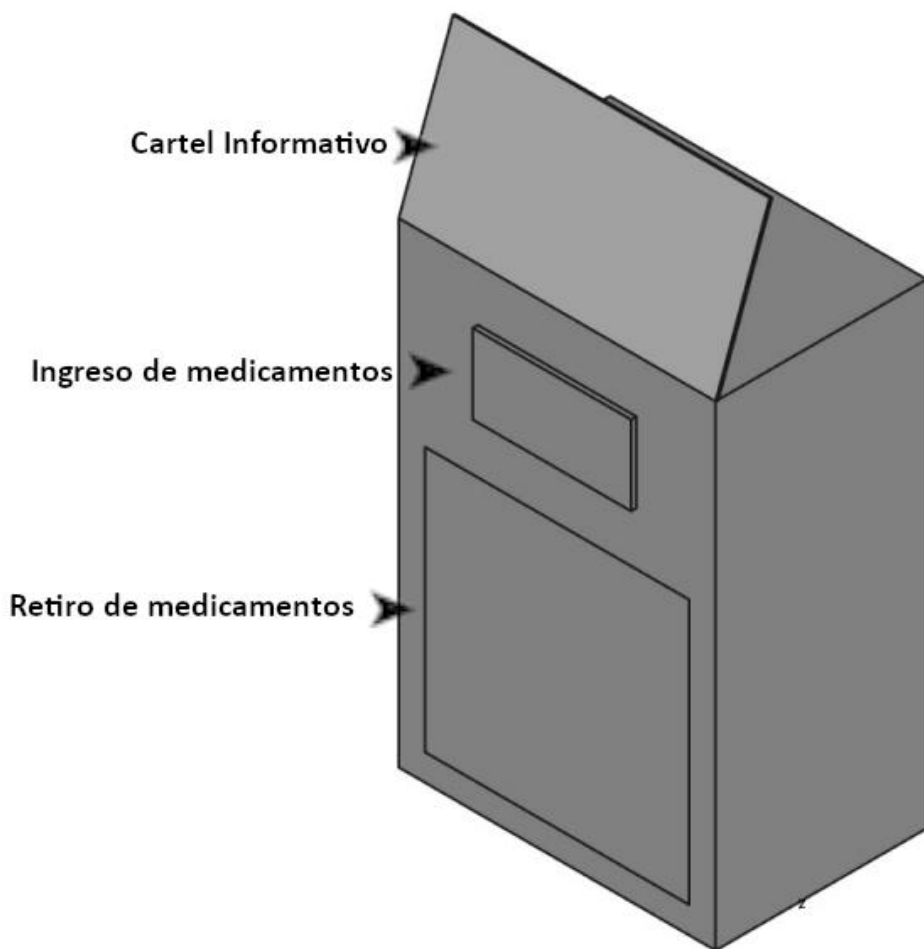


Figura 10. Prototipo de los contenedores pertenecientes al plan de gestión

(Elaboración propia)

Debido a que se desconoce cuántas farmacias estarían de acuerdo con unirse al plan de recolección y producto de que se necesitaría un gran número de contenedores para cubrir todos los establecimientos, la ruta establecida selecciona los puntos de recolección bajo ciertos criterios. Estos criterios son el aceptar la participación de todas las farmacias en al menos una de sus sucursales, considerar como punto de recolección a los principales establecimientos para el cuidado de la salud y evitar que los puntos de recolección estén separados por una distancia menor a 10 [m]. La ruta

óptima de recolección es determinada mediante la utilización del software “Qgis”, el complemento de “ORS Tools” y su función para establecer una solución óptima al “Travelling Salesman Problem” de los puntos de recolección ya mencionados. En cuanto al horario y la planificación general de recolección, se define un retiro cada dos semanas en los martes a las 10 am, el cual comenzará a ser realizado inmediatamente después de la implementación y construcción del establecimiento que tratará los residuos. Por último, debido a que el programa será implementado por la Municipalidad, el punto de almacenamiento y tratamiento de los residuos se ubicará en las dependencias del actual vertedero Municipal de Punta Arenas, el cual está en proceso de cambio para instalar un relleno sanitario que pertenecerá al “Centro de gestión de residuos sólidos de Magallanes”, proyecto que actualmente está ingresado en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (INGAM, 2022). La ruta de recolección mencionada anteriormente se detalla en la figura 11.



Figura 11. Ruta de recolección de medicamentos desechados

(Elaboración propia)

3.5.1. Detalles de la recolección, retiro y transporte del residuo

La recolección y el transporte de los medicamentos en estado de caducidad o en desuso será realizada por un encargado que contará con la capacitación correspondiente, a su vez, este trabajador será provisto con todos los elementos de protección personal necesaria para su labor. A continuación, se presentan los elementos de protección personal utilizados durante el transporte y retiro de los medicamentos desechados.

- Guantes (nitrilo)
- Calzado cerrado
- Mascarilla
- Indumentaria de manga larga u overol del plan de recolección

Por otro lado, se implementarán capacitaciones para los trabajadores que retiren y transporten los medicamentos, cuyo contenido es el siguiente:

- Conceptos básicos (residuos farmacéuticos, domiciliarios, especiales, hospitalarios, entre otros).
- Medidas de seguridad y elementos de protección personal.
- Manejo responsable de los residuos recolectados.
- Principal ruta de retiro.
- Plan de contingencia y medidas de prevención (manejo de extintores).
- Instructivo de operación.
- En el caso de retirar residuos generados por los establecimientos de salud, se informará sobre Decreto N°6/2009 “Reglamento sobre Manejo de Residuos de Establecimientos de Atención de Salud (REAS)”, el Manual “Manejo de Residuos de Establecimientos de Atención de Salud”, D.S. N°298/1994 Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones “Reglamento de transporte de carga peligrosa por calle y caminos” y el D.S. N°148/2003 “Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos”.

Los encargados de las farmacias que acepten su vinculación con el plan de recolección contarán con un folleto que indicará las preguntas y respuestas comunes relacionadas a los medicamentos desechados, además recibirán ciertas instrucciones sobre el manejo de estos residuos. Las instrucciones generales que se le entregarán al trabajador son:

- Conocer la información general del plan de recolección.
- Mantener vigilado el contenedor.
- Utilizar el manual de preguntas y respuestas en caso de consultas específicas.
- Prohibición de inspeccionar el contenido de las bolsas de recolección.
- Prohibición de incluir residuos farmacéuticos generados por la farmacia dentro de los contenedores.
- Revisar periódicamente que el contenedor no se encuentre lleno o sobrecargado.
- Informar al encargado del plan de recolección en caso de que el contenedor se llene antes del retiro.

- Conocer los residuos que no son recibidos por el programa (Aerosoles, termómetros, baterías, químicos peligrosos del hogar, medicamentos citotóxicos y citostáticos, psicotrópicos y estupefacientes) y evitar su disposición.

Teniendo en cuenta que en la legislación, en el artículo 25 del D.S. N°148/03, se exige un plan de manejo para el generador de 12 kilogramos de residuos con toxicidad aguda o más de 12 toneladas de residuos que presenten características de toxicidad crónica y, que en el artículo 40 del mismo reglamento se especifica que el transporte de más de 6 kilogramos de residuos tóxicos agudos o 2 toneladas de residuos tóxicos crónicos (realizado por el generador) debe cumplir con ciertas exigencias, el presente plan de gestión no está en la obligación de efectuar un plan de manejo. Aun así, el establecimiento contará con sus condiciones de manejo para evitar daños, las cuales estarán vinculadas a lo exigido por el “Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básica en los rellenos sanitarios” del D.S. N°189 del Ministerio de Salud, “Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en lugares de trabajo” del decreto 594 y el Código Sanitario del D.F.L N°725 con respecto al transporte, manejo y disposición de residuos. Por parte del vehículo, se incluirán medidas y elementos generales y de seguridad como:

- Extintor ABC
- Gata
- 2 conos
- Caja de herramientas
- Botiquín de primeros auxilios
- Contenedores de 200 [L] para el almacenamiento de las bolsas de medicamentos
- Permiso de circulación
- Certificado de Revisión Técnica
- Copia de la Resolución de salud del vehículo que autoriza el traslado de residuos
- Hoja de Seguridad
- Plan de Contingencia
- Neumáticos con clavos
- Credencial del plan de gestión de medicamentos
- Cintas reflectantes
- Balanza digital

En cuanto al vehículo a utilizar, se escoge la utilización de un eléctrico de Citroën Ë-Berlingo figura 12, el cual contará con su permiso de circulación y la autorización de condiciones sanitarias por el Ministerio de Salud para el transporte de residuos.



Figura 12. Citroën Ë-Berlingo

3.5.2. Modo de operación para la recolección y transporte de medicamentos desechados

El encargado de recolectar los medicamentos deberá seguir las siguientes instrucciones cada vez que recolecte y transporte medicamentos desechados.

Al inicio de cada jornada:

- Revisar el estado del vehículo, verificando las condiciones de los neumáticos, las luces, el nivel de carga, documentos del vehículo, elementos de seguridad y contingencia, entre otros.
- Revisar la ruta asignada, las posibles excepciones, bolsas de recambio, contenedores de residuos y el registro de retiro.
- Informar de la salida al encargado del plan e iniciar proceso de recolección.

Al momento de realizar retiros:

- Estacionar vehículo en área segura y señalada por el establecimiento.
- Verificar el uso de todos los elementos de protección personal entregados.
- Informar de su llegada al encargado de farmacia.
- Verificar que no se encuentren medicamentos mal depositados o fuera del contenedor.
- Con el uso de elementos de seguridad apropiados, abrir el contenedor con la llave correspondiente, retirar la bolsa con medicamentos desechados y colocar una nueva bolsa.
- Utilizar balanza con la bolsa con medicamentos desechados, registrar el peso en el formulario y completar la información del punto de recolección en el formulario visualizado en la tabla 15.
- Depositar la bolsa de residuos dentro del vehículo en un espacio seguro, mantener el orden al interior de la zona de carga y depositar los residuos dentro de los contenedores.
- Solicitar la firma del encargado de farmacia y entregarle una copia del registro de retiro.
- Continuar con la ruta y repetir el proceso hasta finalizar con los puntos de recolección.

Al finalizar ruta de recolección

- Ingresar al sector de almacenamiento y disposición final del plan de recolección.
- Pesar las bolsas recolectadas e ingresar su peso en el registro de retiro.
- Depositar las bolsas en el sector de almacenamiento.
- Entregar el registro de retiro al encargado de transporte y almacenar dicha información mediante fotografías en la base de datos del plan de recolección.

Consideraciones generales

- En caso de algún inconveniente o accidente en el transcurso de la ruta, el trabajador de transporte debe avisar al encargado del plan de gestión y al personal del centro de gestión de residuos sólidos.
- Se debe conducir respetando las normativas de tránsito.
- Está prohibido fumar al interior del vehículo y durante las operaciones de carga, descarga y movimiento de residuos.
- Está prohibido trasladar a personas externas al programa de recolección.

- Contar con la documentación del vehículo al día como el Permiso de Circulación, Certificado de Revisión Técnica, copia de la resolución de salud del vehículo que lo autoriza para el traslado de residuos, hojas de seguridad y Plan de Contingencias.
- Durante todo el proceso de retiro, traslado, carga y descarga de residuos, el personal está obligado a utilizar la indumentaria adecuada y los elementos de protección personal entregados.
- Las cargas pesadas, es decir cargas mayores a 25 [kg], deben ser transportadas y manejadas con los equipos y las ayudas mecánicas correspondientes (Ministerio del Trabajo y Previsión Social, 2017).
- La información recopilada debe ser almacenada en la nube, para posteriormente confeccionar un informe que analice la situación del plan de recolección.

Tabla 15. Guía de retiro de medicamentos recolectados

<i>Nombre del establecimiento</i>	
<i>Dirección</i>	
<i>Cantidad de bolsas retiradas [N° de bolsas]</i>	
<i>Peso de las bolsas retiradas [g]</i>	
<i>Nombre del encargado de farmacia</i>	
<i>Rut del encargado de farmacia</i>	
<i>Nombre del encargado de retiro</i>	
<i>Rut del encargado de retiro</i>	
<i>Cantidad de bolsas depositadas [N° de bolsas]</i>	
<i>Peso de bolsas depositadas [g]</i>	

(Elaboración propia)

3.6. Almacenamiento y tratamiento del residuo

Tal como se presenta en la sección de “Antecedentes”, existen diversos métodos para tratar con los medicamentos desechados desde los domicilios, en los cuales predomina el uso de incineración a altas temperaturas. La situación en Punta Arenas es algo particular debido a que en la Región de Magallanes y la Antártica Chilena no existen instalaciones que se dediquen a la eliminación de residuos peligroso, a la incineración y tampoco valorización energética. Por este motivo, el presente plan de gestión busca entregar una solución que pueda disponer de una manera segura los medicamentos recolectados y a la vez ofrecer una solución viable económicamente.

La implementación de una posible planta de incineración de alta temperatura para medicamentos de origen domiciliarios en Punta Arenas no es económicamente viable debido a que se estarían manejando cargas de residuos muy bajas (aproximadamente 250 [kg/mes] en los primeros años),

para compensar los gastos asociados de implementación y operación de una incineradora con todos los sistemas de seguridad aprobados. Esta opción puede ser más factible si la incineradora se hace cargo de todos los residuos peligrosos generados por los establecimientos de salud, pero dicho escenario se escapa de lo planteado por el presente trabajo, el cual posee un enfoque en los medicamentos domiciliarios.

Otra opción para implementar son las medidas que realizan actualmente los establecimientos de salud, que consisten en entregar los residuos a terceros autorizados para que estos se encarguen del transporte y la disposición final de los medicamentos. Para la situación planteada en Punta Arenas, el plan de gestión tiene que transportar los residuos hasta la Región Metropolitana para proceder con la eliminación, por lo que este tipo de solución no requiere solo el transporte por largas distancias, sino que también será dependiente de la disponibilidad de un servicio externo.

Otro método ampliamente recomendado en la guía de la Organización Mundial de Salud es la inmovilización y encapsulación de los residuos. Este método de disposición es de los más económicos debido a los bajos gastos en inversión y operación, como a la vez que permite trabajar con bajos volúmenes de residuo de una forma rápida y efectiva. Algunos aspectos característicos de este método es que los residuos encapsulados disminuyen su movilidad y son inertizados, pero presentan un aumentan su volumen total.

En cuanto a las áreas a utilizar, el presente plan de gestión considera la implementación del proyecto “Construcción centro de gestión de residuos sólidos, Magallanes” que actualmente se encuentra en evaluación. El proyecto en tramitación plantea la creación de un relleno sanitario vinculado al centro de gestión de residuos sólidos a un costado del actual vertedero municipal, en el cual se destinan distintas áreas de trabajo como se puede apreciar en las figuras 13 y 14. Adicional a lo anterior, en la descripción del proyecto se menciona una zona que estará destinada a futuras ampliaciones, una celda para residuos industriales voluminosos y a la construcción de un sistema de disposición de residuos hospitalarios y compostaje. En consecuencia, se estima que la implementación de un proceso de encapsulación de medicamentos desechados como medida transitoria a la instalación del sistema de tratamiento de residuos hospitalarios es favorable al permitir la habilitación de las zonas de trabajo.

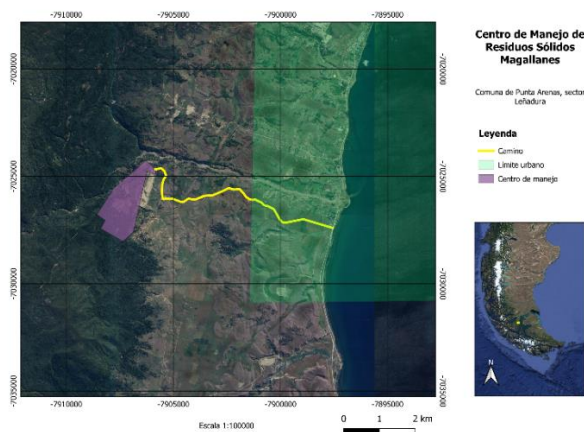


Figura 13. Ubicación del centro de gestión de residuos sólidos de Magallanes

(Elaboración propia a partir del proyecto “Construcción centro de gestión de residuos sólidos, Magallanes”)

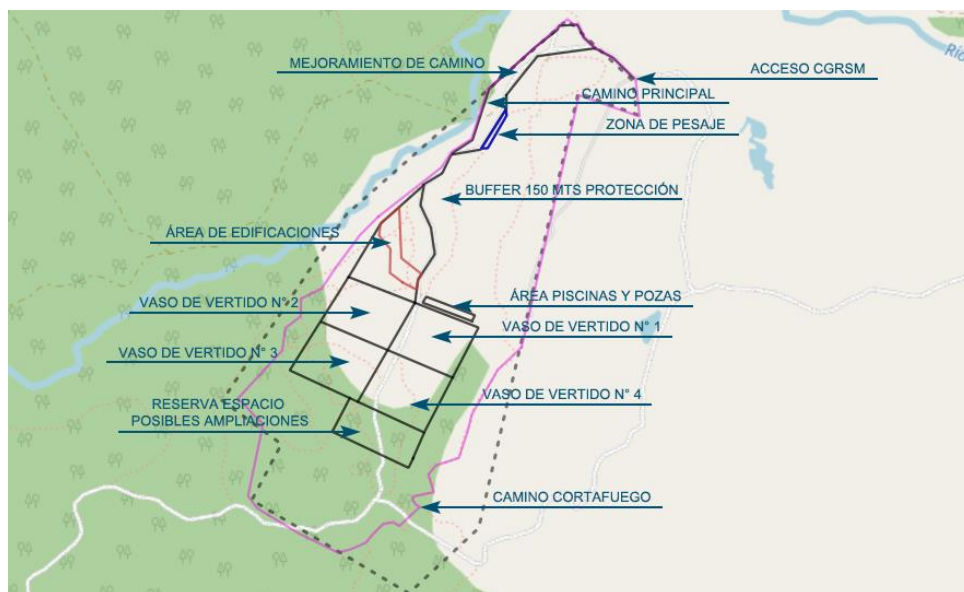


Figura 14. Áreas dentro del centro de gestión de residuos sólidos de Magallanes

(Elaboración propia a partir del proyecto "Construcción centro de gestión de residuos sólidos, Magallanes")

Si bien la construcción del espacio de almacenamiento, encapsulación y disposición final de medicamentos conllevan cambios en las instalaciones del proyecto evaluado actualmente, estas deben ser revisadas por la autoridad, en primera instancia por modificar un proyecto de tipología o.) "Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos". En caso de que las modificaciones sean aprobadas, se procederá a la construcción de la edificación que almacenará y tratará los medicamentos desechados en el área de edificaciones. El detalle del galpón se presenta en el anexo C y dicha edificación tendrá las siguientes características:

- Área superficial de 120 [m²].
- Área designada para la encapsulación de los residuos.
- Área de almacenamiento de materiales e insumos.
- Área de almacenamiento de equipos de trabajo, seguridad y limpieza.
- Estructura del galpón creada a partir de hormigón armado.
- Piso de hormigón.
- Suministro eléctrico y sistema de iluminación.
- Suministro de agua y sistema de drenaje.
- Ventilación.

3.7. Encapsulación y disposición final del residuo

La técnica de encapsulación o solidificación es el proceso en el cual se disminuye la movilidad de los componentes depositados a partir de la mezcla del residuo con un material inerte. Este proceso no cambia la naturaleza del residuo, pero impide el contacto con el medioambiente. En cuanto a la preparación de la mezcla, las guías relacionadas al manejo de residuos farmacéuticos (Organización Mundial de la Salud, 1999) recomiendan preparar la encapsulación dentro de tambores de acero o plástico con una mezcla inerte conformada por cemento portland, cal y agua, en una proporción en peso de 15:15:5, además llenar el 75% del volumen del tambor con los residuos recolectados. El esquema que presenta la composición de la mezcla inerte se puede visualizar en la figura 15, pero se debe tener en cuenta que las proporciones especificadas pueden variar dependiendo de la mezcla y los materiales utilizados, por lo que se recomienda tener la posibilidad de inyectar agua en exceso en el caso de que la mezcla no presente una consistencia líquida, además de incorporar un aditivo impermeabilizante.

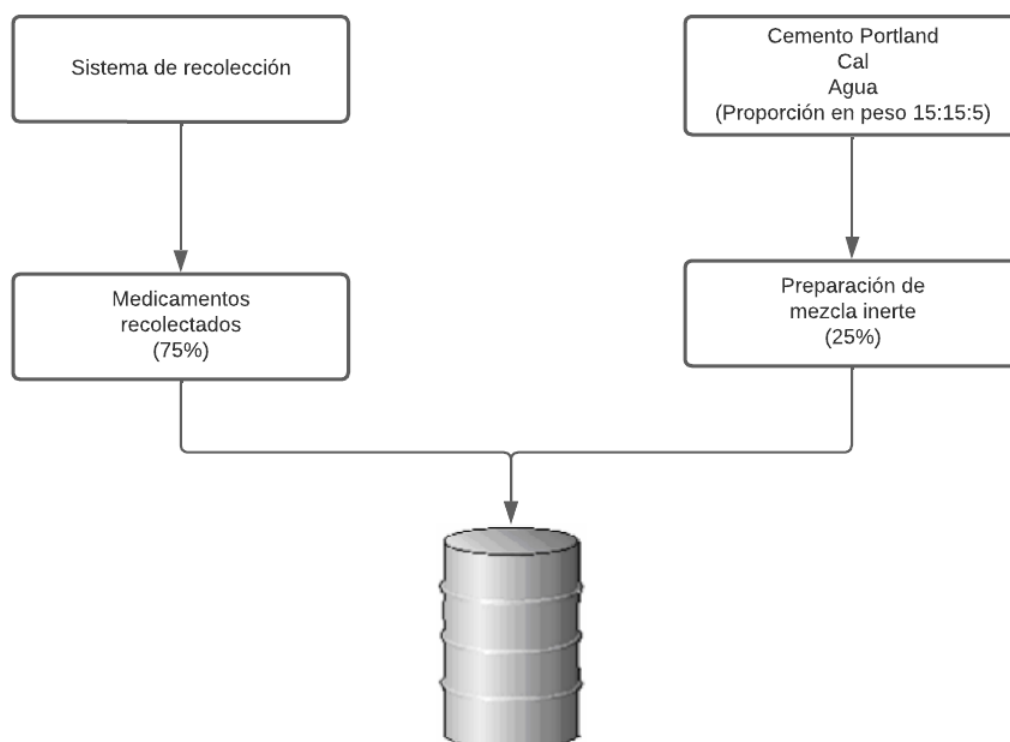


Figura 15. Esquema general de encapsulación de medicamentos desechados

(Elaboración propia a partir de (Organización Mundial de la Salud, 1999))

En el plan de gestión de medicamentos propuesto se utilizarán las proporciones recomendadas, además de llenar el tambor hasta el 75% de su volumen con medicamentos recolectados, para luego completar los espacios creados entre los residuos y rellenar el 25% del volumen restante con la

mezcla inerte. Para realizar la encapsulación y transportar los contenedores se necesitarán los siguientes materiales, suministros y equipos:

- Trompo de volteo 130 [L].
- Suministro de energía eléctrica.
- Suministro de agua.
- Tambores de acero, plástico o reciclados 200 [L].
- Baldes concreteros de 20 [L].
- Sacos de cemento Portland 25 [kg].
- Sacos de cal hidratada de 25[kg].
- Transpaleta manual.
- Tineta de impermeabilizante Sika de 18 [L].
- Pallet de madera.

Los requerimientos para el tratamiento de los medicamentos dependen en gran medida de los resultados de la recolección. Por esta razón, se presentan estimaciones de los posibles insumos necesarios para la encapsulación de los medicamentos a partir de las predicciones de recolección y se calcula el volumen de mezcla según lo presentado en el anexo D. El proceso de encapsulación deberá completar 50 [L] de mezcla, para lo que se preparan dos mezclas de 25 [L] que serán ingresadas independientemente y estarán controladas por el uso de agua. Los requisitos de cada preparación están expuestos en la tabla 16 y en la tabla 17 se presentan las predicciones, cuyo detalle se encuentra en el anexo E. Es importante destacar que en todas las estimaciones para el volumen de mezcla se utiliza la densidad aparente del cemento Portland (Poudel, 2022) y de la cal hidratada (Minnesota Pollution Control Agency, 2022), además del impermeabilizante Sika.

Tabla 16. Estimación de insumos necesarios para la encapsulación de un tambor

<i>Volumen aproximado de mezcla de cemento [L]</i>	50,000	25,000
<i>Densidad de cemento portland [kg/L]</i>	1,440	1,440
<i>Cantidad de cemento portland [kg]</i>	22,000	11,000
<i>Densidad de cal [kg/L]</i>	0,800	0,800
<i>Cantidad de cal [kg]</i>	22,000	11,000
<i>Densidad del agua [kg/L]</i>	0,997	0,997
<i>Cantidad de agua [kg]</i>	7,333	3,667
<i>Densidad de inmovilizador [kg/L]</i>	1,010	1,010
<i>Cantidad de inmovilizador [kg]</i>	0,733	0,367
<i>Volumen de la mezcla [L]</i>	50,859	25,430

(Elaboración propia)

Tabla 17. Predicciones de la cantidad de tambores necesarios para la encapsulación de medicamentos recolectados

Año	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
<i>Medicamentos recolectados [medicamentos/mes]</i>	7.423	7.831	8.242	8.654	9.067	9.482	9.898	10.315	10.732	11.150
<i>Medicamentos recolectados [medicamentos/jornada]</i>	3.711	3.915	4.121	4.327	4.533	4.741	4.949	5.157	5.366	5.575
<i>Volumen promedio del residuo [L]</i>	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
<i>Volumen total por recolección [L]</i>	259,81	274,09	288,47	302,90	317,37	331,90	346,45	361,03	375,64	390,27
<i>Volumen disponible por tambor [L]</i>	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<i>Cantidad de tambores [tambores/jornada]</i>	1,73	1,83	1,92	2,02	2,12	2,21	2,31	2,41	2,50	2,60
<i>Cantidad de tambores [tambores/mes]</i>	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6

(Elaboración propia)

La implementación de este proceso de encapsulación ocurrirá dentro de las dependencias del futuro centro de gestión de residuos sólidos, específicamente en la zona K. Dicho tratamiento será realizado por un trabajador que estará encargado de la recolección y transporte de los medicamentos desechados. Por este motivo, el encargado deberá cumplir con requisitos acordes a sus labores. A continuación, se presentan los elementos de protección personal necesarios durante la encapsulación y disposición final de los medicamentos desechados.

- Guantes de seguridad.
- Calzado de seguridad.
- Mascarilla.
- Overol del plan de recolección.
- Gafas protectoras.

Adicionalmente, se implementarán las siguientes capacitaciones:

- Conceptos básicos (residuos farmacéuticos, domiciliarios, especiales, hospitalarios, entre otros).
- Medidas de seguridad y elementos de protección personal.
- Manejo responsable de los residuos e insumos utilizados.
- Código Sanitario y Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básica en los rellenos sanitarios.
- Plan de Contingencia y medidas de prevención (En caso de derrame, incendio u otro accidente).
- Instructivo de operación.
- En el caso de retirar residuos generados por los establecimientos de salud, se informará sobre Decreto N°6/2009 “Reglamento sobre Manejo de Residuos de Establecimientos de Atención de Salud (REAS)”, el Manual “Manejo de Residuos de Establecimientos de Atención de Salud”, D.S. N°298/1994 Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones “Reglamento de transporte de carga peligrosa por calle y caminos” y el D.S. N°148/2003 “Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos”.

3.7.1 Modo de operación del trabajador encargado de la encapsulación y depósito de los medicamentos recolectados

El trabajador encargado del tratamiento de los medicamentos recolectados deberá seguir las siguientes instrucciones cada vez que desempeñe sus labores.

Al inicio del tratamiento:

- Utilizar todos los elementos de protección personal entregados.
- Verificar el suministro de electricidad y agua.
- Depositar las bolsas recolectadas en el sector de almacenamiento, pesar cada bolsa y completar la guía de retiro, verificando que el peso medido sea igual al medido en farmacia.

- Revisar la disponibilidad de materiales como cemento Portland, cal, tambores de encapsulación e impermeabilizantes que son requeridos para efectuar el tratamiento.
- Revisar el estado de los equipos utilizados como el transpaleta y el trompo de volteo.

Al momento de encapsular los medicamentos se debe:

- Verificar nuevamente el uso de todos los elementos de protección personal, destacando el uso de los zapatos de seguridad por posibles caídas de los materiales o del tambor.
- Preparar la mezcla de encapsulación en 2 etapas. Cada etapa debe ingresar 13,5 [kg] de cemento, 13,5 [kg] de cal, 3,7 [L] de agua y 0,37 [L] de impermeabilizante dentro del trompo de volteo y dejar que se mezclen controlando el uso de líquido.
- Al terminar la primera etapa del cemento, se debe colocar el tambor de encapsulación encima del pallet de madera y depositar la mezcla de cemento. Posteriormente, se debe rellenar el contenedor con los medicamentos sin las bolsas de recolección hasta alcanzar el 87,5% del volumen total (175 [L]).
- Preparar la segunda mezcla de cemento y rellenar el espacio faltante del tambor.
- Una vez depositada la mezcla, se debe dejar que el contenido agregado complete los espacios y se solidifique durante 3 días.
- Depositar las bolsas utilizadas en la recolección de medicamentos dentro un contenedor específico, el que posteriormente será manejado por el centro de gestión y en caso de que las bolsas presenten manchas o residuos permanentes, eliminar junto a los medicamentos.
- Continuar con el siguiente tambor y repetir el proceso hasta finalizar con los medicamentos recolectados.
- Verificar si los materiales restantes son suficiente para completar la cantidad de medicamentos previstos para la siguiente recolección.
- Transcurridos los 3 días, el cemento ya se ha solidificado, por lo que se sellan los recipientes y se procede a preparar la disposición final de los tambores.

Al depositar los tambores de encapsulación:

- Verificar el uso de todos los elementos de protección personal.
- Verificar que el tambor esté adecuadamente sellado.
- Movilizar el tambor mediante el uso del transpaleta manual y el pallet de madera.
- Al momento de llegar al relleno sanitario autorizado, depositar el tambor con la ayuda del carro de traslado y las grúas del relleno, para posteriormente asociarse con los otros residuos y ser cubiertos con los materiales designados por el centro de gestión de residuos sólidos.

Consideraciones generales:

- En caso de algún inconveniente o accidente, el personal debe avisar a su jefatura y proceder según el plan de contingencia.
- Está prohibido fumar al interior del recinto.
- Es obligatorio el uso de indumentaria adecuada y los elementos de protección personal entregados.

- Las cargas pesadas, es decir cargas mayores a 25 [kg], deben ser transportadas y manejadas con los equipos y las ayudas mecánicas correspondientes (Ministerio del Trabajo y Previsión Social, 2017).
- La cantidad de tambores depositados deben ser registrados y almacenado en la nube, para posteriormente confeccionar un informe trimestral que analice la situación del plan de recolección.
- En caso de reconocer que los materiales son insuficientes para la siguiente jornada de encapsulación, se debe informar a la jefatura para la reposición de materiales.
- En caso de que los medicamentos restantes no alcancen a rellenar el 50% de la capacidad de los tambores de acero, se recomienda almacenar estos residuos dentro de tambores hasta la siguiente jornada de encapsulación e incorporarlos junto a los medicamentos del siguiente proceso de recolección. Durante el periodo de almacenamiento, los tambores deben ser transportador al sector de almacenamiento.

3.8. Campañas de concientización

Una parte fundamental en el éxito del plan de gestión reside en que la población tenga conciencia de los riesgos que conlleva la disposición inadecuada medicamentos. El nivel de mejora en la salud pública y el medioambiente que pueda entregar el plan de gestión dependerá principalmente de la efectividad en informar a la ciudadanía. Por este motivo, el presente plan de gestión incorporará distintas campañas de concientización que buscan informar a los ciudadanos sobre los potenciales peligros de desechar los medicamentos junto a los residuos domiciliarios o depositarlos directamente en el desagüe, destacando la necesidad de adoptar prácticas responsables en el consumo y disposición de los medicamentos. A través de la implementación del plan de gestión, también se busca fomentar la participación de cada ciudadano en la correcta disposición de los residuos y promover una cultura que se preocupe por el medioambiente.

Las campañas de concientización se dividirán en 2 grupos, el primero buscará informar a las personas en el uso del plan de recolección de medicamentos, mientras que el segundo se encargará de entregar información relacionada a los efectos negativos en el medioambiente y las personas, presentando imágenes y datos corroborados sobre casos que han sucedido en el mundo. Si bien el contenido principal de cada campaña es diferente, ambos tienen el objetivo concientizar a la ciudadanía por lo que cada campaña deberá incorporar, de forma complementaria, información relacionada a la otra. A continuación, se presentan algunos de los principales temas que deben ser abordados por las campañas:

- Ubicación de los puntos de recolección e información de contacto del plan de gestión de medicamentos.
- Funcionamiento del plan de gestión de medicamentos y cuales residuos son aceptados.
- Organismos participantes y cuidados personal en relación con los medicamentos.
- Consejos para la confección y revisión periódica del botiquín.
- Casos de efectos negativos en el medioambiente y la salud de la población.
- Buenas prácticas y casos evidenciados en otros países.

- La importancia en el manejo de los medicamentos.
- Proceso paso a paso de la disposición de medicamentos.

En cuanto a la difusión de la información, existen diversos medios y formas de comunicar el contenido de las campañas, por lo que se escogerán los métodos en función de su posible efectividad y costo. Para poder evaluar la posible efectividad de un método, se determinará el grupo objetivo a tratar mediante los datos presentados en la figura 16, los que pertenecen a la Encuesta Nacional de Salud 2016 – 2017.

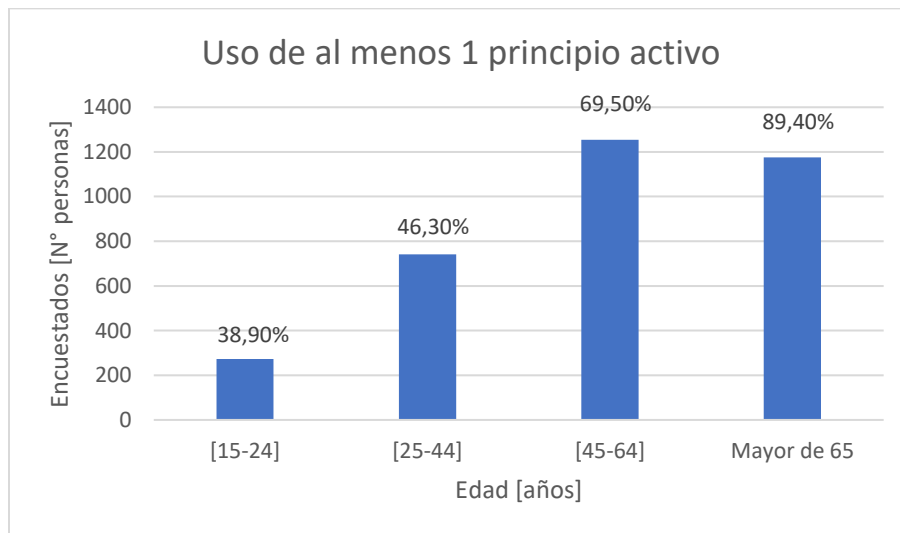


Figura 16. Rango de edades de los consumidores de al menos 1 principio activo

(Elaboración propia a partir de (Ministerios de Salud, 2017))

A partir de lo anterior, se determina que el principal grupo consumidor de medicamentos son las personas entre 45 y 65 años, seguido del rango pertenecientes a las personas mayores de 65 años, mostrando, como era de esperarse, un aumento en el consumo para las personas adultas. Además, se evidencia que la prevalencia en el uso de medicamentos aumenta con la edad, alcanzando un valor de 89,4% para los encuestados que tienen más de 65 años. Esto no quiere decir que todas las campañas se enfocarán en las personas mayores, pero sí que serán ampliamente consideradas para la difusión de la información.

Por último, para generar una imagen característica en la población es necesario estandarizar el diseño, por esta razón los métodos de difusión que contengan aspectos visuales deben considerar los siguientes puntos:

- Unificación del diseño en la publicidad del programa (color característico, logo, fuente y estilo artístico).
- Composición y detalles que capten la atención de la comunidad.

Específicamente en el plan de gestión de medicamentos se utilizará el logo de la figura 17 junto a una combinación de los colores blanco y azul para el diseño de las campañas de concientización.



Gestión de Medicamentos en Desuso

Figura 17. Logo del plan de gestión de medicamentos desechados

(Elaboración propia)

3.8.1. Métodos de difusión

El primer método de difusión empleado serán los afiches, idealmente con unas dimensiones de A0 (841 x 1189 mm) y otros con dimensiones A3 (297 x 420 mm), los cuales serán instalados en los principales puntos de adquisición de medicamentos, es decir, las farmacias y los establecimientos de salud afiliados con el programa. La razón para escoger este método es su efectividad para llamar la atención de la gente que acuda a los puntos de adquisición y recolección de medicamentos, no requiere mantención y su costo solo está asociado al diseño, la impresión y disposición de los carteles.

Otra vía de difusión será el uso de las radios locales y los canales de televisión regionales. Principalmente en estos medios se dará a conocer, durante el mes previo al inicio de las actividades, como es el plan de recolección, que residuos se aceptarán y cuáles son los puntos de recolección. Adicionalmente el encargado del plan de gestión deberá coordinar reuniones con los participantes del plan y presentar charlas informativas en actividades de la Municipalidad.

Por último, también se buscará llegar a los otros grupos etarios mediante la utilización de redes sociales. Considerando que un plan debe adoptar medidas que se puedan mantener a lo largo del tiempo, la utilización de los medios audiovisuales en internet es uno de los más métodos más efectivos por su bajo costo y la facilidad de difundir información. En este medio se informará sobre los logros y datos vinculados al plan de recolección, como también se presentarán otras noticias relacionadas al tema de los medicamentos domiciliarios. El detalle de cada método de difusión esta presentado en la tabla 18.

Tabla 18. Contenido de las campañas de difusión anual

Método de difusión	Contenido	Periodo y frecuencia
<i>Afiches</i>	Se crearán 50 afiches en formato A0 que serán ubicados en los puntos de recolección y sitios vinculados al proyecto, sumado a 50 afiches en formato A3 que también serán presentados en estas locaciones. El contenido de los primeros 50 afiches grandes será informar la implementación del plan, contener un mapa con los puntos de recolección, ejemplificar los residuos recibidos y nombrar las consecuencias del mal manejo de los medicamentos. Mientras tanto los afiches pequeños contendrán recomendaciones para la revisión periódica de los botiquines y evitar que los ciudadanos dispongan los residuos en el alcantarillado o junto a los residuos domiciliarios. En ambos casos se presentarán la información de contacto del plan de gestión.	Realizado una única vez durante el mes de difusión.
<i>Radio y televisión regional</i>	Se contactará con las radios locales (Radio Polar, Radio Magallanes, Radio Puerta Norte y Radio el Pingüino) y canales regionales de televisión (El Pingüino) para hacer entrega de un pequeño anuncio publicitario de la implementación del plan, los puntos de recolección e información de contacto.	Los avisos por radio se realizarán una vez a la semana durante el mes previo a la implementación del plan, adicionalmente se realizarán avisos en los noticieros. En el caso del aviso televisivo, se realizará un programa de 20 minutos en el cual se explicará el plan de recolección. Se realizará durante el mes de difusión.
<i>Redes sociales</i>	Creación de cuentas oficiales de Facebook, Instagram y Twitter que se encargarán de entregar información y resolverán las dudas de la comunidad. El contenido entregado engloba los resultados obtenidos en la implementación del plan, mejoras en el proceso, datos importantes, información relacionada al tratamiento de medicamentos en el mundo, noticias sobre casos relacionados a este aspecto de la salud, cambios en la normativa que se vinculen al plan, entre otros.	Se creará contenido ocasional en las redes sociales a partir de los logros y avances del plan de gestión. Se realizará durante todo el año.

(Elaboración propia)

3.9. Monitoreo y evaluación

Debido a la naturaleza del plan de gestión de medicamentos como proyecto piloto, es necesario realizar una continua evaluación del rendimiento de plan con el objetivo de conocer su desempeño. En consecuencia, para asegurar su efectividad y abordar de manera integral los desafíos que plantea la gestión de medicamentos, se establece un sistema de monitoreo acoplado con una correcta evaluación. Este monitoreo constante permitirá seguir de cerca el desarrollo del plan en todas sus etapas, identificando posibles desviaciones y áreas de mejora. A través de la evaluación, se analizan los resultados obtenidos y se comparan con los objetivos preestablecidos, permitiendo ajustes y optimización en base a datos concretos. En este sentido, el monitoreo y la evaluación no solo garantizan la eficacia del plan, sino que también generan la oportunidad de adaptarse a las dinámicas cambiantes del país junto a un enfoque proactivo en la gestión sostenible de los medicamentos desechados.

Al momento de implementar el plan de gestión, se debe realizar un informe y un análisis de los datos obtenidos durante 4 meses. La intención de realizar este informe en un margen de 4 meses es tener la posibilidad de acción frente a grandes problemáticas que se puedan identificar en la implementación. En cuanto a la información analizada, se trabajará con los siguientes datos:

- **Indicadores clave de rendimiento:** Se evaluará el desempeño del plan a partir medicamentos recolectados, cantidad de medicamentos recolectados en total y por punto de recolección, la participación de la comunidad y cambios en las frecuencias de recolección. El primer método de evaluación será la comparación en el registro de los kilogramos recolectados por punto cada 4 meses, estos datos mostrarán los sectores más frecuentados para la disposición, los menos utilizados y como ha cambiado el total de medicamentos recolectados a lo largo del tiempo, analizando también las posibles causas de las variaciones. En este aspecto se buscará plantear acciones de mejora a partir de los datos, como refuerzo en las campañas, analizar la posibilidad de entregar otros incentivos (descuentos en las farmacias y o modificaciones del empaque), como la incorporación o eliminación de algunos puntos.
- **Encuestas y retroalimentación de la comunidad:** Se refiere a la realización de pequeñas encuestas y espacios para conocer la opinión de los participantes mediante el uso de “Google forms”, presentando en las redes sociales del plan de gestión de medicamentos desechados. La encuesta incorporará consultas sobre la satisfacción del servicio, si conocen las consecuencias de la incorrecta disposición de los medicamentos y que área de mejora identifican.
- **Retroalimentación de los participantes:** Se recopilarán los comentarios de las partes involucradas en el plan de gestión como las farmacias, la municipalidad y establecimientos de salud, para posteriormente analizar posibles cambios aplicables al plan.
- **Cumplimiento Normativo:** Evaluación del desempeño normativo, cumpliendo con lo estipulado en los decretos correspondientes, revisando continuamente los posibles cambios en la normativa chilena.
- **Eficiencia Operativa:** Se refiere al análisis de la eficiencia del proceso de recolección, encapsulación y disposición final. Se evaluarán posibles cambios a partir de los recursos utilizados y si existieron déficit en la planificación.
- **Revisión de los objetivos:** Consiste en la comparación del rendimiento del plan con las predicciones realizadas en la planificación, los que están ligadas con los objetivos de recolección y concientización.
- **Evaluación de Costos:** Se evaluarán los costos del plan y se analizarán posibles cambios. Además, compararán con los beneficios y resultados obtenidos, tanto en el aspecto económico, ambiental y social, con los costos.

Estos resultados y sus análisis servirán para mejorar el plan de gestión, pero a su vez podrán ser utilizados como información base en caso de que otra municipalidad o institución quiera implementar estas prácticas dentro del país.

3.10. Participantes y sus funciones

Con el fin de lograr una correcta ejecución del plan de gestión, es crucial comprender todas las partes involucradas durante este proceso. Las distintas partes desempeñarán sus roles y deberán cumplir sus responsabilidades con la intención de que el programa sea ejecutado de forma correcta. Lo anterior implica que el correcto reconocimiento de los participantes del plan de recolección permitirá actuar de forma más eficiente al momento de reconocer los conflictos, problemas y mejoras. Los principales participantes durante la planificación y ejecución del plan de gestión son:

- **Farmacias:** Las farmacias que acepten adherirse al plan de recolección de medicamentos desechados cumplirán con la función de recolectar los residuos dentro de sus instalaciones, propiciando un correcto y seguro almacenaje acorde al conocimiento de los encargados.
- **Municipalidad (Dirección de Medioambiente, Aseo y Ornato):** Será el principal actor en la ejecución del plan de recolección. La mayoría de las actividades y decisiones son tomadas por la Dirección de Medioambiente, Aseo y Ornato de Punta Arenas, desde la coordinación del plan hasta la selección de los puntos de recolección.
- **Profesionales y establecimientos vinculados a la Salud:** Su función es informar a sus pacientes sobre la disposición de sus medicamentos en desuso, la revisión de sus botiquines y la existencia del plan de recolección.
- **Medios de comunicación:** Estarán encargados de la difusión masiva de información gracias a la colaboración con los gestores del plan. Incorporará desde medios locales como radios y canales de televisión hasta difusión en redes sociales, abordando diversas temáticas relacionadas a los medicamentos en desuso y el plan de recolección.
- **Trabajadores del Plan de Gestión:** Son responsables de que el plan de recolección funcione correctamente, desde la comunicación del plan de recolección hasta la encapsulación de los residuos. Sumado a lo anterior, es importante que cumplan con los protocolos de seguridad para garantizar que la manipulación y el transporte de los medicamentos se realicen de manera efectiva.
- **Comunidad:** Son los principales colaboradores del plan de recolección. Si bien su desempeño dependerá en gran medida de la efectividad de las campañas de concientización, el plan de gestión de medicamentos tiene como objetivo lograr que la comunidad participe activamente en la entrega de sus medicamentos en desuso y que sean conscientes de los beneficios ambientales y sociales de la recolección adecuada de medicamentos.
- **Poder legislativo (Cámara de Senadores y Diputados):** Este órgano del gobierno estará encargado de las regularizaciones, leyes y normativas vinculadas al manejo y categorización de los medicamentos de origen domiciliario. Las posibles modificaciones en la legislación chilena (Ley N°20.920) y la categorización de los residuos son los principales temas vinculados al plan de gestión de medicamentos desechados de origen domiciliario.
- **Farmacéuticas:** Actualmente los responsables de la producción de los medicamentos no están vinculados con la disposición final de sus productos utilizados a nivel domiciliario, pero en caso de que la legislación se modifique e incorpore a los medicamentos como productos prioritarios, generará que las farmacéuticas se vinculen con los procesos de recolección, modificando la financiación y el funcionamiento de los planes de gestión de medicamentos.

- Proveedores: Cumplen un papel fundamental debido a que son los que facilitan los recursos necesarios para la implementación del plan.

3.11. Principales activos y requerimientos

En el diseño y ejecución de cualquier plan de gestión, la comprensión de los requerimientos es esencial para su éxito. Los "requerimientos" son las condiciones necesarias para una implementación efectiva, la que está asociada a "activos" que representan los recursos que aportan valor y permiten las operaciones del plan. El siguiente análisis presenta los principales activos y requerimientos que deben ser cumplidos para que el plan de gestión pueda ejecutarse eficazmente, asegurando que se consideren los recursos y condiciones adecuadas para garantizar un rendimiento óptimo del proyecto.

3.11.1 Personal

Es fundamental establecer correctamente el personal necesario para desempeñar las principales actividades del plan de gestión. Hay diversos roles y habilidades que serán necesarias para cada puesto, por lo que a continuación se profundizará cada posición y sus requerimientos. Adicionalmente, se estima una cantidad limitada de trabajadores debido a que diversas actividades estarán manejadas por el personal correspondiente a la Dirección de Medioambiente, Aseo y Ornato de Punta Arenas y los trabajadores del centro de gestión de residuos sólidos.

Coordinador del plan (1): Encargado de supervisar y coordinar todas las actividades del plan, incluyendo la gestión logística, el proceso de encapsulación, el transporte, el cumplimiento de normativas y el depósito final. Debe asegurarse de que todos los integrantes del plan trabajen de manera efectiva y de que se cumplan los objetivos. Con mayor profundidad el coordinador será responsable de planificar y gestionar la logística del transporte y almacenamiento de los residuos, considerando la programación de rutas, la coordinación de la recolección en puntos de generación con los encargados, la disposición final en el relleno sanitario, confeccionar los análisis de resultados y evaluar posibles mejoras con los encargados de la Dirección de Medioambiente, Aseo y Ornato. Por este motivo desempeñará su trabajo en las instalaciones de la Dirección de Medioambiente, Aseo y Ornato en una jornada laboral completa.

Encargado del tratamiento de los residuos (1): Trabajador encargado de realizar la recolección, el transporte y la encapsulación de los residuos. Debe estar familiarizado con el manejo de materiales, manejo de equipos y conceptos de seguridad, para lo que se realizarán las capacitaciones pertinentes. Adicionalmente, deberá portar la licencia de conducir grado B y conocer el manejo de residuos domiciliarios. Este trabajador pertenecerá al centro de gestión de residuos sólidos y solo desempeñarán esta labor en los días de recolección/encapsulación.

Agencia publicitaria para la concientización de la población: Profesionales responsables de diseñar y ejecutar campañas de concientización para informar a la comunidad y a los participantes sobre la

importancia de la gestión adecuada de los medicamentos en desusos y el funcionamiento del plan de gestión.

Encargados de la cubierta del relleno sanitario: El profesional encargado del relleno sanitario y su grupo de trabajadores serán responsables de controlar y medir las variables ambientales. Dichos profesionales ya estarán contratados para trabajar en el centro de gestión de residuos sólidos.

Responsables de remuneraciones, seguridad y limpieza: Todas las actividades relacionadas a la limpieza de espacio de trabajo, la asignación de las remuneraciones y la seguridad de los lugares de trabajo serán realizadas por profesionales designados por la municipalidad.

3.11.2. Materiales, Instalaciones y Equipos

Para comenzar el plan de gestión de medicamentos en desuso es necesario contar con ciertos recursos, desde los requerimientos de inversión utilizados durante la operación, como también los materiales que serán consumidos en el proceso. A continuación, se enlistan de manera general los principales requerimientos del plan de gestión.

Inversión

- Materiales de construcción del galpón de trabajo.
- Contenedores de residuos.
- Contenedores para la recolección de medicamentos.
- Vehículo eléctrico de recolección.
- Equipos de seguridad y contingencia.
- Equipos de protección personal.
- Equipos tecnológicos y acondicionamiento.
- Objetos habitacionales para los lugares de trabajo.
- Trompo de volteo.
- Transpaleta manual.
- Pallet de madera.
- Baldes concreteros de 20 [L].

Insumos

- Tambores de acero, plástico o reciclados 200 [L].
- Bolsas de recolección.
- Sacos de cemento Portland.
- Sacos de cal.
- Tineta de aditivo impermeabilizante.
- Suministro de energía eléctrica.
- Suministro de agua.
- Formularios de papel.

3.11.3. Vinculación con el medio

Un aspecto crucial en la efectividad del plan de gestión de medicamentos en desuso es el establecimiento de buenas relaciones con el medio. La cantidad de medicamentos recolectados como la posibilidad de recolección efectiva dependen del nivel de conexión que exista con distintos grupos y organizaciones. Las principales vinculaciones que deben ser establecidas son:

- Vinculación con autoridades sanitarias: Es crucial establecer colaboración con las autoridades sanitarias (Ministerio de Salud) para garantizar el cumplimiento de las normativas y regulaciones de Chile.
- Colaboración con farmacias y establecimientos de salud: Es necesario establecer una conexión clara con las farmacias y establecimiento de salud con la intención de que la recolección se realice en los lugares más utilizados para adquirir medicamentos. Además, la recolección de medicamentos en estos puntos asegura que el contenedor va a estar vigilado y controlado por un encargado con conocimientos en el almacenamiento de medicamentos.
- Fomentar la participación de la comunidad: Es importante involucrar a la comunidad en el proceso, promoviendo la participación y la conciencia sobre la importancia de desechar adecuadamente los medicamentos.
- Contactar con medios de comunicación: Debido a que una parte muy importante en el éxito del plan de gestión reside en la concientización de la comunidad, es necesario hacer utilización de los medios de comunicación local para lograr informar a la mayor cantidad de gente.
- Futura coordinación con municipios de la región: En base a los resultados que se vayan obteniendo y los cambios que se vayan estableciendo en la legislación chilena, los gestores del plan deben coordinar esfuerzos con municipios de la región para lograr recolectar efectivamente los medicamentos domiciliarios dentro de la región.

3.11.4. Legislación

Al igual que los proyectos encargados del manejo de residuos, el plan de gestión deberá registrarse y ser aprobado para funcionar cumpliendo con la legislación del país. Específicamente para el caso del plan que será implementado sobre un proyecto, se deberá presentar una modificación del proyecto del centro de gestión de residuos sólidos. Esto permitiría la aprobación de uso del relleno sanitario y la instalación del galpón de trabajo. El proyecto deberá cumplir con:

- Autorización sanitaria para el manejo de residuos sólidos domiciliarios.
- Permisos ambientales y presentación de reportes sobre la cantidad de residuos tratados.
- Cumplimiento de lo estipulado en los decretos y regulaciones en el manejo, almacenamiento, transporte y eliminación de residuos sólidos domiciliarios y cumplir con las obligaciones de no incorporar residuos catalogados como peligrosos bajo el D.S. N°148/03 del Ministerio de Salud.
- En caso de clasificar la totalidad de residuos como peligrosos, se deberá obtener la autorización sanitaria para almacenamiento, transporte y disposición de residuos peligrosos.

- Normas de Seguridad Ocupacional.
- Código del trabajo.

3.12. Principales actividades para la implementación y ejecución del plan

Como se ha mencionado anteriormente, el plan de gestión de medicamentos propuesto consiste en un proyecto de recolección gestionado por la Municipalidad de Punta Arenas, el cual tiene como objetivo mejorar el tratamiento de los residuos, incorporando una segregación a los medicamentos domiciliarios. Este proceso es beneficiado de las instalaciones (bodegas y sectores habitacionales) y equipos que se van a encontrar en las dependencias del futuro centro de gestión de residuos de Punta Arenas, por lo que las principales actividades estarán centradas en la operación del plan y habilitación de los espacios de trabajo. Las principales actividades para la implementación del plan son las siguientes:

- Entablar comunicación con la municipalidad y proponer el plan de gestión.
- Establecer contacto y cotización con los profesionales encargados en la construcción y la tramitación de los documentos pertinentes.
- Establecimiento de relaciones con farmacias privadas y públicas, hospitales y centros de salud de la ciudad.
- Confección y tramitación de los documentos necesarios para el funcionamiento del plan.
- Compra y traslado de los requerimientos de construcción.
- Construcción de los lugares de trabajo.
- Compra y traslado de equipos utilizados en la fase de operación.
- Compra y traslado de los materiales e insumos (4 meses).
- Contratación de la agencia de comunicación y publicidad.
- Contratación y capacitación de trabajadores.
- Capacitación de encargados en los puntos de recolección.
- Entrega de los contenedores a los establecimientos adheridos al plan.
- Campañas de difusión.
- Actividades de recolección.
- Proceso de evaluación y mejoras constantes.

En la figura 18 se puede observar cómo van a realizarse las actividades durante los primeros 36 meses de implementación plan. Por otro lado, en la figura 19 se presentan las actividades puntuales en un mes de trabajo que considere la realización de la campaña de difusión anual. Adicional a las actividades puntuales presentes en cada tabla, el coordinador del plan seguirá trabajando en la gestión y vinculación de las partes involucradas.

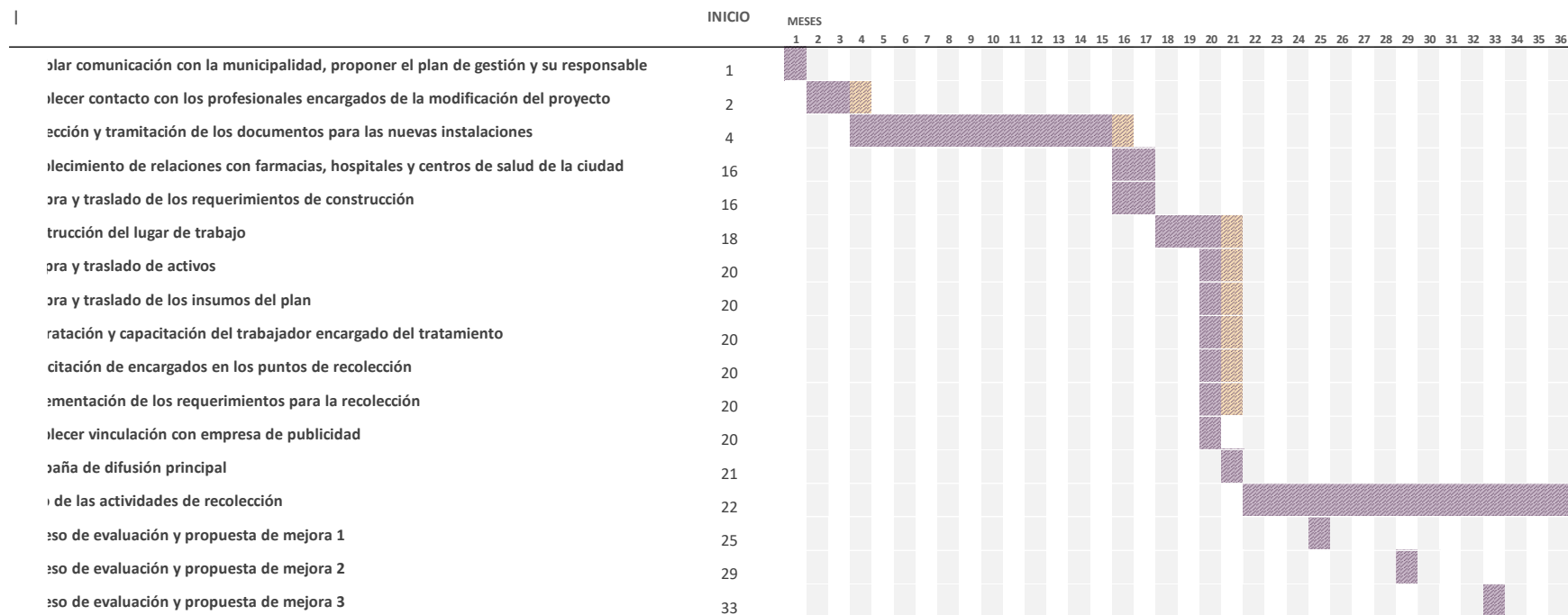


Figura 18. Programación de las principales actividades durante los primeros 36 meses

(Elaboración propia)

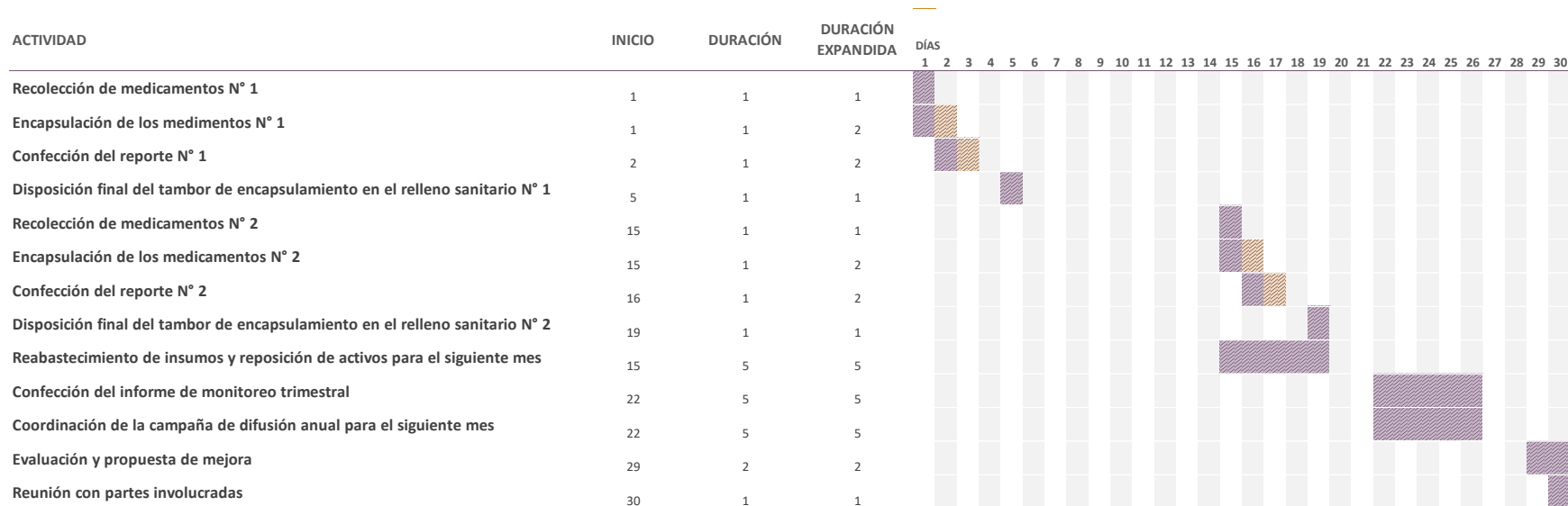


Figura 19. Programación de las principales actividades realizadas en los 30 días previos a un mes de difusión

(Elaboración propia)

CAPÍTULO 4. ESTUDIO ECONÓMICO

4.1. Consideraciones previas

La viabilidad del plan de gestión para los medicamentos desechados por los hogares se evaluó bajo las predicciones establecidas en la ejecución del plan. Debido a de que el proyecto genera un servicio con beneficios sociales y no monetarios, los análisis se realizaron mediante una evaluación integrada de costo-eficiencia y costo-efectividad.

Para todos los análisis realizados se consideran los siguientes supuestos:

- Se considera un horizonte de evaluación de 10 años debido los posibles cambios en la legislación chilena.
- Se considera que toda la construcción de la bodega y la obtención de los requerimientos del plan de gestión se realizarán en el año 2024 y 2025, comenzando las operaciones a partir del año 2026.
- Se considera la utilización del terreno perteneciente al centro de gestión de residuos sólidos, por lo que el presente plan comenzará a implementarse cuando el centro de gestión ya esté construido.
- En el análisis presupuestario y en el flujo de caja social se considera que los gastos de imprevistos y mantención de los equipos para la etapa de operación consisten en el 3% de los gastos en activos iniciales.
- Se emplea el peso chileno como moneda en todas las evaluaciones financieras.
- Se considera que el costo del galpón, los gastos de la modificación del proyecto y acondicionamiento del terreno pueden ser estimado a partir de las ofertas encontradas en licitaciones del mercado público.
- En el análisis presupuestario y en el flujo de caja social se estima la compra de 35 contenedores de recolección.
- Se considera que el financiamiento del proyecto formará parte de los gastos de la Municipalidad de Punta Arenas y será gestionado por la Dirección de Medioambiente, Aseo y Ornato.
- En el análisis presupuestario y en el flujo de caja social se considera que la recolección de medicamentos se comportará bajo las predicciones del estudio técnico.
- Se considera que el consumo de agua y energía serán costos variables al ser evaluados como insumos del proceso de encapsulación, usos del personal, usos de los equipos y la limpieza.
- En el análisis presupuestario se estima que los cambios en los costos dependerán de la inflación. Esta estimación considera un valor de 3,5% para el año 2024 según predicciones del Banco Central y una estabilización que reflejará un 3% anual hasta el 2035.
- En el flujo de caja social se consideran los valores reales, es decir, los valores corregidos por los factores presentados en el Sistema Nacional de Inversiones (SNI).
- Se considera que la tasa social de descuento tiene un valor del 6%, de acuerdo con lo especificado por SNI.
- Se considera la reposición de los equipos que hayan cumplido con el período de vida útil.

- El costo del permiso de circulación del vehículo de recolección será modificado en función de lo dispuesto en la Ley N° 21.505.
- No se consideran gastos de arriendo de espacio debido a que se utilizarán los terrenos del centro de gestión de residuos sólidos, perteneciente al Gobierno Regional de Magallanes y de la Antártica Chilena.
- Se considera que la mitad de los tambores utilizados son reutilizados y obtenidos de los residuos encontrados en el centro de gestión de residuos sólidos.
- El depósito final de los residuos forma parte de los gastos y tareas del personal del centro de gestión de residuos sólidos.
- Se considera que el costo por la gestión, manejo, traslado y eliminación de los medicamentos en la propuesta alternativa es de 2.350 [CLP/kg] (Seremi de Salud de XII Región, 2021), este valor corresponde al costo aproximado que los servicios externos ofertan en el mercado público para las licitaciones de eliminación de medicamentos o residuos peligrosos.

4.2. Evaluación Financiera

4.2.1. Análisis presupuestario

Para establecer si el proyecto presentado puede mantener su ejecución en el tiempo, se realizó un análisis presupuestario. La selección de este tipo de análisis proviene de la naturaleza del proyecto, debido a que el análisis presupuestario es recomendado al momento de evaluar la rentabilidad de proyectos que no cobren o generen grandes cambios en las tarifas de servicio. Esto tiene por consecuencia que, en el plan de gestión de medicamentos, la municipalidad deberá financiar la implementación y operación del proyecto.

Para los costos de inversión se considera que el lugar de trabajo del proyecto estará dentro de las instalaciones del centro de gestión de residuos sólidos, en la zona de ampliación de galpones. Producto de lo anterior, la inversión principal del presente proyecto está asociada a la construcción y habilitación de un galpón de 120 [m²], la cual se estima en 34.925.217 [CLP] netos. Este valor proviene de la revisión de los datos de licitaciones de constructoras que habilitan instalaciones similares. Dichas licitaciones pertenecen a la categoría de proyectos superiores a 2000 [UTM] e inferiores a las 5000 [UTM], en los que se pueden encontrar presupuestos que varían entre 11.000.000 [CLP] (Ilustre Municipalidad de Castro, 2016) hasta los 100.000.000 [CLP] (Ilustre Municipalidad de Ovalle, 2021), la estimación y detalle de los costos se encuentra en el anexo F, al que se le incorporan los gastos asociados a la construcción, acondicionamiento y tramitación del lugar de trabajo.

Para la recolección de los residuos se planteó la compra de un furgón de carga eléctrico de la marca Citroën modelo “Ë-BERLINGO”, cuyo valor de compra y transporte es de 32.990.000 [CLP] + IVA (Tour Motor, 2023). Adicionalmente, el proyecto contará con pequeños equipos, herramientas y elementos de seguridad que son detallados en el anexo G y en la tabla 19, la cual presenta los valores de inversión obtenidos en el comercio local, principalmente en Sodimac Punta Arenas.

Tabla 19. Inversiones del plan de gestión

Requerimiento	Cantidad	Valor unitario	Valor
<i>Gastos en la construcción, acondicionamiento y tramitación del lugar de trabajo</i>	1	\$61.561.009	\$61.561.009
<i>Contenedores</i>	35	\$100.000	\$3.500.000
<i>Vehículo Citroën E-Berlingo</i>	1	\$39.258.100	\$39.258.100
<i>Extintor para el vehículo</i>	1	\$29.990	\$29.990
<i>Extintor para el galpón</i>	1	\$68.000	\$68.000
<i>Palas concreteras</i>	2	\$11.990	\$23.980
<i>Balde concreto de 20 [L]</i>	3	\$5.790	\$17.370
<i>Trompo volteo 130 [L] 0,8 [HP]</i>	1	\$229.000	\$229.000
<i>Extensión eléctrica con seguro 10 [m]</i>	1	\$6.990	\$6.990
<i>Transpaleta CBY JC2 685</i>	1	\$199.990	\$199.990
<i>Pallets de madera</i>	10	\$8.900	\$89.000
<i>Par de guantes de seguridad</i>	4	\$9.900	\$39.600
<i>Calzado de seguridad con punta de acero</i>	2	\$23.393	\$46.786
<i>Mascarilla Respirador 8511 3M [10 u]</i>	1	\$22.690	\$22.690
<i>Overol del plan de recolección</i>	4	\$12.290	\$49.160
<i>Antiparras seguridad 3M</i>	4	\$2.990	\$11.960
<i>Casco de seguridad con roller blanco</i>	4	\$2.790	\$11.160
<i>Gata</i>	1	\$11.830	\$11.830
<i>Conos</i>	4	\$4.795	\$19.180
<i>Llave de cruz</i>	2	\$5.990	\$11.980
<i>Botiquín de primeros auxilios</i>	1	\$26.990	\$26.990
<i>Neumáticos y clavos para la nieve</i>	6	\$158.807	\$952.842
<i>Balanza digital tipo romana</i>	1	\$9.990	\$9.990
<i>Chaleco reflectante</i>	2	\$1.990	\$3.980
<i>Vaso medidor</i>	2	\$2.990	\$5.980
<i>Balanza digital</i>	1	\$79.990	\$79.990
<i>Notebooks de oficina</i>	1	\$399.990	\$399.990
<i>Mesa y sillas</i>	1	\$153.990	\$153.990
<i>Gastos de inversión en equipos</i>			\$45.280.518
<i>Gastos de Inversión en instalaciones y autorizaciones</i>			\$61.561.009
<i>Inversión total (IVA incluido)</i>			\$106.841.527

(Elaboración propia)

En cuanto a los costos de operación, se estima que el plan de gestión funcionará con solo 2 trabajadores debido a que el plan de recolección vinculará sus actividades con las del centro de gestión de residuos sólidos. Por parte de las remuneraciones y los demás costos de operación, los detalles están presentados en el anexo H, el cual incorpora el pago de cotizaciones previsionales y de salud (Chile Atiende, 2023), además de considerar que el trabajador de planta percibirá el dinero como un bono adicional a su sueldo base. Por parte de los costos variables, las campañas de

concientización fueron estimadas a partir de los valores encontrados en el sitio web de la radio pingüino (El Pingüino, 2014) y se aplicó el mismo valor para las demás radios, a su vez, también se cotizó el valor estimativo de la impresión de los afiches publicitarios en tiendas de impresión (2D, 2023), además de incorporar los costos asociados a la contratación de una empresa de publicidad externa para la difusión del plan.

Los costos de recolección y encapsulación de los residuos, los cuales incluyen la impresión de los formularios y materiales utilizados en la mezcla de encapsulación, fueron estimados a partir del comercio local y nacional. Los costos por servicio de agua y electricidad fueron calculados por las tarifas de EDELMAG (EDELMAG, 2023) y Aguas Magallanes (Aguas Magallanes, 2023), mientras que los demás insumos fueron estimados por los precios de Sodimac Punta Arenas y de Superbidon (Superbidon, 2023). Es importante destacar que los costos asociados al uso de agua y energía eléctrica solo consideran el consumo de los equipos y el agua utilizada en el plan de gestión de medicamentos, por lo que todo otro consumo que se perciba en las instalaciones del centro de gestión de residuos sólidos no es considerado. La predicción de los costos durante la vida útil del proyecto esta presentada en la tabla 20. Por último, la tabla 21 presenta toda la información mencionada dentro de un análisis presupuestario desde el año 2026 hasta el 2035, la cual detalla el costo anual de cada periodo en el que se ejecute el plan.

Tabla 20. Insumos del plan de gestión durante la vida útil del proyecto

Insumos	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Consumo de agua [m ³]	\$150.519	\$155.416	\$160.079	\$165.012	\$169.962	\$175.061	\$180.313	\$185.722	\$191.445	\$197.188
Bolsas de recolección [-]	\$185.653	\$191.222	\$196.959	\$202.868	\$208.954	\$215.222	\$221.679	\$228.329	\$235.179	\$242.235
Consumo de electricidad [kWh]	\$88.821	\$91.486	\$94.230	\$97.057	\$99.969	\$102.968	\$106.057	\$109.239	\$112.516	\$115.891
Tambores [-]	\$1.672.111	\$1.722.274	\$1.773.943	\$2.283.951	\$2.352.470	\$2.423.044	\$2.495.735	\$2.570.607	\$3.177.271	\$3.272.589
Saco de cemento Portland [-]	\$209.031	\$215.302	\$221.761	\$285.517	\$294.083	\$302.905	\$311.993	\$321.352	\$397.191	\$409.107
Saco de cal hidratada de [-]	\$307.496	\$316.721	\$326.222	\$420.011	\$432.611	\$445.590	\$458.957	\$472.726	\$584.290	\$601.818
Campaña de concientización [-]	\$3.485.914	\$3.590.492	\$3.698.206	\$3.809.153	\$3.923.427	\$4.041.130	\$4.162.364	\$4.287.235	\$4.415.852	\$4.548.327
Impermeabilizante [-]	\$63.397	\$65.299	\$67.258	\$103.913	\$107.031	\$110.242	\$113.549	\$116.955	\$120.464	\$124.078
Caja de 100 guantes de nitrilo [-]	\$6.865	\$7.070	\$7.283	\$7.501	\$7.726	\$7.958	\$8.197	\$8.443	\$8.696	\$8.957
Impresión de formularios [-]	\$82.512	\$84.988	\$87.537	\$90.163	\$92.868	\$95.654	\$98.524	\$101.480	\$104.524	\$107.660
Total (IVA incluido)	\$6.252.319	\$6.440.270	\$6.633.478	\$7.465.146	\$7.689.101	\$7.919.774	\$8.157.367	\$8.402.088	\$9.347.427	\$9.627.850

(Elaboración propia)

Tabla 21. Análisis presupuestario del plan de gestión

Tipo de costo		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión inicial	Construcción de obra	\$61.561.009	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Compra de activos	\$45.280.518	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos de operación y mantenimiento	Sueldos	-	\$31.610.794	\$32.559.118	\$33.535.892	\$34.541.969	\$35.578.228	\$36.645.574	\$37.744.942	\$38.877.290	\$40.043.609	\$41.244.917
	Materiales e insumos	-	\$6.252.319	\$6.440.270	\$6.633.478	\$7.465.146	\$7.689.101	\$7.919.774	\$8.157.367	\$8.402.088	\$9.347.427	\$9.627.850
	Mantenición	-	\$1.358.416	\$1.358.416	\$1.532.663	\$1.358.416	\$1.874.338	\$1.548.821	\$1.692.261	\$1.702.277	\$1.566.477	\$1.358.416
	Otros egresos	-	\$19.350	\$19.350	\$184.057	\$184.057	\$348.763	\$348.763	\$513.470	\$513.470	\$678.176	\$678.176
Total		\$106.841.527	\$39.240.879	\$40.377.154	\$41.886.090	\$43.549.587	\$45.490.429	\$46.462.932	\$48.108.040	\$49.495.124	\$51.635.688	\$52.909.359

(Elaboración propia)

4.3. Evaluación Socioeconómica

Debido a que el proyecto solamente presenta el beneficio monetario asociado a la reducción del total de desechos domiciliarios recolectados, es necesario evaluar su rendimiento mediante un análisis socioeconómico que considere el aporte social de las actividades. Al igual que en una evaluación financiera de un proyecto de inversión, es necesario realizar un flujo de caja, con la diferencia que se considerarán los valores sociales acorde a los costos y beneficios de una iniciativa. Por consiguiente, se proceden a enunciar los beneficios y costos sociales más relevantes del proyecto:

Beneficios

- Reducción de la contaminación ambiental.
- Protección de la salud pública.
- Concientización sobre la disposición inapropiada de residuos.
- Participación comunitaria.
- Colaboración comunitaria.

Costos

- Inversión.
- Operación.
- Mantenimiento.
- Utilización de espacios para residuos domiciliarios.
- Disminución de la disponibilidad de insumos dentro de la ciudad.

Una de las particularidades al momento de realizar una evaluación socioeconómica es la dificultad de cuantificar las variables sociales. La evaluación socioeconómica mediante un análisis costo-beneficio tiene por necesidad la cuantificación monetaria de los beneficios y costos, por esta razón, el presente proyecto no se evaluó mediante este análisis debido a que sus beneficios sociales no poseen un mercado que los cuantifique y, en caso de realizar estimaciones, el nivel incertidumbre es muy alto al desconocer la magnitud del aporte social que generan los beneficios enlistados anteriormente. Por este motivo, la evaluación socioeconómica del proyecto se realizó mediante un análisis costo-eficiencia. Estos análisis son los que generalmente se utilizan para iniciativas sociales que no puedan cuantificar sus beneficios, enfocando el análisis en la cuantificación de los costos sociales mediante la corrección de precios.

En el anexo I se presentan las correcciones de los costos, modificando sus valores a precios sociales al no considerar el IVA, manteniendo su precio real, descontando los aranceles y corrigiendo sus valores monetarios con los factores de sociales entregados por el SNI (Sistema Nacional de Inversiones, 2023).

4.3.1. Análisis Costo-eficiencia

Como se mencionó anteriormente, el proyecto tiene complicaciones en la cuantificación de los beneficios sociales, por lo que se analizaron los resultados bajo los costos sociales del proyecto. Este análisis es similar al análisis presupuestario, pero con la diferencia que no se considera la tasa de inflación total y los valores son modificados por su equivalente en precio social. La tabla 22 presenta las estimaciones de costos sociales para el proyecto entre los años 2026 hasta 2035.

Tabla 22. Estimación de los costos sociales durante el horizonte de evaluación del plan de gestión

Tipo de costo		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión inicial	Construcción de obra	\$51.731.940	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Compra de activos	\$38.050.855	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos de operación y mantenimiento	Sueldos	-	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985
	Materiales e insumos	-	\$4.584.942	\$4.584.942	\$4.584.942	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.410.798	\$5.410.798
	Mantenición	-	\$1.141.526	\$1.141.526	\$1.261.963	\$1.141.526	\$1.477.652	\$1.261.963	\$1.346.542	\$1.356.077	\$1.261.963	\$1.141.526
Total de costos		\$89.782.795	\$32.318.453	\$32.318.453	\$32.438.890	\$32.743.002	\$33.079.128	\$32.863.439	\$32.948.019	\$32.957.554	\$33.264.745	\$33.144.308

(Elaboración propia)

4.3.2. Indicadores de rentabilidad

Para poder analizar los costos y comparar posibles variaciones, se utilizaron los siguientes indicadores de rentabilidad:

- Valor actual de los costos (VAC): Equivalencia al Valor Actual Neto, pero aplicado a un análisis social, determinando el valor presente de los costos futuros a partir del ajuste con la tasa de descuento social. Usualmente es utilizado para evaluar proyectos que produzcan beneficios similares y tengan una vida útil similar, en el que se opta por la alternativa que tenga el menor VAC.
- Costo anual equivalente (CAE): Utiliza el concepto del VAC, pero reajusta su valor a partir del horizonte de evaluación del proyecto. Es utilizado para evaluar proyectos que entreguen beneficios similares, pero tenga una vida útil distinta. De igual forma al VAC, el criterio de decisión es seleccionar aquella alternativa que tenga el menor CAE.
- Tasa de descuento social: Representa el costo de oportunidad de la sociedad respecto de las decisiones de consumo e inversión del Estado. Funciona similar a la tasa de interés y su aplicación permite evaluar los costos sociales en valor presente.

Los detalles de estos indicadores para el proyecto actual se presentan en la tabla 23 y la metodología se especifica en el anexo J.

Tabla 23. Resultados e indicadores de rentabilidad del plan de gestión evaluado en 10 años

<i>Inversión valorada en precio social</i>	\$89.782.795
<i>Costos de operación en precio social</i>	\$241.097.584
<i>Tasa social de descuento [%]</i>	6%
<i>Horizonte de evaluación [años]</i>	10
<i>Valor actual de costos (VAC)</i>	\$330.880.380
<i>Costo anual equivalente (CAE)</i>	\$44.956.042

(Elaboración propia)

4.3.3. Análisis de sensibilidad

Para comprender de mejor manera como se comportan los indicadores de rentabilidad frente a la incertidumbre de las estimaciones y a los posibles reajustes en el plan, se realizó un análisis de sensibilidad a 2 variables que tienen repercusión en el costo total y a 1 variable relacionada con la efectividad del plan de recolección. La variación de estos valores se efectuó en un rango de -25% a +25% del monto estimado y posteriormente se evaluó qué tan influyente son estos cambios en los indicadores de rentabilidad.

- Variación en el costo de operación de los trabajadores

A partir del análisis presupuestario se puede evidenciar que la mayoría de los costos operacionales pertenecen a las remuneraciones de los trabajadores. Por esta razón, se evaluaron los cambios en el costo operacional, considerando que estas variaciones puedan provenir de modificaciones en la

estructura del plan de gestión, como que las actividades de gestión y logísticas sean realizadas por algún profesional interno de la Dirección de Medioambiente, Aseo y Ornato de Punta Arenas o alguna variación en las remuneraciones. La tabla 24 presenta los resultados de las variaciones en el costo de operación de los trabajadores y el anexo K contiene el detalle de las estimaciones.

Tabla 24. Resultados e indicadores de rentabilidad relacionados con el aumento y disminución en el costo de operación de los trabajadores

Índice de rendimiento	Valor actual	Aumento del 25%	Disminución de 25%	% de variación
Valor actual de costos (VAC)	\$330.880.380	\$379.810.211	\$281.950.549	14,79%
Costo anual Equivalente (CAE)	\$44.956.042	\$51.604.038	\$38.308.045	

(Elaboración propia)

- Variación en el costo de inversión

La implementación inicial de todo tipo de proyecto está influenciada principalmente por los costos de inversión. Por este motivo se analizó como se modificarían los indicadores de rentabilidad a partir de cambios en el costo de instalación del galpón de trabajo. La tabla 25 resume los resultados obtenidos y el anexo L se detallan los cambios.

Tabla 25. Resultados e Indicadores de rentabilidad relacionados con el aumento y disminución en el costo de inversión

Índice de rendimiento	Valor actual	Aumento del 25%	Disminución de 25%	% Aumento	% Disminución
Valor actual de costos (VAC)	\$330.880.380	\$355.426.502	\$306.786.346	7,42%	7,28%
Costo anual Equivalente (CAE)	\$44.956.042	\$48.291.073	\$41.682.434		

(Elaboración propia)

- Variación en el porcentaje de recolección

Considerando la gran dificultad en realizar una estimación correcta de la cantidad de medicamento recolectados, es importante evaluar cómo estos cambios afectarían en los costos del plan de gestión. Los resultados de los cambios propuestos son presentados en la tabla 26 y los detalles están en el anexo M.

Tabla 26. Resultados e indicadores de rentabilidad relacionados con el aumento y disminución en la recolección

Índice de rendimiento	Valor actual	Aumento del 25%	Disminución de 25%	% Aumento	% Disminución
Valor actual de costos (VAC)	\$330.880.380	\$334.189.263	\$327.356.168	1,00%	1,07%
Costo anual Equivalente (CAE)	\$44.956.042	\$45.405.613	\$44.477.214		

(Elaboración propia)

4.3.4. Comparación de alternativas

Por último, se evaluó un escenario alternativo al propuesto por el presente proyecto, el cual modifica el método de disposición final. Esta propuesta consiste en un plan similar al planteado durante este trabajo, pero con la diferencia de que los medicamentos no son encapsulados, sino que serán

almacenados (hasta 4 meses) y posteriormente entregados a un tercero autorizado para que sean incinerados en la Región Metropolitana, para lo cual contarán con las correspondientes autorizaciones sanitarias de almacenamiento y transporte. Si bien los beneficios y costos sociales son similares, este método incluye un costo social extra representado por el traslado de los residuos y, a su vez, un beneficio indirecto por no ocupar utilizar el terreno del relleno sanitario. Los detalles de esta alternativa y su comparación con la propuesta actual están expresados en la tabla 27 y en el anexo N.

Tabla 27. Resultados e indicadores de rentabilidad de la alternativa de disposición final

Índice de rendimiento	Valor actual	Valor alternativo	% de variación
<i>Valor actual de costos (VAC)</i>	\$330.880.380	\$364.482.047	10,16%
<i>Costo anual Equivalente (CAE)</i>	\$44.956.042	\$49.521.432	

(Elaboración propia)

4.4. Discusión de resultados

El plan de gestión de medicamentos desechados es una iniciativa que en su mayoría genera beneficios sociales, pero para poder evaluar la factibilidad del proyecto primero es necesario conocer la magnitud de sus costos mediante un análisis presupuestario. Este análisis entrega la cantidad de dinero anual necesaria para que la Municipalidad pueda implementar la gestión de los medicamentos. En los primeros años solo se tienen en cuenta las inversiones, que alcanzan un monto de 106.841.527 [CLP]. Para los años siguientes, los costos de operación van incrementando desde 39.240.879 [CLP] hasta los 52.909.359 [CLP] en el año 2035 debido al aumento en la cantidad de medicamentos encapsulados, como también por los reajustes en los precios de insumos y remuneraciones. A partir de estos valores presentados en el análisis presupuestario se obtiene que la ejecución del plan de gestión necesitará cerca de 565.996.807 [CLP] en los 10 años de ejecución.

En el análisis socioeconómico solo se utilizaron los indicadores de rendimiento VAC y CAE, pertenecientes a un análisis costo-efectividad, debido a la gran incertidumbre que existe en la cuantificación de los ingresos y beneficios sociales de este proyecto. En cuanto a la evaluación, los indicadores fueron utilizados en el análisis de sensibilidad para 3 variables considerables del proyecto, de los cuales se obtienen que la cantidad de medicamentos recolectados no generará un gran cambio en el VAC del proyecto a menos que presente incrementos considerablemente superiores al 25%. En cambio, el costo asociado a las remuneraciones de los trabajadores y los gastos de inversión si influyen en el VAC, mostrando cambios del 14,79% y 7,24% respectivamente cuando se aumenta en un 25% las predicciones. Lo anterior permite comprender que las remuneraciones y especialmente los montos de inversión deben ser estimados correctamente para lograr una predicción más precisa. Como último aspecto del análisis socioeconómico se realizó una comparación de los índices de rendimientos entre el plan de gestión actual con un plan alternativo. El resultado fue favorable para el plan de gestión actual al obtener un VAC menor, pero se debe considerar que el plan alternativo presenta costos sociales no cuantificados asociados a la dependencia operativa, a las distancias de traslado, como también beneficios en la disminución del espacio utilizado y la versatilidad de poder catalogar la totalidad de los residuos como peligrosos.

Por esta razón, si se considera que la totalidad de los medicamentos recolectados son residuos peligrosos, la opción de la encapsulación necesita la construcción de un relleno especializado, el cual deberá cumplir con las características de seguridad y control estipulados en el D.S. N°148/03 del Ministerios de Salud, aumentando considerablemente los costos de inversión y favoreciendo la selección de otro tratamiento que represente una mejor alternativa económica o que entregue, en el largo plazo, un tratamiento que pueda solucionar otros problemas de la región.

Es destacable mencionar que, si bien el encapsulamiento de los medicamentos no posee grandes costos en comparación a la incineración de residuos a temperaturas superiores a los 1200 [°C], el aumento sostenido en el volumen del residuo sugiere utilizar esta mezcla de cemento y medicamentos para la construcción del suelo de los galpones o para la elaboración de bancos de uso público. A a su vez, la ausencia de incineradoras autorizadas para la eliminación de residuos peligrosos dentro de la región genera el interés de evaluar la posible implementación de un sistema de eliminación de residuos peligrosos u hospitalarios, el cual podría incinerar cualquier tipo de medicamento independiente de su fuente generadora. Este último método permitiría incinerar todos los medicamentos domiciliarios recolectados hasta que la legislación permita categorizar correctamente estos residuos para proceder, como en otros países, a reciclar el empaquetado de los medicamentos y valorizar el residuo no peligroso.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En los últimos años, se han descubierto diversos efectos negativos en el medio ambiente derivados de los contaminantes emergentes. Entre ellos, los medicamentos, han sido reconocidos por ocasionar alteraciones en el comportamiento de los peces al estar expuestos a hormonas, así como la generación de farmacoresistencia en microorganismos en presencia de antibióticos. Por esta razón, es importante analizar las distintas formas de enfrentar esta problemática.

La primera conclusión de este trabajo es que se cumple con el objetivo de proponer y estudiar la factibilidad de un plan de gestión de medicamentos desechados dentro de la ciudad de Punta Arenas. La implementación del plan permite gestionar los medicamentos desechados por los domicilios al acumularlos dentro de los contenedores de los puntos de recolección ubicados en farmacias y establecimientos de salud, para posteriormente ser transportados, inertizados y depositados en las instalaciones adaptadas del centro de gestión de residuos sólidos de Magallanes. Económicamente el proyecto solo necesitará costear el galpón de trabajo, las inversiones e insumos de encapsulación, las remuneraciones de 2 trabajadores y el acondicionamiento del relleno. Adicionalmente, se reconocieron los beneficios en la implementación del plan de gestión como la reducción de la contaminación ambiental, protección de la salud, concientización sobre la disposición inapropiada de los residuos y el aumento de la participación ciudadana.

A partir de lo observado en la legislación de diversas partes del mundo, la categorización de que tipo de residuos son los medicamentos domiciliarios no es del todo clara, pero teniendo en cuenta el manejo que se les da en países como España, Francia y Estados Unidos, estos deben ser gestionados por organismos autorizados que sepan diferenciar que tipo de medicamento se está manejando. Por esta razón y para evitar posibles confusiones en la interpretación por parte de los involucrados en el manejo de residuos, la legislación chilena debe ser más detallada en la categorización de los residuos de origen domiciliario. En cuanto a los planes de gestión con mejores resultados, se identifica que las iniciativas impulsadas por la responsabilidad extendida del productor son las que logran recolectar la mayor cantidad de medicamentos. Sistemas como SIGRE, el cual consiste en un programa que involucra a todo el país en la gestión de los medicamentos domiciliarios, logra valorizar energéticamente grandes cantidades de medicamentos mediante la incineración, reciclan sus empaquetados y en caso de recolectar residuos peligrosos, los eliminan mediante un gestor autorizado.

Por otro lado, se sugiere estudiar la implementación de un sistema de tratamiento de residuos hospitalarios o peligrosos en Punta Arenas, en el cual se incluya un incinerador que permita la eliminación de estos residuos. De esta forma, se podrá destruir una mayor cantidad de medicamentos sin depender de las tasas de recolección ni de servicios externos. Por último, se debe destacar que la propuesta actual es un paso transitorio a proyectos de mayor escala, es decir, la implementación del plan de recolección vinculado a la encapsulación de medicamentos o a un tratamiento gestionado por un tercero son solamente el primer paso al manejo de los medicamentos, el cual puede avanzar con la implementación de un sistema de residuos hospitalarios o peligrosos dentro de la región y, adicionalmente, con la posible incorporación de los medicamentos en la Ley N°20.920, un plan nacional gestionará de mejor forma los medicamentos, categorizándolos, tratándolos y valorizándolos correctamente.

CAPÍTULO 6. REFERENCIAS

2D. (2023). 2D. Obtenido de <https://shorturl.at/yFGHO>

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (6 de Mayo de 2016). *ATSDR*. Obtenido de ToxFAQs™ - Percloratos (Perchlorates): <https://shorturl.at/IIIX12>

Aguas Magallanes. (2023). *Aguas Magallanes*. Obtenido de <https://shorturl.at/iwJW7>

Aguas Magallanes S.A. (2021). *Actualización de los planos de desarrollo Aguas Magallanes S.A.* Punta Arenas.

Alnahas, F., Yeboah, P., Fliedel, L., Yaman Abdin , A., & Alhareth, K. (2020). Expired Medication: Societal, Regulatory and Ethical Aspects of a Wasted Opportunity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.

Alshemari, A., Breen, L., Quinn, G., & Sivarajah, U. (2020). Can We Create a Circular Pharmaceutical Supply Chain (CPSC) to Reduce Medicines Waste? *Pharmacy*.

Amoabeng, I., Otoo, B., Darko, G., & Borquaye, L. (2022). Disposal of Unused and Expired Medicines within the Sunyani Municipality of Ghana: A Cross-Sectional Survey. *J Environ Public Health*.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2016). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de Historia de la Ley Nº 20.920: <https://shorturl.at/uwX17>

Chile Atiende. (23 de Enero de 2023). *Chile Atiende*. Obtenido de <https://acortar.link/zkZbUo>

Code of Federal Regulations. (2019). Obtenido de Title 40: <https://acortar.link/Qhvmc6>

Departamento de Estadísticas e Información de Salud. (2023). *Departamento de Estadísticas e Información de Salud*. Obtenido de Listado De Establecimientos: <https://acortar.link/zS3O0z>

EDELMAG. (2023). *EDELMAG*. Obtenido de <https://acortar.link/L01z1S>

El Pingüino. (2014). *El Pingüino*. Obtenido de <https://acortar.link/dSiBqq>

EPA. (2022 de Diciembre de 2022). *EPA*. Obtenido de Emerging Contaminants and Federal Facility Contaminants of Concern: <https://acortar.link/bz81xp>

Eurostat. (Diciembre de 2010). *Europa EU*. Obtenido de Guidance on classification of waste according to EWC-Stat categories: <https://acortar.link/4EVvOj>

FDA. (21 de 4 de 2021). *U.S Food & Drugs Administration*. Obtenido de Where and How to Dispose of Unused Medicines: <https://acortar.link/1xW3o8>

Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutierrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 52-73.

Gogoi, A., Mazumder, P., Kumar Tyagi, V., Tushara Chaminda, G., Kyoungjin An, A., & Kumar, M. (2018). Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. *Groundwater for Sustainable Development*, 169-180.

- Han, J. (2022). Barcoding drug information to recycle unwanted household pharmaceuticals: a review. *Environmental Chemistry Letters*, <https://acortar.link/YSbHn2>.
- Hospital Clínico Magallanes. (2013). *Plan manejo de residuos Hospital Clínico de Magallanes "Dr. Lautaro Navarro Avaria"*. Punta Arenas.
- Ilustre Municipalidad de Castro. (2016). *Mercado Público*. Obtenido de <https://acortar.link/NUX9nz>
- Ilustre Municipalidad de Ovalle. (2021). *Mercado Público*. Obtenido de <https://acortar.link/tfQOj1>
- Ilustre Municipalidad de Valdivia. (2020). *Mercado Público*. Obtenido de Mercado Público: <https://acortar.link/BkTs9I>
- INGAM. (2022). *Servicio de Evaluación Ambiental*. Obtenido de Declaración de Impacto Ambiental "Centro de Gestion de Residuos Solidos, Magallanes": <https://acortar.link/u6IkAL>
- Instituto de Salud Pública. (27 de Diciembre de 2021). *Instituto de Salud Pública*. Obtenido de ISP informa sobre los medicamentos más vendidos durante el año 2021: <https://acortar.link/6CLOhR>
- Instituto de Salud Pública. (2023). *Instituto de Salud Pública*. Obtenido de ¿Qué hacer con los medicamentos vencidos?: <https://acortar.link/4FzxQh>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). *Resultados del Censo 2017*. Obtenido de <https://acortar.link/zTAui8>
- Instituto Nacional del Cancer. (2023). *NIH Instituto Nacional del Cancer*. Obtenido de <https://acortar.link/OKRd3a>
- Khan, I., Saaed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 908-931.
- Klatte, S., Schaefer, H.-C., & Hempel, M. (2016). Pharmaceuticals in the environment – A short review on options to minimize the exposure of humans, animals and ecosystems. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2016.07.001>
- La Prensa Austral. (17 de Marzo de 2022). *En 4 años más Punta Arenas tendrá relleno sanitario*. Obtenido de <https://acortar.link/YPgcRt>
- Lei, M., Zhang, L., Lei, J., Zong, L., Li, J., Wu, Z., & Wang, Z. (2015). Overview of Emerging Contaminants and Associated Human Health Effects. *BioMed Research International*.
- Logistica PRESS. (11 de Mayo de 2023). *Logistica Press*. Obtenido de <https://acortar.link/Nh89Ej>
- Mehtonen, J., Äystö, L., Junttila, V., Perkola, N., Lehtinen, T., Bregendahl, J., . . . Kaskelainen, E. (2020). *Good practices for take-back and disposal of unused pharmaceuticals in the Baltic Sea region*. SYKE.
- Mercedes Rivera. (23 de Julio de 2023). *Invertia*. Obtenido de <https://acortar.link/RN4oq7>
- Michigan GOV. (2019). Obtenido de <https://acortar.link/FDLumC>

- Ministerio de Salud. (2003). *APRUEBA REGLAMENTO SANITARIO SOBRE MANEJO DE RESIDUOS*.
Obtenido de <https://bcn.cl/2b2ng>
- Ministerio de Salud. (2012). *Imparte instrucciones para el adecuado proceso de eliminación de residuos de medicamentos en mal estado y vencidos generados de establecimientos de salud, así como los originados de fármacos decomisados de lugares no autorizados*. Santiago.
- Ministerio de Salud. (2023). *Busca tu farmacia*. Obtenido de <https://shorturl.at/fzU38>
- Ministerio de Salud Pública. (1968). *Decreto con Fuerza de Ley 725*.
- Ministerio del Trabajo y Previsión Social. (2017). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile Ley 20949*.
Obtenido de <https://acortar.link/fuFfms>
- Ministerios de Salud. (2017). *Ministerio de Salud, Gobierno de Chile*. Obtenido de <https://acortar.link/UhT1NU>
- Minnesota Pollution Control Agency. (2 de agosto de 2022). *Minnesota Stormwater Manual*.
Obtenido de <https://shorturl.at/pSTZ3>
- Montinelli, C. (2018). Corrosion Inhibitors. En K. Wandelt, *Encyclopedia of Interfacial Chemistry* (págs. 164-171).
- Municipalidad de Vitacura, Dirección de Medio Ambiente, Aseo y Ornato. (2014). *Vitacura*. Obtenido de <https://acortar.link/9uJAsr>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2020). *Centers for Disease Control and Prevention*. Obtenido de NIOSH List of Hazardous Drugs in Healthcare Settings, 2020: <https://acortar.link/ceBH3C>
- Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances. (2023). Obtenido de NORMAN Database System: <https://www.norman-network.com/nds/>
- OCDE. (2019). *Pharmaceutical Residues in Freshwater*. OECD Studies in Water.
- OCDE. (2022). *OCDE*. Obtenido de Management of Pharmaceutical Household Waste: <https://acortar.link/GPKPDQ>
- Organización Mundial de la Salud. (1999). *Guidelines for safe disposal of unwanted pharmaceuticals in and after emergencies*.
- Organización Mundial de la Salud. (31 de Enero de 2018). Obtenido de <https://acortar.link/hoKCpu>
- Petrovic, M., Gonzalez, S., & Barceló, D. (2003). Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. *Analytical Chemistry*, 685-696.
- Poudel, M. K. (12 de junio de 2022). *What is the Density of Cement? : Particle Density & Bulk Density*. Obtenido de <https://shorturl.at/dkyTX>

- Poynton, H. C., & Robinson, W. E. (2018). Contaminants of Emerging Concern, With an Emphasis on Nanomaterials and Pharmaceuticals. En *Green Chemistry* (págs. 291-315). doi:<https://doi.org/10.1016/C2015-0-05674-X>
- Raghav, M., Eden, S., Mitchell, K., & Witte, B. (2013). *Contaminants of Emerging Concern in Water*. Tucson: The Arroyo.
- Return Unwanted Medicines. (2023). *Return Unwanted Medicines*. Obtenido de <https://returnmed.com.au/>
- Rogowska, J., & Zimmermann, A. (2022). Household Pharmaceutical Waste Disposal as a Global. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph192315798>
- Saidulu, D., Gupta, B., Kumar Gupta, A., & Sarathi Ghosal, P. (2021). A review on occurrences, ecotoxic effects, and remediation of emerging contaminants from wastewater: Special emphasis on biological treatment based hybrid systems. *Journal of Environmental Chemical Engineering*.
- Seremi de Salud de XII Región. (2021). *Mercado Público*. Obtenido de <https://acortar.link/HmhaFS>
- Sistema Nacional de Inversiones. (2023). *Sistema Nacional de Inversiones*. Obtenido de <https://acortar.link/ZSBVjn>
- Superbidon. (2023). *Superbidon*. Obtenido de <https://acortar.link/4krXTh>
- Tour Motor. (13 de junio de 2023). *Tour Motor*. Obtenido de <https://acortar.link/BEenv7>
- Veiga, A., Sousa, A., Sousa, C., Oliveira, M., & Neto, B. (2023). End-of-life management strategies of pharmaceuticals in Portuguese households. *Waste Management & Research*.
- VLS Environmental Solutions. (31 de Octubre de 2022). *VLS Environmental Solutions*. Obtenido de <https://acortar.link/eOfer9>
- World Health Organization. (2021). *Model List of Essential Medicines*. Ginebra.
- Yadav, D., Rangabhashiyam, S., Verma, P., Singh, P., Devi, P., Kumar, P., . . . Kumar, K. S. (2021). Environmental and health impacts of contaminants of emerging concern: Recent Treatment challenges and approaches. *Chemosphere*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129492>
- Zilker, M., Sörgel, F., & Holzgrabe, U. (2019). A systematic review of the stability of finished pharmaceutical products and drug substances beyond their labeled expiry dates. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*.

ANEXOS

Anexo A: Estimación de la cantidad de medicamentos de origen domiciliarios que son recolectados por el plan de gestión

Teniendo en cuenta la baja disponibilidad de información asociada al consumo de medicamentos, se realiza una estimación en base a la cantidad de medicamentos recolectados durante el año 2013 por el plan de recolección de la Ilustre Municipalidad de Vitacura. La estimación considera que la respuesta de los ciudadanos de Punta Arenas será similar a la de los habitantes de Vitacura, por lo que esta tasa de recolección representará a las conductas de recolección del primer año, cuyo valor irá aumentando en un 5% por año gracias a las campañas de concientización.

Para la estimación de la cantidad de medicamentos de origen domiciliarios recolectados se utilizaron las siguientes expresiones:

$$M_{DPAi} = T_B \cdot F_{Ci} \cdot H_{PAi}$$

$$T_B = \frac{M_{DV2013}}{H_{V2013}}$$

$$N_{DPAi} = \frac{M_{DPAi}}{P_M}$$

Donde:

M_{DPAi} : Cantidad de medicamentos de origen domiciliario recolectados en Punta Arenas durante el año i [kg/año]

T_B : Tasa de recolección base del año 2013 de la comuna de Vitacura [kg/habitantes-año]

F_{Ci} : Incremento en la tasa de recolección por concientización de la comunidad del año i [-]

H_{PAi} : Habitantes de la ciudad de Punta Arenas en el año i [habitantes]

M_{DV2013} : Cantidad de medicamentos de origen domiciliario recolectados en Vitacura durante el año 2013 [kg]

H_{V2013} : Habitantes de la ciudad de Vitacura en el año 2013 [habitantes]

N_{DPAi} : Número de medicamentos de origen domiciliario recolectados en Punta Arenas durante el año i [medicamentos/año]

P_M : Peso promedio de la unidad medicamento recolectada [kg/medicamento]

Anexo B: Estimación de la cantidad de medicamentos caducados de origen hospitalario

Teniendo en cuenta la baja disponibilidad de información asociada al consumo de medicamentos, se realiza una estimación en base a la cantidad de medicamentos eliminados en el año 2018 registrados en los documentos del Central de Abastecimiento del Sistema Nacional de Servicios de Salud (CENABAST). La estimación considera que la generación de medicamentos caducados será proporcional a la cantidad de habitantes en la ciudad de Punta Arenas y este valor será incrementado un 30% al considerar la existencia de las otras instalaciones de salud no relacionadas al Hospital Clínico de Punta Arenas.

Para la estimación de la cantidad de medicamentos caducados de origen hospitalarios se utilizó la siguiente expresión:

$$N_{HPA2018} = N_{HCPA2018} \cdot F_I$$

$$T_E = \frac{N_{HPA2018}}{H_{PA2018}}$$

$$M_{HPAi} = T_E \cdot H_{PAi} \cdot P_M$$

Donde:

$N_{HPA2018}$: Número de medicamentos caducados de origen hospitalario eliminados en los establecimientos de salud en Punta Arenas durante el año 2018 [medicamentos/año]

$N_{HCPA2018}$: Número de medicamentos caducados de origen hospitalario eliminados en el Hospital Clínico de Punta Arenas durante el año 2018 [medicamentos/año]

F_I : Incremento en la cantidad de medicamentos caducados eliminados por todos los establecimientos de salud en el año 2018[-]

T_E : Tasa de eliminación de medicamentos caducados en Punta Arenas durante el año 2018 [medicamentos/habitantes-año]

M_{HPAi} : Cantidad de medicamentos caducados de origen hospitalario eliminados en Punta Arenas durante el año i [kg/año]

H_{PAi} : Habitantes de la ciudad de Punta Arenas en el año i [habitantes]

P_M : Peso promedio de la unidad medicamento recolectada [kg/medicamento]

Anexo C: Estimación de las dimensiones del galpón para el almacenamiento y tratamiento de medicamentos desechados

El galpón habilitado para realizar la encapsulación y el almacenamiento de los medicamentos desechados por los domicilios contará con 2 áreas de trabajo, la primera de estas representa el sector en el cual se almacenarán los insumos y los equipos necesarios para la encapsulación, mientras que la segunda será la zona de trabajo, donde los medicamentos serán encapsulados y almacenados dentro de los tambores. Esta instalación también cumplirá con los requerimientos asociados al almacenamiento de residuos y contará con un radier de hormigón G25 con un espesor de 10 [cm], suministro de agua potable, conexiones eléctricas, cámara de contención de 200 [L] en caso de derrames, cubiertas, muros, portón y la autorización sanitaria pertinente. En la tabla 1 se especifican las dimensiones del galpón de trabajo.

Tabla 1. Especificaciones del galpón y bodega de residuos

<i>Ancho [m]</i>	10
<i>Largo [m]</i>	12
<i>Alto [m]</i>	2,5
<i>Zona de tratamiento y encapsulación [m²]</i>	60
<i>Zona de almacenamiento general [m²]</i>	60

Anexo D: Estimación del volumen de mezcla y la cantidad de materiales necesarios para la encapsulación de medicamentos

Para la encapsulación de los medicamentos recolectados se estimaron las cantidades de materiales necesarios para la encapsulación a partir del volumen de mezcla de 50 [L]. Este valor está sujeto a ciertas variaciones por razones de compresión en los envases de los medicamentos, compresión de los materiales de mezcla y otros aspectos relacionados al manejo del residuo por lo que el consumo real de materiales puede variar. Aun así, las medidas estimadas en este trabajo son una guía de trabajo que puede adaptarse a la consistencia y volumen necesario de mezcla. Por otro parte, se consideran las instrucciones que entrega la Organización Mundial de la Salud, en la cual se especifica que la cantidad de cemento y cal deben ser tres veces la cantidad de agua utilizada, como también que la cantidad de impermeabilizante Sika debe ser la décima parte del agua empleada. La expresión utilizada en la estimación del volumen de mezcla es:

$$V_M = \frac{m_C}{\rho_C} + \frac{m_{Cal}}{\rho_{Cal}} + \frac{m_A}{\rho_A} + \frac{m_I}{\rho_I}$$

Donde:

V_M : Volumen de mezcla ingresada al tambor [L]

m_C : Masa de cemento Portland utilizado en la mezcla [kg]

ρ_C : Densidad aparente del cemento Portland [kg/L]

m_{Cal} : Masa de cal utilizado en la mezcla [kg]

ρ_{Cal} : Densidad aparente de cal [kg/L]

m_A : Masa del agua utilizado en la mezcla [kg]

ρ_A : Densidad del agua [kg/L]

m_I : Masa del impermeabilizante Sika utilizado en la mezcla [kg]

ρ_I : Densidad del impermeabilizante Sika [kg/L]

Anexo E: Cálculo de la cantidad de tambores necesarios por jornada de recolección

La predicción de la cantidad tambores necesarios para poder encapsular los medicamentos recolectados en cada jornada estará en función de los datos estimados para el programa de gestión. Adicionalmente, se estima que el volumen aproximado de la unidad de medicamento recolectado (considerando su empaquetado) es de 0,07 [L], el cual se utilizará como referencia al momento de situar los medicamentos dentro de los tambores de encapsulación que poseen 150 [L] de volumen efectivo. La expresión utilizada para calcular la cantidad de tambores necesarios para cada jornada de recolección es:

$$N_{DJPAi} = \frac{N_{DPAi}}{24}$$

$$V_{Ti} = N_{DJPAi} \cdot V_P$$

$$N_{TJi} = \frac{V_{Ti}}{V_{PT}}$$

Donde:

N_{DJPAi} : Número de medicamentos de origen domiciliario recolectados en Punta Arenas durante cada jornada de recolección en el año i [medicamentos/jornada]

N_{DPAi} : Número de medicamentos de origen domiciliario recolectados en Punta Arenas durante el año i [medicamentos/año]

V_{Ti} : Volumen necesario para encapsular los medicamentos de cada jornada del año i [L]

V_P : Volumen promedio de la unidad de medicamento recolectado [L/medicamento]

N_{TJi} : Número de tambores necesarios para encapsular los medicamentos recolectados en cada jornada de recolección del año i [-]

V_{PT} : Volumen efectivo de los tambores de encapsulación [L]

La cantidad de tambores de encapsulación calculados para el mes serán redondeados a la unidad superior con la finalidad de sobredimensionar los requerimientos en caso de que el plan recolecte una mayor cantidad de residuos a lo predicho. Por otro lado, la cantidad de tambores necesarios durante toda la duración del plan de gestión alcanza las 588 unidades, los cuales utilizarán cerca de 117.600 [L] del relleno sanitario habilitado.

Anexo F: Costos de inversión asociados a la habilitación de los espacios de trabajo

Los valores entregados corresponden a estimaciones realizadas a partir de los datos encontrados en licitaciones de características similares al presente proyecto, por lo que los montos expuestos son valores extrapolados a las condiciones del Plan de Gestión propuesto. La tabla 1 muestra las especificaciones de esta inversión.

Tabla 1. Costos de inversión del galpón y bodega de trabajo

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
<i>Regularización de la construcción</i>	Gl	1	\$1.200.000	\$1.200.000
<i>Estructura resistente</i>	Gl	1	\$6.676.560	\$6.676.560
<i>Obra Gruesa</i>	m ²	120	\$6.700	\$804.000
<i>Fundación</i>	Gl	1	\$2.148.801	\$2.148.801
<i>Bases de pavimento</i>	m ²	120	\$23.737	\$2.876.100
<i>Cubiertas y muros</i>	m ²	198	\$7.806	\$1.545.588
<i>Portón de Acceso</i>	Gl	2	\$360.000	\$720.000
<i>Pintura intumescente</i>	m ²	166	\$2.002	\$332.999
<i>Pintura epóxica</i>	m ²	120	\$3.463	\$415.583
<i>Instalación Eléctrica</i>	Gl	1	\$4.274.000	\$4.274.000
<i>Agua potable</i>	Gl	1	\$1.800.000	\$1.800.000
<i>Tramitación, permisos y mano de obra</i>	Gl	1	\$10.000.000	\$10.000.000
<i>Valor (sin IVA)</i>				\$32.793.631
<i>Gastos generales y de servicio</i>				\$2.131.586
<i>Valor (IVA incluido)</i>				\$41.561.009

Anexo G: Resumen de las inversiones del proyecto

En las inversiones del proyecto se consideran los requerimientos de la tabla 1, además de incorporar los activos que superen su vida útil de la tabla 2.

Tabla 1. Resumen de las inversiones del proyecto

Requerimiento	Vida útil [años]	Cantidad	Valor unitario	Valor
<i>Gastos en la construcción</i>	20	1	\$61.561.009	\$61.561.009
<i>Contenedores personalizados</i>	10	35	\$100.000	\$3.500.000
<i>Vehículo Citroen E-Berlingo</i>	10	1	\$39.258.100	\$39.258.100
<i>Extintor para el vehículo</i>	20	1	\$29.990	\$29.990
<i>Extintor para el galpón</i>	20	1	\$68.000	\$68.000
<i>Palas concreteras</i>	3	2	\$11.990	\$23.980
<i>Baldes concreteros de 20 [L]</i>	3	3	\$5.790	\$17.370
<i>Trompo volteo 130 [L] 0,8 [HP]</i>	10	1	\$229.000	\$229.000
<i>Extensión eléctrica con seguro 10 [m]</i>	3	1	\$6.990	\$6.990
<i>Transpaleta CBY JC2 685</i>	10	1	\$199.990	\$199.990
<i>Pallets de Madera</i>	3	10	\$8.900	\$89.000
<i>Par de guantes de seguridad</i>	8	4	\$9.900	\$39.600
<i>Calzado de seguridad con punta de acero</i>	8	2	\$23.393	\$46.786
<i>Mascarilla Respirador 8511 3M [10 u]</i>	8	1	\$22.690	\$22.690
<i>Overol del plan de recolección</i>	8	4	\$12.290	\$49.160
<i>Antiparras seguridad 3M</i>	8	4	\$2.990	\$11.960
<i>Casco de seguridad con roller blanco</i>	8	4	\$2.790	\$11.160
<i>Gata</i>	8	1	\$11.830	\$11.830
<i>Conos</i>	8	4	\$4.795	\$19.180
<i>Llave de cruz</i>	8	2	\$5.990	\$11.980
<i>Botiquín de primeros auxilios</i>	8	1	\$26.990	\$26.990
<i>Neumáticos para nieve</i>	10	6	\$158.807	\$952.842
<i>Balanza digital tipo romana</i>	7	1	\$9.990	\$9.990
<i>Chaleco reflectante</i>	8	2	\$1.990	\$3.980
<i>Vaso medidor 1 [L]</i>	3	2	\$2.990	\$5.980
<i>Balanza digital</i>	7	1	\$79.990	\$79.990
<i>Notebooks de oficina</i>	5	1	\$399.990	\$399.990
<i>Mesa y silla</i>	7	1	\$153.990	\$153.990
<i>Gastos de inversión en equipos</i>				\$45.280.518
<i>Gastos de inversión en instalaciones y autorizaciones</i>				\$61.561.009
<i>Inversión total (IVA incluido)</i>				\$106.841.527

Tabla 2. Costos de reposición de activos por término de vida útil

Requerimiento	Valor
<i>Activos con 3 años de vida útil</i>	\$143.320
<i>Activos con 5 años de vida útil</i>	\$399.990
<i>Activos con 7 años de vida útil</i>	\$243.970
<i>Activos con 8 años de vida útil</i>	\$255.316

Anexo H: Resumen de los costos operacionales del proyecto

Tabla 1. Remuneraciones de los trabajadores del plan de gestión

<i>Personal</i>	<i>Remuneración base</i>	<i>Fondo de pensiones</i>	<i>Cotización por salud</i>	<i>Seguro de invalidez</i>	<i>Seguro por accidentes de trabajo</i>	<i>Seguro de cesantía</i>	<i>Aporte de indemnización</i>	<i>Total</i>
		10%	7%	2,21%	0,93%	3%	1,11%	
<i>Trabajador de planta</i>	\$550.000	\$55.000	\$38.500	\$12.155	\$5.115	\$16.500	\$6.105	\$683.375
<i>Encargado del plan</i>	\$1.300.000	\$130.000	\$91.000	\$28.730	\$12.090	\$39.000	\$14.430	\$1.600.820
<i>Gasto mensual</i>	\$1.850.000	\$185.000	\$129.500	\$40.885	\$17.205	\$55.500	\$20.535	\$2.284.195

Tabla 2. Resumen de costos fijos del plan de gestión en un año de ejecución

<i>Costos fijos</i>	
<i>Remuneraciones</i>	\$27.410.340
<i>Permiso de circulación</i>	\$658.826
<i>Revisión técnica</i>	\$19.350
Total	\$28.088.516

Tabla 3. Campaña de difusión anual

Requerimiento	Cantidad	Valor unitario	Valor
<i>Afiches en formato A0</i>	50	\$15.000	\$750.000
<i>Afiches en formato A3</i>	50	\$800	\$40.000
<i>Aviso radio</i>	32	\$10.000	\$380.800
<i>Aviso radio noticiero</i>	4	\$800.000	\$952.000
<i>Aviso televisivo programa de 20 minutos</i>	1	\$100.000	\$119.000
<i>Servicio externo de difusión</i>	1	\$800.000	\$800.000
<i>Total (IVA incluido)</i>			\$3.041.800

Tabla 4. Costos variables a costos del año 2023

Insumo	Costo unitario
<i>Consumo de agua [m³]</i>	\$2.693
<i>Bolsas de recolección [-]</i>	\$203
<i>Consumo de electricidad [kWh]</i>	\$1.738
<i>Tambores [-]</i>	\$60.795
<i>Saco de cemento Portland [-]</i>	\$3.800
<i>Saco de cal Hidratada [-]</i>	\$5.590
<i>Campaña de difusión anual [-]</i>	\$3.041.800
<i>Impermeabilizante [-]</i>	\$27.660
<i>Caja de guantes de nitrilo [-]</i>	\$5.990
<i>Impresión de formulario [-]</i>	\$50

Anexo I: Costos sociales del proyecto

Tabla 1. Sueldos de los trabajadores del proyecto en costo social

Personal	Total	FCSMO	Precio Social
<i>Trabajador de planta</i>	\$683.375	95%	\$649.206
<i>Encargado del plan</i>	\$1.615.250	97%	\$1.566.793
<i>Gasto Mensual</i>	\$2.298.625	-	\$2.215.999

Tabla 2. Costo social de la reposición de activos por término de la vida útil

Requerimiento	Valor social
<i>Activos con 3 años de vida útil</i>	\$120.437
<i>Activos con 5 años de vida útil</i>	\$336.126
<i>Activos con 7 años de vida útil</i>	\$205.017
<i>Activos con 8 años de vida útil</i>	\$214.551

Tabla 3. Requerimientos de inversión en costos sociales

Requerimiento	Valor social
<i>Gastos en la construcción, acondicionamiento y tramitación del lugar de trabajo</i>	\$51.731.940
<i>Contenedores</i>	\$2.941.176
<i>Vehículo Citroen E-Berlingo</i>	\$32.990.000
<i>Extintor para el vehículo</i>	\$25.202
<i>Extintor para el galpón</i>	\$57.143
<i>Palas concreteras</i>	\$20.151
<i>Baldes concreteros de 20 [L]</i>	\$14.597
<i>Trompo volteo 130 [L] 0,8 [HP]</i>	\$192.437
<i>Extensión eléctrica con seguro 10 [m]</i>	\$5.874
<i>Transpaleta CBY JC2 685</i>	\$168.059
<i>Pallets de Madera</i>	\$74.790
<i>Par de guantes de seguridad</i>	\$33.277
<i>Calzado de seguridad con punta de acero</i>	\$39.316
<i>Mascarilla Respirador 8511 3M [10 u]</i>	\$19.067
<i>Overol del plan de recolección</i>	\$41.311
<i>Antiparras seguridad 3M</i>	\$10.050
<i>Casco de seguridad con roller blanco</i>	\$9.378
<i>Gata</i>	\$9.941

<i>Conos</i>	\$16.118
<i>Llave de cruz</i>	\$10.067
<i>Botiquín de primeros auxilios</i>	\$22.681
<i>Neumáticos para nieve</i>	\$800.708
<i>Balanza digital tipo romana</i>	\$8.395
<i>Chaleco reflectante</i>	\$3.345
<i>Vaso medidor 1 [L]</i>	\$5.025
<i>Balanza digital</i>	\$67.218
<i>Notebooks de oficina</i>	\$336.126
<i>Mesa y silla</i>	\$129.403
<i>Gastos de inversión en equipos</i>	\$38.050.855
<i>Gastos de inversión en instalaciones y autorizaciones</i>	\$51.731.940
<i>Inversión total en precio social</i>	\$89.782.795

Tabla 4. Costos sociales de los insumos operacionales

Insumos	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
<i>Consumo de agua [m³]</i>	\$110.644	\$110.644	\$110.644	\$110.731	\$110.731	\$110.731	\$110.731	\$110.731	\$110.819	\$110.819
<i>Bolsas de recolección [-]</i>	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134
<i>Consumo de electricidad [kWh]</i>	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130
<i>Tambores [-]</i>	\$1.226.118	\$1.226.118	\$1.226.118	\$1.532.647	\$1.532.647	\$1.532.647	\$1.532.647	\$1.532.647	\$1.839.176	\$1.839.176
<i>Saco de cemento Portland [-]</i>	\$153.277	\$153.277	\$153.277	\$191.597	\$191.597	\$191.597	\$191.597	\$191.597	\$229.916	\$229.916
<i>Saco de cal Hidratada [-]</i>	\$225.479	\$225.479	\$225.479	\$281.849	\$281.849	\$281.849	\$281.849	\$281.849	\$338.218	\$338.218
<i>Campaña de concientización periódica [-]</i>	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134
<i>Impermeabilizante [-]</i>	\$46.487	\$46.487	\$46.487	\$69.731	\$69.731	\$69.731	\$69.731	\$69.731	\$69.731	\$69.731
<i>Guantes de nitrilo [-]</i>	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034
<i>Impresión de formularios [-]</i>	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504

Anexo J: Cálculo de los indicadores de rendimiento social

Las expresiones utilizadas para el cálculo de los indicadores de rendimiento social son:

$$VAC_{Social} = I_S + \sum_{i=1}^n \frac{CS_i}{(a + r_s)^i}$$
$$CAE_{Social} = VAC_{Social} \cdot \left[\frac{r_s \cdot (1 + r_s)^n}{(1 + r_s)^n - 1} \right]$$

Donde:

VAC_{Social} : Valor Actual de Costos sociales del proyecto

CAE_{Social} : Carga Anual Equivalente social del proyecto

I_S : Inversión valorada a precios sociales

CS_i : Costos de operación y mantención del año i en precios sociales

R_s : Tasa social de descuento

N : Horizonte de evaluación del proyecto

Anexo K: Análisis de sensibilidad a las remuneraciones del proyecto

Tabla 1. Costo social de remuneraciones aumentadas en un 25%

Trabajador de planta aumentado	\$811.508
Encargado del plan aumentado	\$1.958.491
Gasto Mensual aumentado	\$2.769.998

Tabla 2. Costo social de remuneraciones disminuidas en un 25%

Trabajador de planta disminuido	\$486.905
Encargado del plan disminuido	\$1.175.094
Gasto Mensual disminuido	\$1.661.999

Tabla 3. Costos sociales del proyecto al aumentar las remuneraciones en un 25%

Tipo de costo		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	Construcción de obra	\$51.731.940	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Compra de activos	\$38.050.855	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos de operación	Sueldos	-	\$33.239.981	\$33.239.981	\$33.239.981	\$33.239.981	\$33.239.981	\$33.239.981	\$33.239.981	\$33.239.981	\$33.239.981	\$33.239.981
	Materiales e insumos	-	\$4.584.942	\$4.584.942	\$4.584.942	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.410.798	\$5.410.798
	Mantenimiento y reposición	-	\$1.141.526	\$1.141.526	\$1.261.963	\$1.141.526	\$1.477.652	\$1.261.963	\$1.346.542	\$1.356.077	\$1.261.963	\$1.141.526
Total de costos		\$89.782.795	\$38.966.449	\$38.966.449	\$39.086.886	\$39.390.999	\$39.727.125	\$39.511.436	\$39.596.015	\$39.605.550	\$39.912.742	\$39.792.305

Tabla 4. Costos sociales del proyecto al disminuir las remuneraciones en un 25%

Tipo de costo disminución		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	Construcción de obra	\$51.731.940	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Compra de activos	\$38.050.855	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos de operación	Sueldos	-	\$19.943.989	\$19.943.989	\$19.943.989	\$19.943.989	\$19.943.989	\$19.943.989	\$19.943.989	\$19.943.989	\$19.943.989	\$19.943.989
	Materiales e insumos	-	\$4.584.942	\$4.584.942	\$4.584.942	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.410.798	\$5.410.798
	Mantenición y reposición	-	\$1.141.526	\$1.141.526	\$1.261.963	\$1.141.526	\$1.477.652	\$1.261.963	\$1.346.542	\$1.356.077	\$1.261.963	\$1.141.526
Total de costos		\$89.782.795	\$25.670.456	\$25.670.456	\$25.790.893	\$26.095.006	\$26.431.132	\$26.215.443	\$26.300.023	\$26.309.557	\$26.616.749	\$26.496.312

Anexo L: Análisis de sensibilidad a las inversiones del proyecto

Tabla 1. Costo social de inversiones aumentadas en un 25%

<i>Gastos de inversión en equipos aumentados</i>	\$47.563.569
<i>Gastos de inversión en instalaciones y autorizaciones aumentados</i>	\$64.664.916
<i>Inversión total en precio social aumentado</i>	\$112.228.485

Tabla 2. Costo social de inversiones disminuidas en un 25%

<i>Gastos de inversión en equipos disminuidos</i>	\$28.538.142
<i>Gastos de inversión en instalaciones y autorizaciones disminuidos</i>	\$38.798.955
<i>Inversión total en precio social disminuido</i>	\$67.337.097

Tabla 3. Costos sociales del proyecto al aumentar las inversiones en un 25%

<i>Tipo de costo en aumento</i>		<i>Año 0</i>	<i>Año 1</i>	<i>Año 2</i>	<i>Año 3</i>	<i>Año 4</i>	<i>Año 5</i>	<i>Año 6</i>	<i>Año 7</i>	<i>Año 8</i>	<i>Año 9</i>	<i>Año 10</i>
<i>Inversión</i>	<i>Construcción de obra</i>	\$64.664.916	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Compra de activos</i>	\$47.563.569	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Costos de operación</i>	<i>Sueldos</i>	-	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985
	<i>Materiales e insumos</i>	-	\$4.584.942	\$4.584.942	\$4.584.942	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.410.798	\$5.410.798
	<i>Mantenimiento y reposición</i>	-	\$1.426.907	\$1.426.907	\$1.547.344	\$1.426.907	\$1.763.033	\$1.547.344	\$1.631.924	\$1.641.458	\$1.547.344	\$1.426.907
<i>Total de costos</i>		\$112.228.485	\$32.603.834	\$32.603.834	\$32.724.271	\$33.028.384	\$33.364.510	\$33.148.821	\$33.233.401	\$33.242.935	\$33.550.127	\$33.429.690

Tabla 4. Costos sociales del proyecto al disminuir las inversiones en un 25%

Tipo de costo en disminución		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	Construcción de obra	\$38.798.955	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Compra de activos	\$28.538.142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos de operación	Sueldos	-	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985
	Materiales e insumos	-	\$4.584.942	\$4.584.942	\$4.584.942	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.410.798	\$5.410.798
	Mantenimiento y reposición	-	\$856.144	\$856.144	\$976.581	\$1.426.907	\$1.192.270	\$976.581	\$1.061.161	\$1.070.696	\$976.581	\$856.144
Total de costos		\$67.337.097	\$32.033.071	\$32.033.071	\$32.153.508	\$33.028.384	\$32.793.747	\$32.578.058	\$32.662.638	\$32.672.172	\$32.979.364	\$32.858.927

Anexo M: Análisis de sensibilidad a la recolección de medicamentos

Tabla 1. Predicción de los medicamentos recolectados con un aumento del 25% en la tasa de generación

Datos aumentados	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Medicamentos recolectados [medicamentos/mes]	9.279	9.789	10.303	10.818	11.335	11.854	12.373	12.894	13.416	13.938
Medicamentos recolectados [medicamentos/jornada]	4.639	4.895	5.151	5.409	5.667	5.927	6.187	6.447	6.708	6.969
Volumen total de medicamentos recolectados [L/jornada]	325	343	361	379	397	415	433	451	470	488
Cantidad de tambores [tambores/jornada]	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3	3,1	3,3
Cantidad de tambores [tambores/mes]	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7
Cantidad de tambores [tambores/año]	60	60	60	72	72	72	72	84	84	84

Tabla 2. Costos sociales operacionales para un aumento de un 25% en la tasa de recolección

Insumos aumentados	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Consumo de agua [m³]	\$110.731	\$110.731	\$110.731	\$110.819	\$110.819	\$110.819	\$110.819	\$110.906	\$110.906	\$110.906
Bolsas de recolección [-]	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134
Consumo de electricidad [kWh]	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130
Tambores [-]	\$1.532.647	\$1.532.647	\$1.532.647	\$1.839.176	\$1.839.176	\$1.839.176	\$1.839.176	\$2.145.706	\$2.145.706	\$2.145.706
Saco de cemento Portland [-]	\$191.597	\$191.597	\$191.597	\$229.916	\$229.916	\$229.916	\$229.916	\$268.235	\$268.235	\$268.235
Saco de cal Hidratada [-]	\$281.849	\$281.849	\$281.849	\$338.218	\$338.218	\$338.218	\$338.218	\$394.588	\$394.588	\$394.588
Campaña de concientización periódica [-]	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134
Impermeabilizante [-]	\$69.731	\$69.731	\$69.731	\$69.731	\$69.731	\$69.731	\$69.731	\$92.975	\$92.975	\$92.975
Guantes de nitrilo [-]	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034
Impresión de formularios [-]	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504

Tabla 3. Costos sociales del proyecto al aumentar la tasa de recolección en un 25%

Tipo de costo en aumento		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	Construcción de obra	\$51.731.940	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Compra de activos	\$38.050.855	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos de operación	Sueldos	-	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985
	Materiales e insumos	-	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.009.492	\$5.410.798	\$5.410.798	\$5.410.798	\$5.410.798	\$5.835.347	\$5.835.347	\$5.835.347
	Mantenición y reposición	-	\$1.141.526	\$1.141.526	\$1.261.963	\$1.141.526	\$1.477.652	\$1.261.963	\$1.346.542	\$1.356.077	\$1.261.963	\$1.141.526
Total de costos		\$89.782.795	\$32.743.002	\$32.743.002	\$32.863.439	\$33.144.308	\$33.480.434	\$33.264.745	\$33.349.325	\$33.783.409	\$33.689.295	\$33.568.858

Tabla 4. Predicción de los medicamentos recolectados con una disminución del 25% en la tasa de generación

Datos disminuidos	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Medicamentos recolectados [medicamentos/mes]	5.567,29	5.873,45	6.181,60	6.490,77	6.800,89	7.112,11	7.423,93	7.736,27	8.049,38	8.363,02
Medicamentos recolectados [medicamentos/jornada]	2.783,64	2.936,73	3.090,80	3.245,38	3.400,44	3.556,05	3.711,96	3.868,14	4.024,69	4.181,51
Volumen total de medicamentos recolectados [L/jornada]	194,86	205,57	216,36	227,18	238,03	248,92	259,84	270,77	281,73	292,71
Cantidad de tambores [tambores/jornada]	1,3	1,37	1,44	1,51	1,59	1,66	1,73	1,81	1,88	1,95
Cantidad de tambores [tambores/mes]	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
Cantidad de tambores [tambores/año]	36	36	36	48	48	48	48	48	48	48

Tabla 5. Costos sociales operacionales para una disminución de un 25% en la tasa de recolección

Insumos disminuidos	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Consumo de agua [m³]	\$110.556	\$110.556	\$110.556	\$110.644	\$110.644	\$110.644	\$110.644	\$110.644	\$110.644	\$110.644
Bolsas de recolección [-]	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134
Consumo de electricidad [kWh]	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130	\$65.130
Tambores [-]	\$919.588	\$919.588	\$919.588	\$1.226.118	\$1.226.118	\$1.226.118	\$1.226.118	\$1.226.118	\$1.226.118	\$1.226.118
Saco de cemento Portland [-]	\$114.958	\$114.958	\$114.958	\$153.277	\$153.277	\$153.277	\$153.277	\$153.277	\$153.277	\$153.277
Saco de cal Hidratada [-]	\$169.109	\$169.109	\$169.109	\$225.479	\$225.479	\$225.479	\$225.479	\$225.479	\$225.479	\$225.479
Campaña de concientización periódica [-]	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134
Impermeabilizante [-]	\$46.487	\$46.487	\$46.487	\$46.487	\$46.487	\$46.487	\$46.487	\$46.487	\$46.487	\$46.487
Caja guantes de nitrilo [-]	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034
Impresión de formularios [-]	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504

Tabla 6. Costos sociales del proyecto al disminuir la tasa de recolección en un 25%

Tipo de costo en disminución		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	Construcción de obra	\$51.731.940	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Compra de activos	\$38.050.855	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos de operación	Sueldos	-	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985
	Materiales e insumos	-	\$4.183.636	\$4.183.636	\$4.183.636	\$4.584.942	\$4.584.942	\$4.584.942	\$4.584.942	\$4.584.942	\$4.584.942	\$4.584.942
	Mantención y reposición	-	\$1.141.526	\$1.141.526	\$1.261.963	\$1.141.526	\$1.477.652	\$1.261.963	\$1.346.542	\$1.356.077	\$1.261.963	\$1.141.526
Total de costos		\$89.782.795	\$31.917.146	\$31.917.146	\$32.037.583	\$32.318.453	\$32.654.579	\$32.438.890	\$32.523.469	\$32.533.004	\$32.438.890	\$32.318.453

Anexo N: Análisis de alternativas

Tabla 1. Requerimientos de inversión en costos sociales para la propuesta alternativa

Requerimiento	Valor social
<i>Gastos en la construcción y requerimientos de la bodega</i>	\$34.925.217
<i>Contenedores</i>	\$2.941.176
<i>Vehículo Citroen E-Berlingo</i>	\$32.990.000
<i>Extintor para el vehículo</i>	\$25.202
<i>Extintor para el galpón</i>	\$57.143
<i>Transpaleta CBY JC2 685</i>	\$168.059
<i>Pallets de Madera</i>	\$74.790
<i>Par de guantes de seguridad</i>	\$33.277
<i>Calzado de seguridad con punta de acero</i>	\$39.316
<i>Mascarilla Respirador 8511 3M [10 u]</i>	\$19.067
<i>Overol del plan de recolección</i>	\$41.311
<i>Antiparras seguridad 3M</i>	\$10.050
<i>Casco de seguridad con roller blanco</i>	\$9.378
<i>Gata</i>	\$9.941
<i>Conos</i>	\$16.118
<i>Llave de cruz</i>	\$10.067
<i>Botiquín de primeros auxilios</i>	\$22.681
<i>Neumáticos para nieve</i>	\$800.708
<i>Balanza digital tipo romana</i>	\$8.395
<i>Chaleco reflectante</i>	\$3.345
<i>Notebooks de oficina</i>	\$336.126
<i>Gastos de inversión en equipos</i>	\$37.616.150
<i>Gastos de inversión en instalaciones y autorizaciones</i>	\$34.925.217
<i>Inversión total en precio social</i>	\$72.541.367

Tabla 2. Costo social de la reposición de activos por término de la vida útil para la propuesta alternativa

Requerimiento	Valor social
<i>Activos con 3 años de vida útil</i>	\$74.790
<i>Activos con 5 años de vida útil</i>	\$336.126
<i>Activos con 7 años de vida útil</i>	\$8.395
<i>Activos con 8 años de vida útil</i>	\$214.551

Tabla 3. Costos sociales para la eliminación de los medicamentos recolectados por un servicio externo

Datos	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Costo de eliminación [\$/kg]	2350	2350	2350	2350	2350	2350	2350	2350	2350	2350
Medicamentos recolectados [kg/año]	3.118	3.289	3.462	3.635	3.808	3.983	4.157	4.332	4.508	4.683
N° de solicitudes [-]	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Costo total de eliminación [\$]	\$7.326.552	\$7.729.465	\$8.134.986	\$8.541.850	\$8.949.969	\$9.359.532	\$9.769.891	\$10.180.935	\$10.592.988	\$11.005.737

Tabla 4. Costos sociales operacionales para la propuesta alterna

Insumos	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Consumo de agua [m³]	\$108.860	\$108.860	\$108.860	\$108.860	\$108.860	\$108.860	\$108.860	\$108.860	\$108.860	\$108.860
Bolsas de recolección [-]	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134	\$136.134
Consumo de electricidad [kWh]	\$39.610	\$39.610	\$39.610	\$39.610	\$39.610	\$39.610	\$39.610	\$39.610	\$39.610	\$39.610
Campaña de concientización periódica [-]	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134	\$2.556.134
Guantes de nitrilo [caja 100]	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034	\$5.034
Impresión de formularios [-]	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504	\$60.504

Tabla 5. Costos sociales de la propuesta alternativa

Tipo de costo para la propuesta alternativa		Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	Construcción de obra	\$34.925.217	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Compra de activos	\$37.616.150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Costos de operación	Sueldos	-	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985	\$26.591.985
	Servicio de eliminación	-	\$7.326.552	\$7.729.465	\$8.134.986	\$8.541.850	\$8.949.969	\$9.359.532	\$9.769.891	\$10.180.935	\$10.592.988	\$11.005.737
	Materiales e insumos	-	\$2.906.276	\$2.906.276	\$2.906.276	\$2.906.276	\$2.906.276	\$2.906.276	\$2.906.276	\$2.906.276	\$2.906.276	\$2.906.276
	Mantenimiento y reposición	-	\$1.128.484	\$1.128.484	\$1.203.274	\$1.128.484	\$1.464.611	\$1.203.274	\$1.136.879	\$1.343.036	\$1.203.274	\$1.128.484
Total de costos		\$72.541.367	\$37.953.298	\$38.356.210	\$38.836.521	\$39.168.596	\$39.912.841	\$40.061.068	\$40.405.032	\$41.022.231	\$41.294.524	\$41.632.482

Tabla 6. Indicadores de rendimiento para la propuesta alternativa

<i>Inversión valorada en precio social</i>	\$72.541.367
<i>Costos de operación en precio social</i>	\$291.940.680
<i>Tasa social de descuento [%]</i>	6%
<i>Horizonte de evaluación [años]</i>	10
<i>Valor actual de costos (VAC)</i>	\$364.482.047
<i>Costo anual Equivalente (CAE)</i>	\$49.521.432