

UNIVERSIDAD FEDERICO SANTA MARÍA  
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA



EXPLORANDO SISTEMAS DE GESTION DE OLORES GENERADOS POR LA  
INDUSTRIA AGROALIMENTARIA EN CHILE: IMPACTOS AMBIENTALES Y  
ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN SOSTENIBLE.

Trabajo de Titulación para optar al Título  
de INGENIERO DE EJECUCIÓN EN  
GESTIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Alumna:

Constanza Sanhueza Romero

Profesor Guía:

Dr. Daniel Moena Flandes

## **AGRADECIMIENTOS**

En estas páginas quiero plasmar mi gratitud a quienes me acompañaron en este camino universitario, inicialmente a mis Padres por creer en mí, a mi hermana por motivarme a seguir hasta el final, también amigas por animarme cuando estaba cansada, y finalmente a Dios por poner a todas estas personas en mi camino y ayudarme a terminar este proceso con éxito.

## RESUMEN

En este estudio se desarrolla un Sistema para la Gestión de Olores en la Industria Agroalimentaria de Chile, basado en la Industria Ganadera y la Industria Pesquera. La generación de malos olores está asociada a la actividad humana e industrial, es por ello por lo que, sus moléculas odoríferas son percibidas por comunidades aledañas donde realizan estas actividades, los contaminantes que mayormente se identifican o se presentan son los compuestos orgánicos volátiles (COV), que por su volatilidad se propagan sin dificultad al ambiente aumentando malos olores.

A través de un Sistema de Gestión de Olores se resuelven problemáticas asociadas a las emisiones odoríferas, el impacto ambiental que se genera en las personas expuestas y al medio ambiente; En relación a las quejas que se manifiestan en la comunidad apuntando a la flora y fauna, se ha desarrollado un planteamiento teórico en el que se analizarán tecnologías eficaces, estudiando la problemática actual de Chile identificando cómo implementar soluciones, exponiendo ideas de mejoras respecto a la sostenibilidad y cumplimiento de la Normativa Chilena existente en relación a olores.

Se analizan nuevas tecnologías como biofiltros con el fin de que se puedan implementar en las industrias Ganadera y Pesquera para mejorar el futuro de Chile respecto a olores, también para entender de una mejor manera la dispersión de los contaminantes en el aire con modelos como AERMOD y CAELPUFF que analizan modelos eficientes considerando su alcance y dimensión en las localidades afectadas.

Los resultados de este trabajo ayudan a comprender la contaminación odorífera de las industrias agroalimentarias, identificar sus fuentes con un desarrollo de modelos de dispersión y las nuevas tecnologías, contribuyendo con la gestión de olores. Proveyendo mejores estrategias para reducir las emisiones de olor y disminuir el impacto ambiental, se complementa haciendo comparaciones con otros países para mejorar el cumplimiento de normas ambientales más estrictas y sostenibles mejorando la calidad de vida de las personas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS..... 2

RESUMEN..... 3

INDICE DE FIGURAS..... 6

SIGLA Y SIMBOLOGÍA..... 7

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS..... ¡Error! Marcador no definido.

    INTRODUCCIÓN ..... 1

    OBJETIVOS..... 3

        Objetivo General..... 3

        Objetivos Específicos..... 3

    ALCANCE..... 4

1. CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN Y CONTROL DE OLORES EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA..... 5

    1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL (GANADERÍA Y PESQUERA)..... 5

    1.2 Procesos Críticos de la Industria Ganadera:..... 10

        1.2.1 Cría y engorda de animales:..... 10

        1.2.2 Procesamiento de la carne:..... 10

        1.2.3 Gestión de desechos:..... 11

    1.3 PROCESOS CRÍTICOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA ..... 11

        1.3.1 Procesamiento del pescado: ..... 11

        1.3.2 Producción de harina o aceite de pescado:..... 11

        1.3.3 Descargas y almacenamientos ..... 12

    1.4 CONTRASTE INDUSTRIAS ..... 13

        1.4.1 Similitud industrias ganadera y pesquera [13], [14]. ..... 13

        1.4.2 Diferencias industria ganadera y pesquera [13], [14]. ..... 13

    1.5 MEJORAS EN LOS PROCESOS ..... 14

1.    CAPÍTULO 2: GESTIÓN AVANZADA DE OLORES: MODELOS Y MONITOREO 15

    1.1    MODELOS DE DISPERSIÓN..... 16

        2.1.1 Modelo screening..... 16

        2.1.2 Modelo de dispersión compleja ..... 16

    2.2 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE OLORES ..... 17

        2.2.1 Olfatometría dinámica..... 17

        2.2.2 Métodos analíticos: ..... 17

        2.2.3 Método Empírico ..... 17

        2.2.4 Metodología de encuestas ..... 18

    2.4 PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LOS MODELOS DE DISPERSIÓN ..... 19

    2.5 TIPOS DE MODELOS DE DISPERSIÓN APLICADOS EN ESTUDIOS DE OLORES..... 20

        2.5.1 Modelos gaussianos ..... 20

        2.5.2 Modelos lagrangianos ..... 20

        2.5.3 Modelos eulerianos ..... 20

    2.6 Variables clave en los modelos de dispersión (velocidad del viento, temperatura, topografía, etc.)..... 20

|                                                                                                                                             |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.6.1 Velocidad y dirección del viento .....                                                                                                | 20        |
| 2.6.2 Estabilidad atmosférica .....                                                                                                         | 21        |
| 2.6.3 Topografía.....                                                                                                                       | 21        |
| 2.6.4 Temperatura .....                                                                                                                     | 21        |
| 2.6.4 Características de la fuente: .....                                                                                                   | 21        |
| <b>2.7 SELECCIÓN DE MODELOS MÁS EFECTIVOS EN EL CONTEXTO CHILENO..</b>                                                                      | <b>22</b> |
| 2.7.1 Relación entre la dispersión de olores y la calidad del aire .....                                                                    | 22        |
| 2.7.2 Impactos en la salud pública asociados a emisiones de olores .....                                                                    | 23        |
| 2.7.3 Indicadores y estándares internacionales para evaluar los impactos.....                                                               | 23        |
| <b>3. CAPÍTULO 3: ESTRATEGIAS SOSTENIBLES Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS<br/>PARA MITIGAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EMISIONES DE OLORES ....</b> | <b>25</b> |
| <b>3.1 MARCO NORMATIVO CHILENO SOBRE CONTROL Y MITIGACIÓN DE<br/>OLORES.....</b>                                                            | <b>25</b> |
| <b>3.2 PRINCIPIOS DE SOSTENIBILIDAD EN LA GESTIÓN AMBIENTAL .....</b>                                                                       | <b>26</b> |
| <b>3.3 POLÍTICAS PÚBLICAS Y EXPERIENCIAS NACIONALES EN MITIGACIÓN<br/>DE OLORES .....</b>                                                   | <b>27</b> |
| <b>3.4 BIOFILTROS Y TECNOLOGÍAS BASADAS EN PROCESOS BIOLÓGICOS.....</b>                                                                     | <b>28</b> |
| 3.4.1 Costos de instalación de biofiltros .....                                                                                             | 29        |
| 3.4.2 Costos de Mantenimiento y Operación de un Biofiltro. ....                                                                             | 30        |
| <b>3.5 SISTEMAS DE OXIGENACIÓN AVANZADA Y OXIDACIÓN QUÍMICA .....</b>                                                                       | <b>31</b> |
| <b>3.6 DISEÑO DE UN PLAN DE ACCIÓN BASADO EN NORMATIVA CHILENA .....</b>                                                                    | <b>32</b> |
| 3.6.1 Indicadores de seguimiento y evaluación .....                                                                                         | 33        |
| <b>3.7 RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN A LARGO PLAZO.....</b>                                                                               | <b>34</b> |
| <b>4. CONCLUSIÓN .....</b>                                                                                                                  | <b>35</b> |
| <b>5. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES. ....</b>                                                                                                      | <b>39</b> |
| <b>6. ANEXOS.....</b>                                                                                                                       | <b>43</b> |

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Número de establecimientos potencialmente generadores de olor por actividad, 2013 ..... 6

FIGURA 2. Proceso de emisión, transporte y recepción de olor..... 8

FIGURA 3 Seguimiento de cómo una emisión de olor se forma en una queja ..... 9

Figura 4 costos instalación..... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 5 costos mantenimiento ..... 30

# SIGLA Y SIMBOLOGÍA

SEA: Servicio de Evaluación Ambiental

SEIA: Servicio de evaluación de impacto ambiental

EIA: Estudio de Impacto Ambiental

DIA: Declaración de Impacto Ambiental

## **INTRODUCCIÓN**

En los últimos años, la contaminación por olores ha sido percibida con más atención, ya que es una problemática que perjudica de manera directa a la calidad de vida de las personas. Este tipo de contaminación no solo causa malestar, sino que también tiene un impacto significativo en la salud de las personas tanto física, psicológica y social [1].

Las personas expuestas a malos olores pueden sufrir problemas respiratorios, cambios en su estado de ánimo, dificultades para mantener sus rutinas diarias e incluso problemas de insomnio. Entre los principales contaminantes que provocan alteraciones a nuestro bienestar encontramos: el Amoniaco y Sulfuro de Hidrógeno, ambos contaminantes cuyo olor se percibe con mayor facilidad especialmente en los desechos de animales, sumado a estos se encuentran los Ácidos Grasos Volátiles los cuales, se detectan del olor que se genera en la descomposición de aceites y grasas. Finalmente, los contaminantes Aldehídos y Cetonas comúnmente se perciben estos olores en la descomposición de materia orgánica u otros procesos industriales. Estos antecedentes permiten evidenciar una problemática latente en las comunidades, que no puede ni debe pasar desapercibida pues esto sería un desmedro al desarrollo sostenible e integral de las industrias [2].

Los efectos provocados en el medio ambiente generan alteraciones o perturbaciones a la fauna que vive cerca de una industria agroalimentaria, la fauna se encuentra en su entorno natural y la instalación de estas industrias genera desorientación para los animales, ya que provoca contaminación al suelo, agua, aire que altera la calidad de vida de los animales. Igualmente, alteraciones a la flora ya que se realizan deforestaciones perdiendo así una gran biodiversidad que desencadena en un gran desequilibrio ecológico [3].

Las Industrias Agroalimentarias representan actividades económicas que se ocupan de la producción y comercialización de productos para la elaboración de alimentos de consumo humano y animal, sus principales procesos son el almacenamiento, procesamiento, conservación y servicio. Dentro de la Agroindustria podemos encontrar dos principales en nuestro país, la Ganadería y la Pesca. La ganadería se desarrolla en actividades que se encargan de obtener productos como la carne, leche y cuero entre muchas otras, no debemos ignorar que además de ser una fuente de alimento, favorecen a la empleabilidad y promueven el desarrollo económico en las zonas rurales [4].

En Chile la Industria Ganadera es de gran relevancia ya que provee para el consumo local y también para la exportación. Por otro lado, la Industria Pesquera captura y cultiva especies marinas a lo largo de todo Chile, ya que se tiene una extensa costa y abundantes recursos marítimos, que al igual que la Industria Ganadera son un motor económico [4].

Estas Industrias son unas de las responsables de los mayores niveles de denuncias, y poseen el mayor número de instalaciones involucradas en conflictos socioambientales debido a olores. Es por estas problemáticas que el Ministerio de Medio Ambiente

estableció estrategias para la Gestión de Olores en Chile el año 2014, posteriormente actualizada el año 2017, basándose en la situación de Chile y en la experiencia internacional, tras su actualización cuenta con 5 planes de acción que son: Fortalecimiento del marco regulatorio, Levantamiento de información, Incrementar conocimiento, Coordinación intersectorial, Fortalecimiento Institucional, priorizando así 5 sectores Planteles Porcinos, Procesamiento de Productos del Mar, Plantas de tratamiento de Aguas Servidas, Plantas de Celulosa y Sitios de disposición final de Residuos [5].

En vista de estos antecedentes implementar un Sistema de Gestión de Olores es crucial para el bienestar de la comunidad, ya que la exposición prolongada a malos olores genera malestar, problemas respiratorios, conjuntivitis, dolor de cabeza, entre otros. Un Sistema de Gestión de Olores beneficia la buena relación de la comunidad cercana a estas industrias disminuyendo quejas y reclamos, lo cual favorece a ambas. Reducir y monitorear los olores optimiza la calidad del aire, refuerza el compromiso que tiene Chile con la sostenibilidad, lo que mejora el prestigio con los mercados internacionales y nacionales. Además, favorece el cumplimiento normativo que regula las concentraciones de emisión de olores, que ayuda a evitar multas y sanciones [6]. Proyectando así metodologías que busquen establecer relaciones saludables de las industrias ganaderas y pesqueras, para el desarrollo integral de tanto comunidades como industrias.

## **OBJETIVOS**

### Objetivo General

Explorar Sistemas de Gestión de Olores en la Industria Agroalimentaria de Chile, utilizando tecnologías emergentes para monitorear, controlar y mitigar las emisiones, minimizando su impacto en el ambiente y la salud pública.

### Objetivos Específicos

- Identificar y caracterizar las fuentes emisoras de olores en la industria agroalimentaria, con un enfoque en los procesos productivos críticos que generan mayor impacto ambiental.
- Proponer modelos de dispersión de olores y tecnologías de monitoreo para evaluar el alcance y la magnitud de los impactos en la calidad del aire y la salud pública.
- Proponer estrategias sostenibles basadas en la normativa chilena, en tecnologías avanzadas y sistemas de absorción de olores, para mitigar el impacto ambiental de las emisiones de olores.

## **ALCANCE**

La investigación se enfoca en el desarrollo de sistema de gestión de olores en Chile, apuntando específicamente a las industrias agroalimentarias en Chile, industria Ganadera y Pesquera las cuales son de las industrias que poseen mayor cantidad de instalaciones en Chile, por lo que son grandes emisoras de contaminantes odoríferos. Se estudiarán modelos de dispersión para conocer cómo los contaminantes odoríferos llegan a distintos sitios, mediante las condiciones meteorológicas de cada sector. A través de la identificación de contaminantes se propondrán medidas de mitigación de olores para reducir el impacto ambiental, tales como unir tecnologías con facilidad de instalación y operación. Igualmente se buscará mejoras en la Normativa chilena vigente respecto a las normas de olor que se encuentran hoy en Chile y cómo seguir avanzando en ellas.

El estudio busca alcanzar los procesos críticos de cada industria explicando los contaminantes liberados y cómo funciona cada proceso. Además, se explican los métodos que indica el SEIA (Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental) para identificar las concentraciones de olor y en qué situaciones se utilizan. Es así como nuevas tecnologías e innovaciones expuestas en el presente escrito pueden contribuir a las industrias relacionadas, mejorando en Chile no solo la generación de olores, sino la gestión y el manejo odorífero.

# **1. CAPÍTULO 1: CARACTERIZACIÓN Y CONTROL DE OLORES EN LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA.**

## **1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL (GANADERÍA Y PESQUERA)**

La industria agroalimentaria tiene un sin fin de industrias encargadas de generar alimentos o subproductos que sirven para venta o comercialización, una de las más relevantes es la Industria Ganadera y Pesquera, pilares fundamentales para la economía chilena, destacando su aporte al PIB (Producto Interno Bruto) y el impacto ambiental al ambiente y a las comunidades cercanas [4].

La Industria Agroalimentaria exporta a más de 170 países, algunos de ellos más importantes son: Estados Unidos, Japón y China, con una diversidad de 970 productos [4]. Debido a que aportan un gran valor económico para Chile, su misma inmensidad genera una gran cantidad de emisiones con 35% de emisiones de efecto invernadero provocadas por el hombre, encargadas de generar olores molestos al ambiente, como lo es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y gases fluorados, todo esto ha sido evidenciado según el estudio llamado “Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods”, el cual genera una forma de buscar desafíos sostenibles para las emisiones y para los olores generados por esta industria [7].

Según la lista de actividades productivas de Chile, la industria agropecuaria se encuentra entre las industrias que más generan una contaminación odorífica en Chile. Otras industrias que generan este tipo de contaminación son, los planteles de crianza de cerdos, pesqueras, plantas de tratamiento de aguas servidas, procesamiento de productos del mar y sitios de disposición final de residuos [1]. Podemos ver en la figura 1 la cantidad de establecimientos potencialmente generadores de olor en Chile.

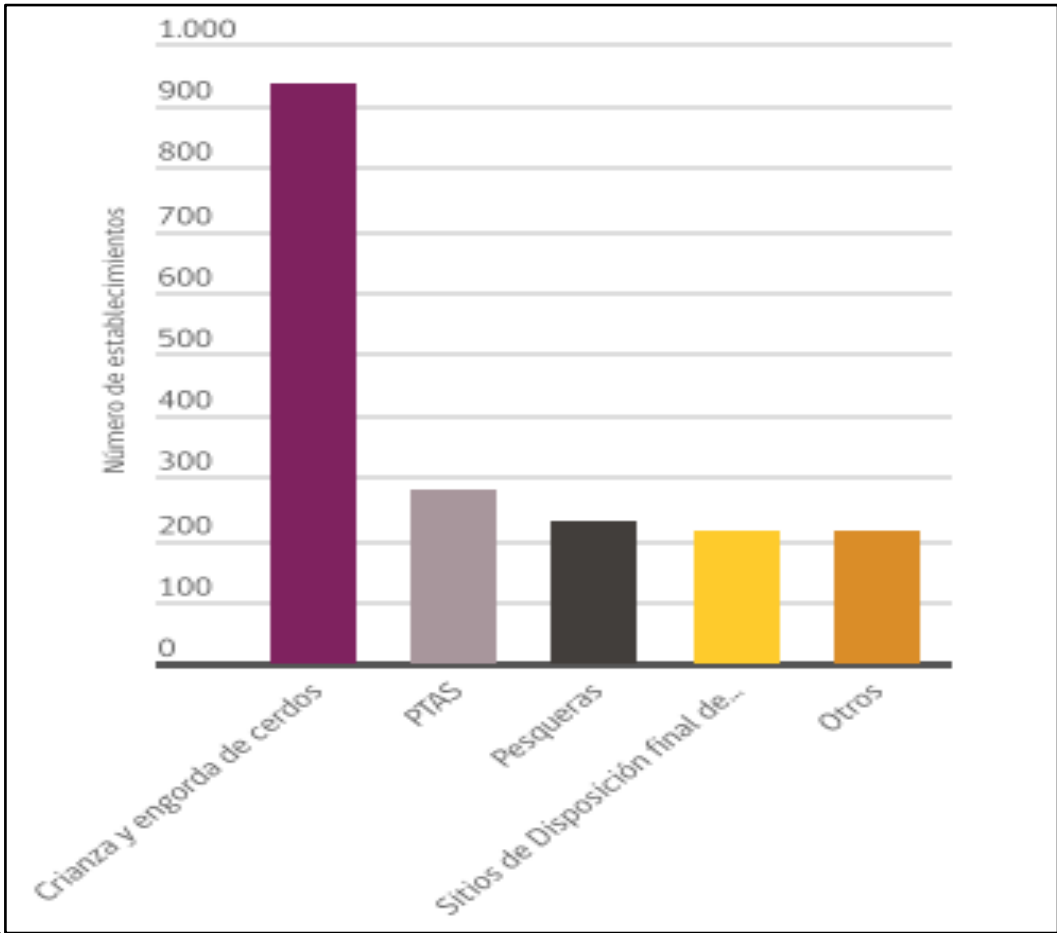


FIGURA 1 Número de establecimientos potencialmente generadores de olor por actividad, 2013

Fuente: Elaboración del Estado de Medio Ambiente con datos de ECOTEC - ingeniería para el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), 2013.

Como se puede apreciar en la Figura 1, la actividad de Crianza y engorda de cerdos es la actividad que mayor cantidad de establecimientos tiene en Chile, seguido en el punto número 3 las Pesqueras que están conectadas ya que las dos actividades pertenecen a la Industrias Agroalimentarias, ambas generan impactos ambientales lo cual resulta esencial para una mayor investigación respecto a sus procesos críticos y buscar mejores estrategias sostenibles.

Estas Industrias (Pesquera y Ganadera) se encuentran distribuidas a lo largo de Chile en sus diferentes regiones. Las regiones de Aysén, Los lagos, Valparaíso y la región del Biobío son unas de las regiones donde más Industrias Pesqueras se pueden encontrar, por su amplio sector costero, afectando a las amplias comunidades cercanas a los puertos. También la Industria Ganadera se encuentra en estas regiones (Biobío, Los lagos y región Metropolitana) normalmente los planteles porcinos son los que en mayor cantidad se encuentran distribuidos en estas zonas, provocando molestias a la comunidad cercana [8] [9].

Chile es un territorio con una amplia biodiversidad debido a su geografía con diferentes climas, en la zona norte se encuentra la zona más cálida y seca de Chile, zona centro

encontramos una diversidad de lugares donde pueden ser cálidos y a la vez presentarse lluvias, o lugares con bajas temperaturas, pero de manera variada. En la zona sur es donde se presentan más lluvias y donde las temperaturas son más bajas que las anteriores zonas. Al tener ecosistemas con una amplia biodiversidad se amplía la dificultad en la gestión con los tipos de olores que se presentan, debido a distintas condiciones climatológicas de cada contexto regional a lo largo del país [10].

- Zona Norte: Las emisiones de olor se puede descomponer de manera más rápida con temperaturas más altas, la baja humedad puede dificultar la dispersión de olores, eso significa que el olor se puede aglomerar en un lugar específico por la sequedad del lugar, y falta de lluvia que se puede presentar en zonas al norte donde el olor puede perdurar más tiempo [10].
- Zona Centro: Durante el verano en esta zona se da que al tener temperaturas más altas se puede descomponer más rápido el olor, mientras que para el invierno esta zona cuenta con alta cantidad de humedad, es así como el olor puede aumentar en relación con el suelo ganadero y sedimentos marinos debido a la fermentación anaeróbica. Como los vientos en esta zona son regulares sobre todo donde se encuentran los valles se mantiene continuamente el olor en el lugar y se distribuye a las zonas cercanas dañando su tranquilidad [10].
- Zona Sur: El olor se mantiene durante más tiempo en zonas frías, algunos compuestos pueden mantenerse en el frío y en comparación con la zona norte y centro la velocidad el viento en el sur disminuye los efectos odoríficos en las zonas cercanas ya que se desplaza más rápido el olor, y las lluvias reducen los olores momentáneamente limpiando los compuestos volátiles que se encuentren en el aire [10].

Para explicar el contexto de cómo llegan las emisiones de olores a la comunidad, comienza desde industria emisora de contaminantes odoríferos que se liberan a la atmosfera, luego pasa a la etapa donde se genera la *dispersión* que significa la propagación de los compuestos, los cuales generan transformaciones químicas que viajan en el aire por diferentes sectores e interactúan con los diferentes tipos de condiciones meteorológicas, y por último se encuentra la comunidad los llamados *receptores* que perciben estos malos olores y que conviven con ellos [11].

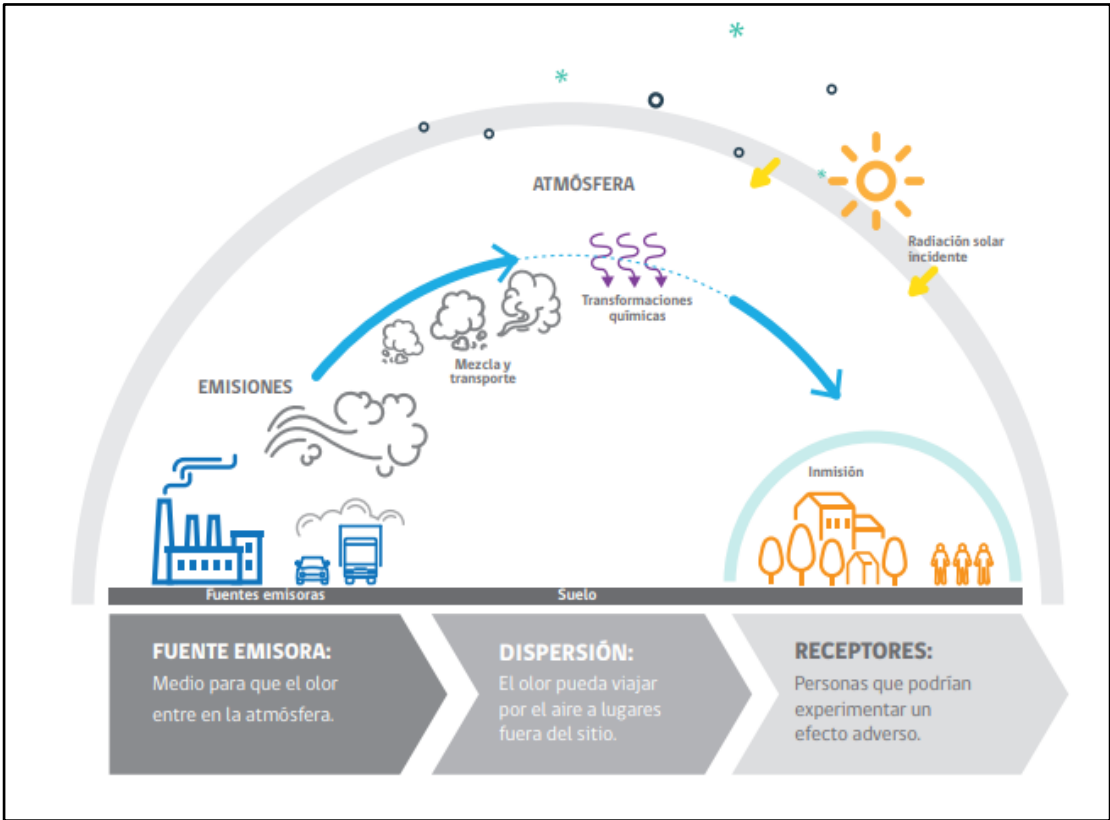


FIGURA 2. Proceso de emisión, transporte y recepción de olor.

Fuente: Modification de Guidance on the assessment of odor for planning, IAQM.

El Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental generó una guía para ayudar a evaluar el impacto ambiental de olores generados por las industrias u otros proyectos, y con la metodología FIDOL un instructivo para elaborar un plan de gestión de olores que entiende el impacto de un olor en las personas [11].

En sus factores encontramos:

**Frecuencia** hace referencia al tiempo y la regularidad en que las personas están expuestas a un olor. **Intensidad** anteriormente se hablaba del nivel de olor que siente una persona, pero la intensidad hace referencia a que un olor no percibido como malo o desagradable, puede volverse molesto si el olor es fuerte y constante. **Duración** hace referencia al tiempo que se encuentra el olor en el umbral de detección. **Ofensividad** se refiere a los diferentes tipos de olores, desagradables, neutros y agradables. **Locación** es donde se encuentra el olor y que actividades se ubican cerca, también se toma en cuenta si las personas son sensibles a el olor o tienes problemas de salud que sea más dañino para su condición [11].

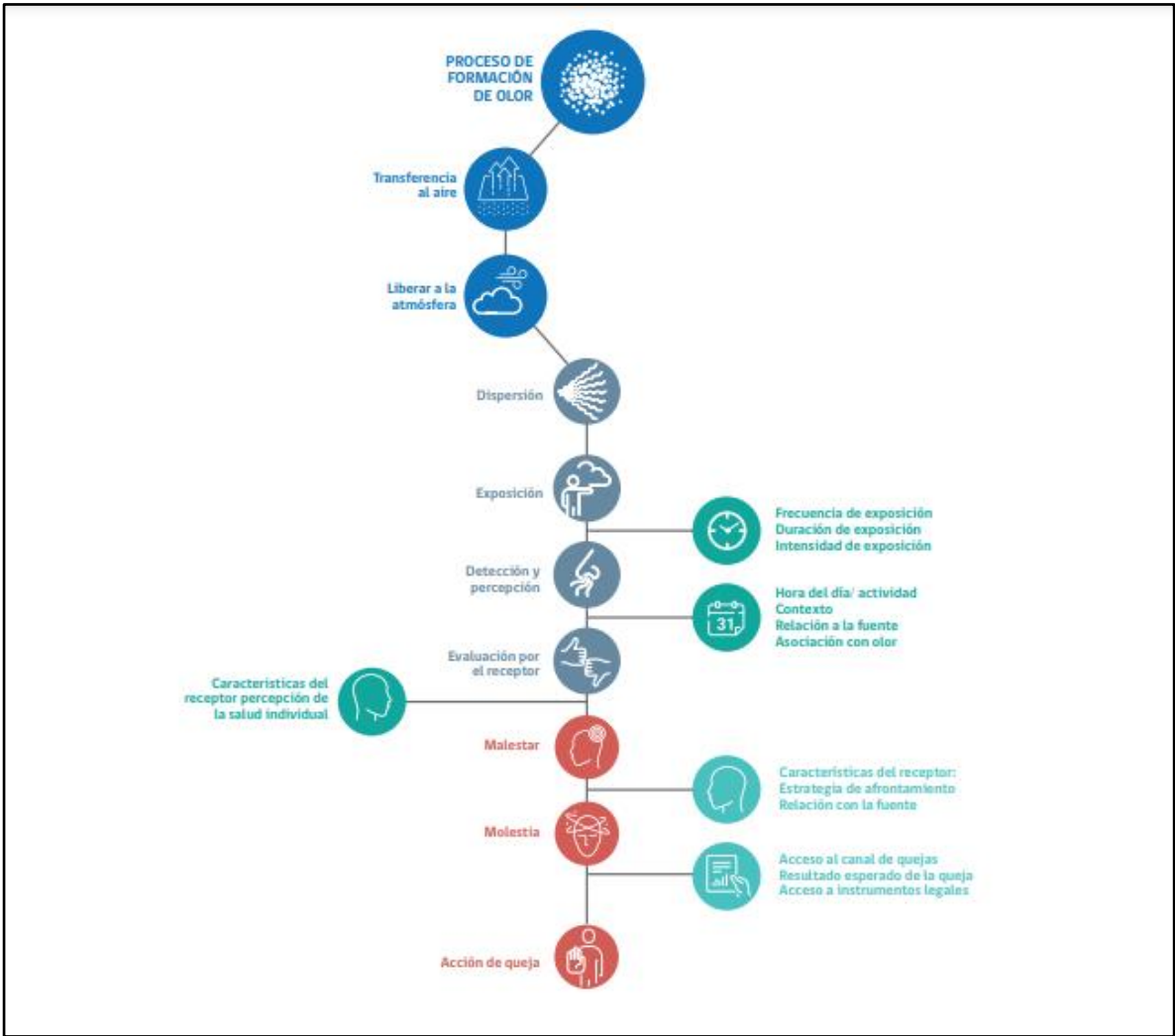


FIGURA 3 Seguimiento de cómo una emisión de olor se forma en una queja  
(Fuente: Modificado de Van Harreveld, 2001) Instructivo para elaborar un plan de gestión de olores.

Para poder entender como una Industria Agroalimentaria produce malestar en una comunidad se debe conocer primero cómo la comunidad identifica y percibe el olor. En primer lugar, el olor lo identificamos como **calidad de olor** que hace referencia a cómo se aprecia el olor, pudiendo reconocer los diferentes grupos que posee, y que se identifican como: notas medicinales, notas químicas, notas ofensivas, notas vegetales, notas frutales entre otros [11].

En segundo lugar, se encuentra la **intensidad** que se relaciona con sí un olor es fuerte o débil, como por ejemplo se analizan muestras que tienen diferentes tipos de disolución (fuerte o débiles) y que se deben identificar en su intensidad con un grupo de personas capacitadas [11].

En tercer lugar, el **tono hedónico** hace referencia a las impresiones psicológicas de una persona pudiendo percibir el olor de manera agradable o desagradable con una escala cualitativa del -4 que se identifica como muy desagradable y 4 muy agradable [11].

Finalmente, se encuentra la **concentración de olor** que describe cuántas unidades de olor hay en un metro cúbico de aire, por lo tanto, mientras más ouE /m3 se encuentre más fuerte es el olor [11].

La percepción de los olores en función de cómo es identificada por las personas es crucial, pero igualmente se necesita identificar la importancia de la naturaleza del compuesto, la concentración, tipos de contaminantes, sus propiedades y la magnitud de los compuestos liberados por las industrias [11].

Las emisiones de efecto invernadero u otros contaminantes odoríferos están relacionados con la generación de olor, que influyen en conjunto con las emisiones propias de las industrias. A continuación, se desarrollan los procesos críticos de cada Industria explicando cada proceso.

La Industria Ganadera posee diferentes etapas de producción, con el objetivo de generar alimentos para el consumo humano o animal. Esta Industria genera malos olores al ambiente, que varían dependiendo de los materiales que se utilicen, así como de las condiciones de las operaciones y procesos internos. Uno de los contaminantes que más se pueden observar en esta Industria son los contaminantes de Efecto invernadero y contaminantes volátiles [12].

## 1.2 Procesos Críticos de la Industria Ganadera:

1.2.1 Cría y engorda de animales: Este proceso consiste en alimentar a los animales (aves, cerdos o vacas) para que lleguen a un peso adecuado en un tiempo reducido desarrollándose más rápido. Los lugares donde se crían estos animales pueden ser establos o corrales con una gran densidad de animales que normalmente se mantienen en espacios cerrados, y para alimentarlos se utilizan tecnologías con muy poca intervención humana, a fin de obtener una mejor distribución de la alimentación, pero a la vez la poca intervención de humanos aumenta la acumulación de restos de alimentos que no son limpiados a tiempo, generando olores de descomposición [12].

En este proceso se junta mucho estiércol y orina de los animales en grandes cantidades por lo tanto esto genera una fermentación con olores molestos e intensos, los cuales se transforman en contaminantes odoríferos como el Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y Metano ( $\text{CH}_4$ ). Existe también sistema de ventilación en esta etapa para que el olor no se concentre masivamente en esta área, pero es allí donde los contaminantes odoríferos debido a no ser tratados a tiempo se dispersan viajando a comunidades cercanas [12].

1.2.2 Procesamiento de la carne: En esta etapa los animales que se han criado son llevados a mataderos donde se sacrifican y quitan las partes que no se utilizan como huesos, vísceras, pieles entre otros miembros, para aprovechar la carne del animal y que esta sea usada en la comercialización [12]. La gran acumulación de desechos restantes de la carne, produce intensos olores ya que su descomposición emite compuestos volátiles (COV) al ambiente como las aminas y sulfuros, debido a la alta cantidad de nutrientes que tienen los restos, se da con facilidad el aumento de bacterias incrementando el mal olor [12].

1.2.3 Gestión de desechos: La acumulación de desechos que se juntan en los procesos de cría y engorda de animales son trasladados a lugares donde se utiliza el proceso de compostaje, para eliminar los desechos acumulados, realizándose un proceso anaerobio el cual degrada la materia orgánica y transformándola en abono, fertilizantes o biogás si se utilizan biodigestores, también puede haber fugas de olores al ambiente si no se encuentran bien tapados o sellado. Los contaminantes que se encuentran en este proceso son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ) [12].

La Industria Pesquera incluye todas las actividades y negocios que van de la obtención, procesamiento y comercialización de productos del mar, los cuales genera subproductos como harinas o aceite de pescado, que igualmente que la Industria Ganadera tiene procesos críticos donde se emite la mayor cantidad de contaminantes odoríferos al ambiente [13].

### **1.3 PROCESOS CRÍTICOS DE LA INDUSTRIA PESQUERA**

1.3.1 Procesamiento del pescado: el pescado que llega a la industria es trozado para utilizar sus partes que se venden en el comercio, y lo restante que no se ocupa como la cabeza, vísceras, espinas y escamas se almacena en otros lugares por periodos de tiempo. Las acumulaciones de restos del pescado provocan malos olores si no se almacenan adecuadamente, ya que la descomposición de ellos se genera en pocas horas luego de trozar, de igual forma los lugares donde se limpian estos pescados, así como el agua que se utiliza puede quedar con restos de ellos, generando malos olores. Unos de los contaminantes que encontramos en este proceso es la trimetilamina (TMA) y aminas volátiles (AV) que se caracterizan por olores intensos [13]

El pescado que ingresa a las plantas de harina de pescado o aceite mayormente proviene de pesca artesanal, la cual no cuenta con refrigeración en sus lanchas, por lo tanto, esta materia prima se va degradando y, al momento de ingresar a la planta procesadora, ya se encuentra con un característico olor [13].

1.3.2 Producción de harina o aceite de pescado: El restante que no se utilizó en la etapa anterior como vísceras, cabeza, espinas se ocupan para generar harinas o aceites de pescado el cual debe ser procesada hasta llegar al producto mencionado, proceso que consiste en la cocción de las partes del pescado a temperaturas altas, luego el prensado donde se elimina el agua y los aceites que van quedando de las partes del pescado, que a su vez crea una torta. Para continuar con el secado que reduce la humedad de la torta que se generó en el prensado, finalmente el proceso de la molienda reduce el tamaño de la torta en un molino para conseguir la textura uniforme como la harina. Los contaminantes que están presentes en estas etapas son el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), dimetil sulfuro (DMS) y metil mercaptano ( $\text{CH}_4\text{S}$ ), trimetilamina (TMA), putrescina y cadaverina en la degradación de proteínas y aminoácidos, entre otras [14].

1.3.3 Descargas y almacenamientos: el lugar donde se capturan los pescados y se almacenan, dependerá de las condiciones que se encuentren para generar olores. Si no se hace un buen aseo en las áreas donde se acumulan residuos de aguas marinas o líquidos de los pescados puede generar malos olores y dañar cuerpos de aguas y el suelo, el almacenamiento de los pescados en temperaturas no tan bajas aumenta su rápida descomposición y por último las descargas de estos pescados en muelles o puertos, expuestos a altas temperaturas o al aire acelera igualmente su descomposición. En esta etapa por la descomposición en condiciones anaeróbicas, bacterias, y degradación se presentan el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), trimetilamina (TMA), ácidos orgánicos volátiles (COV) y putrescinas y cadaverina [14].

La Industria Ganadera y la Pesquera comparten una necesidad y un objetivo que es la gestión de olores, respecto a los procesos críticos que tiene cada una, a pesar de que la fuente odorífera provenga de diferentes sectores se generan procesos similares, con características distintas, pero el impacto al medio ambiente y a las comunidades son significativos para ambos. Es por esto por lo que se hace un contraste analítico con las similitudes y diferencias de ambas [14], [12].

## 1.4 CONTRASTE INDUSTRIAS

### 1.4.1 Similitud industrias ganadera y pesquera [13], [14].

- Ambas industrias generan olores provenientes de la descomposición de materia orgánica.
- Ambas generan fermentación anaeróbica en sus procesos críticos.
- Generan contaminantes como el amoníaco, sulfuro de hidrógeno y compuestos volátiles.
- El almacenamiento de residuos como vísceras, sangre, desechos toman riesgo de contaminar cuerpos de agua o su propio suelo.
- Ambas producen un impacto ambiental y social.
- Ambas requieren sistemas para reducir las emisiones de olor y frenar la acumulación de desechos.

### 1.4.2 Diferencias industria ganadera y pesquera [13], [14].

- Sus residuos son diferentes ya que la industria ganadera produce desechos sólidos y la pesquera sus desechos son líquidos y mojados.
- Los olores de la ganadería pueden ser constantes durante todo el año debido a que produce la misma cantidad constantemente y la pesquera puede producir olores más intensos, por periodo de tiempo por la temporada de pesca.
- Los lugares que se encuentran ubicados son distintos uno en la zona rural (Ganadería) y el otro en zonas urbanas costeras (Pesquera)
- El final de sus desechos puede tener diferentes destinos como las vísceras, sangre y espinas de la Industria Pesquera son transformados en harina de pescado o aceite, mientras que los desechos de la Ganadería son utilizados como fertilizantes o biogás.

Las similitudes y diferencias que tienen ambas industrias reconocen la importancia de visualizar la problemática que tiene cada sector en diferentes procesos, por lo tanto, se requieren soluciones específicas que se puedan adaptar a cada de una de ellas, eficacia en la mitigación sostenible para resolver las problemáticas ambientales y sociales [13], [14].

## **1.5 MEJORAS EN LOS PROCESOS**

Un mejor mantenimiento en los procesos críticos de cada industria contribuye a un adecuado funcionamiento, reduciendo emisiones odoríferas y realizando un tratamiento eficiente y seguro para disminuir contaminantes.

La tecnología que puede contribuir a los procesos críticos de cada industria es la implementación de biofiltros, que son procesos biológicos los cuales contienen microorganismos que degradan los contaminantes a través de un lecho sintético u orgánico, utiliza materiales filtrantes como corteza de pinos, pedazos de madera, rocas y filtros para los diferentes tipos de residuos, esta tecnología se puede aplicar donde se almacenan los residuos líquidos de la industria ganadera y pesquera [13], [14].

## **1. CAPÍTULO 2: GESTIÓN AVANZADA DE OLORES: MODELOS Y MONITOREO**

El SEA es el Servicio de Evaluación Ambiental público chileno, continuamente se encuentra informando requerimientos o exigencias a situaciones emergentes, mediante un manual para orientar a los proyectos o actividades. Igualmente se encarga del SEIA Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en él participan los organismos del estado para evaluar, tomar decisiones, juicio común, resolver los conflictos que se presenten, con metodologías participativas [15]. Los proyectos que se sometan al SEIA deben presentarse con un EIA y o un DIA Declaración de Impacto Ambiental si corresponde, proveniente de la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente [15].

La aplicación de cualquier modelo que exprese la propagación a la calidad del aire debe primero basarse en los lineamientos metodológicos del SEIA, en la Guía para el Uso de Modelos de Calidad de Aire, documento técnico utilizado para establecer los criterios y metodologías que utilizan prototipos de calidad del aire en la valorización de los impactos ambientales de los proyectos o industrias [11]

La modelación de contaminantes atmosféricos respecto a olores es un recurso que contribuye a la medición y predicción de contaminantes que se emiten al ambiente, por ende, permite medir la dimensión de las emisiones odoríferas. A continuación, se explicará cada uno de estos modelos del SEIA para un mejor entendimiento [11]

## **1.1 MODELOS DE DISPERSIÓN**

2.1.1 Modelo screening o modelo de dispersión simple, trata de herramientas matemáticas simples que permiten un conocimiento general del impacto odorífero de un proyecto el cual realiza la primera revisión del análisis, en conjunto calcula la concentración de olor que se está percibiendo en los diferentes sectores desde el lugar de emisión y se representa con gráficos bidimensionales [11]

2.1.2 Modelo de dispersión compleja son modelos estacionarios que simulan las condiciones físicas y químicas que perjudican la propagación de los contaminantes al aire. Realizan un análisis más completo, que permite determinar mejoras en el proceso si fuese necesario [11]. Este modelo ayuda a identificar zonas afectadas por la contaminación odorífera o áreas que pueden estar en riesgo a derrames o deficiencia de operaciones. Además, permite calcular las emisiones que emite cada fuente del proyecto identificando si es puntual, difusa, fugitiva, como, por ejemplo: fuentes puntuales (chimeneas), superficiales (áreas de almacenamiento de materiales). Este modelo les da importancia a las condiciones meteorológicas como la altura, dirección del viento, relieve del terreno entre otras y en conjunto calcula la dispersión de las emisiones de olor [11].

## **2.2 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE OLORES**

2.2.1 Olfatometría dinámica: consiste en utilizar el sentido del olfato humano. El procedimiento se basa en un análisis que realiza un grupo de 4 personas llamadas panelistas de olor, los cuales previamente han sido capacitados y calibrados para identificar la intensidad y calidad de olor de manera objetiva, la NCh 3190 de 2010 (INN, 2010) una Norma metodológica chilena que se utiliza para identificar la medición de olor por olfatometría dinámica, esta norma identifica la unidad de olor que se mide en (ou/m<sup>3</sup>), evidenciando la mínima concentración que percibe una nariz humana de un olor específico e indica cómo elegir panelistas de olor para análisis en laboratorio [11].

Estos panelistas utilizan un equipo llamado olfatómetro que se utiliza para percibir los olores provenientes de las muestras que son conectadas a este equipo, que han sido previamente diluidas con aire fresco o neutro. Los niveles de dilución se van disminuyendo gradualmente hasta que un panelista percibe el olor para luego presionar un botón que señala la concentración de olor [4]. También existe una ficha donde se identifica el tono hedónico o aceptabilidad con escalas del -4 al 4, en las cuales los panelistas tienen que identificar si es muy fuerte, fuerte, medio y bajo y si es ligeramente desagradable, moderadamente desagradable, muy desagradable u ofensivo [11].

Estas técnicas brindan un gran beneficio para el modelo de dispersión, el cual se puede ocupar de buena manera, ya que, esta técnica permite realizar cálculos que indican la locación y la intensidad de los olores en zonas específicas. Debido a que solo se mide en momentos puntuales, este método no permite una medición continua por lo que no se puede saber en todo momento cómo cambian las emisiones de olor, solo cuando se tomaron las muestras [11].

2.2.2 Métodos analíticos: nos permite saber identificar las concentraciones de gases que provocan los olores molestos, ayudando a analizar los compuestos responsables sin ayuda de la percepción humana, entre ellos podemos encontrar la cromatografía de gases o sensores electroquímicos, estos nos permiten analizar muestras tomadas del aire que se procesan en un equipo que separa cada gas presente, permitiendo identificar los tipos de gases presentes y sus respectivas concentraciones. Igualmente, los sensores electroquímicos pueden reconocer los tipos de gases presentes, al generar una reacción química entre ellos, lo que produce una señal eléctrica [11].

2.2.3 Método Empírico: en este método participan panelistas de campo, son aquellas personas que realizan los análisis *in situ* donde se evalúa la percepción del olor en el lugar, lo que hace diferente a los otros métodos. Evalúan intensidad del olor con escalas subjetivas, el llamado tono hedónico (pertenencia que se tiene de un olor que se vincula con el agrado o desagrado) también, evalúan la frecuencia que percibe el olor durante un periodo específico. Los panelistas de campo son personas externas a la empresa y a la comunidad para que su juicio no este comprometido con los intereses de la industria,

igualmente deben cumplir criterios similares a los que se le hacen a los panelistas de olor que trabajan en el laboratorio con la NCh 3190.de 2010; Realizan mapas para identificar las zonas más afectadas, toman decisiones ya sea en relación con si se implementan filtros o en mejorar alguna parte del proceso para que no libere tanto olor. Tiene dos maneras de medir la primera es: método de la pluma donde los panelistas se forman en línea siguiendo la dirección del viento, desde la fuente hasta la emisión para identificar el recorrido de cómo el viento transporta el olor, y el otro método es la grilla, que mide toda el área de estudio que, separa en una serie de cuadrados, donde cada cuadrado es un punto de evaluación el cual se analiza con relación a cómo se distribuyen los olores de muchas fuentes [11].

2.2.4 Metodología de encuestas: Por último, este método está asociado grandemente con la comunidad para evaluar los impactos de olor que los molesta, estas **encuestas** se realizan a la población cercana a la industria, para luego dividir por zonas o sector, desde cuales de estas zonas se encuentran más cercanas a la industria, continuando con las viviendas intermedias en lejanía de la industria y por último las viviendas más alejadas u otras áreas vecinas [11].

Finalmente se comparan los lugares afectados por malos olores para realizar la encuesta por gravedad de sectores. La encuesta consiste en preguntas centrales y complementarias, las preguntas centrales tratan del tiempo diario que las personas son expuestas a olores u otros problemas ambientales molestos que los pueda estar afectando se especifica cómo son percibidos y que experimentan al estar expuestos a estos olores. Las preguntas complementarias se basan en preguntas más profundas de cómo la exposición está afectando su salud de manera emocional y física y cómo logran adaptarse a ellas, incluso si sienten alguna preocupación ambiental, todo esto se hace bajo los lineamientos dados por la Nch 3387:2015 que establece la evaluación *in situ* de los posibles olores molestos mediante una encuesta [11].

Según la Norma VDI 3883, Blatt 2 (VDI,1993) la encargada de establecer dos encuestas una de reducida duración y otra de prolongada duración. Se utiliza un método para medir cómo afectan los olores a largo plazo a las personas que viven expuestas, a través de evaluaciones repetidas de manera continuada identificando cada vez que percibe un olor en su zona, evidenciando aspectos del olor como su intensidad, qué tan molesto puede ser y cuánto tiempo persiste. Se va registrando de manera cuantitativa, con experiencia objetiva para lograr identificar como afecta realmente a la comunidad estos olores [11].

## **2.4 PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS DE LOS MODELOS DE DISPERSIÓN**

Los modelos de dispersión de olores son herramientas matemáticas fundamentales para estimar la propagación de contaminantes atmosféricos. Su propósito principal es predecir la concentración de olores en áreas específicas y evaluar su impacto en la calidad del aire y la salud pública [16].

El funcionamiento de estos modelos se basa en las ecuaciones de transporte de contaminantes, que integran procesos físicos como el transporte advectivo, la difusión turbulenta y la deposición de partículas [17]. Según Díaz estas ecuaciones permiten realizar simulaciones precisas al considerar la estabilidad atmosférica, la fuente de emisión y factores meteorológicos [18].

Existen dos fundamentos clave en estos modelos: el concepto de turbulencia atmosférica y la dispersión vertical y horizontal de las partículas. La turbulencia se refiere a los movimientos irregulares del aire que mezclan y diluyen los contaminantes. Este fenómeno es particularmente importante en emisiones de bajo nivel, donde las plumas de olor pueden quedar atrapadas cerca del suelo [19].

Por otra parte, la dispersión vertical y horizontal depende de factores como la velocidad del viento, la altura de la fuente de emisión y las propiedades del contaminante. En estudios de olores, la dispersión horizontal determina el alcance de la pluma, mientras que la dispersión vertical afecta la concentración en superficie [20].

Los principios de los modelos de dispersión están directamente relacionados con las categorías de estabilidad atmosférica de Pasquill. Estas categorías describen seis niveles de estabilidad, desde condiciones extremadamente inestables (A) hasta muy estables (F). En condiciones estables, la dispersión es limitada y las concentraciones de olor son más altas cerca de la fuente [21].

La implementación de estos fundamentos en modelos matemáticos es crucial para evaluar situaciones reales. Herramientas como AERMOD y CALPUFF se han desarrollado a partir de estos principios, incorporando tecnologías avanzadas de simulación [22]. Estas herramientas son ampliamente utilizadas en estudios ambientales debido a su capacidad predictiva y su integración con datos meteorológicos y topográficos.

## **2.5 TIPOS DE MODELOS DE DISPERSIÓN APLICADOS EN ESTUDIOS DE OLORES**

Los modelos de dispersión aplicados en estudios de olores se clasifican en tres categorías principales: gaussianos, lagrangianos y eulerianos, dependiendo del enfoque matemático y la complejidad de los cálculos [23].

### **2.5.1 Modelos gaussianos**

Los modelos gaussianos son los más utilizados en estudios de olores debido a su simplicidad y eficiencia. Estos modelos asumen que la concentración de contaminantes sigue una distribución normal en la dirección horizontal y vertical [18]. Herramientas como AERMOD son representativas de esta categoría y se aplican para evaluar emisiones puntuales y continuas en áreas industriales [16].

Según Ainhoa [16], los modelos gaussianos son ideales para fuentes de bajo nivel y condiciones meteorológicas estables, aunque presentan limitaciones en terrenos complejos.

### **2.5.2 Modelos lagrangianos**

Los modelos lagrangianos como CALPUFF siguen el movimiento de partículas individuales emitidas desde la fuente. Estos modelos permiten analizar el transporte de olores a largas distancias, considerando efectos del terreno y cambios meteorológicos en el tiempo [19]. Chen et al. [17], destacan que CALPUFF es especialmente útil en regiones montañosas y costeras donde la topografía influye en el flujo del aire. Su capacidad para integrar datos tridimensionales lo hace más preciso que los modelos gaussianos.

### **2.5.3 Modelos eulerianos**

Los modelos eulerianos se basan en la concentración de contaminantes en una malla fija y resuelven las ecuaciones de transporte mediante métodos numéricos. Aunque son más complejos y requieren mayor capacidad computacional, son ideales para escenarios urbanos con múltiples fuentes de emisión [21].

## **2.6 Variables clave en los modelos de dispersión (velocidad del viento, temperatura, topografía, etc.)**

La precisión de los modelos de dispersión depende de la correcta incorporación de variables clave que afectan el transporte y la dilución de los olores. Estas variables incluyen factores meteorológicos, topográficos y características de la fuente de emisión [22].

**2.6.1 Velocidad y dirección del viento:** La velocidad del viento es una variable crítica en la dispersión de olores. Vientos fuertes diluyen los contaminantes más rápidamente, mientras que vientos ligeros provocan acumulación cerca de la fuente [20]. Según

Enviromodeling [19], la dirección del viento determina la trayectoria de la pluma de olor y debe monitorearse continuamente.

2.6.2 Estabilidad atmosférica: La estabilidad atmosférica influye en la dispersión vertical e los olores. En condiciones estables, las plumas tienden a permanecer cercanas al suelo, lo que incrementa la concentración percibida por los receptores [18].

2.6.3 Topografía: Las características del terreno, como montañas y valles, alteran el flujo del viento y afectan la dispersión de los olores. Enviromodeling [19] señala que modelos como CALPUFF permiten integrar la topografía para simular condiciones complejas.

2.6.4 Temperatura: La temperatura del aire y del suelo influye en los procesos de mezcla atmosférica. Diferencias térmicas significativas generan fenómenos de inversión que atrapan contaminantes en capas bajas [24].

2.6.4 Características de la fuente: Parámetros como el caudal, la temperatura y la altura de la emisión determinan el alcance de la dispersión. Fuentes de baja altura generan mayores concentraciones en áreas cercanas [21].

## **2.7 SELECCIÓN DE MODELOS MÁS EFECTIVOS EN EL CONTEXTO CHILENO**

La selección de modelos de dispersión en Chile debe considerar las características geográficas y climáticas del país, así como las normativas ambientales vigentes. En zonas urbanas e industriales, el modelo AERMOD es el más utilizado debido a su aceptación regulatoria y facilidad de implementación [18]. Este modelo es ideal para evaluar emisiones puntuales en regiones de topografía sencilla. Por otro lado, en regiones cordilleranas y costeras, donde la topografía juega un papel determinante, el modelo CALPUFF es más efectivo. Ainhoa [16] y Chen et al. [17] demuestran que CALPUFF ofrece mejores resultados en terrenos complejos y condiciones meteorológicas variables.

En términos normativos, Chile ha avanzado en la regulación de emisiones de olores a través de la Norma de Calidad del Aire. Según el Ministerio de Ciencia [25], el uso de modelos híbridos y tecnologías de monitoreo continuo permitirá mejorar la gestión de emisiones y reducir los impactos ambientales en zonas críticas.

### **2.7.1 Relación entre la dispersión de olores y la calidad del aire**

La dispersión de olores está directamente relacionada con la calidad del aire, dado que los olores son una manifestación perceptible de contaminantes gaseosos liberados al ambiente. Estos contaminantes, aunque no siempre son tóxicos, generan un impacto significativo en la percepción de la calidad del aire por parte de la población [16]. Según Díaz la dispersión de olores depende de factores como la estabilidad atmosférica, la velocidad del viento y las características de la fuente emisora. Los modelos de dispersión, como AERMOD y CALPUFF, permiten analizar cómo se distribuyen estos olores en el ambiente y predecir su alcance y concentración [18].

En términos de calidad del aire, los olores están asociados a compuestos orgánicos volátiles (COVs), amoníaco, sulfuro de hidrógeno y otros gases emitidos principalmente por industrias agropecuarias, plantas de tratamiento de aguas residuales y vertederos [17]. La concentración de estos compuestos puede ser baja, pero su persistencia y capacidad de dispersión afectan la percepción del entorno. Ainhoa describe cómo la dispersión de olores en áreas urbanas suele estar más limitada por fenómenos de inversión térmica, donde las capas frías del aire atrapan los olores cerca del suelo. Esto agrava la percepción de la contaminación y contribuye a una reducción de la calidad ambiental [16].

La relación entre olores y calidad del aire también se evidencia en estudios de percepción ciudadana. En Chile, según Olores.org el 70% de las quejas por mala calidad del aire están relacionadas con olores provenientes de plantas de tratamiento de aguas y vertederos, lo que demuestra la magnitud del problema [26].

### 2.7.2 Impactos en la salud pública asociados a emisiones de olores

Los impactos de los olores en la salud pública son variados y van más allá de las molestias sensoriales. La exposición prolongada a emisiones de olores puede provocar efectos fisiológicos, psicológicos y sociales en las comunidades afectadas [19].

- Impactos fisiológicos: Los olores intensos, como los generados por compuestos sulfurados, pueden provocar síntomas físicos como náuseas, dolores de cabeza, irritación ocular y problemas respiratorios [20]. González menciona que el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) es uno de los principales gases asociados a olores industriales y tiene efectos adversos en concentraciones superiores a 50 ppm [20].
- Impactos psicológicos: La percepción constante de olores desagradables genera estrés, ansiedad y una disminución en la calidad de vida. Estudios realizados en zonas cercanas a vertederos han demostrado un incremento en los niveles de depresión entre los habitantes [21].
- Impactos sociales y económicos: Los olores también afectan el bienestar social y la actividad económica de las comunidades. Según CEPAL las quejas por olores pueden provocar conflictos entre empresas emisoras y comunidades locales, generando costos adicionales en procesos legales y medidas de mitigación [24].

### 2.7.3 Indicadores y estándares internacionales para evaluar los impactos

La evaluación del impacto de olores en la calidad del aire y la salud pública se basa en indicadores y estándares desarrollados internacionalmente. Estos indicadores permiten cuantificar y comparar los niveles de olor en diferentes contextos y establecer límites permisibles.

- Unidades de olor ( $\text{ouE}/\text{m}^3$ ): La unidad de olor europea ( $\text{ouE}/\text{m}^3$ ) es el estándar más utilizado para medir la concentración de olores. Según Ainhoa esta medida se determina mediante pruebas de olfatometría dinámica, donde paneles entrenados identifican el umbral de detección [16].
- Concentración de compuestos odoríferos: Herramientas como la cromatografía de gases permiten identificar y medir concentraciones de compuestos específicos, como el amoníaco, metano y compuestos sulfurados [18].
- Normas internacionales: La norma EN 13725 de la Unión Europea establece procedimientos estandarizados para la medición de olores mediante olfatometría. En países como Alemania y Países Bajos, esta norma se aplica para regular industrias emisoras [19].
- Normativa chilena: En Chile, la normativa de calidad del aire incluye criterios para evaluar los olores emitidos por industrias críticas. Según el Ministerio de Ciencia la implementación de tecnologías de monitoreo continuo permite cumplir con estos estándares y reducir los impactos ambientales [25].

El análisis de los resultados obtenidos a partir de modelos de dispersión y tecnologías de monitoreo revela la magnitud de los impactos ambientales y en la salud pública. La integración de indicadores cuantitativos y cualitativos proporciona una visión más precisa del alcance del problema.

### **3. CAPÍTULO 3: ESTRATEGIAS SOSTENIBLES Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS PARA MITIGAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EMISIONES DE OLORES**

#### **3.1 MARCO NORMATIVO CHILENO SOBRE CONTROL Y MITIGACIÓN DE OLORES**

En Chile, la gestión de olores ha ganado relevancia en las últimas décadas debido al crecimiento de industrias que generan emisiones significativas, como plantas de tratamiento de aguas residuales, vertederos y el sector agropecuario. Este contexto ha impulsado la implementación de un marco normativo que busca regular y mitigar el impacto ambiental de los olores [1].

El Reglamento de Calidad del Aire en Chile establece directrices específicas sobre emisiones de olores, orientando a las industrias hacia el cumplimiento de límites permisibles. Según el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación [25], este marco considera tanto la concentración de compuestos específicos como las percepciones ciudadanas derivadas de los olores.

En el sector agropecuario, el marco normativo chileno ha adoptado prácticas internacionales para regular las emisiones provenientes de la producción de cerdos y aves. Ainhoa [16], menciona que se han implementado tecnologías de mitigación como biofiltros y sistemas de neutralización química para cumplir con los estándares vigentes.

Sin embargo, uno de los desafíos del marco normativo es su aplicación heterogénea en el territorio nacional. En regiones con actividad industrial intensiva, como Valparaíso y Biobío, se han registrado dificultades para fiscalizar las emisiones de olores, debido a la falta de tecnologías de monitoreo continuo [27].

Para fortalecer el marco normativo, es necesario adoptar estrategias que integren la participación ciudadana, el uso de tecnologías avanzadas y la cooperación interinstitucional. Esto permitirá una implementación más efectiva de las políticas de control y mitigación de olores en el contexto chileno [26].

Existe la primera Norma de emisión de contaminantes para planteles porcinos, que entró en vigor el 6 de febrero del 2023 que regula la emisión de olores en el sector porcino nacional que viene implementado en el Ministerio del Medio Ambiente de Chile del año 2014. Con el objetivo de proteger la calidad de vida de las personas y tener un mejor manejo de las emisiones de olor en planteles porcinos para un presente y futuro en todo el territorio nacional [31].

A lo largo de Chile se puede identificar un sin fin de industrias de planteles de porcino, donde la mayor cantidad se encuentra en la zona centro sur de Chile con un 75 %, mayormente se encuentra en la Región Metropolitana y en la Región Libertador General Bernardo O'Higgins [31]. Existen exigencias o límites permisibles que se regularizan para los diferentes tamaños que tiene un plantel porcino, mediano, pequeño y grande.

- Planteles pequeños (cantidad de animales entre 750 a 25.000) la laguna de purines que son lugares que se almacenan los residuos que provienen de los purines, esta debe ser reducida su tasa de emisión a un 70% [31].
- Planteles medianos (cantidad de animales entre 25.000 a 50.000) la laguna de purines debe reducirse en un 75 % y en el compostaje un 60% [31].
- Planteles grandes (cantidad de animales mayor que 50.000) existe un límite de emisión que se debe cumplir que es de un 8 ouE/m<sup>3</sup> como máximo [31].
- Planteles nuevos se les exige cumplir un límite de emisión reflejado como tasa de emisión que mide la cantidad de compuestos olorosos, para planteles grandes de 8 ouE/m<sup>3</sup> y 10 ouE/m<sup>3</sup> para planteles medianos o pequeños como máximo [31].

Igualmente, esta norma propone tecnologías y mejores prácticas para reducir y controlar las emisiones de olor, una de ellas que más destaca es el monitoreo de equipos con líneas de datos operacionales para combatir las emisiones de olor y lo que conlleva sus emisiones [31].

### **3.2 PRINCIPIOS DE SOSTENIBILIDAD EN LA GESTIÓN AMBIENTAL**

La mitigación de olores debe basarse en principios de sostenibilidad, que consideran la gestión ambiental desde una perspectiva integral, equitativa y a largo plazo. Estos principios promueven la adopción de tecnologías y prácticas que minimicen los impactos ambientales sin comprometer la salud pública ni el desarrollo económico [21].

El primer principio es la *precaución*, que implica actuar de manera preventiva para reducir las emisiones de olores antes de que se conviertan en un problema significativo. En este sentido, González [20], destaca la importancia de implementar tecnologías de monitoreo continuo que permitan identificar y corregir fuentes de emisión en etapas tempranas.

El segundo principio es la eficiencia ambiental, que se basa en el uso de tecnologías avanzadas para maximizar la reducción de emisiones con el menor consumo de recursos. Según Chen et al. [17], tecnologías como biofiltros, lavadores de gases y sistemas de oxidación térmica han demostrado ser altamente efectivas en la mitigación de olores en plantas industriales.

Otro principio clave es la equidad intergeneracional, que enfatiza la necesidad de proteger la calidad del aire y la salud pública para las futuras generaciones. Ainhoa menciona que la implementación de estrategias sostenibles, como la incorporación de energías renovables en los procesos industriales, contribuye a reducir los impactos ambientales asociados a las emisiones de olores [16].

La gestión sostenible de olores también requiere la integración de la responsabilidad social empresarial (RSE). Esto implica que las industrias adopten prácticas voluntarias para mitigar los olores y mejorar las relaciones con las comunidades afectadas. En Chile, empresas del sector agropecuario han implementado proyectos de reciclaje de residuos orgánicos y la construcción de barreras vegetales para reducir las molestias por olores [24].

Finalmente, la innovación tecnológica juega un papel fundamental en la gestión sostenible de olores. El desarrollo de tecnologías emergentes, como los sistemas de captura y neutralización de olores mediante nanomateriales, representa una oportunidad para mejorar la eficiencia de las estrategias de mitigación y reducir los costos operativos [28].

### **3.3 POLÍTICAS PÚBLICAS Y EXPERIENCIAS NACIONALES EN MITIGACIÓN DE OLORES**

Las políticas públicas desempeñan un rol central en la mitigación de olores, ya que proporcionan un marco de acción que orienta a las industrias y comunidades hacia soluciones sostenibles. En Chile, la implementación de políticas públicas ha sido impulsada principalmente por el aumento de las demandas ciudadanas y la necesidad de cumplir con estándares internacionales [19].

Un ejemplo destacado es la Estrategia Nacional de Gestión de Olores, que busca reducir las emisiones provenientes de sectores críticos mediante la adopción de tecnologías avanzadas y la participación de las comunidades afectadas [24]. Esta estrategia ha permitido implementar proyectos piloto en regiones como Biobío y Metropolitana, donde las plantas de tratamiento de aguas han adoptado sistemas de biofiltración y oxidación química.

En el sector agropecuario, empresas del sur de Chile han adoptado sistemas de biofiltros y compostaje controlado para reducir las emisiones odoríferas provenientes de la producción de cerdos. Estas experiencias han demostrado que la combinación de tecnologías avanzadas y buenas prácticas ambientales es una solución efectiva para minimizar el impacto de los olores [16].

Por otro lado, la implementación de políticas públicas participativas ha sido clave para mejorar la relación entre las industrias emisoras y las comunidades afectadas. En Chile, se han realizado mesas de diálogo entre el gobierno, empresas y organizaciones sociales, lo que ha permitido diseñar soluciones conjuntas y reducir los conflictos asociados a las emisiones de olores [24].

Finalmente, la cooperación internacional ha permitido a Chile adoptar mejores prácticas en la gestión de olores. Experiencias de países como España y Países Bajos han sido replicadas en el contexto nacional, especialmente en el uso de tecnologías de monitoreo continuo y sistemas de neutralización de olores en tiempo real [23].

### **3.4 BIOFILTROS Y TECNOLOGÍAS BASADAS EN PROCESOS BIOLÓGICOS**

Las tecnologías biológicas, como los biofiltros, se han convertido en una solución sostenible y eficaz para la neutralización de olores, al utilizar microorganismos para descomponer los compuestos odoríferos. Estos sistemas son especialmente aplicables en emisiones de origen orgánico, como el tratamiento de aguas residuales [20].

Los biofiltros consisten en un medio poroso (como compost, turba o madera triturada) a través del cual pasan los gases contaminados. Los microorganismos presentes en el medio filtran y degradan los compuestos odoríferos mediante procesos de biodegradación aeróbica. Ainhoa [16] explica que los biofiltros son particularmente efectivos en la eliminación de amoníaco y compuestos sulfurados como el  $H_2S$ .

Una variante de los biofiltros son los biotrickling filters, que utilizan un medio inerte y soluciones líquidas para proporcionar nutrientes y humedad a los microorganismos. Estos sistemas tienen una mayor capacidad de tratamiento y requieren menos mantenimiento que los biofiltros tradicionales [21]. González [20] menciona que los biotrickling filters han alcanzado eficiencias superiores al 90% en la reducción de olores industriales.

Los biofiltros tienen varias ventajas, como su bajo costo operativo y su sostenibilidad ambiental, ya que no generan residuos químicos. Sin embargo, presentan limitaciones en el tratamiento de altas concentraciones de olores, debido a la saturación del medio filtrante y la necesidad de un control preciso de humedad y temperatura [23].

3.4.1 Costos de instalación de biofiltros

La implementación de biofiltros a industrias agroalimentarias no solo involucra beneficios ambientales, sino que de igual manera se considera el valor económico que se evalúa los costos de instalación y operación, generando información para las industrias que quieran implementar biofiltros en sus sistemas, facilitando la información de viabilidad económica, la mejor toma de decisiones y generar comparaciones con otras tecnologías [32].

Es por ello por lo que se toma como ejemplo el estudio de costos de inversión que se generaron en la instalación y operación de Sergio Fernández Sè, quien realiza el estudio de implicancias económicas [32].

| Concepto                  | Descripción                              | Costo estimado | Unidad                      |
|---------------------------|------------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Excavación                | Preparación del emplazamiento (terreno). | 15.4           | Por m <sup>3</sup> excavado |
| Medio (relleno y soporte) | Relleno orgánico (compost turba) y grava | 83.6           | Por m3 instalado            |
| Equipamiento              | Bomba de agua y soplante                 | 935            | Total                       |
| Tuberías                  | Instalación de tuberías                  | 550            | Total                       |
| Instalación eléctrica     | Conexión y equipos eléctricos            | 330            | Total                       |
| Otros costos              | Ingeniería, revestimiento, personal      | 770            | Total                       |

Figura 4 costos instalación.

3.4.2 Costos de Mantenimiento y Operación de un Biofiltro.

| Concepto                  | Descripción                             | Costos estimados (USD) | Unidad                        |
|---------------------------|-----------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Consumo de energía        | Operación de bombas y soplantes         | 1.65                   | Por 1,000 m <sup>3</sup> /año |
| Consumo de agua           | Humidificación del biofiltro            | 0.77                   | Por m <sup>3</sup> /año       |
| Mantenimiento y monitoreo | Inspección y ajustes                    | 2.2                    | Por m <sup>3</sup> /año       |
| Recambio del medio        | Reemplazo de relleno orgánico (3-7 año) | 44                     | Por m <sup>3</sup>            |

Figura 5 costos mantenimiento [32].

En Chile, se han implementado biofiltros en plantas agroindustriales y vertederos, logrando reducir significativamente las quejas ciudadanas. Según el Ministerio de Ciencia [25], estos sistemas han demostrado ser una solución eficaz y socialmente aceptada en áreas con alta sensibilidad a los olores

En el sector agropecuario, empresas del sur de Chile han adoptado sistemas de biofiltros y compostaje controlado para reducir las emisiones odoríferas provenientes de la producción de cerdos. Estas experiencias han demostrado que la combinación de tecnologías avanzadas y buenas prácticas ambientales es una solución efectiva para minimizar el impacto de los olores [16].

España – Biofiltros en plantas agroindustriales: En Madrid, el uso de biofiltros con compost logró eliminar más del 85% de los olores provenientes de la producción de alimentos procesados [16].

La ventaja de utilizar biofiltros + compost es la eliminación de compuestos volátiles como el amoniaco y sulfitos, que al estar en conjunto (biofiltro + compost) sus residuos sólidos y líquidos son tratados antes de que se comienzan a degradar, lo que disminuye que puedan emitir olores al ser tratados a tiempo. Estas tecnologías combinadas son vistas como un gran beneficio a la sostenibilidad ambiental ya que no tiene un consumo de energía

elevado como lo son los lavadores de gases o la oxidación química que son tecnologías con gigantescos gastos de energía, igualmente utiliza sus residuos luego de ser tratados como fertilizantes para que no lleguen a disposición final sin antes de disminuir la mayor cantidad de residuos [16].

Para industrias que no puedan acceder a tecnologías avanzadas esta combinación es una gran oportunidad porque utiliza recursos locales que pueden tener industrias cercanas a zonas rurales, como desechos de madera que utiliza el biofiltro y desechos orgánicos para el compost, a la vez los bajos costos de instalación y operación contribuyen a la facilidad de instalarse en industrias pequeñas y medianas lo cual resultan eficientes, económicas y sostenibles en el tiempo [16].

Por otro lado, la implementación de políticas públicas participativas ha sido clave para mejorar la relación entre las industrias emisoras y las comunidades afectadas. En Chile, se han realizado mesas de diálogo entre el gobierno, empresas y organizaciones sociales, lo que ha permitido diseñar soluciones conjuntas y reducir los conflictos asociados a las emisiones de olores [24].

Finalmente, la cooperación internacional ha permitido a Chile adoptar mejores prácticas en la gestión de olores. Experiencias de países como España y Países Bajos han sido replicadas en el contexto nacional, especialmente en el uso de tecnologías de monitoreo continuo y sistemas de neutralización de olores en tiempo real [23].

### **3.5 SISTEMAS DE OXIGENACIÓN AVANZADA Y OXIDACIÓN QUÍMICA**

Las tecnologías de oxigenación avanzada y oxidación química son soluciones de alta eficiencia para la eliminación de olores, especialmente en fuentes con emisiones concentradas y compuestos difíciles de degradar.

- La oxidación química utiliza agentes oxidantes, como ozono ( $O_3$ ), peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y cloro, para descomponer los compuestos odoríferos en sustancias menos volátiles y odorantes. Según Chen et al. [17], el ozono es uno de los agentes más utilizados, ya que reacciona rápidamente con los compuestos sulfurados y COVs, eliminando los olores de manera eficiente.
- Por otro lado, los sistemas de oxigenación avanzada, como la oxidación fotocatalítica, combinan radiación ultravioleta (UV) con catalizadores, como dióxido de titanio ( $TiO_2$ ), para generar radicales hidroxilos ( $\cdot OH$ ) que descomponen los compuestos odoríferos [28]. Estas tecnologías son altamente eficaces en la eliminación de olores persistentes en plantas de tratamiento de aguas residuales.

- Los lavadores de ozono representan una aplicación práctica de estas tecnologías, al integrar procesos de absorción y oxidación química. Olores.org [26], menciona un caso en la planta de La Farfana en Chile, donde la implementación de lavadores de ozono permitió reducir las emisiones de olores en un 70%.

Si bien estas tecnologías son altamente efectivas, su implementación requiere altos costos iniciales y un consumo energético considerable. Además, el uso de agentes oxidantes, como el ozono, debe ser controlado para evitar la formación de subproductos no deseados [19].

En comparación con otras tecnologías, los sistemas de oxigenación avanzada son ideales para aplicaciones industriales donde se requiere una rápida neutralización de olores y una alta eficiencia de tratamiento [24].

### **3.6 DISEÑO DE UN PLAN DE ACCIÓN BASADO EN NORMATIVA CHILENA**

El diseño de un plan de acción para la mitigación de olores debe estructurarse bajo la normativa chilena vigente, integrando las directrices técnicas y legales aplicables. En Chile, el Ministerio de Medio Ambiente y el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación han establecido estándares que priorizan la reducción de impactos ambientales y sociales generados por emisiones odoríferas [25].

Un plan de acción debe contemplar cinco etapas clave: diagnóstico, selección tecnológica, implementación, monitoreo y evaluación continua. La primera etapa consiste en identificar las fuentes de emisión y los compuestos principales responsables de los olores. Este diagnóstico debe realizarse utilizando metodologías estandarizadas, como la olfatometría dinámica, recomendada por la normativa nacional e internacional [26].

Posteriormente, el plan debe seleccionar las tecnologías más adecuadas de acuerdo con las características de las emisiones y los criterios normativos. Olores.org [26] destaca que tecnologías como biofiltros que son altamente efectivas en tratamiento de aguas en la industria agropecuaria, cumplen con los estándares de calidad del aire.

El plan debe incluir también mecanismos de fiscalización y participación ciudadana, lo que permite mejorar la percepción comunitaria sobre las acciones implementadas. Sánchez y Reyes [29] sugieren que la participación de las comunidades mejora la transparencia y asegurar el cumplimiento social de los objetivos ambientales.

Otro aspecto fundamental es la articulación interinstitucional entre empresas, organismos públicos y comunidades. Esto implica establecer mesas de trabajo colaborativas que faciliten el diálogo y la implementación de soluciones consensuadas [25].

Finalmente, un plan de acción efectivo debe contar con un cronograma detallado, metas específicas y un presupuesto que considere los costos operativos y de mantenimiento. Según Olores.org [27], un plan de estas características ha demostrado ser eficaz en regiones de alta sensibilidad ambiental, como el Biobío y Valparaíso.

### 3.6.1 Indicadores de seguimiento y evaluación

Para garantizar el éxito de las estrategias de mitigación, es fundamental establecer indicadores de seguimiento y evaluación que permitan medir su eficacia y realizar ajustes oportunos. Estos indicadores deben combinar mediciones cuantitativas y cualitativas.

- Indicadores de concentración de olores: Se deben utilizar unidades de olor estándar (ouE/m<sup>3</sup>), obtenidas mediante olfatometría dinámica o narices electrónicas, para medir la concentración de olores en puntos críticos [27].
- Indicadores de reducción de quejas ciudadanas: El número de reclamos relacionados con olores debe ser un parámetro clave en la evaluación del impacto social de las estrategias implementadas [29].
- Eficiencia de las tecnologías: La eficacia de los sistemas de mitigación debe evaluarse en términos de porcentaje de reducción de los compuestos odoríferos, como sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y amoníaco [25].
- Indicadores económicos: Se deben medir los costos de implementación, operación y mantenimiento de las tecnologías, comparándolos con los beneficios obtenidos, como la reducción de conflictos y sanciones regulatorias [30].
- Indicadores ambientales: El impacto de las tecnologías en la reducción de emisiones totales y en el cumplimiento de la normativa debe ser monitoreado de manera continua. Esto incluye la utilización de modelos de dispersión como AERMOD y CALPUFF [28].

El seguimiento de estos indicadores debe realizarse periódicamente mediante auditorías ambientales y reportes públicos que garanticen la transparencia del proceso. Olores.org [26] sugiere realizar evaluaciones cada seis meses para identificar desviaciones y optimizar las estrategias implementadas

### **3.7 RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN A LARGO PLAZO**

La sostenibilidad de las estrategias de mitigación de olores a largo plazo depende de la implementación de políticas y prácticas que garanticen la eficacia y adaptabilidad de las tecnologías. A continuación, se proponen recomendaciones clave:

**Fortalecer el marco regulatorio:** Es necesario actualizar la normativa chilena para incluir estándares más estrictos y mecanismos de fiscalización más efectivos, en línea con las prácticas internacionales [25].

**Promover la participación comunitaria:** La creación de **mesas de diálogo** entre empresas, comunidades y organismos públicos facilitará la implementación de soluciones consensuadas y reducirá los conflictos sociales [29].

**Capacitación y sensibilización:** Se debe capacitar a los operadores industriales y sensibilizar a las comunidades sobre las tecnologías implementadas y sus beneficios ambientales [27].

**Evaluación de impactos económicos y sociales:** Es fundamental realizar análisis periódicos de costos y beneficios, considerando los ahorros a largo plazo derivados de la reducción de conflictos y sanciones regulatorias [30].

En síntesis, la implementación de estrategias integrales debe basarse en tecnologías avanzadas, el cumplimiento normativo y una gestión colaborativa entre empresas y comunidades. Estas acciones permitirán reducir los impactos de las emisiones de olores y garantizar la sostenibilidad ambiental en el largo plazo [30].

## 4. CONCLUSIÓN

El presente trabajo de título examina un problema ambiental de gran importancia en Chile: la contaminación por olores provocada por la industria agroalimentaria, en particular los sectores ganadero y pesquero. La investigación se enfoca en explorar un Sistema de Gestión de Olores, combinando tecnologías innovadoras y modelos de dispersión sofisticados, con la finalidad de disminuir el impacto ambiental, optimizar la calidad del aire y aliviar los efectos nocivos en la salud y el bienestar de las comunidades afectadas.

Según los objetivos.

El objetivo principal, se centra en explorar sistemas integrales para la gestión de olores, se ha logrado a través de un análisis exhaustivo de las fuentes de emisión y la sugerencia de tecnologías de mitigación sostenibles. Los objetivos específicos como reconocer fuentes clave de emisión como los procesos críticos de cada industria como: industria ganadera se encuentra el proceso de la carne, engorda y cría de animales y la gestión de desecho, para la industria pesquera los procesos críticos es el procesamiento del pescado, producción de harina o aceite de pescado y descarga y almacenamiento, en cada industria se encuentra comúnmente los contaminantes como Metano, Amoníaco, compuestos volátiles, sulfuro de hidrogeno que son liberadores de malos olores en cada proceso, los cuales se encargan de dispersarse por el aire hasta llegar a las comunidades aledañas. Es por ello por lo que es importante identificar que modelos de dispersión ocupar y métodos de medición para identificar su concentración y como daña al dispersarse al ambiente. Los modelos de dispersión como AERNOD y CALPUFF que evalúan el alcance de su impacto en la calidad del aire y formulan estrategias fundamentadas en la normativa chilena se han alcanzado, ofreciendo una solución completa y ajustada al contexto nacional. Para los métodos de medición encontramos desde olfatometría dinámica a encuestas realizadas a la comunidad, sirviendo de aporte para identificar las concentraciones de olor, escalas de percepciones olor en base a panelistas de olor en la olfatometría dinámica como, por ejemplo: si es fuerte, muy fuerte, medio y bajo o si es ligeramente desagradable, moderadamente desagradable u ofensivo.

Innovación en el manejo de olores

Uno de los aportes más relevantes de este proyecto de título es la innovación tecnológica implementada en la gestión de olores. La implementación de biofiltros, sistemas de oxigenación avanzada y modelos de dispersión como AERMOD y CALPUFF constituye un progreso significativo en el manejo de emisiones odoríficas. Estas tecnologías no solo ofrecen una mejor eficiencia en la reducción de olores, sino que además fomentan la sostenibilidad, al minimizar el impacto ambiental sin producir desechos perjudiciales ni un alto consumo de energía.

Para la tecnología de biofiltros se toma como ejemplo España que utiliza biofiltros con compost el cual reducía un 85% de los olores provenientes de la producción de alimentos procesados el cual nos orienta a tomar mejores técnicas para eliminar malos olores. De igual manera implementar en todas las industrias agroalimentarias biofiltros reduciría enormemente el impacto ambiental que se esta evidenciando. De igual manera el bajo costo de biofiltros ayuda a que sea más fácil de obtener. Un ejemplo de ellos es el costo de instalación y mantención que vemos a continuación:

Figura 6 costos instalación.

| Concepto                  | Descripción                              | Costo estimado | Unidad                      |
|---------------------------|------------------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Excavación                | Preparación del emplazamiento (terreno). | 15.4           | Por m <sup>3</sup> excavado |
| Medio (relleno y soporte) | Relleno orgánico (compost turba) y grava | 83.6           | Por m3 instalado            |
| Equipamiento              | Bomba de agua y soplante                 | 935            | Total                       |
| Tuberías                  | Instalación de tuberías                  | 550            | Total                       |
| Instalación eléctrica     | Conexión y equipos eléctricos            | 330            | Total                       |
| Otros costos              | Ingeniería, revestimiento, personal      | 770            | Total                       |

Figura 7 costos mantenimiento

| Concepto                  | Descripción                             | Costos estimados (USD) | Unidad                        |
|---------------------------|-----------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Consumo de energía        | Operación de bombas y soplantes         | 1.65                   | Por 1,000 m <sup>3</sup> /año |
| Consumo de agua           | Humidificación del biofiltro            | 0.77                   | Por m <sup>3</sup> /año       |
| Mantenimiento y monitoreo | Inspección y ajustes                    | 2.2                    | Por m <sup>3</sup> /año       |
| Recambio del medio        | Reemplazo de relleno orgánico (3-7 año) | 44                     | Por m <sup>3</sup>            |

En el cual se evidencia que es lo que realiza en cada proceso y el valor de cada etapa como ejemplo para poder observar e identificar un aproximado de cuanto es lo que cuesta. De igual manera, el desarrollo de estrategias sostenibles contempla el uso de recursos locales, tales como residuos orgánicos y madera para biofiltros, lo que favorece su aplicación en áreas rurales y en pequeñas y medianas empresas. La integración de estas tecnologías de vanguardia con prácticas ambientales adecuadas ofrece una alternativa factible y replicable en diferentes áreas.

Vínculo con la regulación y políticas gubernamentales

Enfatiza la necesidad de robustecer el marco legal chileno en cuanto al control de olores y sugiere acciones específicas, como la vigilancia constante y la involucración de la comunidad en la gestión ambiental. La incorporación de experiencias internacionales y la colaboración entre instituciones son factores fundamentales para asegurar el éxito de las estrategias planteadas. Ya que en base a olores la normativa chilena esta baja respecto a establecer límites permisibles, ya que solo se encuentra en acción una sola norma de olores para el sector agroalimentario, que es para planteles porcinos el cual cuenta con limites permisibles para cada plantel dependiendo si son pequeños, medianos y grandes, permitiendo el avance a nuevas normas de olor.

Efecto en el medio ambiente y la sociedad

La implementación de este sistema no solo conlleva una disminución de los olores, sino que también implica notables mejoras en la calidad de vida de las comunidades involucradas, al reducir las quejas de los ciudadanos y evitar conflictos socioambientales. Asimismo, ayuda a optimizar el cumplimiento de los compromisos ambientales de Chile y a reforzar su reputación en los mercados internacionales.

En resumen, este proyecto de título propone sistemas de metodologías originales y sostenibles para el control de olores en la industria agroalimentaria de Chile, fundamentado en la aplicación de tecnologías avanzadas y la adecuación a la normativa regional. Los resultados alcanzados y las estrategias sugeridas no solo brindan respuestas específicas a una problemática ambiental complicada, sino que también establecen las bases para investigaciones futuras y avances continuos en este campo. La fusión de innovación tecnológica, sostenibilidad y participación comunitaria asegura que este proyecto genere un efecto positivo duradero, tanto local como nacionalmente.

## 5. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES.

- [1] Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (2021) *Informe del Estado del Medio Ambiente, Capítulo 13: Olores*. Recuperado de [<https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/13-olores.pdf>]
- [2] Kuna Kair. (2022). *Monitorización del mal olor industrial*. Recuperado de [<https://kunakair.com/es/monitorizacion-mal-olor-industrial/>]
- [3] Agricultura wiki. (s.f.). *¿Cuál es el impacto ambiental de la agroindustria?* Recuperado de <https://agriculturawiki.com/cual-es-el-impacto-ambiental-de-la-agroindustria-descubre-el-impacto-ambiental-de-la-agroindustria-y-como-reducirlo/>
- [4] Ministerio de Relaciones Exteriores. (s.f.). *Agro y alimentos*. Recuperado de [<https://www.prochile.gob.cl/sectores-exportadores/agro-y-alimentos>]
- [5] Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.) *Olores*. Recuperado de [<https://olores.mma.gob.cl/estrategia/>]
- [6] Ecotec ingeniería. (2013). *Estudios antecedentes para la regulación de olores en Chile*. Recuperado de [<https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/ECOTEC-Ingenieria.pdf>]
- [7] The Food Tech. (2022). *Las emisiones de la industria alimentaria: su efecto en la producción y el medio ambiente*. Recuperado de [<https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/las-emisiones-de-la-industria-alimentaria-su-efecto-en-la-produccion-y-el-medio-ambiente/>]
- [8] Mundo Marítimo. (s.f.) *Empresas del sector pesquero*. Recuperado de [<https://www.mundomaritimo.cl/empresas/rubros/pesqueros>]
- [9] Instituto Nacional de Estadísticas. (2019). *Caracterización de producción de carne bovina en Chile*. Recuperado de [[https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/documentos-de-trabajo/caracterizacion-produccion-carne-bovina-en-chile-ine.pdf?sfvrsn=ff52e740\\_2](https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/documentos-de-trabajo/caracterizacion-produccion-carne-bovina-en-chile-ine.pdf?sfvrsn=ff52e740_2) ]
- [10] Servicio de Evaluación Ambiental. (2019). *Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA*. Recuperado de [[https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2019/12/04/guia\\_pye\\_impactos\\_por\\_olor\\_190807.pdf](https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2019/12/04/guia_pye_impactos_por_olor_190807.pdf) ]
- [11] Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *Instructivo para la elaboración de un plan de gestión de olores (PGO)*. Recuperado de [<https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/01/Instructivo-para-Elaborar-un-Plan-de-Gestion-de-Olores.pdf>]

- [12] Sitio Argentino Producción Animal. (s.f.). *Producción ganadera y contaminación ambiental*. Recuperado de [[https://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/46-ganaderia\\_y\\_contaminacion.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/46-ganaderia_y_contaminacion.pdf?utm_source=chatgpt.com)]
- [13] ASIPNOR. (2019). *Protocolo de buenas prácticas pesqueras para la gestión de olores*. Recuperado de [<https://corpesca.cl/wp-content/uploads/2020/01/Protocolo-2019-Buenas-Pr%C3%A1cticas-Pesqueras-para-la-Gesti%C3%B3n-de-Olores-Asipnor-2019.12-x.pdf>]
- [14] Induambiente. (s.f.). *Harina sin olores*. Recuperado de [<https://www.induambiente.com/especial/acuicultura/harina-sin-olores>]
- [15] Servicio de Evaluación Ambiental. (s.f.) *¿Qué es el SEIA?* Recuperado de [<https://www.sea.gob.cl/que-es-el-seia-0>]
- [16] Ainhoa. (2022). *Evaluación innovadora del impacto de los olores en las EDAR mediante técnicas experimentales y de modelización de la dispersión*. Recuperado de [<https://www.olores.org/es/tecnicas/modelos-de-dispersion/1165-innovative-odour-impact-assesment-for-wwtp-using-experimental-and-dispersion-modelling-techniques> ]
- [17] Chen, K. S., Wu, R., Gershow, M. H., & Leifer, A. M. (2023). *Continuous odor profile monitoring to study olfactory navigation in small animals*. *arXiv preprint arXiv:2301.05905*. Recuperado de [ <https://arxiv.org/abs/2301.05905> ]
- [18] Díaz, C. N. (2014). *Revisión de Modelos de Dispersión Normativos, una Clave para la Evaluación de Impacto por Olores*. *Olores.org*. Recuperado de [ [https://www.olores.org/images/stories/pdf/2014\\_seminario/2\\_1B\\_Diaz\\_C.pdf](https://www.olores.org/images/stories/pdf/2014_seminario/2_1B_Diaz_C.pdf) ]
- [19] Enviromodeling. (2024). *Qué aborda la guía de exposición de olores por modelos de dispersión*. Recuperado de [ <https://enviromodeling.cl/primera-guia-internacional-para-la-evaluacion-de-la-exposicion-de-olores-por-modelos-de-dispersion/> ]
- [20] González, E. D. R. S. (2014). *Captura y almacenamiento de carbono para mitigar el cambio climático: modelo de optimización aplicado a Brasil*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(3). Recuperado de [ [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018849992014000300001&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018849992014000300001&script=sci_arttext) ]
- [21] IPCC. (1996). *Tecnologías, políticas y medidas para mitigar el cambio climático*. Recuperado de [ <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/paper-I-sp.pdf> ]
- [22] IRENA. (2020). *Perspectiva Mundial de las Energías Renovables: Transformación de la energía 2020*. Recuperado de [ [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA\\_GRO\\_2020\\_findings\\_ES.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA_GRO_2020_findings_ES.pdf) ]

- [23] LARS-IIAMA. (2024). *Un estudio de la UPV ha detectado emisiones de metano en la industria del aceite de palma en Indonesia, Malasia y Colombia*. Radio Valencia. Recuperado de [<https://cadenaser.com/comunitat-valenciana/2024/11/24/un-estudio-de-la-upv-ha-detectado-emisiones-de-metano-en-la-industria-del-aceite-de-palma-en-indonesia-malasia-y-colombia-radio-valencia/> ]
- [24] Medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. (2015). CEPAL. Recuperado de [[https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/sintesis\\_pp\\_cc\\_medidas\\_de\\_mitigacion\\_y\\_adaptacion.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/sintesis_pp_cc_medidas_de_mitigacion_y_adaptacion.pdf) ]
- [25] Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de Chile. (2020). *Estrategia de desarrollo y transferencia tecnológica para el cambio climático*. Recuperado de [[https://www.minciencia.gob.cl/legacy-files/estrategia\\_de\\_transferencia\\_tecnologica\\_para\\_el\\_cambio\\_climatico\\_1.pdf](https://www.minciencia.gob.cl/legacy-files/estrategia_de_transferencia_tecnologica_para_el_cambio_climatico_1.pdf) ]
- [26] Olores.org. (2020). *Exitosa reunión de lanzamiento de la nueva guía sobre evaluación de la exposición a los olores mediante modelos de dispersión*. Recuperado de [<https://www.olores.org/es/tecnicas/modelos-de-dispersion/1047-exitosa-reunion-de-lanzamiento-de-la-nueva-directriz-sobre-la-evaluacion-de-la-exposicion-a-los-olores-mediante-el-uso-de-modelos-de-dispersion> ]
- [27] Olores.org. (2017). *IV Conferencia Internacional sobre Gestión de Olores y COVs en el Medio Ambiente*. Recuperado de [[https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/220313/1/olores2017\\_programa\\_preliminar.pdf](https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/220313/1/olores2017_programa_preliminar.pdf) ]
- [28] Many wrong models approach to localize an odor source in turbulence (2024). *Introducing the weighted Bayesian update*. arXiv preprint arXiv:2407.08343. Recuperado de [[\[2407.08343\] Muchos modelos erróneos abordan la localización de una fuente de olor en turbulencia con sensores estáticos](#)]
- [29] Sánchez, L., & Reyes, O. (2015). *Medidas de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe: una revisión general*. CEPAL. Recuperado de [[https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/sintesis\\_pp\\_cc\\_medidas\\_de\\_mitigacion\\_y\\_adaptacion.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/sintesis_pp_cc_medidas_de_mitigacion_y_adaptacion.pdf) ]
- [30] Olores.org. (2021). *Ya están disponibles los artículos de la edición especial de Atmosphere: Olores en el medio ambiente: emisión, dispersión y evaluación de la molestia*. Recuperado de [<https://www.olores.org/es/noticias/1040-ya-estan-disponibles-los-articulos-de-la-edicion-especial-de-atmosphere-olores-en-el-medio-ambiente-emision-dispersion-y-evaluacion-de-la-molestia>]

[31] Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.). *Primera norma de olores sector porcino*. Recuperado de [<https://olores.mma.gob.cl/norma-olores-sector-porcinos/> ]

[32] Fernández Sé, S (2010). *Evaluación económica de construcción y operación de un biofiltro*. Universitat Autònoma de Barcelona.  
[[ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2010/hdl\\_2072\\_5404/PFC\\_SergioFernandezSe.pdf](ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2010/hdl_2072_5404/PFC_SergioFernandezSe.pdf)]

## 6. ANEXOS

### Términos Relevantes

1. **Contaminación odorífera:** Presencia de olores desagradables en el aire, generados por compuestos gaseosos emitidos por actividades industriales.
2. **Compuestos orgánicos volátiles (COV):** Sustancias químicas que se evaporan fácilmente a temperatura ambiente y contribuyen a la formación de olores molestos.
3. **Industria agroalimentaria:** Conjunto de actividades relacionadas con la producción, procesamiento y comercialización de alimentos de origen animal o vegetal.
4. **Gestión de olores:** Conjunto de estrategias y tecnologías utilizadas para controlar y mitigar la emisión de olores por actividades industriales.
5. **Sostenibilidad:** Capacidad de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer los recursos y el bienestar de futuras generaciones.
6. **Modelo de dispersión:** Herramientas matemáticas que predicen cómo se distribuyen los contaminantes en el aire a partir de una fuente emisora.
7. **Olfatometría dinámica:** Método de medición de olores basado en la percepción de panelistas capacitados que utilizan un dispositivo llamado olfatómetro.
8. **Biofiltro:** Tecnología que utiliza microorganismos para descomponer contaminantes presentes en emisiones gaseosas, reduciendo así los olores.
9. **Metano (CH<sub>4</sub>):** Gas de efecto invernadero generado principalmente por la descomposición anaeróbica de materia orgánica.
10. **Amoníaco (NH<sub>3</sub>):** Gas tóxico de olor intenso, comúnmente emitido por actividades agropecuarias e industriales.
11. **Sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S):** Gas con un característico olor a huevo podrido, generado por la descomposición de materia orgánica.
12. **Normativa chilena:** Conjunto de leyes y regulaciones específicas de Chile orientadas a la protección del medio ambiente y el control de olores.
13. **Planteles porcinos:** Instalaciones destinadas a la cría y engorda de cerdos, importantes fuentes de emisiones odoríferas.
14. **Impacto ambiental:** Alteraciones en el medio ambiente provocadas por la actividad humana, como la emisión de olores y contaminantes.
15. **Metodología FIDOL:** Enfoque que evalúa el impacto de los olores según su Frecuencia, Intensidad, Duración, Ofensividad y Localización.

16. **Compostaje:** Proceso de descomposición controlada de materia orgánica para obtener abono o fertilizante.
17. **Biogás:** Gas combustible obtenido de la descomposición anaeróbica de materia orgánica, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono.
18. **Proceso anaerobio:** Proceso de descomposición de materia orgánica que ocurre en ausencia de oxígeno.
19. **Emisiones de efecto invernadero:** Gases que contribuyen al calentamiento global, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>).
20. **Norma de calidad del aire:** Estándares establecidos para garantizar que el aire cumpla con niveles seguros de contaminantes.
21. **Participación comunitaria:** Involucramiento de la comunidad en la toma de decisiones y el diseño de soluciones para problemas ambientales.
22. **Tecnología de oxigenación avanzada:** Tecnologías que utilizan agentes oxidantes para descomponer compuestos odoríferos de manera eficiente.
23. **Oxidación química:** Proceso que emplea sustancias químicas para eliminar contaminantes en emisiones gaseosas.
24. **Modelo AERMOD:** Modelo de dispersión gaussiano utilizado para evaluar la calidad del aire en zonas industriales.
25. **Modelo CALPUFF:** Modelo de dispersión lagrangiano que simula el transporte y transformación de contaminantes a largas distancias.
26. **Categoría de estabilidad atmosférica de Pasquill:** Clasificación que describe las condiciones de estabilidad del aire, influyendo en la dispersión de contaminantes.
27. **Monitoreo continuo:** Técnica que permite medir y registrar de manera constante los niveles de contaminantes en el aire.
28. **Equidad intergeneracional:** Principio que busca garantizar que las generaciones futuras tengan acceso a un medio ambiente saludable.
29. **Responsabilidad social empresarial (RSE):** Compromiso de las empresas con el desarrollo sostenible y el bienestar de las comunidades donde operan.