MEJORESPRÁCTICAS

METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE COVs, COPs, BETX U OTROS CONTAMINANTES CON POTENCIAL EFECTO SOBRE LA SALUD HUMANA, PROVENIENTES DE FUENTES PUNTUALES SIN PROCESOS DE COMBUSTIÓN, NO PUNTUALES, ACCIONES Y OTROS NO CUBIERTOS POR EL RETC – INFORME FINAL

Informe preparado para Subsecretaría del Medio Ambiente

Informe MP 226-2020

Diciembre de 2020

Cruz del Sur 251
Las Condes, Santiago
+56 224958672

www.mejores-practicas.com

MEDIO AMBIENTE – ENERGÍA – CAMBIO CLIMÁTICO – COMUNIDADES

ESTIMACIÓN DE COVs, COPs, BETX U OTROS CON POTENCIAL EFECTO SOBRE LA SALUD HUMANA

Preparado para

Subsecretaría del Medio Ambiente

San Martín 73

Santiago, Chile

Preparado por

MEJORES PRÁCTICAS

Cruz del Sur 251

Las Condes, Santiago

Versión	Informe Final – Rev. 0.
Fecha	24 de diciembre de 2020
Comentarios	Entrega a Cliente
Preparado por	César Rivas V. M. Inés Izurieta K. Sebastián Videla H. Matías Berríos S. Miguel Osses M. Mejores Prácticas SpA. / Santiago, Chile
Revisado por	Pablo Barañao D. Mejores Prácticas SpA. / Santiago, Chile pbaranao@mejores-practicas.com

Este informe fue elaborado por Mejores Prácticas Asociados SpA., persona jurídica a la que pertenece su propiedad intelectual de acuerdo con la normativa nacional e internacional vigente. El informe fue preparado para el cliente identificado arriba, para los fines que éste estime convenientes, en base al conocimiento e información disponibles a la fecha de su entrega. Cualquier otro uso, decisión adoptada, resultado o conclusión arribada por terceros en base a la información contenida en este informe, será de su entera responsabilidad. Mejores Prácticas Asociados SpA no se hace responsable de cualquier daño o perjuicio causado, directa o indirectamente, como resultado de ello.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. RESUMEN EJECUTIVO 1
1.1 Introducción 1
1.2 Objetivos 1
1.2.1 Objetivo General 1
1.2.2 Objetivos Específicos 1
1.2.3 Alcance 2
1.3 Metodología 2
1.4 Resultados 4
1.4.1 Materias Primas y Productos Potencialmente Emisores 4
1.4.2 Empresas y Rubros Potencialmente Emisores 4
1.4.3 Identificación y Clasificación de Compuestos y Contaminantes 5
1.4.4 Revisión de RCAs de la Zona Prioritaria 6
1.4.5 Metodologías para la Estimación de Emisiones 6
1.4.6 Almacenamientos Existentes a Nivel Nacional e Internacional y Tipos de Control Disponibles para emisiones de COVs 6
1.4.7 Eficiencias de Abatimiento para Rubros Priorizados 7
1.4.8 Desarrollo y Aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones 7
1.4.9 Procedimientos de Validación de Niveles de Actividad 8
1.5 Conclusiones 8
2. INTRODUCCIÓN 11
3. OBJETIVOS Y ALCANCE 14
3.1 Objetivo General 14
3.2 Objetivos Específicos 14
3.3 Alcance 15
3.3.1 Definiciones 16
3.3.2 Actividades establecidas en las Bases Técnicas 17

3.3.3 Exclusiones en la Metodología de Estimación de Emisiones 18

4. ANTECEDENTES 20

4.1 Antecedentes Generales y Definiciones sobre COVs y BETX 20

4.1.1 Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) 20

4.1.2 Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) 25

4.1.3 Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xileno (BETX) 26

4.2 Regulación Internacional sobre COVs y BETX 27

4.2.1 Regulación en Estados Unidos 27

4.2.2 Regulación en Canadá 32

4.2.3 Regulación en Europa 33

4.2.4 Regulación en Australia 33

4.2.5 Otras Regulaciones Internacionales 34

4.3 Regulación Internacional sobre COPs 35

4.4 Regulación a Nivel Nacional para COVs, COPs y BETX en Chile 37

4.4.1 Normas Nacionales que Rregulan Emisiones de COVs y BETX 37

4.4.2 Reporte de Emisiones Atmosféricas al RETC 42

4.4.3 Fallo de la Corte Suprema Causa Rol N° 5888-2019 44

4.5 Generación de Emisiones de COVs, COPs y BETX 45

4.5.1 Generación de COVs y BETX 45

4.5.2 Generación de COPs 48

4.6 Reacciones Fotoquímicas para Contaminantes Orgánicos 52

4.7 Estimación de Emisiones Atmosféricas 54

4.8 Acciones en la Transferencia y Almacenamiento de Combustibles, Solventes y Otros Productos Químicos 61

4.9 Tecnologías de Abatimiento para Emisiones de COVs 62

4.10 Mejores Técnicas Disponibles (BAT) 64

5. METODOLOGÍA 65
5.1 Revisión Bibliográfica 65
5.2 Revisión de Bases de Datos y Repositorios de Información 67
5.3 Realización de Reuniones con la Contraparte Técnica del Estudio 67
5.4 Identificación y Clasificación de Materias Primas y Productos 69
5.5 Identificación y Categorización de Rubros y Empresas Potencialmente Emisores .71
5.6 Identificación de Contaminantes y Clasificación de Peligrosidad 72
5.7 Revisión de RCAs de la Zona Prioritaria 74
5.8 Revisión y adaptación de Métodos de Estimación de Emisiones 75
5.9 Identificación de Parámetros Externos que Afectan la Generación de Emisiones 76
5.10 Identificación de Compuestos que Participan en Reacciones Fotoquímicas en la formación de O_3 y $MP_{2,5}$ y factores Relevantes Asociados 76
5.11 Identificación de Brechas de Información y Propuestas de Mejora 76
5.12 Elaboración de Listado de Rubros Prioritarios 77
5.13 Identificación de Tipos de Almacenamientos utilizados a Nivel Nacional e Internacional 77
5.14 Identificación de Tipos de Control Disponibles y Eficiencias de Abatimiento 78
5.15 Realización de Recomendaciones y Procedimientos Normados para Evitar Emisiones 78
5.16 Desarrollo de Formulación de de Estimación de Emisiones 79
5.17 Elaboración de Bases de Datos para Formulario de Declaración de Emisiones 79
5.18 Aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones 79
5.19 Procedimiento de Validación de Niveles de Actividad 80
6. RESULTADOS 81
6.1 Materias Primas y Productos Potencialmente Emisores 81
6.1.1 Materias Primas Generadoras de COVs 81
6.1.2 Productos Intermedios o Finales generadores de COVs 83
6.1.3 Fuentes No Puntuales, Procesos, Acciones u otros que generan emisiones de

COVs, COPs y BETX 86

6.1.4 Codificación de Materias Primas y Productos 112

6.1.5 Propiedades Físicoquímicas para Materias Primas y Productos 115

6.2 Empresas y Rubros Potencialmente Emisores 115

6.2.1 Empresas Identificadas en la Zona Prioritaria 115

6.2.2 Empresas y Rubros de Relevancia a Nivel Nacional 123

6.2.3 Clasificación de Empresas y Rubros 126

6.3 Identificación y Clasificación de Compuestos y Contaminantes 129

6.3.1 Listado de Contaminantes 129

6.3.2 Clasificación de Peligrosidad 133

6.3.3 Codificación de Compuestos 136

6.4 Revisión de RCAs de la Zona Prioritaria 136

6.4.1 Identificación, clasificación y categorización de información dispuesta en RCAs 136

6.4.2 Identificación, clasificación y categorización de medidas de mitigación y abatimiento para emisiones de COVs, COPs y BETX dispuesta en RCAs 139

6.4.3 Sistematización de la información de RCAs y Establecimientos RETC 139

6.5 Metodologías para la Estimación de Emisiones 139

6.5.1 Extracción de Crudo y Gas Natural (B5; B6) 142

6.5.2 Elaboración de productos alimenticios (C10) y Elaboración de bebidas (C11) 142

6.5.3 Industria Manufacturera (C15) 143

6.5.4 Industria de Madera y Papel (C16; C17) 143

6.5.5 Imprentas (C18) 144

6.5.6 Industria Petroquímica (C19) 144

6.5.7 Industria Química (C20) y Farmacéutica (C21) 145

6.5.8 Fabricación de Productos de Caucho y Plástico (C22) 145

6.5.9 Industria de Procesamiento de Minerales No Metálicos 145

6.5.10 Industria Energética (D) 146

6.5.11 Industria Sanitaria (E) *146*

6.5.12 Almacenamiento y Transporte (H) *146*

6.5.13 Almacenamiento de Líquidos Orgánicos en Tanques (Diversos Rubros) *148*

6.5.14 Estimación de emisiones por Uso de Solventes (Diversos Rubros) *157*

6.5.15 Estimación de Compuestos Individuales *158*

6.6 Parámetros Externos que Afectan la Generación de COVs 159

6.6.1 Reacciones Fotoquímicas y Formación de Contaminantes Secundarios a partir de COVs *161*

6.6.2 Formación de Ozono a partir de COVs *162*

6.6.3 Formación de Aerosoles Orgánicos Secundarios a parir de COVs *164*

6.7 Brechas para la Estimación de Emisiones y Propuestas de Mejora 166

6.8 Listado de Rubros Prioritarios 168

6.9 Almacenamientos Existentes a Nivel Nacional e Internacional 171

6.9.1 Tipos de Almacenamiento utilizados en la Zona Prioritaria y a Nivel Nacional .. *171*

6.9.2 Tipos de Almacenamiento utilizados a Nivel Internacional *172*

6.9.3 Controles de Emisiones Asociados a Tipos de Almacenamientos *180*

6.10 Tipos de Control Disponible para Emisiones de COVs 184

6.10.1 Medidas al Interior de los Procesos *184*

6.10.2 Tecnologías al Final del Proceso (end-of-pipe) *185*

6.11 Eficiencias de Abatimiento para Rubros Priorizados 198

6.11.1 Eficiencias de Abatimiento para la Extracción de Crudo y Gas Natural (B5; B6) *198*

6.11.2 Eficiencias de Abatimiento para la Elaboración de productos alimenticios (C10) y Elaboración de bebidas (C11) *199*

6.11.3 Eficiencias de Abatimiento para la Industria Manufacturera (C15) *199*

6.11.4 Eficiencias de Abatimiento para la Industria de Madera y Papel (C16; C17) *199*

6.11.5 Eficiencias de Abatimiento para Imprentas (C18) *200*

6.11.6 Eficiencias de Abatimiento para la Industria Petroquímica (C19) *201*

6.11.7 Eficiencias de Abatimiento para la Industria Química (C20) y Farmacéutica

(C21) *201*

6.11.8 Eficiencias de Abatimiento para la Fabricación de productos de caucho y de plástico (C22) *203*

6.11.9 Eficiencias de Abatimiento para la Industria de Procesamiento de Minerales No Metálicos *205*

6.11.10 Eficiencias de Abatimiento para la Industria Energética (D) *205*

6.11.11 Eficiencias de Abatimiento para la Industria Sanitaria (E) *205*

6.11.12 Eficiencias de Abatimiento para el Almacenamiento y Transporte (H) *205*

6.12 Recomendaciones y Procedimientos Normados para Evitar Emisiones 207

6.13 Formulario de Declaración para la Estimación de Emisiones 212

6.13.1 Información para la estimación de emisiones y Categorías para la Clasificación de Información *212*

6.13.2 Procedimientos de Verificación para la Estimación de Emisiones *214*

6.14 Aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones 222

6.15 Procedimientos de Validación de Niveles de Actividad 224

7. CONCLUSIONES 229

7.1 Materias Primas y Productos Generadores de Emisiones 229

7.2 Empresas y Rubros Potencialmente Emisores 229

7.3 Compuestos y Contaminantes 230

7.4 Medidas Dispuestas en RCAs de la Zona Prioritaria 230

7.5 Metodologías para la Estimación de Emisiones 231

7.6 Actividades Económicas de Prioridad Alta, Media y Baja 232

7.7 Parámetros Externos que influyen en la Generación y Permanencia de COVs en la Atmósfera 234

7.8 Brechas de Información para la Estimación de Emisiones y Propuestas de Mejora 234

7.9 Tipos de Almacenamiento para Sustancias Orgánicas 235

7.10 Tipos de Control y Técnicas de Abatimiento 235

7.11 Recomendaciones y Procedimientos Normados para Evitar Emisiones....236
7.12 Formulario de Declaración de Emisiones....237
7.13 Aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones....238
7.14 Proceso de verificación y validación para el RETC....238
8. REFERENCIAS....239
ANEXO 1: ACRÓNIMOS Y SIGLAS....248
ANEXO 2: IDENTIFICACIÓN CODIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE MATERIAS PRIMAS, PRODUCTOS INTERMEDIOS Y/O FINALES E IDENTIFICACIÓN DE FUENTES NO PUNTUALES ASOCIADAS....253
ANEXO 3: IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS Y RUBROS....254
ANEXO 4: IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS Y CLASIFICACIÓN DE PELIGROSIDAD....255
ANEXO 5: REVISIÓN DE RESOLUCIONES DE CALIFICACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA PRIORITARIA....256
ANEXO 6. FACTORES Y PARÁMETROS DE CÁLCULO PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES EN P´ROCESOS PRODUCTIVOS Y ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS....261
ANEXO 7. EFICIENCIAS DE REMOCIÓN PARA TÉCNICAS DE ABATIMIENTO EN PROCESOS PRODUCTIVOS....262
ANEXO 8. FORMULARIO DE DECLARACIÓN DE EMISIONES Y METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN APLICADA....263
ANEXO 9. LISTA DE PARTICIPANTES EN LA APLICACIÓN DEL FORMULARIO DE DECLARACIÓN DE EMISIONES Y OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS RECIBIDOS....264

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías para Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) 24
Tabla 2. Principales características de compuestos BETX 26
Tabla 3. Clasificación de Compuestos Orgánicos emitidos al aire 29
Tabla 4. Categorías para Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) 37
Tabla 5. Definiciones recopiladas de Leyes, Normas y Decretos Nacionales 40
Tabla 6. Usos de los Nuevos COPs en Chile 50
Tabla 7. Actividades realizadas con la contraparte técnica durante el desarrollo del Estudio 67
Tabla 8. Criterios para determinar la relevancia de los rubros en la estimación de COVNMs y COPs 77
Tabla 9. Materias Primas Identificadas 81
Tabla 10. Productos Intermedios y/o Finales Identificados 83
Tabla 11. Actividades que declaran emisiones atmosféricas al RETC en la zona prioritaria 116
Tabla 12. Identificación de Procesos Industriales y Operaciones Unitarias Potenciales Emisoras de COVs, COPs y BETX en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví 118
Tabla 13. Identificación preliminar de Procesos Industriales y Operaciones Unitarias Potenciales Emisoras de COVs, COPs y BETX a nivel nacional 123
Tabla 14. Secciones establecidas en la CIIU – Revisión 4 128
Tabla 15. Categorías para Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (COVNMs) 129
Tabla 16. Compuestos Prioridad 1 131
Tabla 17. Identificación de Brechas para la Estimación de Emisiones mediante un Formulario de Declaración en el RUEA del Sistema VU - RETC 166
Tabla 18. Priorización de los rubros para la estimación de emisiones de COVNMs para fuentes no puntuales y procesos distintos a la combustión 169
Tabla 19. Tipos de Almacenamientos utilizados en la Zona Prioritaria 171
Tabla 20. Tipos de Almacenamiento Utilizados a Nivel Internacional 172
Tabla 21. Datos técnicos de oxidación térmica de COVs 189
Tabla 22. Datos técnicos de oxidación catalítica de COVs 191
Tabla 23. Datos técnicos para Biofiltros 194
Tabla 24. Datos técnicos para Absorción de Gases (*Scrubber*) 195
Tabla 25. Mejores Técnicas Disponibles (BAT) para diferentes tipos de almacenamientos 209
Tabla 26. Mejores Técnicas Disponibles (BAT) para transferencia y manipulación de diferentes sustancias 210

Tabla 27. Información para la estimación de emisiones en el Formulario de Declaración 212
Tabla 28. Mejoras y/o modificaciones realizadas al diseño del Formulario de Declaración de Emisiones de COVs, COPs y BETX a partir de su aplicación en la zona prioritaria 223
Tabla 29. Procedimientos para verificar estimación de emisiones mediante fuentes de información pública.....224
Tabla 30. Acrónimos y Abreviaturas..... 248
Tabla 31. RCAs revisadas para Proyectos Localizados en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.....256

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas que reúnen información sobre COVs en Estados Unidos.....30
Figura 2. Actividades para el desarrollo de la Metodología de Estimación de Emisiones de COV, COP y BETX.....65
Figura 3. Establecimientos que declaran emisiones atmosféricas al RETC, 2020 116
Figura 4. Criterios de inclusión y exclusión de Compuestos para la elaboración de un Listado de Contaminantes COVs, COPs y BETX.....130
Figura 5. Procesos que determinan la presencia de los COVs en la atmósfera.....164
Figura 6. Criterios para la Priorización de Rubros.....168
Figura 7. Tanque de Techo Fijo 176
Figura 8. Tanque de Techo Flotante Externo de Membrana Simple con Pontones 176
Figura 9. Tanque de Techo Flotante Interno.....177
Figura 10. Tanque Cilíndrico Horizontal para almacenamiento de Crudo 177
Figura 11. Tecnologías de Abatimiento de COVs 186
Figura 12. Tecnologías de Abatimiento de COVs y Rangos de Aplicación 187
Figura 13. Bioproceso de remoción de COVs.....193
Figura 14. Procesos en reactores biológicos 194
Figura 15. Pasos Primarios en Catálisis basada en Semiconductores.....197
Figura 16. Esquema para la aplicación de procesos lógicos en el Formulario de Declaración de emisiones formato Excel.....217
Figura 17. Maqueta Formulario de Declaración de emisiones en RUEA para Módulos Procesos Productivos y Uso de Solventes (parte a).....218
Figura 18. Maqueta Formulario de Declaración de emisiones en RUEA para Módulos Procesos Productivos y Uso de Solventes (parte b).....219
Figura 19. Maqueta Formulario de Declaración de emisiones en RUEA para Módulo Almacenamiento y Transferencia de Combustibles y Líquidos Orgánicos (parte a)..... 220
Figura 20. Maqueta Formulario de Declaración de emisiones en RUEA para Módulo Almacenamiento y Transferencia de Combustibles y Líquidos Orgánicos (parte b).....221
Figura 21. Maqueta Formulario de Declaración de emisiones en RUEA para Módulo Almacenamiento y Transferencia de Combustibles y Líquidos Orgánicos (parte c).....222

1. RESUMEN EJECUTIVO

1.1 Introducción

El presente documento contiene una breve descripción de los objetivos, metodología, resultados y conclusiones del Estudio "*Metodología para la Estimación de Emisiones de COVs, COPs, BETX u otros contaminantes con Potencial Efecto Sobre la Salud Humana, Provenientes de Fuentes Puntuales sin Procesos de Combustión, No Puntuales, Acciones y Otros No Cubiertos por el RETC*", en adelante 'el Estudio'.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar una metodología para la estimación de emisiones al aire de las sustancias contenidas en el fallo de la Ilustre Corte Suprema, COVs, COPs, BETX u otros contaminantes con potencial efecto sobre la salud humana, provenientes de fuentes puntuales sin procesos de combustión, no puntuales, acciones y otros no cubiertos por la "*Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales*", y la Estimación de Fuentes No Puntuales para la Generación del Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Identificar las materias primas, productos intermedios y finales potencialmente emisores de sustancias tóxicas, así como el tipo de fuente no puntual, proceso, acción u otro que genere la emisión dentro del establecimiento.

b) Identificar los rubros y empresas potencialmente emisoras, clasificándolos a través de la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU), y realizar un catastro a nivel comunal, con especial énfasis en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

c) Identificar, según lo levantado en los objetivos a) y b), los posibles contaminantes emitidos, clasificándolos por peligrosidad para la salud humana bajo estándares internacionales.

d) Revisar las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCAs) de los rubros y empresas identificadas en el objetivo b) para las zonas que la contraparte técnica defina como prioritarias en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, con especial énfasis en la cuantificación de emisiones establecidas específicamente por dichas RCAs.

e) Proponer una metodología o adaptar otra existente y utilizada a nivel internacional para la estimación de emisiones de acuerdo a lo señalado en los objetivos anteriores.

f) Identificar tecnologías de reducción de emisiones y abatimiento disponibles a nivel nacional e internacional para disminuir los contaminantes identificados en el objetivo c).

g) Desarrollar un Formulario de Declaración, según lo identificado en los objetivos anteriores, y que contenga la información necesaria para la cuantificación de emisiones.

h) Aplicar Formulario de Declaración a lo menos a las fuentes no puntuales, procesos, acción u otro que genere emisiones dentro del establecimiento, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

i) Desarrollar un proceso de verificación para construir procesos de validación por parte del RETC.

1.2.3 Alcance

El Formulario de Declaración de Emisiones de COVs, COPs y BETX se diseñó para fuentes no puntuales y procesos distintos a la combustión. El presente Estudio abordó rubros, actividades y establecimientos a nivel nacional, pero con un énfasis en la *"zona prioritaria"*, la que se define por el territorio comprendido por las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. La metodología de estimación de emisiones aplicada al Formulario de Declaración de Emisiones de COVs, COPs y BETX presenta una serie de exclusiones que se detallan en **Exclusiones en la Metodología de Estimación de Emisiones** (sección 3.3.3) de este documento.

1.3 Metodología

Se llevó a cabo una revisión de bibliografía y publicaciones nacionales e internacionales, revisando, además, diversos repositorios de información y bases de datos en línea.

La identificación y clasificación de materias primas y productos se realizó mediante una identificación de fuentes no puntuales de emisiones de COVs, COPs y BETX por procesos distintos a la combustión y mediante descripciones de procesos productivos. Paralelamente, se realizó una revisión de registros de importaciones y una clasificación de materias primas, productos y compuestos en base a estándares internacionales (CASRN y

CCP)[1].

La identificación de rubros y establecimientos potencialmente emisores se realizó mediante una revisión bibliográfica de publicaciones internacionales, clasificando las actividades económicas mediante la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU). Complementariamente, se utilizaron las descripciones de rubros utilizadas en Guías y Reportes del RETC. Las categorías identificadas se aplicaron a los establecimientos registrados en las bases de datos del RETC. Esta actividad se retroalimentó con una revisión de 103 Resoluciones de Calificación Ambiental (RCAs) para proyectos aprobados en la zona prioritaria.

Se elaboró un listado de compuestos orgánicos mediante la revisión de tratados internacionales ratificados por el país, regulaciones internacionales y diversos estudios nacionales e internacionales en la materia. Se realizó una caracterización de la toxicidad de las sustancias basada en el Sistema Integrado de Información de Riesgos de la US-EPA (IRIS). Además, Cada compuesto se identificó utilizando el CASRN obtenido de bases de datos internacionales. La clasificación de peligrosidad de compuestos orgánicos se realizó en base al GHS[2].

La metodología de estimación de emisiones para procesos productivos, uso de solventes y almacenamiento de sustancias orgánicas se basó en una adaptación de métodos utilizados internacionalmente para la elaboración de inventarios nacionales de emisiones atmosféricas y la declaración de emisiones desde fuentes industriales. Las publicaciones revisadas corresponden principalmente a las siguientes:

- EMEP/EEA, Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (2019).
- US-EPA, Air Emissions Inventory Improvement Program (EIIP), EIIP Technical Report Series – Volumes: 2 y 3 (2001).
- US-EPA, AP-42 (1995-1996).

La identificación de tipos de almacenamiento y medidas de control disponibles para fuentes no puntuales se realizó mediante una revisión bibliográfica y de RCAs de proyectos de interés a nivel nacional.

El Formulario de Declaración de emisiones de COVs, COPs y BETX se realizó en base a

[1] Chemical Abstract Service Registry Number y Clasificación Central de Productos.

[2] Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos de Naciones Unidas).

esquemas y maquetas conceptuales presentadas y aprobadas por la contraparte técnica del Estudio, para el desarrollo de una herramienta de estimación de emisiones en formato xls, la que se puso a disposición del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) durante la tercera y cuarta semana del mes de noviembre de 2020 para ser aplicada en diversos establecimientos de la zona prioritaria, con el fin de recibir retroalimentación de parte de las personas a cargo.

Finalmente, se elaboró un procedimiento de verificación para la corroboración de las declaraciones por parte del MMA, mediante la revisión de estadísticas de producción de bienes y servicios y registros públicos de adquisición o procesamiento de materias primas publicadas por instituciones del Estado y organizaciones privadas a través de sus sitios web.

1.4 Resultados

1.4.1 Materias Primas y Productos Potencialmente Emisores

Se identificaron y codificaron materias primas y producto intermedios y finales para 16 subsectores y 27 rubros. Las Materias Primas y Productos Intermedios y Finales identificados fueron clasificadas mediante códigos arancelarios y códigos CCP. Adicionalmente, se identificaron las propiedades fisicoquímicas (presión de vapor, punto de ebullición, condición física y densidad) de diversos materiales, incluyendo denominaciones y códigos CAS para compuestos químicos orgánicos. Los resultados detallados para esta actividad se presentan en **Anexo 2** asociado a este documento en formato digital.

1.4.2 Empresas y Rubros Potencialmente Emisores

Se identificaron 81 establecimientos en la zona prioritaria. Los sectores que presentan una mayor potencialidad de generación de COVs corresponden a los establecimientos asociados al manejo y procesamiento de hidrocarburos y sus derivados, siendo las principales fuentes: Refinería Aconcagua de ENAP. Gasmar, Copec, Oxiquim, GNL Quintero, ENAP Quintero y Enex.

La actividad portuaria es el principal centro de transferencia de grandes líquidos y sólidos como granos, *clinker*, combustible, asfaltos, concentrados de cobre y otros minerales además de productos químicos, gas natural y *petcoke*. Para cada establecimiento identificado en la zona prioritaria se realizó una descripción la que se presenta en **Tabla 12** de este documento.

A nivel nacional, se realizó una cuantificación de los establecimientos pertenecientes a los rubros que potencialmente podrían generar emisiones de COVs por fuentes no puntales y procesos distintos de la combustión.

Los establecimientos identificados fueron clasificados de acuerdo a la CIIU - Revisión 4 (ONU, 2009). Se determinó un total de cinco secciones de esta clasificación correspondientes a actividades económicas que podrían generar emisiones de COVs, COPs y BETX de manera significativa. Las categorías identificadas son:

- Explotación de minas y canteras.
- Industrias manufactureras.
- Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado.
- Distribución de agua; evacuación y tratamiento de aguas residuales, gestión de desechos y actividades de saneamiento ambiental.
- Transporte y almacenamiento.

Los resultados detallados para esta actividad se presentan en **Anexo 3** asociado a este documento en formato digital.

1.4.3 Identificación y Clasificación de Compuestos y Contaminantes

Se identificaron COVs, COPs y BETX regulados internacionalmente por los siguientes tratados, normas, estudios y fallos judiciales:

- Convenio de Estocolmo.
- Protocolo de Kioto.
- Protocolo de Montreal.
- PPDA para la RMS (D.S. 31/2017 del MMA).
- PPDA Concón Quintero y Puchuncaví (D.S. 105/2019 del MMA).
- Estudio "Huella Digital de Compuestos Orgánicos Volátiles en la Zona de Quintero-Puchuncaví" (NILU, 2019)
- Fallo ICS causa Rol N° 5888-2019.

Se identificaron los compuestos orgánicos emitidos como contaminantes atmosféricos que actualmente están regulados en los siguientes países:

- Estados Unidos.
- Comunidad Europea.
- Canadá.

- Australia.

Se identificó un total de 376 compuestos y contaminantes, mediante un código único proporcionado por CASRN, denominación IUPAC y denominación común o comercial. A partir de la información recopilada se aplicaron criterios priorizar compuestos obteniendo un subconjunto de 63 compuestos denominados como *"Prioridad 1"*. Los resultados detallados para esta actividad se presentan en **Anexo 4** asociado a este documento en formato digital.

1.4.4 Revisión de RCAs de la Zona Prioritaria

Se identificaron 19 proyectos que presentaron una evaluación de las emisiones de COVs y dos proyectos que realizaron estimaciones de BETX. Ningún proyecto realizó estimaciones de COPs. Las metodologías más utilizadas por los titulares de proyectos corresponden a las establecidas en el documento "AP-42" de la US-EPA. Los resultados detallados para esta actividad se presentan en **Anexo 5** asociado a este documento en formato digital.

1.4.5 Metodologías para la Estimación de Emisiones

Se realizó una propuesta metodológica para la estimación de emisiones para procesos productivos y uso de solventes que se basa en factores de emisión, los que contemplan métodos de estimación de emisiones denominados Tier 1 y 2.

Los métodos de estimación de emisiones para almacenamiento de sustancias orgánicas se basan en ecuaciones para tipos de estanques, las que consideran las características del techo, la geometría del tanque, sus dimensiones y su utilización.

Los factores de emisión para procesos productivos y parámetros de cálculo para almacenamiento de sustancias orgánicas se presentan de manera detallada en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

Mediante las metodologías propuestas es posible estimar emisiones para 173 compuestos individuales, de los cuales 32 corresponden a compuestos *"Prioridad 1"* según las definiciones y criterios establecidos en el presente Estudio.

1.4.6 Almacenamientos Existentes a Nivel Nacional e Internacional y Tipos de Control Disponibles para emisiones de COVs

Se realizó una identificación de los tipos de almacenamiento utilizados en la zona prioritaria y aquellos utilizados nivel nacional e internacional, identificando las medidas de control de emisiones asociadas. Los tipos de control disponibles para Emisiones de COVs en fuentes no puntuales se clasifican en las siguientes categorías:

- Medidas al interior de los procesos.

- Tecnologías al final del proceso (*end-of-pipe*).

Las medidas utilizadas para el abatimiento de contaminantes orgánicos corresponden principalmente a:

- Modificación de equipos y procesos.
- Incorporación de tecnologías de destrucción:
  - Oxidación Térmica.
  - Oxidación Catalítica.
  - RFR.
  - Biofiltro.
  - Biofiltro empaquetado.
  - *Scrubber*.
- Incorporación de tecnologías de recuperación y/o transferencia:
  - Absorción.
  - Adsorción con zeolita o carbón activado.
  - Condensación.
  - Separación por membrana.

1.4.7 Eficiencias de Abatimiento para Rubros Priorizados

Se recopilaron eficiencias de remoción de contaminantes orgánicos para tecnologías aplicables a los procesos de cada rubro. Por último, se realizaron recomendaciones y procedimientos normados para evitar emisiones. Los resultados detallados para esta actividad se presentan en **Anexo 7** asociado a este documento en formato digital.

1.4.8 Desarrollo y Aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones

Se diseñó y desarrolló un Formulario de Declaración de emisiones en formato xls. El formulario comprende las siguientes categorías de información:

- Identificación y clasificación del establecimiento.
- Caracterización de fuentes de emisión.
- Método de estimación de emisiones aplicable.

- Niveles de actividad para la producción y/o procesamiento.
- Otras variables requeridas en los métodos de cálculo (para almacenamiento de sustancias orgánicas).
- Medidas y/o técnicas de abatimiento y eficiencias de remoción.
- Factores de emisión aplicables.
- Resultados para la estimación de emisiones.

El Formulario de Declaración de Emisiones se presenta en **Anexo 8** asociado a este documento en formato digital. En noviembre de 2020 se realizó una aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones a un total de 76 establecimientos de la zona prioritaria, lo que permitió recibir observaciones y/o comentarios por parte de 20 representantes de dichos establecimientos. Las observaciones y comentarios fueron analizados por el equipo consultor, para posteriormente realizar mejoras y/o modificaciones al Formulario de Declaración de Emisiones. La lista de participantes y las observaciones realizadas, junto con las aclaraciones y respuestas de parte del equipo consultor, se presentan en **Anexo 9** asociado a este documento en formato digital. Adicionalmente, se realizaron recomendaciones para el desarrollo y la implementación del Formulario de Declaración de Emisiones en el RUEA.

1.4.9 Procedimientos de Validación de Niveles de Actividad

Se elaboró un procedimiento de verificación para la corroboración de los niveles de actividad de la estimación de emisiones de manera agregada, utilizando fuentes de información pública, correspondiente principalmente a sitios web de instituciones públicas y organizaciones privadas. Los resultados se presentan en **Tabla 29** de este documento.

1.5 Conclusiones

Las materias primas, productos intermedios y/o finales que podrían generar emisiones de COVs, COPs y BETX por actividades como almacenamiento, carga, descarga y/o manipulación entre otras son:

- Combustibles fósiles y sus derivados.
- Grasas y aceites animales y vegetales.
- Solventes y otras sustancias orgánicas en estado líquido de uso industrial (preservantes, plaguicidas, otros).

No se ha identificado generación de emisiones de COPs en procesos distintos a la combustión, con excepción de las siguientes actividades:

- Refinación y Almacenamiento de Crudo.
- Uso de Preservantes de la Madera con aplicación de Pentaclorofenol (PCP).

Los rubros que podrían generar mayor cantidad de emisiones de estos contaminantes, tanto por la naturaleza de sus procesos industriales, como por la cantidad de establecimientos existentes en el país, son los que se detallan a continuación, identificando entre paréntesis el código CIIU:

- Elaboración de productos alimenticios y bebidas (C10 y C11).
- Fabricación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho (C16).
- Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón (C17).
- Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles (C19).
- Fabricación de sustancias y productos químicos (C20).
- Fabricación de productos de caucho y de plástico (C22).
- Evacuación y tratamiento de aguas residuales (E37).
- Almacenamiento y actividades complementarias al transporte (H52).

Se identificaron un total de 376 compuestos y contaminantes orgánicos mediante denominaciones y códigos únicos CASRN, de los cuales 63 se clasificaron como *"Prioridad 1"*.

Se identificaron 19 proyectos en la zona prioritaria que cuentan con estimaciones de COVs que han sido sometidas al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA). En esta revisión no se encontró ningún proyecto con estimación de COPs.

Se ha realizado una propuesta para adaptar las metodologías de estimación de emisiones de COVs, COPs y BETX utilizadas a nivel internacional, para la elaboración de un Formulario de Declaración de emisiones, permitiendo la estimación de emisiones de las fuentes no puntuales identificadas en el presente estudio.

Se realizó una propuesta conceptual para el desarrollo de un Formulario de Declaración de emisiones de COVs, COPs y BETX, el que comprende diversas categorías de información que

permiten determinar los métodos de estimación, factores de emisión, parámetros de cálculo y niveles de actividad aplicables a cada caso. Se ha propuesto que el formulario contenga tres módulos de declaración en las siguientes categorías:

- Procesos productivos.
- Uso de solventes.
- Almacenamiento de sustancias orgánicas.

Se ha propuesto, además, que los módulos de uso de solventes y almacenamiento de sustancias orgánicas sean transversales a todos los establecimientos, independientemente del o los rubros en los que estos se clasifiquen.

Se aplicó una prueba del Formulario de Declaración de emisiones a representantes de establecimientos de la zona prioritaria, esta aplicación permitió la recepción de consultas, observaciones, sugerencias y/o comentarios y la realización de mejoras y modificaciones al Formulario.

Se elaboraron procedimientos para corroborar los niveles de actividad de manera agregada de las declaraciones realizadas por los establecimientos mediante la recopilación de información publicada por organizaciones públicas y privadas.

2. INTRODUCCIÓN

La Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, en su artículo 70 letra p), establece que le corresponderá al Ministerio del Medio Ambiente: "(...) Administrar un Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes en el cual se registrará y sistematizará, por fuente o agrupación de fuentes de un mismo establecimiento, la naturaleza, caudal. y concentración de emisiones de contaminantes que sean objeto de una norma de emisión (...) el registro sistematizará y estimará el tipo, caudal y concentración total y por tipo de fuente, de las emisiones que no sean materia de una norma de emisión vigente. Para tal efecto, el Ministerio requerirá de los servicios y organismos estatales que corresponda, información general sobre actividades productivas, materias primas procesos productivos, tecnología, volúmenes de producción y cualquiera otra disponible y útil a los fines de la estimación".

Asimismo, el Decreto Supremo N° 1/2013 del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), indica en su artículo 7°, letras b) y c) que el registro contendrá: "Información entregada por los órganos de la Administración del Estado para obtener las estimaciones de fuentes difusas y de fuentes puntuales de emisiones no normadas" y, "Además, contendrá la información de emisiones (...), respecto de los cuales nuestro país haya adquirido la obligación que se midan, cuantifiquen o estimen, en virtud de lo establecido en convenios internacionales ratificados por Chile y que se encuentren vigentes respectivamente". Adicionalmente, en el citado Decreto Supremo, en su artículo 8°, letra b) se indica que se debe disponer de un modo de reporte de información respecto de fuentes difusas.

Con fecha 28 de mayo de 2019, la tercera sala de la Ilustre Corte Suprema (ICS), en causa Rol N° 5888-2019, dictó el fallo sobre los episodios críticos de contaminación de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. El Ministerio del Medio Ambiente (MMA), dando respuesta al cumplimiento de las exigencias establecidas el fallo de la ICS, está implementando un Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunes de Concón, Quintero y Puchuncaví (D.S. 105/2019), que norma las acciones de mitigación y de episodios críticos para emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) y de Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xileno (BETX) que deben ser implementadas por sectores o establecimientos que se indican en su cuerpo, especialmente aquellos especificados en el artículo 32, instalaciones de almacenamiento, carga, descarga y transferencia de hidrocarburos y sus derivados; artículo 33, estanques de almacenamiento; artículo 34, proceso de carga, descarga, transporte, almacenamiento distribución y abastecimiento de hidrocarburos y sus derivados; artículo 35 sistemas de venteo y quema controlada mediante antorcha, y;

artículo 36 sistemas de tratamiento de aguas residuales.

De lo anterior, el citado Plan exige la implementación de medidas para la mitigación y prevención de COVs y BETX, según corresponda, por parte de los regulados especificados.

De igual forma, el MMA durante el año 2019, en cumplimiento al fallo de la ICS, desarrolló el estudio llamado *"Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales en el RETC"*, con la finalidad de actualizar la anterior guía metodológica del año 2008 e incorporar nuevos factores de emisión. El estudio contempló la revisión de los diversos convenios ratificados por Chile y su aplicabilidad para cuantificar los contaminantes listados en cada uno de ellos, referidos a las fuentes puntuales.

Actualmente, el RETC estima y registra las emisiones provenientes de fuentes puntuales, principalmente calderas, turbinas, hornos (todos los tipos), grupos electrógenos, convertidores, segadores y otras fuentes sin combustión, que cuenten con factores de emisión para los contaminantes prioritarios definidos por el Grupo Nacional Coordinador y, según lo que establece el Decreto Supremo 138/2005 del Ministerio de Salud, que establece la obligación de declarar emisiones al aire. Así mismo, el RETC elabora anualmente el estudio *"Estimación de Fuentes No Puntuales para la Generación del Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC"* que abarca las emisiones de fuentes difusas o no puntuales de transporte en ruta, combustión de leña, incendios forestales, quemas agrícolas e incendios urbanos.

De acuerdo a lo establecido en el Fallo de la ICS sobre la labor del RETC y, en base a los convenios internacionales ratificadas por Chile el RETC registra y/o registrará, en base a la nueva *"Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales"*, las emisiones de Compuestos Orgánicos Persistentes (COPs) por formación involuntaria en procesos de combustión , según lo establecido en el Convenio de Estocolmo; así como las emisiones de los contaminantes establecidos para Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el Protocolo de Kioto y mercurio en el Convenio de Minamata.

No obstante lo anterior, existen diversas fuentes no clasificadas como puntuales, procesos y acciones que son intensivas en emisiones de COVs, COPs y/o BETX, sustancias tipificadas en los diversos Convenios o Protocolos internacionales y con potencial efecto nocivo sobre la salud humana, que no son registradas en el RETC, bajo lo indicado por el D.S. 138/2005 del Ministerio de Salud o lo estimado bajo el estudio Estimación de Fuentes No Puntuales para la Generación del Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC. Ejemplo de lo anterior, son los estanques de almacenamiento de hidrocarburos y productos químicos, la industria química, de *Packaging*, procesos de

pintado, producción animal y *Rendering*, industria pesquera. industria farmacéutica e industria de la celulosa, entre los principales.

Por lo anterior, el RETC requiere ampliar sus capacidades para registrar emisiones al aire de fuentes no puntuales dentro del perímetro de un establecimiento, identificando los rubros, acciones, sustancias y productos potencialmente emisores, desarrollando para ello una guía metodológica de estimación de los contaminantes anteriormente mencionados.

Con ello, el RETC será una herramienta más robusta, dando pleno cumplimiento al fallo de la ICS y a los objetivos tipificados en el D.S. 1/2013 del Ministerio del Medio Ambiente artículo 2°, especialmente, las letras b) "Promover el conocimiento de la información, por parte de la ciudadanía", c) "Constituir una herramienta de apoyo para la adopción de políticas públicas y de regulación" y, d) "Constituir una herramienta que favorezca la toma de decisiones en el diseño de la política de gestión ambiental encaminada a reducir la contaminación, prevenir la generación de residuos y promover su valorización, y avanzar hacia un desarrollo sustentable.

El presente documento contiene la descripción de las actividades, resultados y conclusiones del Estudio denominado "*Metodología para la Estimación de Emisiones de COVs, COPs, BETX u otros contaminantes con Potencial Efecto Sobre la Salud Humana, Provenientes de Fuentes Puntuales sin Procesos de Combustión, No Puntuales, Acciones y Otros No Cubiertos por el RETC*", en adelante el 'Estudio'.

A lo largo del presente documento se utilizan diversos acrónimos y abreviaturas los que se presentan en **Anexo 1**.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE

3.1 Objetivo General

Desarrollar una metodología para la estimación de emisiones al aire de las sustancias contenidas en el fallo de la Ilustre Corte Suprema, COVs, COPs, BETX u otros contaminantes con potencial efecto sobre la salud humana, provenientes de fuentes puntuales sin procesos de combustión, no puntuales, acciones y otros no cubiertos por la "*Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales*", y la Estimación de Fuentes No Puntuales para la Generación del Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes del RETC.

3.2 Objetivos Específicos

a) Identificar las materias primas, productos intermedios y finales potencialmente emisores de sustancias tóxicas, así como el tipo de fuente no puntual, proceso, acción u otro que genere la emisión dentro del establecimiento.

b) Identificar los rubros y empresas potencialmente emisoras, clasificándolos a través de la Clasificación Internacional Industrial Uniforme (CIIU), y realizar un catastro a nivel comunal, con especial énfasis en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

c) Identificar, según lo levantado en los objetivos a) y b), los posibles contaminantes emitidos, clasificándolos por peligrosidad para la salud humana bajo estándares internacionales.

d) Revisar las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCAs) de los rubros y empresas identificadas en el objetivo b) para las zonas que la contraparte técnica defina como prioritarias en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, con especial énfasis en la cuantificación de emisiones establecidas específicamente por dichas RCAs.

e) Proponer una metodología o adaptar otra existente y utilizada a nivel internacional para la estimación de emisiones de acuerdo a lo señalado en los objetivos anteriores.

f) Identificar tecnologías de reducción de emisiones y abatimiento disponibles a nivel nacional e internacional para disminuir los contaminantes identificados en el objetivo c).

g) Desarrollar un Formulario de Declaración, según lo identificado en los objetivos

anteriores, y que contenga la información necesaria para la cuantificación de emisiones.

h) Aplicar Formulario de Declaración a lo menos a las fuentes no puntuales, procesos, acción u otro que genere emisiones dentro del establecimiento, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

i) Desarrollar un proceso de verificación para construir procesos de validación por parte del RETC.

3.3 Alcance

En el desarrollo del presente estudio se elaboraron principalmente dos productos:

1) Informe para la estimación de COVs, COPs, BETX u otros compuestos con potencial efecto sobre la salud humana.

2) Formulario de Declaración de Emisiones diseñado para establecimientos, rubros y actividades a nivel nacional, pero con un énfasis en la *"zona prioritaria"*, la que se define por el territorio comprendido por las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

El informe contiene los antecedentes que respaldan, en términos técnicos, el diseño, alcance y aplicabilidad del Formulario de Estimación de Emisiones, el cual incluye, entre otros aspectos:

- Actividades y rubros.
- Compuestos y/o sustancias.
- Metodologías de estimación de emisiones.
- Fórmulas y parámetros de cálculo.
- Tecnologías, procesos productivos y técnicas de abatimiento de emisiones.
- Bases de datos.
- Referencias bibliográficas.

El presente Estudio abordó sólo las emisiones de COVs, COPs y BETX u otros compuestos con potencial efecto sobre la salud humana, provenientes de fuentes no puntuales y procesos distintos a la combustión. Adicionalmente, en el Formulario de Declaración de Emisiones se adoptaron diversas consideraciones para simplificar las estimaciones y de esta manera, facilitar y/o promover la declaración por parte de los establecimientos. Estas

consideraciones fueron entre otras:

- Aplicabilidad de la metodología a establecimientos de diversos sectores productivos a nivel nacional.
- Estimación y declaración de emisiones para cada establecimiento de manera anual, en base a registros de niveles de actividad mensuales.
- Minimización de errores y omisiones en las declaraciones.
- Bajo costo de obtención de los datos requeridos para estimar las emisiones.
- Utilización de datos o niveles de actividad verificables por terceros a un costo razonable.
- Compatibilidad y similitud con metodologías de estimación de emisiones actualmente implementadas en el RUEA.

En base a lo anterior, se advierte que no toda la información recopilada y analizada en el presente Estudio es aplicable al Formulario de Declaración de Emisiones. Parte de los resultados corresponden a la elaboración de un marco teórico y/o fueron considerados con fines informativos.

3.3.1 Definiciones

Para el desarrollo del presente estudio se utilizaron las siguientes definiciones:

- **Producto intermedio:** *aquellos que son el resultado de un proceso industrial, para luego ser procesado en el mismo establecimiento"*.
- **Producto final:** se entenderá como *"aquel resultado de un proceso industrial que será utilizado o procesado por un consumidor final, tercero u otro establecimiento distinto al que originó el producto"*.
- **Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)**[3]**:** *toda sustancia química que, a excepción del metano, contenga átomos de carbono e hidrógeno (que puedan ser sustituidos por otros átomos como halógenos, oxígeno, azufre, nitrógeno o fósforo) y que a 20° C tenga una presión de vapor mayor o igual a 0,01 kPa, o que tenga una volatilidad equivalente según condiciones particulares de uso, manipulación y/o almacenamiento. Se incluye en esta definición la fracción de creosota que*

3 La definición utilizada corresponde a la establecida en el D.S. 105/2019 Plan de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica (PPDA) para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

sobrepase este valor de presión de vapor a la temperatura indicada de 20° C.

- **Fuentes no Puntuales**[4]: *aquellas instalaciones o actividades industriales que generan emisiones a la atmosfera no conducidas por un ducto o chimenea, mediante procesos distintos a la combustión, tales como: procesos industriales, fugas, almacenamiento de materias primas o productos, procesos de venteo y/o sistemas de ventilación, tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales*.

3.3.2 Actividades establecidas en las Bases Técnicas

Las actividades definidas por las bases técnicas de la Licitación Pública ID 608897-29-LE20 que se llevaron a cabo para la elaboración del presente documento son:

1) Reuniones de coordinación y presentación de resultados preliminares con la contraparte técnica.
2) Revisión bibliográfica de publicaciones nacionales e internacionales.
3) Revisión de bases de datos y repositorios de información de sitios web nacionales e internacionales.
4) Identificación y clasificación de materias primas y productos intermedios y/o finales.
5) Identificación y categorización de rubros y empresas
6) Identificación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) y Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) y clasificación de peligrosidad para cada compuesto.
7) Revisión de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCAs) de la zona prioritaria.
8) Proposición y adaptación de metodologías para la estimación de emisiones de COVs y COPs.
9) Identificación de brechas para la estimación de emisiones y propuestas de mejora.
10) Elaboración de un listado de rubros prioritarios.
11) Identificación de tipos de almacenamiento y tipos de control disponibles.
12) Identificación de tecnologías de reducción y abatimiento de emisiones.

[4] En la legislación nacional no existe una definición para el término *"fuente no puntual"*. A partir de una revisión bibliográfica se propone una definición que se enfoca principalmente en las emisiones de COVs, por lo que incluye fuentes que en algunas definiciones se consideran como "puntuales" y en otras se consideran como "areales". Esta definición es provisional hasta que el MMA publique una definición oficial.

13) Realización de recomendaciones y procedimientos para evitar emisiones.

14) Desarrollo y aplicación de un Formulario de Declaración.

15) Desarrollo de procesos lógicos para minimizar errores en la estimación y/o declaración de emisiones.

16) Elaboración de procedimientos para la verificación de niveles de actividad en base a información pública.

17) Elaboración de bases de datos para la estimación de emisiones.

3.3.3 Exclusiones en la Metodología de Estimación de Emisiones

Las exclusiones que se consideraron en la metodología de estimación de COVs, COPs y BETX, todas las cuales se justifican a lo largo del presente documento, se resumen a continuación:

- Se excluyen todos los contaminantes emitidos a otros componentes del ambiente distintos a la atmósfera, tales como las emisiones descargadas al agua y suelo.
- Se excluyen todas las emisiones provenientes de fuentes puntuales, fuentes móviles y de área que son conducidas por ductos o chimeneas, tales como emisiones provenientes de: calderas, grupos electrógenos, motores de combustión interna, entre otros.
- Se excluyen todas aquellas emisiones generadas fuera del perímetro de un establecimiento industrial, incluyendo aquellos establecimientos que no tienen obligación de declarar emisiones en el Reporte Único de Emisiones Atmosféricas (RUEA). Los establecimientos excluidos corresponden a: comerciales, residenciales, espacios públicos (carreteras, caminos, áreas verdes, entre otros), predios forestales y agrícolas (incluyendo las emisiones generadas en incendios y quemas agrícolas), reservas o parques naturales, otro tipo de establecimientos y/o fuentes de emisión no industriales.
- Se excluyen las emisiones de metano por ser un compuesto con propiedades diferentes al resto de COVs y debido a que actualmente es reportado en inventarios nacionales y corporativos de GEI, para los cuales existen los instrumentos idóneos y metodologías de estimación y reporte (principalmente aquellas que establecen las Directrices del IPCC sobre Inventarios Nacionales de GEI). Este criterio también es aplicable a otros GEI que usualmente se reportan mediante inventarios nacionales (HCFCs, HFCs y PFCs).

- Se excluyen todas las emisiones provenientes de fuentes biogénicas, es decir, aquellos compuestos emitidos a la atmósfera provenientes de procesos físicos, químicos y/o biológicos propios de la vegetación, suelos y océanos, en los cuales no se produce una intervención directa del ser humano.
- Se excluyen Compuestos Orgánicos Semi-Volátiles (COSVs), debido a que estas sustancias se encuentran en fase de aerosol y no en fase gaseosa, por lo que en general forman parte del Material Particulado (MP) y presentan diferencias en términos químicos y de transporte en la atmósfera (Koppmann, 2007).
- Se excluyen contaminantes secundarios, es decir, compuestos que no son emitidos directamente por las fuentes industriales o actividades económicas, sino que son consecuencia de la reacción de compuestos presentes en la atmósfera, tales como Nitrato de Peroxiacilo (PAN[5], por su sigla en inglés), Nitratos Orgánicos, entre otros.
- Se excluyen los compuestos prohibidos por tratados internacionales ratificados en Chile, principalmente los compuestos prohibidos en el tratado de Montreal y el Convenio de Estocolmo.
- Se excluyen los contaminantes intramuros.
- Se excluyen emisiones generadas en situaciones de emergencia y/o contingencia, tales como derrames o descargas accidentales de sustancias orgánicas.

[5] Peroxyacyl nitrates.

4. ANTECEDENTES

4.1 Antecedentes Generales y Definiciones sobre COVs y BETX

4.1.1 Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)

La química orgánica se refiere a todos los compuestos formados por el carbono, con excepción del monóxido y dióxido de carbono (CO y CO_2, respectivamente) y los carbonáceos. Su estudio se divide en alifáticos y aromáticos, siendo los primeros hidrocarburos de cadena abierta mientras que los segundos contienen anillos de carbono.

Los alifáticos más importantes se identifican por tener uno a cuatro carbonos (C_1 a C_4), que pueden tener diversas ramificaciones, distinguiéndose los siguientes grupos:

- **Hidrocarburos Saturados (Alcanos):** en condiciones normales de presión y temperatura (1 atm, 20° C) los compuestos de cadenas de carbono entre uno y cuatro átomos de carbono (C_1 al C_4) están en fase gaseosa, del C_5 al C_{17} en fase líquida (volátiles) y del C_{18} en adelante son sólidos semivolátiles o con muy baja volatilidad. La fórmula estructural para este grupo es: C_nH_{2n+2}.
- **Hidrocarburos Insaturados:** con dos grupos, dependiendo del grado de sustitución. Por una parte, los alquenos donde los principales son el etileno (C_2), el propileno (C_3) y el butileno (C_4). Por otra parte, están los alquinos, donde el más representativo es el acetileno o etino (C_2). Las fórmulas estructurales para estos grupos son: alquenos C_nH_{2n} y alquinos C_nH_{2n-2}.

La insaturación se relaciona con la toxicidad de los compuestos. En términos generales mientras más insaturada sea una sustancia suele ser más reactiva, por lo que tiene mayores posibilidades de interactuar con el medio.

Entre los compuestos cíclicos se encuentran los derivados de alifáticos, como los cicloalcanos y los terpenos. Estos suelen tener un origen biogénico, encontrándose entre otros, en vegetales con olores característicos, tales como los aceites esenciales.

Uno de los términos más utilizados en la literatura para describir al subconjunto de gases que contienen carbono y que se encuentran presentes en la atmósfera en concentraciones menores a 10 ppbv es el de Hidrocarburos No Metánicos (HCNM), término que originalmente se utilizó para distinguir alcanos, como etano, propano y butano del metano. No obstante, la palabra hidrocarburo indica que la molécula sólo contiene átomos de hidrógeno y carbono, por lo que este término excluiría especies como los alcoholes, carbonilos y ácidos, como también, otros compuestos orgánicos que contienen nitrógeno, azufre y otros

elementos. Por lo que con el fin de abarcar todos los compuestos orgánicos que son relevantes desde un punto de vista químico en la atmósfera se utiliza el término Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).

La definición de COV es una cuestión esencial que tiene directa relación con las propiedades termodinámicas. En primer lugar, cabe hacer notar que se refieren a compuestos orgánicos, que adicionalmente tienen volatibilidad. La volatibilidad explica que una sustancia en estado líquido o sólido cambie de fase al estado de vapor, lo que se entiende como evaporización y sublimación, respectivamente. En la práctica no suele hacerse referencia a sustancias que se subliman, procesos que en su mayor parte abarcan casos donde las sustancias suelen ser inorgánicas.

La definición de COV no es, por consiguiente, de carácter estrictamente científico, sino fenomenológico, donde debe ocurrir un evento de volatibilidad para que la sustancia quede definida como tal. Esta propiedad depende de la presión y la temperatura de la sustancia sujeta a este fenómeno, como también de la presencia de otras sustancias presentes en las fases líquido y vapor. Por lo anterior, no existe una definición única o general de lo que son los COVs. No obstante, habitualmente se considera como COVs aquellos compuestos orgánicos que tienen una presión de vapor mayor a 10 Pa (medida a temperatura de 25° C), un punto de ebullición de hasta 260° C (medido a presión atmosférica), y una cantidad de 15 o menos átomos de carbono. Los compuestos remanentes se denominan Compuestos Orgánicos Semivolátiles (COSVs). Esta segregación enfatiza en las especies volátiles en fase gaseosa de aquella porción en la fase de aerosol, lo que es razonable debido a las diferencias en términos de química y transporte (Koppmann, 2007).

Para que exista transporte de una sustancia que se encuentra en la fase líquida a la fase gaseosa es necesario que se presente un gradiente de concentración que genere una fuerza directriz donde el sistema esté fuera del equilibrio. Este gradiente está relacionado con la presión de vapor de la sustancia, que explica que ambas fases se encuentren en equilibrio termodinámico. Por ello, las definiciones de COVs hacen directa mención a la presión de vapor de una sustancia a una presión atmosférica determinada. Cuando la presión de vapor alcanza la presión atmosférica, el líquido entra en ebullición. En compuestos de alta volatibilidad, el punto de ebullición puede ser extremadamente bajo.

Se define como volatibilidad de una sustancia (α_i) la relación entre la presión parcial en fase gaseosa (P_i) y su fracción molar en la fase líquida (x_i), según la siguiente expresión:

$$\alpha_i = \frac{P_i}{x_i}$$

En particular, para soluciones binarias donde hay dos sustancias A y B, se define la volatibilidad relativa por la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{\alpha_A}{\alpha_B} = \frac{P_A x_B}{P_B x_A}$$

El hecho de que la presión parcial dependa de una fracción molar y de la presencia de otras sustancias hace algo compleja la definición de COVs en función de la volatibilidad. Por ello las regulaciones pueden usar directamente la presión de vapor o, como es el caso de todas las regulaciones ambientales, el punto de ebullición.

Las definiciones de COVs fijan el límite inferior de la presión de vapor en 0,01 kPa a 20° C. Sin embargo, en algunos casos se considera 0,013 kPa a 25° C, que es aproximadamente equivalente. La relación de la presión de vapor con la temperatura y presión atmosférica está dada en un diagrama de fase.

Cabe hacer notar que en líquidos donde existen varias sustancias volátiles, la presión de vapor parcial de cada una de ellas se obtiene para soluciones ideales usando la ley de Raoult, que establece que la presión de vapor parcial de cada componente de una mezcla ideal de líquidos es igual a la presión de vapor del componente puro multiplicado por su fracción molar en la mezcla. En consecuencia, la disminución relativa de la presión de vapor de una solución diluida de soluto no volátil es igual a la fracción molar de soluto en la solución.

Considerando que los COVs corresponden a un concepto fenomenológico basado en la propiedad de volatilización de un compuesto químico, las regulaciones de distintos países utilizan definiciones basadas en los valores límites de la presión parcial en función de la temperatura y presión. Sin embargo, cabe notar que, si bien es condición necesaria, no es una condición suficiente, ya que como se vio anteriormente, las mezclas son fundamentales en estos procesos. Se asume, por lo tanto, que la condición primaria es la dependencia de la sustancia de los parámetros ambientales.

Existen definiciones aparentemente muy similares, pero que tienen diferencias que deben tenerse en cuenta. La más amplia de estas corresponde a la que usa *Green Facts*, que señala que cualquier compuesto orgánico que se evapora a la atmósfera a temperatura ambiente y que contribuye a la producción de smog y ciertos problemas de salud, incluyendo problemas de olores, como gasolinas, alcoholes y solventes usados en pinturas, es considerado un COV.

Por su parte, la American Lung Association (ALA), considera que los COVs son gases que se emiten al aire por productos o procesos, que son dañinos por sí mismos, incluyendo los que causan cáncer, que adicionalmente pueden reaccionar con otros gases y formar en el aire

otros compuestos. En la literatura se hace una distinción entre COVs de interior (intra-muro) y exterior. Los COVs de interiores se generan a partir de materiales y productos que se utilizan en la construcción de viviendas, oficinas y en general, lugares habitados cerrados. Los COVs de exteriores se caracterizan por reaccionar en la atmósfera, siendo en algunos casos, precursores del ozono troposférico. Estas definiciones incorporan dos efectos importantes: daño a la salud humana y reactividad en la atmósfera.

El Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) define los COVs señalando que son químicos que se vaporizan al aire y se disuelven en agua. Una condición adicional no presente en las anteriores definiciones. USGS agrega que los COVs son usados en industria, agricultura, transporte y actividades diarias del hogar. Una vez que se liberan a las aguas subterráneas, muchos COVs son persistentes y pueden migrar a los pozos que se utilizan como fuentes de agua potable[6].

En Estados Unidos las distintas agencias suelen tomar sus propias definiciones, como es el caso de la Agencia de Registro de Enfermedades y Sustancias Tóxicas (ASTDR) que incluye una lista de sustancias tóxicas que en su mayor parte corresponde a COVs. Los contaminantes del aire, como los COVs pueden contribuir o exacerbar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente y también contribuir en la formación de otros contaminantes como el ozono troposférico (Kim, y otros, 2007).

La sustitución, que consiste en reemplazar un hidrógeno del anillo aromático por otro elemento, tiene mucha importancia en los COVs, especialmente en términos de química atmosférica. Los elementos comunes que se unen a los anillos son el Flúor (F), el Cloro (Cl), el Bromo (Br) y el Iodo (I)[7]. Por su parte, la sustitución por cadenas de químicos da origen a una variedad de compuestos orgánicos aromáticos, como alcoholes, aldehídos, ésteres, cetonas, ácidos, aminas, amidas y nitrilos. Cuando se tienen compuestos formados por varios anillos se denominan Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), donde el primero de ellos es el naftaleno con dos anillos. Mientras menos anillos, el compuesto es más volátil.

La Tabla 1 presenta una clasificación de COVs por categorías utilizadas en química orgánica y en ingeniería.

---

[6] Se puede observar que en esta definición se consideran aspectos del principal interés de este organismo. Es importante señalar que las definiciones, en ocasiones, tienen por objetivo orientar la acción de instituciones y empresas públicas y privadas hacia un cumplimiento concreto en diferentes materias.

[7] Los compuestos clorados incluyen: Cloruro de metilo; Cloroformo; Cloruro de metileno; Tetracloruro de carbono; Metilcloroformo; Tricloroeteno y Tetracloroeteno. Los compuestos Bromados incluyen compuestos como: Bromuro de metilo; Halones; Bromoformo. Los compuestos Iodados comprenden principalmente el Ioduro de Metilo.

Tabla 1. Categorías para Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)

Familia	Descripción
Alcanos	Debido a su baja reactividad y considerables fuentes globales, el etano es el alcano más abundante en la atmósfera. Las principales fuentes son las emisiones de la explotación y distribución de gas natural y de la quema de biomasa. Las fuentes menores incluyen emisiones del escape del motor y emisiones biogénicas de suelos y humedales. El propano como el próximo alcano superior en la serie homóloga se origina principalmente en fuentes antropogénicas relacionadas a la distribución del gas natural y la industria petroquímica. Los alcanos C4-C5 se emiten principalmente por la evaporación de los combustibles fósiles, que se almacenan en tanques y por fugas desde líneas de distribución. Los alcanos C6 y los COVs homólogos superiores se emiten principalmente como consecuencia de su uso como solventes y de la evaporación de los combustibles fósiles. A medida que la presión de vapor disminuye y aumenta la longitud de la cadena de carbono, la importancia relativa de la evaporación disminuye para los COVs de mayor peso molecular.
Alquenos	Los combustibles fósiles contienen solo pequeñas cantidades de alquenos. Por lo tanto, los alquenos se emiten principalmente desde el escape de los vehículos (debido a la combustión incompleta del combustible), desde la combustión de biocombustibles y la quema de biomasa. El eteno y el propeno son las especies más abundantes en las masas de aire contaminado. Las concentraciones disminuyen rápidamente en áreas más remotas debido a la alta reactividad que estos compuestos presentan en la atmósfera. Los alquenos moleculares superiores se emiten en cantidades menores, pero pueden ser importantes como precursores del ozono troposférico en entornos urbanos. Además, los alcadienos se emiten como un subproducto de procesos de combustión incompletos.
Alquinos	El etileno (acetileno) es el alquino dominante en la atmósfera. En las zonas urbanas se emite por la quema incompleta de combustibles fósiles. En otras áreas (por ejemplo, los trópicos) las emisiones de la quema de biomasa y la combustión de biocombustibles son más importantes. Además, los procesos de combustión emiten pequeñas cantidades de propino y butino, que pueden medirse en entornos contaminados.
Aromáticos	Los COVs aromáticos son componentes importantes de los combustibles fósiles y son emitidos principalmente por los gases de escape de los vehículos, por la evaporación y el derrame de combustible. Además, el tolueno y los xilenos también presentan emisiones industriales significativas porque se usan como solventes. Las especies más abundantes en los combustibles fósiles y, en consecuencia, en las masas de aire urbanas son benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, estireno y trimetilbencenos. Como el benceno tiene propiedades cancerígenas, ha sido reemplazado en combustibles fósiles por otros aromáticos o por Metil ter-butil éter (MTBE). El benceno también se produce durante la combustión de biocombustibles, que puede ser importante, por ejemplo, en regiones con una alta proporción de leña residencial.
COVs Oxigenados	Los COVs oxigenados (OVOCs[8], por su sigla en inglés) se emiten tanto por fuentes antropogénicas como biogénicas, aunque a escala mundial, sus fuentes predominantes son las emisiones provenientes de la vegetación y la quema de biomasa. Una fracción significativa de OVOCs en la atmósfera se produce por la conversión fotoquímica de Hidrocarburos No Metánicos (HCNM) en OVOCs. Esta formación secundaria hace que las concentraciones de OVOCs sean normalmente más altas que las de los HCNM en áreas remotas. Las emisiones antropogénicas directas de OVOCs están relacionadas con la combustión incompleta de combustibles fósiles de fuentes móviles y el uso de los OVOCs como solventes. Las mayores contribuciones provenientes de fuentes vehiculares son: formaldehído, acetaldehído, compuestos aromáticos oxigenados y acetona. Además, el aditivo de combustible MTBE se emite por evaporación y escape.
COVs Halogenados[9]	Hidroclorofluorocarbonos (HCFCs): son compuestos orgánicos que consisten en carbono, hidrógeno, cloro y flúor. Son mucho más reactivos que los CFC, por lo que una gran parte de los HCFC emitidos se descomponen en la troposfera por reacción con el radical hidroxilo y, por lo tanto, se eliminan antes de que tengan la posibilidad de afectar la capa de ozono. Estos compuestos tienen la capacidad de atrapar el calor en la atmósfera y, como tales, tienen un Potencial de Calentamiento Global (PCG) relativamente alto. Perfluorocarbonos: son compuestos con una alta capacidad para absorber calor y largos tiempos de vida en la atmósfera. La principal fuente de emisión de CF_4 es la electrólisis de aluminio, específicamente cuando ocurre una condición de falla en el proceso de electrólisis (efecto del

[8] *Oxygenated Volatile Organic Compounds* (Compuestos Orgánicos Volátiles Oxigenados).

[9] Se Excluyen CFCs por estar prohibidos por Protocolo de Montreal y prácticamente en desuso en la actualidad.

	ánodo). El C_2F_6 también se emite por un efecto de ánodo durante la fundición de aluminio. La industria de semiconductores utiliza C_2F_6 en aplicaciones como el grabado de silicio.
Carbonilos de alto peso molecular y Ácidos carboxílicos	Se limitan a compuestos de hasta 11 átomos de carbono, debido a que los COVs polares con mayor peso molecular, no alcanzan concentraciones detectables en la troposfera. Entre las numerosas fuentes antropogénicas que generan carbonilos y ácidos monocarboxílicos (C4-C11), las mayores y más generalizados son: la quema de biomasa y biocombustibles, combustión de carbón, gases vehiculares y cocción de alimentos.

Fuente: Elaboración Propia en base a Koppmann (2007).

4.1.2 Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)

Los COPs son un conjunto de sustancias que comparten ciertas características básicas: poseen gran toxicidad, son persistentes en el ambiente, tienen capacidad para bioacumularse en las cadenas alimenticias y pueden transportarse a distancias considerables del punto de origen, por lo que representan una amenaza global.

Los COPs son una clase especial de compuestos orgánicos, ya que permanecen en el ambiente por largo tiempo, se caracterizan por tener una alta resistencia a la degradación, ser bioacumulables y sujetos en la cadena trófica a biomagnificación, muy tóxicos a los seres vivos, alta movilidad y transporte a través de largas distancias.

Para que un compuesto orgánico sea persistente (no degradable), en general, suele tener una estructura molecular en grandes cadenas, agrupándose en distintas clasificaciones, como las que se indican a continuación, a modo de ejemplo:

- **PCBs (bifenilos policlorados) siguientes:**
  - 2, 2', 3, 4, 4', 5, 6 – Heptaclorobifenil.
  - 2, 3, 4, 4', 5, 6 – Hexaclorobifenil.
  - 3, 4, 4', 5 – Tetraclorobifenil.
- **Parafinas cloradas de cadena corta (C10-13):**
  - 1, 1, 1, 12 - tetracloro – dodecano.
  - 1, 1, 1, 3, 5, 7, 9, 11 - 11 - nonacloro – undecano.
  - 1, 1, 1 - tricloro – dodecano.
- **Dioxinas policloradas, que no son PCDD o PCDF:**
  - 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 - heptacloro dibenzo - p – dioxina.
  - 1, 2, 3, 6, 7, 8 - hexacloro dibenzo - p – dioxina.

4.1.3 Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xileno (BETX)

Los BETX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) son un grupo de COVs (hidrocarburos) monoaromáticos, donde el primero de ellos es el benceno, con 6 átomos de carbono ordenados en un anillo, donde cada átomo de carbono está unido a un átomo de hidrógeno con distintos grados de sustitución. Estos compuestos son considerados a menudo como cancerígenos. En particular, la exposición al benceno y etilbenceno está relacionada con un mayor riesgo de leucemia y cánceres hematopoyéticos. El tolueno y el xileno no son cancerígenos, pero pueden producir efectos adversos para la reproducción; especialmente cuando las exposiciones son crónicas en concentraciones bajas (NCBI, 2019).

La Tabla 2 resume las principales características de los BETX, las fuentes más comunes de emisión, sus principales usos y efectos sobre la salud humana.

Tabla 2. Principales características de compuestos BETX

Compuesto	Fórmula	Propiedades	Fuentes	Usos	Efectos sobre la Salud Humana
Benceno	C_6H_6	Es un hidrocarburo altamente inflamable	Petroquímica	Fabricación de productos tales como: etilbenceno, cumeno, ciclohexano, nitrobenceno, alquilbenceno, materias primas de plásticos como poliestirenos, resinas, adhesivos, nylon, gomas, lubricantes, tinturas, detergentes, drogas, explosivos y pesticidas.	Cáncer, anemia, leucemia, otras.
Tolueno	C_7H_8	Líquido insoluble, incoloro, de olor característico a espesador de pintura inflamable	Petróleo, gasolinas, carbón y coke	Solvente de pinturas, selladores, espesadores, sellantes de silicona y goma, impresiones, adhesivos y lacas, curtiembres, desinfectantes, polimerización de espumas plásticas de poliuretano, fabricación de TNT, drogas e isocianato de tolueno	Al inhalarlo produce cansancio, debilidad, confusión, pérdida de memoria y apetito, náuseas, pérdida de audición, visión y sabor. Posibles daños neurológicos.
Etilbenceno	C_8H1_0	Líquido altamente inflamable, incoloro, olor a gasolina, débilmente dulce	Productos intermedios en la fabricación de estireno (C_8H_8)	El 99% se usa en la fabricación de plásticos	Agente potencialmente cancerígeno, genera mareos, promotor del smog.
Xileno	C_8H_{10}	Altamente inflamable, tóxico	Productos de la reformación catalítica de la	El 98% se utiliza en la fabricación de botellas plásticas y tejidos de tereftalato de polietileno. Se usa para generar monómeros	Afecta el sistema nervioso, la inhalación produce dolores de cabeza, vómitos, irritabilidad, insomnio,

Compuesto	Fórmula	Propiedades	Fuentes	Usos	Efectos sobre la Salud Humana
			petroquímica y de carbonización de carbón. Se encuentra en pequeñas cantidades en gasolina.	de plásticos. Pequeñas cantidades se dedican a solventes de uso en pintura, lacas, tintas, barnices y otros productos similares.	cansancio, pérdida temporal de memoria y concentración. Afecta la piel.

Fuente: Elaboración Propia.

4.2 Regulación Internacional sobre COVs y BETX[10]

4.2.1 Regulación en Estados Unidos

Las regulaciones de Estados Unidos se definen a nivel federal a través de los CFR (Códigos de Regulaciones Federales), de las cuales, la 159 se refiere a COVs, más otras de carácter general. Adicionalmente, cada estado puede agregar otras regulaciones que no sobrepasen los CFRs pero hagan más explícitos sus requerimientos.

Para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA[11], por su sigla en inglés), los COVs se pueden clasificar en Exteriores (*outdoors*) e Interiores (*indoors*), siendo los primeros los que generalmente se liberan al aire durante su manufactura, o bien, por productos y/o materiales, mientras que los segundos se liberan por el uso de productos y/o materiales que contienen COVs. La US-EPA manifiesta su interés por ambos tipos de productos, señalando que su manejo es diferente. En el caso de COVs de interiores el objetivo se centra en la salud humana, mientras que en exteriores se mantiene este objetivo agregando el que se relaciona con el control del smog fotoquímico.

La US-EPA adopta definiciones generales, tales como la siguiente: *"los COVs significan cualquier compuesto de carbono, excluyendo el monóxido, dióxido de carbono, carburos metálicos o carbonatos y el carbonato de amonio, que participen en reacciones fotoquímicas, excepto aquellos que EPA considera de reactividad fotoquímica despreciable".* Se agrega lo siguiente: *"los COVs son compuestos químicos orgánicos cuya composición los hace posibles de evaporarse bajo condiciones atmosféricas normales interiores de temperatura y presión"*. Lo de reactividad fotoquímica despreciable no es un tema menor, de hecho, la US-EPA ha excluido compuestos químicos de la condición de ser COV, debido a

[10] La revisión de regulaciones internacionales incluye las definiciones para COVs contenidas en las respectivas legislaciones.

[11] U.S. Environmental Protection Agency.

este concepto, como, por ejemplo: el acetato butílico terciario (acetato de t-butilo, llamado también TBAC); el 2-amino-2-metil-1-propanol (conocido como AMP); el 1,1,2,2- tetrafluor-1-2,2,2-trifluoretoxyetano (HFE-347pcf2), entre otros diversos compuestos. Por lo anterior, se ha considerado en las regulaciones que se contemple el carácter dinámico de la norma, siendo un sistema abierto en el cual ingresan y salen compuestos dependiendo de las propiedades que los definen.

Las regulaciones de Estados Unidos sobre COVs en productos comerciales y de consumo está contenida en CFR, específicamente en el cuerpo "*Part 59—National Volatile Organic Compound Emission Standards for Consumer and Commercial Products*". Durante varios años, los COVs que reaccionan en la atmósfera fueron nominados por la US-EPA como Gases Orgánicos Reactivos (ROG[12], por su sigla en inglés), lo que ha conducido a ciertas confusiones normativas.

La definición de COVs por la US-EPA tiene dos ejes principales: la declaración de que todos los compuestos orgánicos no exceptuados son COVs y, en segundo término, la existencia de una lista mínima de sustancias que se estiman de importancia principal. Esta doble entrada para definir COVs se justifica atendiendo a que existen miles de compuestos orgánicos y en constante aumento, muchos de ellos sin información disponible sobre sus propiedades y, por otro lado, la necesidad de tener presente la lista de sustancias que merecen especial atención normativa.

La Sección 112(b)(1) de la Clean Air Act (CAA) enumera los contaminantes que se consideran peligrosos de ser emitidos al aire, exigiendo la identificación de fuentes y la existencia de normas específicas que regulen cumplimientos a los establecimientos emisores. Las normas deben estar basadas en estándares tecnológicos del mejor nivel alcanzable.

La US-EPA acepta que para exteriores se tenga una lista de compuestos representativos de reactivos fotoquímicos. Específicamente, establece la siguiente clasificación general:

- Compuestos Orgánicos Muy Volátiles: i.e. Propano, Butano, Cloruro de Metilo.
- Compuestos Orgánicos Volátiles: i.e. Formaldehido, Tolueno, Acetona, Alcohol Isopropílico, Tetracloruro de Carbono, Disulfuro de Carbono y Cloruro Vinílico.
- Compuestos Orgánicos Semi-Volátiles (COSVs), donde incluyen Pesticidas: DDT, Clordanos, ftalatos y retardantes de fuego (PCBs y PBBs).

[12] Reactive Organic Gases.

Los denominados COSVs son aquellos que no son volátiles a temperatura ambiente, pero al entrar en contacto con fuentes térmicas emiten químicos orgánicos a la atmósfera que sufren, entre otras reacciones, la recondensación con las partículas del aire. Entre ellos se encuentran los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), los PCBs (policlorobifenilos), la mayoría de los pesticidas y los ftalatos. Estos compuestos no se consideran COVs.

La Tabla 3 clasifica los compuestos según su punto de ebullición, lo que ha sido recogido en la legislación europea en forma similar.

Tabla 3. Clasificación de Compuestos Orgánicos emitidos al aire

Descripción	Abreviación	Rango de Ebullición (°C)	Compuestos
Compuestos Orgánicos Muy Volátiles	COVM/VVOC	<0 a 50-100	Propano, butano, cloruro de metilo
Compuestos Orgánicos Volátiles	COV/VOC	50-100 a 240-260	Formaldehído, d-limoneno, tolueno, acetona, etanol (alcohol etílico), 2-propanol (alcohol isopropílico), hexanal
Compuestos Orgánicos Semi-Volátiles	COSV/SVOC	240-260 a 380-400	Pesticidas (DDT, clordano, plastificantes (ftalatos), retardantes (PCBs y PBBs)

Fuente: US-EPA

En general los COVs son sustancias olorosas o inodoras de bajo peso molecular, no superior a 400 g/mol, cuya presión de vapor es suficientemente alta para que en condiciones estándares del medio ambiente se encuentren parcialmente en fase vapor. Esta presión de vapor debe ser igual o superior a 0,01 kPa en condiciones estándares del medio ambiente (20 °C, 1 atm). Los COVs son perjudiciales a la salud humana, y algunos de ellos como el benceno, 1-3 butadieno y el cloruro de vinilo están clasificados en el Grupo 1 como agentes carcinogénicos por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) (Montero-Montoya, 2018).

La US-EPA dispone de una estructura de apoyo integrada que permite acceder a información sobre diversos aspectos de la gestión de COVs como de distintas sustancias, que se identifica por las siglas de los sistemas según muestra la Figura 1.

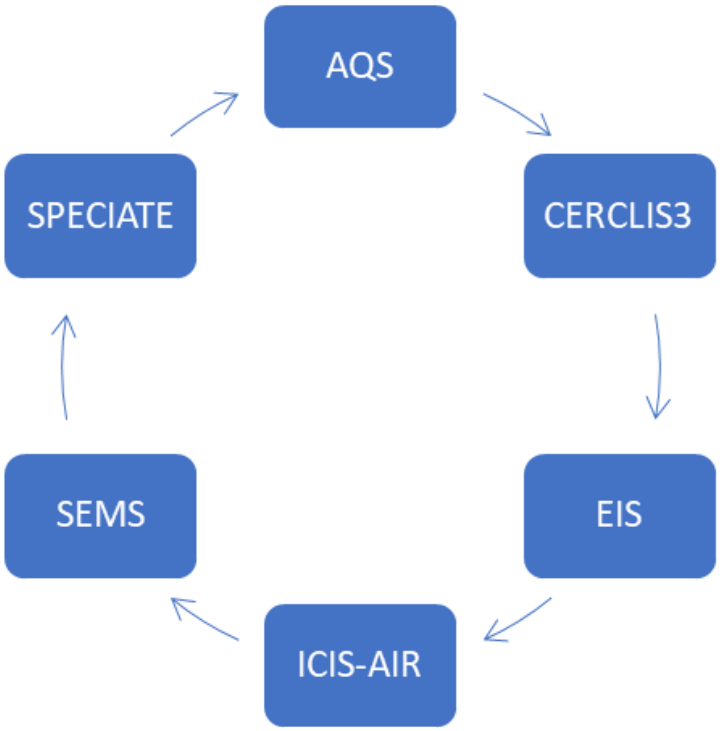


Figura 1. Sistemas que reúnen información sobre COVs en Estados Unidos

Fuente: US-EPA

De estos sistemas, los que tienen relación con COVs son los siguientes:

- **AQS:** Sistema de la Calidad del Aire de la US-EPA (AQS[13], por su sigla en inglés), contiene mediciones de la calidad del aire ambiente e información descriptiva sobre los lugares donde se recopilan los datos de calidad del aire ambiente en Estados Unidos. Estos datos son recopilados por agencias estatales, locales y tribales que los cargan periódicamente. Los datos sobre la calidad del aire ambiente se utilizan para realizar un seguimiento del progreso en la aplicación del programa nacional de control de la contaminación atmosférica.
- **CERCLIS3:** el Sistema Integral de Información de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental (CERCLIS[14], por su sigla en inglés) es un inventario automatizado de sitios de desechos peligrosos abandonados, inactivos o no controlados regulados por la Ley de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Ambiental (CERCLA[15], por su sigla en inglés). El sistema también rastrea áreas donde

[13] Air Quality Systems.
[14] Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Information System 3.
[15] Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act.

ha habido una liberación de sustancias peligrosas que pueden requerir evaluación o limpieza por parte del programa Superfund. CERCLIS3 se utiliza para registrar información sobre todos los aspectos de los sitios de desechos peligrosos desde el descubrimiento inicial hasta su inclusión en la Lista de prioridades nacionales (NPL, por su sigla en inglés).

- **EIS:** Sistema de Inventario de Emisiones (EIS[16], por su sigla en inglés), se desarrolló para proporcionar a los usuarios registrados de la EPA, estatales y locales, el acceso a los datos del inventario de emisiones, pudiendo acceder al inventario de las instalaciones y a los datos de emisiones de las fuentes en su jurisdicción.
- **ICIS-Air:** Sistema de Información de Cumplimiento Integrado para el Aire (ICIS-Air[17], por su sigla en inglés) contiene información de cumplimiento de los programas aéreos de origen estacionario. Los datos almacenados en ICIS-Air son recogidos principalmente por agencias estatales y locales y enviados a ICIS-Air según lo exija la ley. Los datos almacenados en ICIS-Air son necesarios por la US-EPA y las agencias estatales/locales para llevar a cabo la gestión del cumplimiento del programa de calidad del aire.
- **SEMS:** el Sistema de Gestión Empresarial Superfund (SEMS[18], por su sigla en inglés) es una base de datos para el seguimiento de Registros que documentan la investigación, limpieza y actividades de cumplimiento para sitios de desechos peligrosos. La EPA utiliza SEMS para cumplir con las responsabilidades de las agencias federales, el Congreso y el público en general, respecto a remediación y limpieza del sitio con desechos peligrosos, y dar soporte y respuesta en caso de emergencias.
- **SPECIATE:** repositorio EPA de perfiles específicos de Compuestos Orgánicos Totales (TOC[19], por su sigla en inglés) y material particulado (MP) para diversas fuentes de contaminantes atmosféricos, utilizadas en estudios de gestión de emisiones. No se han añadido nuevos perfiles a SPECIATE desde el lanzamiento en octubre de 1999.

Adicionalmente, la US-EPA ha definido normas para identificar y registrar sustancias químicas en lo que denomina ChemIDStd, que incluyen cuatro identificadores:

[16] Emissions Inventory System.
[17] Integrated Compliance Information System for Air.
[18] Superfund Enterprise Management System.
[19] Total Organic Compounds.

- El número de registro CAS (CASRN[20], por su sigla en inglés), un número único asignado por *Chemical Abstract Service* a cada sustancia identificada.
- El nombre sistemático de la sustancia química *(Chemical Substance Systematic Name*), corresponde a un nombre asignado a cada sustancia química en términos de su composición molecular.
- El número de seguimiento interno (*Chemical Internal Tracking Number)*, un número de registro del sistema interno de la US-EPA.
- El nombre de registro químico *(Chemical Registry Name)*, que corresponde al nombre común usado por la US-EPA al referirse a una sustancia.

Cabe considerar que CAS[21] tiene una base de información científica desde hace 150 años, considerada la mayor del mundo, disponiendo distintos servicios pagados con sistemas que reúnen información masiva. Uno de ellos es *Sci Finder*, que entrega revisiones bibliográficas de sustancias químicas, muy usado para el desarrollo científico y tecnológico. La base de datos dispone de registros de 123 millones de compuestos, con 12.000 ingresos diarios, que se conocen por las siglas CAS.

La US-EPA mantiene una lista de sustancias químicas peligrosas de ser emitidas al aire, que contiene 190 sustancias de las cuales 160 son COVs.

4.2.2 Regulación en Canadá

La regulación en Canadá es muy similar a la de Estados Unidos, definiendo los COVs en forma genérica de la siguiente manera: *"son COVs los compuestos orgánicos que contienen uno o más átomos de carbono que se evaporan fácilmente a la atmósfera*" (Canada Gazette, Part II of July 2, 2003).

La novedad de esta definición es que define los COVs por su evaporación, algo cercano a lo que se entiende por volatilización. Por otra parte, se tienen límites específicos para sustancias agrupadas según productos, como recubrimientos, productos automotrices (en varias regulaciones), generación eléctrica, productos de consumo, asfaltos, adhesivos, sellantes y otros.

[20] Chemical Abstracts Service Registry Number.
[21] Chemical Abstracts Service.

Canadá dispone de un inventario de productos contaminantes al aire (APEI[22], por su sigla en inglés), actualizado al 2020, de ellos hay 17 sustancias que contribuyen al smog, lluvia ácida y mala calidad del aire.

4.2.3 Regulación en Europa

Considerando que la volatibilidad de un compuesto es en general mayor que el menor de sus puntos de ebullición, en Europa se ha adoptado una clasificación dependiente de los puntos de ebullición. Por ello, la Directiva Europea 2004/42/CE define que COV es cualquier sustancia que tiene un punto de ebullición inicial menor o igual a 250° C medido a presión estándar de 101,3 kPa.

Por su parte, la Directiva Europea 2002/3/CE sobre el ozono en el aire ambiente define los COVs como *"todos los compuestos orgánicos procedentes de fuentes antropogénicas y biogénicas distintas del metano, capaces de producir oxidantes fotoquímicos por reacción con óxidos de nitrógeno bajo efectos de radiación solar"*. Las listas de COVs se dejan para ser incluidas en legislaciones específicas de las distintas sustancias.

4.2.4 Regulación en Australia

La regulación ambiental australiana, como las de otros países, recoge los principios químicos y termodinámicos, siendo muy similar a la de Estados Unidos, señalando que los COVs son un grupo de químicos de base carbono que se evaporan fácilmente a temperatura ambiente, donde hay varios materiales y productos tales como pinturas y productos de limpieza que generan esta emisión. Los COVs incluyen acetona, benceno, glicol etilénico, formaldehido, cloruro de metileno, percloroetileno, tolueno y xileno. Distintos COVs tienen diferentes efectos en la salud y el rango cubre desde aquellos que son altamente tóxicos a los que tienen efectos no conocidos. La inhalación de COVs a bajos niveles por largos periodos de tiempo puede aumentar, en ciertas personas, el riesgo de contraer diversos problemas de salud.

El punto central de la regulación australiana es que define COVs como sustancias que deben ser informadas por establecimientos si el total emitido excede límites que se han definido. La regulación considera que los COVs son precursores del smog fotoquímico, y en consecuencia cualquier compuesto orgánico que participe en estas reacciones cabe dentro de la definición (criterio por extensión). En particular reconoce que estos compuestos

[22] Canada's Air Pollutant Emissions Inventory.

provienen fundamentalmente del uso y almacenamiento de combustibles gaseosos, uso de solventes y los procesos de combustión.

En otras palabras, la regulación define como COV cualquier compuesto químico que contenga carbono en cadenas o anillos cuya presión de vapor sea mayor que 0,01 kPa a 293,15 K (20° C)[23] y que, además, participe en reacciones fotoquímicas atmosféricas. Consecuentemente se excluye un gran conjunto de compuestos, tales como: monóxido y dióxido de carbono, metano, acrilamida, hexaclorobenceno, bifenilos, clorofenoles, n-dibutil ftalato; glicol etileno, di-(2-etilhexil) ftalato (DEHP);4,4-metilen bis 2,4 anilina (MOCA); fenol; tolueno-2,4-di isocianato, entre otros.

Australia tiene un inventario base de 93 sustancias contaminantes, de las cuales 41 corresponden a COVs.

Existen dos umbrales de notificación de instalaciones relacionados con el total de COVs que estas generan:

- **Categoría 1:** este umbral se activa si, en una instalación, se utilizan 25 toneladas o más de COVs totales en el período que abarca el reporte (normalmente un año).
- **Categoría 2:** este umbral se activa si, en una instalación, se queman 400 toneladas o más de combustible o residuos en el período que abarca el reporte o una tonelada o más de combustible o residuos se quema en cualquier hora del año (uso máximo por hora) durante el período que se informa. Si se activa este umbral, la instalación está obligada a notificar las emisiones de una serie de sustancias, incluido el total de COVs.

4.2.5 Otras Regulaciones Internacionales

La OMS usa una definición amplia de COV en función del punto de ebullición de una sustancia que debe ser menor de 250° C medido a presión estándar de 101,3 kPa. La OMS identifica las siguientes tres clases de compuestos:

- Compuestos Orgánicos Muy Volátiles: son los que más reactivos en la atmósfera, y afectan la salud humana.

[23] En 1999, la definición de COVs tomaba como temperatura de referencia los 25° C, en cuyo caso la presión de vapor se definía como 2 mmHg (0,27 kPa). Considerando que entre 20 y 25° C la relación P/T es prácticamente lineal, esta definición es equivalente a la actual.

- Compuestos Orgánicos Volátiles: menos foto-reactivos, su mayor efecto es en la salud humana
- Compuestos Orgánicos Semi-Volátiles: tienen un punto de ebullición más alto que el máximo.

Los COVs de origen antrópico se encuentran en sustancias tales como:

- Combustibles
- Disolventes
- Desengrasantes
- Conservantes
- Agentes de Limpieza
- Dispersantes
- Propelentes
- Reactivos
- Otros.

Las sustancias correspondientes a COVs identificadas en la regulación internacional revisada se presentan en **Anexo 4** asociado a este documento en formato digital.

4.3 Regulación Internacional sobre COPs

El Convenio de Estocolmo sobre COPs, es un instrumento internacional jurídicamente vinculante. Entró en vigor el 17 de mayo 2004 y tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente de estos contaminantes. El Convenio requiere que las partes tomen medidas para eliminar o reducir la producción, utilización, importación, exportación y emisión al medio ambiente de COPs, incluyendo disposiciones en cuanto al acceso a la información, la sensibilización y formación del público y la participación en el desarrollo de planes de aplicación.

Inicialmente el Convenio de Estocolmo incorporó doce compuestos, agrupándolos en tres categorías: i) plaguicidas (Aldrin, Clordano, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptacloro, Mirex y Toxafeno); ii) productos químicos industriales (Hexaclorobenceno y Bifenilos Policlorados-PCBs); y iii) subproductos no intencionales de sustancias químicas precursoras y/o procesos térmicos/de combustión (dioxinas y furanos) (CONAMA, 2005). Posteriormente, en la IV y V

Conferencia de las Partes del Convenio de Estocolmo celebradas en 2009 y 2011 respectivamente, se acordó incluir diez nuevos COPs.

El Convenio de Estocolmo compromete a cada país en la aplicación de medidas para:

a) Eliminar o restringir la producción y el uso de los COPs producidos intencionalmente;

b) Eliminar en forma ambientalmente adecuada, las existencias de los COPs fuera de uso, deteriorados, vencidos o prohibidos;

c) Minimizar la generación de los COPs que se forman y liberan de manera no intencional, tomando medidas de prevención relativas a las mejores técnicas disponibles y las mejores prácticas ambientales y;

d) Elaborar un Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo.

De acuerdo con el Convenio de Estocolmo, los COPs se clasifican en cinco anexos dependientes de las medidas que se deberán considerar para su eliminación, restricción y reducción, además de incluir la evaluación de riesgos. Esta clasificación corresponde a lo siguiente:

- COP Anexo A: sustancias a eliminar.
- COP Anexo B: sustancia con restricciones de uso.
- COP Anexo C: sustancias que deben ser reducidas.
- Candidato COP Anexo D: sustancias adicionales que cumplen criterios de selección.
- Candidato COP Anexo E: sustancias que cumplen criterios de selección que además pueden ser transportadas a largas distancias en el medioambiente, con efectos en la salud humana y el ambiente.
- Candidato COP Anexo F: sustancias que cumplen con Anexos D y E que requieren acción global para tomar medidas.

Chile ratificó el Convenio de Estocolmo el 20 de enero de 2005 y fue aprobado por Decreto N° 38 del 19 de mayo de 2005. En base a los compromisos adquiridos por el país, Chile desarrolló el Plan Nacional de Implementación (PNI) para la Gestión de los Contaminantes Orgánicos Persistentes. La fase I de este plan tuvo un período de aplicación de seis años, desde enero de 2006 hasta diciembre de 2011. La fase II del Plan se extendió desde el año 2013 a 2017 (MMA, 2012).

El PNI para la Fase I: 2006-2010 determinó los siguientes objetivos específicos respecto al RETC:

i. Desarrollar los aspectos normativos que permitan la implementación y gestión del RETC en Chile;

ii. Consolidar las bases de datos y desarrollar un mecanismo que permita el intercambio de información entre los principales actores nacionales e internacionales;

iii. Desarrollar procedimientos de difusión y publicación de la información contenida en el RETC.

La Tabla 4 presenta los COPs identificados por categorías.

Tabla 4. Categorías para Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)

Familia	Descripción
Plaguicidas	**Compuestos originales:** Aldrin, Clordano, Dieldrin, Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT), Dibenzo-p-dioxinas y dibenzofuranos policlorados, Endrin, Heptacloro, Hexaclorobenceno, Mirex,, Toxafeno. **Nuevos Compuestos**:: alfa-Hexaclorociclohexano (α-HCH); beta-Hexaclorociclohexano (β-HCH); Clordecona; Hexabromobifenil (HBB); Éter de Hexabromodifenil y Éter de Heptabromodifenil (Hexa-BDE y Hepta-BDE) Lindano (γ-HCH); Pentaclorobenceno (PeCB); Sulfonato de Perfluorooctano (PFOS), sus sales y Fluoruro de Perfluoroctano Sulfonilo; (PFOSF); Éter de Tetrabromodifenil y Éter de Pentabromodifenil (TetraBDE y PentaBDE). Endosulfán (6,7,8,9,10,10-hexacloro-1,5,5a,6,9,9a-hexahidro-6,9-metano-2,4,3-benzodioxatiepina-3-óxido ($C_9H_6Cl_6O_3S$).
Productos Químicos Industriales	**Compuestos originales:** Hexaclorobenceno (HCB) y Bifenilos policlorados (PCBs). **Nuevos Compuestos**: hexabromobifenilo; éteres de Hexa y heptabromodifenilo; sulfonato de perfluoroctano y éteres de tetra y pentabromodifenilo.
Subproductos no intencionales	**Compuestos originales:**: dioxinas y furanos. **Nuevos Compuestos:** alfa-hexaclorociclohexano; beta-hexaclorociclohexano y pentaclorobenceno.

Fuente: Elaboración Propia.

4.4 Regulación a Nivel Nacional para COVs, COPs y BETX en Chile

4.4.1 Normas Nacionales que Rregulan Emisiones de COVs y BETX

En Chile, las normas de emisión de contaminantes atmosféricos que regulan los límites de concentración permitidos para fuentes fijas en establecimientos industriales se han enfocado principalmente en la generación de emisiones de Material Particulado (MP) y gases como: monóxido de carbono (CO), anhídrido sulfuroso o dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_X).

La única norma de emisión que regula COVs y COPs es la norma de incineración, coincineración y coprocesamiento, la que establece límites para benceno, dioxinas y furanos, en fuentes como: hornos de cemento, hornos rotatorios de cal y procesos de pirólisis o gasificación.

No obstante, las emisiones de COVs también están reguladas por Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA), especialmente para la Región Metropolitana y las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

El PPDA para la RMS (D.S. 31 del Ministerio del Medio Ambiente) publicado el 24 de noviembre de 2017, establece disposiciones para el control de emisiones de COVs asociados a la cadena de distribución de combustibles de uso vehicular, industrial y comercial.

Las disposiciones aplican a:

- Instalaciones de almacenamiento de combustibles líquidos derivados del petróleo de Clase I con capacidad igual o superior a 100 m^3.
- Instalaciones de distribución.
- Puntos de transferencia de combustibles.
- Los equipos de recuperación y/o eliminación de vapores.
- Camiones tanques que suministren combustibles líquidos Clase I.
- Operadores de las instalaciones de almacenamiento y/o distribución de combustibles líquidos Clase I.

Los sistemas de recuperación de vapor en instalaciones de almacenamiento de combustibles deben asegurar la captura de, al menos, el 90% del total de vapores desplazados durante las actividades normales de transferencia de combustibles desde camiones tanques.

El PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví (D.S. 105 del Ministerio del Medio Ambiente) publicado el 30 de marzo de 2019, establece en su art. 32 que *"los establecimientos que contemplen instalaciones de almacenamiento, carga. descarga y transferencia de hidrocarburos y sus derivados, en volúmenes totales, iguales o superiores a 50 toneladas o 75 m^3 al año, y que emitan COVs deberán declarar anualmente las emisiones de dichos compuestos correspondientes al año anterior, mediante el D.S. N° 138/2005. Además, de forma individualizada, deberán declarar las emisiones de BTEX"*.

La declaración de emisiones de COVs debe incluir las emisiones generadas por el almacenamiento, operaciones de carga y descarga, transferencias, mantención, manipulación de hidrocarburos y sus derivados, procesos de combustión y sistemas de control de emisiones, tales como antorchas, lavadores de gases, válvulas de retorno, u otros. Esta declaración debe incluir las emisiones difusas de COVs, así como las contenidas en gases residuales.

El art. 33 establece que *"todo estanque que tenga una capacidad de almacenamiento, igual o superior a 200 m^3, de hidrocarburos y sus derivados … deberán contar con sistemas de recuperación y/o eliminación de vapores".*

El art. 34 establece que *"todos los procesos de carga y descarga, transporte, almacenamiento, distribución y abastecimiento de hidrocarburos y sus derivados … deberán estar dotados de dispositivos y/o infraestructura capaz de recuperar y/o eliminar los vapores que se generen en dichos procesos".*

Además, el PPDA establece medidas para sistemas de venteo, sistemas de tratamiento de aguas residuales y naves que realicen faenas de carga y descarga en muelles. Por otra parte, el PPDA establece que se deben identificar las fuentes emisoras de COVs y estimar y reducir las emisiones de estos compuestos.

La Resolución 2.662 promulgada el 13 de enero del 2012 por el Ministerio de Salud establece que los establecimientos que manejen solventes presenten una declaración de emisiones de compuestos orgánicos volátiles, donde estos se encuentran definidos en forma genérica como los productos que usan más de 50 toneladas anuales de solventes por establecimiento, incluido el contenido de éstos últimos en las tintas, pinturas, barnices, u otros similares. Para la estimación se pueden usar factores de emisión, balances de masa, modelos y otros instrumentos analíticos (método CH-25).

El D.S. N° 594, de 1999, del Ministerio de Salud, contiene el Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, posteriormente modificado por los Decretos N° 122 y N° 123, del Ministerio de Salud. En el Párrafo 2, el art. 59 define límites permisibles, temporales y absolutos, mientras que en el art. 61 se listan quince sustancias químicas, donde siete son COVs, todas ellas capaces de causar rápidamente efectos narcóticos, cáusticos o tóxicos, de carácter grave o fatal y que, específicamente, no podrán exceder en ningún momento los límites permisibles que se definen. El art. 65 prohíbe 16 sustancias adicionales, siendo varias COVs. Esta normativa si bien solo se aplica a lugares de trabajo tiene directa relación con condiciones ambientales interiores.

El D.S. N° 138/2005 establece obligaciones anuales para declarar emisiones a los titulares de las siguientes fuentes fijas: calderas generadoras de vapor y/o agua caliente, producción de celulosa, fundiciones primarias y secundarias, centrales termoeléctricas, producción de cemento, cal o yeso, producción de vidrio, producción de cerámica, siderurgia, petroquímica, asfaltos y equipos electrógenos. Las emisiones pueden estimarse mediante factores y/o mediciones.

Por su parte, el INE define emisiones totales de COVs desde fuentes móviles definida como *"la suma anual de las emisiones mensuales de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) originada en fuentes móviles, entendida esta como cualquier dispositivo emisor de contaminantes a la atmósfera, al agua y al suelo que no tiene un lugar fijo, considerándose en dicha categoría a todos los vehículos como automóviles, barcos, aviones, etc."*

Las definiciones relacionadas al ámbito de COVs que se han recopilado desde la legislación chilena se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Definiciones recopiladas de Leyes, Normas y Decretos Nacionales

Término/Concepto	Definición	Referencia
Almacenamiento de COVs	Todo depósito fijo utilizado para almacenamiento de líquidos y gases que puedan generar o emitir COVs.	D.S. 105/2019 PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
Bifenilos Policlorados	Compuestos aromáticos formados de tal manera que los átomos de hidrógeno en la molécula bifenilo (2 anillos bencénicos unidos entre sí por un enlace único carbono-carbono) pueden ser sustituidos por hasta diez átomos de cloro.	Convenio de Estocolmo
Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)	Toda sustancia química que, a excepción del metano, contenga átomos de carbono e hidrógeno (que puedan ser sustituidos por otros átomos como halógenos, oxígeno, azufre, nitrógeno o fósforo) y que a 20° C tenga una presión de vapor mayor o igual a 0,01 kPa, o que tenga una volatilidad equivalente según condiciones particulares de uso, manipulación y/o almacenamiento. Se incluye en esta definición la fracción de creosota que sobrepase este valor de presión de vapor a la temperatura indicada de 20° C.	D.S. 105/2019 PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
Dibenzoparadioxinas Policloradas y Dibenzofuranos Policlorados	Son compuestos tricíclicos aromáticos constituidos por dos anillos bencénicos unidos entre sí, en el caso de las dibenzoparadioxinas policloradas por dos átomos de oxígeno, y en el caso de los dibenzofuranos policlorados por un átomo de oxígeno y un enlace carbono-carbono y cuyos átomos de hidrógeno pueden ser sustituidos por hasta ocho átomos de cloro.	Convenio de Estocolmo
Emisión	Es la descarga directa o indirecta a la atmósfera de gases o partículas.	D.S. 105/2019 PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
Emisión	Toda introducción de contaminantes o sustancias en el medio ambiente, regulados o no, producto de cualquier actividad humana, sea deliberada o accidental, habitual u ocasional, incluidos los derrames, escapes o fugas, descargas, inyecciones, eliminaciones o vertidos, o descargas al alcantarillado que no cuenten con tratamiento final de aguas residuales.	Decreto 1/2013 Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC
Emisión Estimada	Es la magnitud de la descarga de un contaminante o sustancia a algún medio receptor cuyo valor no ha sido determinado mediante una técnica analítica cuantitativa aplicada en el efluente o una muestra de éste, sino utilizando un método indirecto de estimación, ya sea mediante un factor de emisión, balance de masa, modelo matemático u otro método de estimación.	Decreto 1/2013 Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC

Término/Concepto	Definición	Referencia
Emisión Fugitiva[24]	Es la descarga directa o indirecta a la atmósfera de gases o partículas que no se efectúa por una chimenea, ducto o punto de descarga.	D.S. 105/2019 PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
Emisión Normada	Aquella que debe ser declarada, en virtud de una norma de emisión u otro tipo de normativa o resolución de la autoridad.	Decreto 1/2013 Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC
Emisión Puntual	Es la descarga directa o indirecta a la atmósfera de gases o partículas que se efectúa por una chimenea, ducto o punto de descarga.	D.S. 105/2019 PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
Emisiones Difusas de COVs	Toda emisión de COVs que se pueda producir en la instalación. no contenida en los gases residuales.	D.S. 105/2019 PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
Establecimiento	Se entenderá por establecimiento a los recintos o locales vinculados a un mismo proceso productivo en el que se realiza una o varias actividades económicas, que producen una transformación de la materia prima o materiales empleados; o que no produciendo una transformación en su esencia, dan origen a nuevos productos; y que en este proceso originan emisiones, residuos y/o transferencias de contaminantes; así como cualquier otra actividad directamente relacionada con aquellas, realizada o no en el mismo emplazamiento y que pueda tener repercusiones sobre la generación de emisiones, residuos y/o transferencias de contaminantes.	D.S. 105/2019 PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
Establecimiento	Recinto o local en el que se lleva a cabo una o varias actividades económicas donde se produce una transformación de la materia prima o materiales empleados, o que no producen una transformación en su esencia pero dan origen a nuevos productos, y que en este proceso originan emisiones, residuos y/o transferencias de contaminantes; así como cualesquiera otras actividades directamente relacionadas con aquéllas que guarden una relación de índole técnica con las actividades llevadas a cabo en el mismo emplazamiento y puedan tener repercusiones sobre generación de emisiones, residuos y/o transferencias de contaminantes. Para efectos de la ley N° 20.920 o de la ejecución de este reglamento, se entenderá que constituyen establecimientos también los productores de productos prioritarios; los sistemas de gestión; los distribuidores y comercializadores, los gestores de residuos y los generadores, cuando corresponda; y los consumidores industriales.	Decreto 1/2013 Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC
Factores de Emisión	Los factores de emisión son un promedio de los resultados de mediciones en emisiones realizadas en un gran número de fuentes con diferentes tecnologías de combustión, antigüedad, calidad de combustible y tamaños. Lo que les permite ser representativos de una variedad amplia de fuentes que usan un mismo combustible genérico. Los factores de emisiones son actualizados por MINSAL, que tiene la facultad de ajustar los factores de emisión según la realidad nacional. Los niveles de actividad son informados a través del sistema F138, estos pueden ser el consumo de combustible en unidades de masa o energía, o la producción de un material en unidades de masa.	Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes. 2005-2017, RETC 2019 - Ministerio del Medio Ambiente
Fuente areal	Se considera fuente areal a aquellas fuentes emisoras, localizadas dentro de un área geográfica determinada, en donde no es posible medir las emisiones de cada una de ellas en forma directa. pero que en su conjunto generan emisiones que deben ser controladas, tales como plantas de ácidos, acopio de grandes sólidos, entre otros.	D.S. 105/2019 PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
Fuente emisora	Es toda actividad, proceso, operación o dispositivo móvil o estacionan-o que independiente de su campo de aplicación, produzca o pueda producir emisiones.	D.S. 105/2019 PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
Fuente estacionaria	Es toda fuente diseñada para operar en un lugar fijo, cuyas emisiones se descargan a través de un ducto o chimenea. Se incluyen aquellas montados sobre vehículos transportables para facilitar su desplazamiento.	D.S. 105/2019 PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví

[24] Durante el transcurso del Estudio la contraparte técnica del MMA propuso la siguiente definición para emisiones fugitivas: "*son generadas por instalaciones o actividades industriales dentro del perímetro de un establecimiento, que generan emisiones no conducidas por un ducto o chimenea hacia el aire, agua y suelo; entre éstas se consideran las acciones de los procesos industriales tales como: fugas, almacenamiento, uso de materias primas o productos, procesos de venteo y/o sistemas de ventilación, tratamiento y transferencias de residuos sólidos y aguas residuales*".

Término/Concepto	Definición	Referencia
Fuente Puntual Sin Proceso de Combustión	Estas incluyen estimaciones por la combustión de la leña residencial, quemas agrícolas, incendios urbanos, incendios forestales y transporte en ruta.	Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes. 2005-2017, RETC 2019 - Ministerio del Medio Ambiente
Fuentes difusas	Son aquellas fuentes de menores dimensiones o dispersas respecto de las cuales no resulta posible identificar u obtener información desglosada de sus emisiones, residuos o transferencia de contaminantes.	Decreto 1/2013 Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC
Fuentes puntuales	Son aquellas fuentes donde la ubicación del punto de descarga, generación o emisión al medio ambiente es plenamente identificable. Las emisiones, residuos y/o transferencias de contaminantes de las fuentes puntuales al medio ambiente, pueden estar o no sujetas a medición o cuantificación, a través de una norma de emisión, plan de monitoreo, plan de manejo u otra regulación que así lo determine. El parámetro deberá medirse, cuantificarse o estimarse dependiendo de lo establecido en la norma de emisión o regulación respectiva.	Decreto 1/2013 Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC
Gases residuales de COVs	Aquellos gases que son emitidos a través de un foco o canalización como una chimenea, sistema de recuperación o equipo de reducción.	D.S. 105/2019 PPDA para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví
Inventario de Emisiones	Recuento de emisiones contaminantes liberadas a la atmósfera por un período de tiempo y en un lugar determinado.	Inventario de Emisiones Atmosféricas - Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví - Elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente División de Calidad del Aire - Octubre de 2018
Sistema de Ventanilla Única del RETC	Sistema electrónico que contempla un formulario único disponible en el portal electrónico del RETC y a través del cual se accederá a los sistemas de declaración de los órganos fiscalizadores para dar cumplimiento a la obligación de reporte de los establecimientos emisores o generadores.	Decreto 1/2013 Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC
Transferencias de contaminantes	Es el traslado de contaminantes a un lugar que se encuentra físicamente separado del establecimiento que lo generó. Incluye entre otros: - Descarga de aguas residuales al alcantarillado público que cuentan con tratamiento final: ➢ Transferencias de residuos para su valorización o eliminación; ➢ Transferencias de aguas residuales para tratamientos como neutralización, tratamiento biológico, separación física; ➢ Transferencias de contaminantes contenidos en productos; ➢ Transferencias de insumos para la producción industrial potencialmente dañinos para la salud y el medio ambiente.	Decreto 1/2013 Aprueba Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC

Fuente: Elaboración propia en base a revisión de Leyes, Normas y Decretos Nacionales

4.4.2 Reporte de Emisiones Atmosféricas al RETC

La información de emisiones al aire está constituida por diferentes componentes. En primer lugar, se cuenta con las emisiones de fuentes puntuales, cuya información es reportada al RETC por el Ministerio de Salud a través del Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas o Formulario 138 (F138), obligación establecida en el D.S. N° 138/2005 del MINSAL. Esta información es complementada por la SMA, con datos de los reportes del D.S. N° 13/2011 del MMA, que establece norma de emisión para centrales termoeléctricas, el D.S. N° 28/2013 del MMA, que establece la norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico y finalmente mediante los Impuestos Verdes, de acuerdo a lo establecido en el artículo N° 8 de la ley 20.780/2014 del Ministerio

de Hacienda, que establece un impuesto anual que grava las emisiones al aire producidas por establecimientos cuyas fuentes fijas conformadas por calderas o turbinas, individualmente o en su conjunto, sumen una potencia térmica mayor o igual a 50 MWt, reportando sus emisiones de forma trimestral (MMA, 2019).

En segundo lugar, y en el contexto de las fuentes no puntuales, cada año en el RETC se estiman las emisiones al aire asociadas a la combustión de leña residencial, incendios forestales, incendios urbanos, quemas agrícolas y fuentes móviles. Respecto de estas últimas, la estimación se realiza para veintidós ciudades con modelo de transporte, y cinco sin modelo de transporte (MMA, 2019).

A través del Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas o Formulario 138 (F138), obligación establecida en el D.S. N° 138/2005 del MINSAL, se obtienen los datos de emisiones a la atmósfera provenientes de fuentes puntuales de diversos rubros y equipos regulados por la autoridad sanitaria.

Los contaminantes estimados son:

- Material Particulado (MP).
- Material Particulado Respirable (MP_{10}).
- Material Particulado Respirable Fino ($MP_{2,5}$).
- Monóxido de Carbono (CO).
- Óxidos de Nitrógeno (NO_X).
- Dióxido de Azufre (SO_2).
- Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs).
- Nitrógeno Amoniacal (NH_3).
- Dioxinas y Furanos (PCDD/F).
- Mercurio (Hg).
- Arsénico (As).
- Dióxido de Carbono (CO_2).
- Plomo (Pb).
- Benceno.

- Tolueno.

4.4.3 Fallo de la Corte Suprema Causa Rol N° 5888-2019

Con fecha 28 de mayo de 2019, la tercera sala de la Ilustre Corte Suprema (ICS), en causa Rol N° 5888-2019, dictó el fallo sobre los episodios críticos de contaminación de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Se destacan los siguientes extractos del citado documento, respecto al actuar del RETC y su rol en el registro de emisiones a la atmósfera:

- Considerando 18°: *"(los contaminantes) óxido de nitrógeno, dióxido de azufre material particulado, $MP_{2,5}$ o MP_{10}, mercurio, monóxido de carbono, arsénico o plomo, han sido objeto de normas de emisión o de calidad ambiental, sea primaria o secundaria, de modo que su generación ha sido incluida en el registro de que se trata. Sin embargo, a pesar de que se encuentran incluidos y regulados expresamente en convenios internacionales suscritos por nuestro país, y aun cuando tales tratados establecen obligaciones para Chile en relación a ellos, es lo cierto que la sistematización y estimación de las emisiones de varios de los compuestos mencionados en los convenios internacionales citados más arriba no ha sido incorporada en el tantas veces mencionado Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes. En efecto, dicho registro nada dice acerca del tricloroetano, metilcloroformo, del hexaclorobenceno, de los bifenilos policlorados, de los "compuestos de cobre", de los "compuestos de arsénico", del "selenio", de los "compuestos de selenio", del "cadmio" y de los "compuestos de cadmio", de los "compuestos de mercurio", de los "compuestos de plomo" ni de los "cianuros inorgánicos", pese a que todos ellos se encuentran contemplados en convenios internacionales suscritos por Chile"*.
- Considerando 19°: *"(...) el Ministerio del Medio Ambiente ha incurrido en la omisión que en esta parte se le reprocha, pues, no obstante encontrarse obligado a sistematizar y estimar en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes "el tipo, caudal y concentración total y por tipo de fuente, de las emisiones que no sean materia de una norma de emisión vigente", en tanto "se encuentren en convenios internacionales suscritos por Chile", soslayó dicho deber, dejando de realizar tales operaciones en relación, al menos, al tricloroetano, metilcloroformo, al hexaclorobenceno, a los bifenilos policlorados, a los "compuestos de cobre", a los "compuestos de arsénico", al "selenio", a los "compuestos de selenio", al "cadmio", a los "compuestos de cadmio", a los "compuestos de mercurio", a los "compuestos de plomo" y a los "cianuros inorgánicos"*.

- Considerando 20°: *"(…) el Convenio de Estocolmo señala como fuentes industriales de "formación y liberación relativamente elevadas" de hexaclorobenceno de bifenilos policlorados "al medio ambiente", entre otros, los "Procesos térmicos de la industria metalúrgica no mencionados en la parte II" (que alude a la producción secundaria), la "Combustión de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas o calderas industriales" y los Desechos de refinerías de petróleo", actividades en la Bahía de Quintero, Ventanas y Puchuncaví, de modo que su inclusión en el registro de emisiones de que se trata deriva no solo de su mención en el Convenio, sino que, además, de la presencia en el Complejo Industrial Ventanas de diversas operaciones que, en concepto de la referida convención, podrían explicar tasas de "formación y liberación relativamente elevadas de ambos compuestos"*.
- Considerando 21°: *"(…) Que, asentado lo anterior, resulta evidente, entonces, que el Ministerio del Medio Ambiente ha dejado de observar su deber de administrar el tantas veces referido Registro de Contaminantes, omisión de la que se sigue consecuencialmente el incumplimiento de la obligación de "Velar por el cumplimiento de las convenciones internacionales, en que Chile sea parte en materia ambiental", puesto que, en lugar de acatar el Protocolo y los Convenios citados, ha hecho caso omiso de su contenido al no incluir en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes los compuestos químicos mencionados en el razonamiento vigésimo"*.

4.5 Generación de Emisiones de COVs, COPs y BETX

4.5.1 Generación de COVs y BETX

La mayor parte de las actividades que llevan a cabo las personas en su vida diaria tienen como resultado la liberación de COVs a la atmósfera, desde conducir un automóvil hasta cortar el césped, incluyendo la respiración. No obstante, la contribución antropogénica de las emisiones de COVs en la atmósfera está dominada por la explotación y uso de combustibles fósiles carbón, petróleo y gas (Koppmann, 2007). Los COVs se encuentran en numerosos productos incluyendo combustibles, solventes, pinturas, adhesivos, desodorantes y gases refrigerantes (Speijers, 1993). Los COVs también se producen en procesos de combustión y en el proceso de potabilización del agua. Los COVs se liberan al ambiente durante su producción, distribución, almacenamiento, manejo y uso: desde fuentes puntuales y no puntuales.

La producción de carbón mineral conduce principalmente a la generación de emisiones de metano, pero también produce emisiones menores de etano y propano. La producción,

almacenamiento y distribución de combustibles fósiles líquidos producen una mayor variedad de emisiones de gases orgánicos a la atmósfera. En el procesamiento de combustibles fósiles líquidos una de las principales fuentes de emisiones de COVs es el craqueo catalítico (0,25-0,63 kg/m^3 de alimentado), coquización (aproximadamente 0,4 kg/m^3 alimentado) y el soplado de asfalto (aproximadamente 27 kg/m^3 de asfalto). Además, pueden ocurrir emisiones fugitivas por pérdidas y evaporación en múltiples tipos de equipos e instalaciones. Las emisiones de COVs por evaporación se estiman en 2,9 kg/t de combustible puesto en la estación de servicio. Una menor contribución a las emisiones de COVs antropogénicos proviene de la industria de solventes (Koppmann, 2007).

Las emisiones predominantes de COVs para motores de combustión de diésel y gasolina son las parafinas (C1-C5 para automóviles a gasolina y metano para motores diésel), C2-C5, Olefinas C2-C5, etino, hidrocarburos aromáticos (BTEX y aromáticos C9), aldehídos (formaldehído, acetaldehído, acroleína, benzaldehído, tolualdehído), cetonas (acetona) y otros (principalmente parafinas de alto peso molecular). Una contribución de emisión más pequeña de gases antropogénicos proviene de la industria de solventes (Koppmann, 2007). La contribución antropogénica a las emisiones orgánicas en la atmósfera está dominada por la explotación de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas).

La generación de COVs en Chile se ha evaluado principalmente mediante inventarios de emisión. En Chile la información sobre generación de emisiones al aire por fuentes puntuales es reportada al RETC por el Ministerio de Salud mediante el RUEA - F138, en el que se registra información: para caracterizar las fuentes de emisión (principalmente fuentes puntuales), niveles de actividad de las fuentes de emisión, procesos industriales, entre otros. La información declarada al RETC es complementada por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), en base a los reportes de centrales termoeléctricas, fundiciones de cobre e impuestos verdes (MMA, 2019).

El estudio denominado *"Huella Digital de Compuestos Orgánicos Volátiles en la Zona de Quintero-Puchuncaví"* (NILU, 2019), tuvo por objetivo realizar una medición de COVs en la bahía de Quintero-Puchuncaví. Los COVs incluidos en el estudio incluyen halocarburos, hidrocarburos, alcoholes, ácidos orgánicos, cetonas/aldehídos, compuestos aromáticos, compuestos con cloro o grupos nitrogenados y los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) más ligeros.

Entre los principales resultados del estudio se destaca que se detectaron concentraciones de metilcloroformo menores a dos (2) ppt, estableciendo que es muy poco probable que se hayan registrado concentraciones significativas de metilcloroformo en Chile, ya que es una sustancia prohibida, en términos de producción y uso, por el Protocolo de Montreal (1989).

Por otra parte, NILU no encontró Nitrobenceno en ninguna muestra utilizando un método de medición con un límite de detección de 100 ppt. Los niveles para las concentraciones de diferentes compuestos que se registraron en rangos de 0,1 y 15 ppb corresponden a:

- Isobuteno: 0,1-15 ppb.
- Tolueno: 0,2-5 ppb.

Los principales compuestos emitidos desde las áreas industriales son hidrocarburos ligeros, detectados en bajos niveles de concentración. La suma de los 14 hidrocarburos medidos fue inferior a 25 µg/m^3 en las áreas de fondo hasta los 200 µg/m^3.

NILU no pudo identificar plumas que salieran del sector más al note del área industrial, lo que significa que AES GENER, Cementos Melón y Codelco Ventanas no están contribuyendo considerablemente a las emisiones de COVs fugitivas próximas al suelo.

Los niveles de concentración de COVs detectados en Concón, Quintero y Puchuncaví se encuentran en el rango de 30 a 80 µg/m^3, niveles que son comparables con los existentes en ciudades, tanto en ambientes interiores, como exteriores.

Los resultados para el área industrial de Concón presentan una diferencia con el área de Quintero-Puchuncaví, ya que el impacto de la refinería en el área residencial próxima es mayor, incluyendo el periodo de verano, en donde se registrarían temperaturas altas que favorecerían la volatibilidad de los compuestos.

La suma de 14 hidrocarburos llegó a 325 µg/m^3 durante la noche y en condiciones de baja velocidad del viento. Las concentraciones máximas de COVs llegaron hasta 2 mg/m^3. Las emisiones de COVs en las áreas industriales se deben principalmente a los procesos de evaporación de los productos derivados del petróleo y gas. El acetileno (etino) es un compuesto que no proviene de fuentes naturales, no hay acetileno en los productos derivados del gas o del petróleo que se evaporen en los sitios industriales. La principal fuente de acetileno son los procesos de combustión, como los de los motores de los automóviles.

El informe NILU identifica los siguientes compuestos con presencia en la zona de Concón, Quintero y Puchuncaví:

- Alcoholes.
- Compuestos que contienen azufre (COS; H_2S; CH_3SH; CS_2).
- Solventes Clorados (CH_2CL_2; $CHCL_3$; CH_3CCL_3; TCE; PCE).

- Agentes refrigerantes: (HCFC-22; HCFC-141b; HCFC-142b; HCF-125; HFC-134a; HFC-152a; H-1211; H-1301).
- BETX (benceno, etilbenceno, tolueno, m + p xileno, o-xileno).
- Hidrocarburos ligeros (etino, etileno, etano, propileno, i-butano, n-butano, isopentano, neopentano).

El informe determinó que la concentración de COVs medida con Tenax TA es baja. La suma de los COVs oscila entre 25 y 180 µg/m^3. No encontrándose compuestos "inesperados" emitidos desde las áreas industriales. NILU tampoco pudo encontrar una huella digital de plumas industriales en ninguna de las muestras tomadas en las áreas residenciales de Puchuncaví o Quintero.

Los COVs que presentan concentraciones más altas en las emisiones del área industrial son etano, propano, butano y pentano, así como los compuestos del grupo BETX. Esto se debe principalmente al almacenamiento y distribución de productos petroquímicos. Las concentraciones medidas de metilcloroformo no son significativas (2 ppt) y no se detectó nitrobenceno. El tolueno y el isobutano se encontraron en muy bajas concentraciones (del orden de ppb).

4.5.2 Generación de COPs

En el Informe del MMA (2012), denominado *"Levantamiento de Antecedentes sobre los Nuevos Compuestos Orgánicos Persistentes en Chile"*, participaron diversas instituciones, organismos públicos y asociaciones gremiales, tales como:

- Asociación de Industriales Químicos A.G. (ASIQUIM);
- Asociación Nacional de Fabricantes e Importadores de Productos Fitosanitarios (AFIPA);
- Agencia Chilena para la Inocuidad Alimentaria (ACHIPIA);
- Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina (RAPAL);
- Servicio Nacional de Aduanas;
- Universidad de Concepción.

En dicho estudio se obtuvieron las siguientes conclusiones respecto a la generación de COPs en Chile:

- Según todas las fuentes consultadas, en Chile no se produce a nivel industrial ninguno de los nuevos COPs. Las cantidades o consumos que puedan existir corresponden a importaciones.
- Las fuentes consultadas coinciden en confirmar los usos en Chile del Endosulfán como plaguicida y del Lindano como producto farmacéutico. Respecto a las emisiones atmosféricas asociadas al uso del Lindano (CASRN 58899) se debe señalar que estas no serían significativas en función solamente del poco uso registrado en Chile, ya que es un compuesto prohibido por el ISP desde marzo de 2012, sino que, además, es un compuesto con un punto de ebullición de 323° C, lo que significa que no es volátil en condiciones normales de temperatura y presión.
- Varias de las fuentes consultadas afirman la ausencia de entrada en el país de alfa-hexaclorociclohexano, beta-hexaclorociclohexano, clordecona y pentaclorobenceno.
- Existe un consenso generalizado sobre la existencia de algunos nuevos COPs, como los PFOS, en artículos, productos o equipos como espuma de extintores de hace más de 20 años o equipos eléctricos y electrónicos, aunque se coincide en la dificultad de obtener información sobre las cantidades existentes.
- Es difícil conocer en detalle la situación real en Chile, aunque el análisis de estas respuestas apunta hacia una utilización escasa y en algunos casos inexistente de los nuevos COPs en Chile.

Los sectores que se han identificado que utilizan sustancias que contienen COPs son:

i. Industria de los plásticos

Se señala como principales consumidores de PBBs y PBDEs, los cuales pertenecen al subsector de la producción de espuma de poliuretano (principal consumidor de pentaBDE), y al subsector de producción de ABS (principal consumidor de octaBDE).

a) Subsector de la producción de espuma de poliuretano

El principal uso del pentaBDE es en la fabricación de espuma de poliuretano flexible la cual suele contener alrededor de un 10% de mezcla comercial de pentaBDE (ATSDR, 2005).

b) Subsector de la producción de ABS

Con respecto a los usos del octaBDE, éste se ha utilizado casi exclusivamente (alrededor del 95% del uso total) en la producción de Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS) para la fabricación de carcasas de computadores, pantallas y televisiones, así como carcasas de

otros aparatos eléctricos y electrónicos. La concentración del octaBDE en el ABS suele estar comprendida entre el 12 -18% en peso del plástico (ATSDR, 2005).

Del análisis de este subsector se puede deducir que en Chile no se produce octaBDE. Además, el propio sector dispone de datos de importaciones de materias primas entre las cuales se halla el ABS.

ii. Plaguicidas

El control de fabricación, comercialización y aplicación de plaguicidas y fertilizantes en el mundo agrícola y ganadero le compete al Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), a través de la Ley N° 3.557, al mismo tiempo que el Código Sanitario, DFL N° 725, hace referencia al manejo y utilización de sustancias tóxicas, entre ellas los plaguicidas.

En Chile no se produce ninguno de los COPs asociados a plaguicidas (MMA, 2012). En cuanto a las importaciones, los datos reportados por el Servicio Nacional de Aduanas, indican que entre el 2002 y 2010 sólo se registró la entrada de alfa y beta hexaclorociclohexano en cantidades insignificantes (MMA, 2012).

Por el contrario, el análisis de la información proporcionada por el SAG y la obtenida a través de los informes de ventas de plaguicidas, que esta misma entidad elabora anualmente, coinciden en la venta del ingrediente activo Endosulfán en Chile en el periodo comprendido entre el 2001 y 2008, lo cual significa la entrada de este principio activo mediante su importación y su posterior uso para la formulación de los siguientes productos: Thiodan 50 PM, Thionex 50WP, Thionex 35 EC, Roundup y Decisdan 328 EC.

En resumen, los usos identificados para los nuevos COPs se presentan en Tabla 6.

Tabla 6. Usos de los Nuevos COPs en Chile

Usos	Usos confirmados	Posibles usos a falta de información que los confirme	Sin usos o posibles usos identificados mediante el levantamiento de información
Alfa y beta hexaclorociclohexano (α-HCH,β-HCH))			X
Lindano (γ-HCH)	X		
Clordecona			X
Endosulfán	X		
HBB			X
pentaBDE		X	
octaBDE		X	
PeCB			X
PFOS y PFOS-F		X	X

Fuente: MMA, 2012

En el año 2017, la Unidad de Desarrollo Tecnologíco (UDT) de la Universidad de Concepción realizó un estudio denominado "Actualización del Inventario Nacional de Dioxinas y Furanos". Los principales resultados de este estudio respecto a generación de COPs en Chile fueron los siguientes:

- Las actividades que generan mayor cantidad de dioxinas y furanos son:
  - Evacuación/Rellenos Sanitario;
  - Generación de energía y calor;
  - Procesos de combustión a cielo abierto, y;
  - Producción y uso de sustancias químicas y bienes de consumo las que representan el 81% de las emisiones a nivel nacional.

En el caso de los rellenos sanitarios el 98% de las liberaciones de COPs de la categoría están concentradas en la Región Metropolitana con el 50%.

Para la generación de energía y calor, las emisiones de COPs se concentran entre las regiones del Biobío y Los Lagos. El mayor aporte de COPs en este caso se produce por la calefacción doméstica y cocina con biomasa, con el 73% de las liberaciones de la categoría.

Respecto a los procesos de combustión a cielo abierto, el mayor aporte de COPs está dado por la subcategoría *"quema a cielo abierto e incendios accidentales"*, cuyas liberaciones más significativas ocurren en la RMS y la Región del Biobío con un 35% del total nacional asociado a la subcategoría.

Respecto a la producción y uso de sustancias químicas, las fuentes de COPs más relevantes son las fábricas de pasta y papel, con el 61% de las liberaciones de la categoría. La zona más significativa en generación de emisiones es la Región del Biobío, con el 55% del total de las liberaciones de la subcategoría (UDT, 2017).

En este inventario no se pudo evaluar la generación de emisiones atribuibles a la incineración de residuos. Con respecto a las vías de liberación de dioxinas y furanos, la principal vía son los residuos, con un 49% del total nacional, seguido por el aire, con un 34% del total nacional. Las regiones con las mayores liberaciones de dioxinas y furanos son la RMS y Biobío, con el 48% de las liberaciones totales del país. Esto se debe a las emisiones asociadas a rellenos sanitarios y fábricas de pulpa y papel (UDT, 2017).

4.6 Reacciones Fotoquímicas para Contaminantes Orgánicos

Se han detectado decenas de miles de compuestos orgánicos en el aire que respiramos, por lo que en la bibliografía especializada en COVs, el enfoque se realiza en la miríada de gases que contienen carbono y que presentan proporciones de mezcla en la atmósfera de unas 10 ppb (10−9) hasta concentraciones en ppt (10-12). Este enfoque excluye los tres compuestos orgánicos más abundantes, pero generalmente menos reactivos: dióxido de carbono (CO2), en el orden de 400 ppmv (10−6), metano (CH4), en el orden de 1,8 ppmv y monóxido de carbono (CO) en el orden de 0,15 ppmv (Koppmann, 2007).

Los compuestos orgánicos que están presentes en el ambiente están sujetos a numerosos procesos físicos, químicos y biológicos. Estos procesos actúan sobre el compuesto de manera interconectada determinando el destino final de dicho compuesto. Generalmente, los procesos que afectan a los compuestos orgánicos pueden dividirse en dos categorías: (1) procesos que mantienen la estructura del compuesto inalterada y; (2) procesos que transforman la estructura del compuesto en uno o más compuestos distintos al original, presentando comportamientos y efectos ambientales que difieren de aquellos producidos por el compuesto primario. En la primera categoría se pueden incluir los fenómenos de transporte y mezcla dentro de un compartimento ambiental, como también los procesos de transferencia entre diferentes fases, por ejemplo: intercambio líquido/gas. En la segunda categoría se altera la estructura del compuesto, mediante reacciones de transformación químicas, fotoquímicas y/o biológicas (especialmente microbiológicas). Es importante observar, que en los sistemas ambientales todos estos procesos pueden ocurrir de manera simultánea y, por consiguiente, los diferentes procesos pueden influenciarse entre sí[25].

Los compuestos orgánicos en fase gaseosa en la atmósfera pueden absorber radiación solar, fotolizándose en fragmentos menores. La oxidación en fase gaseosa de compuestos orgánicos en el aire la inicia principalmente el radical hidroxilo (OH), siendo el dióxido de carbono y el agua los productos de última instancia de estas reacciones, con la producción de múltiples y diversos productos intermedios. Los productos de la oxidación pueden tener presiones de vapor más bajas, mayor polaridad o absorber mejor la luz que los precursores,

[25] Para comprender los procesos a los que se someten los contaminantes orgánicos puede ser necesario profundizar en las leyes y principios básicos de la fisicoquímica atmosférica. En el transporte de las interfases gas/liquido los procesos están comprendidos en las Leyes de Henry y Raoult. Respecto a las reacciones químicas, se debe tener en cuenta la Ley de Masas o Ley de Acción de Masas. Estas materias pueden ser consultadas en bibliografía especializada.

lo que hace que los productos intermedios sean potencialmente más susceptibles a eliminación física o a la fotólisis.

La Ley de Grotthuss-Draper establece el primer principio de la fotoquímica *"sólo la luz absorbida por especies químicas puede causar reacciones fotoquímicas"*, o en otras palabras *"sin absorción de luz no hay reacción fotoquímica"*. Si una molécula no presenta el espectro de absorción en el rango de longitud de onda de irradiación de luz, la reacción fotoquímica no ocurre. Esto significa que para comprender las reacciones fotoquímicas se requiere comprender el espectro de absorción de radiación de las moléculas.

El segundo principio de la fotoquímica lo establece la Ley de Equivalencia Fotoquímica o Ley de Stark-Einstein, que establece que *"la absorción de luz ocurre en la unidad cuántica de fotón"* o *"una molécula absorbe un fotón, y uno o menos moléculas pueden ser fotolizadas en consecuencia"*.

Tras la emisión, las especies orgánicas volátiles se distribuyen mediante procesos de transporte atmosférico, mientras se someten a los diversos procesos de remoción. Algunos compuestos pueden eliminarse físicamente de la atmósfera mediante deposición seca en superficies que contienen vegetación, en reacción con aerosoles; o ser eliminados por deposición húmeda a través de la precipitación.

La relación entre la tasa de remoción atmosférica del compuesto y la mezcla promedio en diversas secciones de la atmósfera determinan el grado en que un compuesto se distribuye a nivel global. La mezcla atmosférica está físicamente impedida a través de la inversión de temperatura de la capa límite (0,5 a 2 km), la tropopausa (10 a 15 km) y la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ[26], por su sigla en inglés). Como resultado pueden desarrollarse fuertes gradientes de las especies orgánicas a través de las diferentes interfaces atmosféricas. Las tasas de intercambio típicas son de uno a dos días, para que el aire se mezcle verticalmente fuera de la capa límite; dos semanas a un mes para que se produzca una advección zonal del aire alrededor del hemisferio norte o sur; alrededor de un año para que exista un intercambio entre hemisferios; y 4 a 6 años para que exista un intercambio entre la troposfera y la estratosfera (Koppmann, 2007).

- **Influencia de las emisiones de COVs en la generación de ozono:** el ozono (O_3) es la forma triatómica del oxígeno y generalmente se considera como la especie más importante en la determinación de la capacidad oxidativa de la atmósfera (Potter

[26] Intertropical Conversion Zone: es la región del globo terrestre donde convergen los vientos alisios del hemisferio norte con los del hemisferio sur entre los 10° de latitud S – 10° N.

& Colman, 2003). En la década de 1950, Haagen-Smit y Bradley (1952) demostraron que la oxidación de especies orgánicas en presencia de NO_X y luz solar puede formar O_3. El O_3 troposférico se ha convertido en un problema importante de calidad del aire en las grandes ciudades y áreas urbanas. El efecto de las especies orgánicas en la distribución global del ozono y el OH es un área clave de la investigación atmosférica. En la troposfera, la fotooxidación de gases orgánicos en presencia de concentraciones elevadas de NO_X actúa para producir ozono. La foto-disociación del NO_2 por luz visible es la mayor fuente de O_3 en la tropósfera y está dada por la siguiente reacción:

$$NO_2 + hv \rightarrow NO + O \ (\lambda = 420 \text{ nm})$$

$$O_2 + O + M \rightarrow O_3 + M$$

Donde M representa una molécula no reactiva que absorbe parte de la energía en exceso.

Si el NO_X no estuviese presente en la atmósfera, no se formaría ozono. De hecho, la presencia de muchos los COVNMs, por sí mismos, provocarían la destrucción del ozono, ya que estos, o alguno de los derivados de la oxidación de los COVs, podrían reaccionar con el ozono presente en la atmósfera.

- **Influencia de las emisiones de COVs en la generación de aerosoles:** se han determinado relaciones entre los compuestos orgánicos en fase gaseosa y los aerosoles atmosféricos. Las partículas pueden producirse a partir de precursores orgánicos gaseosos, que se condensan en la fase gaseosa para formar aerosoles. En este sentido, se favorece la generación de especies oxigenadas con bajas presiones de vapor, los que pueden crecer en tamaño por coagulación con otras partículas y posteriormente a través de la condensación de otras especies orgánicas sobre las superficies. En general., un alcano debe ser mayor a 20 átomos de carbono (C_{20}) para ser adsorbido partículas sólidas (Seinfeld & Pandis, 2006).

4.7 Estimación de Emisiones Atmosféricas

La estimación de emisiones atmosféricas se realiza frecuentemente mediante la elaboración de inventarios de emisiones. Un inventario de emisiones es una cuantificación de las emisiones de uno o más contaminantes atmosféricos provenientes de distintas fuentes de emisión para una determinada área geográfica y periodo de tiempo.

Previamente a la elaboración de un inventario de emisiones, es importante definir su alcance. Los contaminantes que se evaluarán, los tipos de fuentes de emisión incluidos, los

límites geográficos y temporales del inventario, entre otros aspectos, deben identificarse antes de la recopilación de información. En algunos casos deben considerarse también las tecnologías de abatimiento y reducción de emisiones, las que varían en cada industria, instalación y/o establecimiento. El alcance determinará el foco del inventario en términos de recursos, datos e información requerida.

Los contaminantes primarios o precursores (COVs, NO_X y CO), normalmente se separan de contaminantes como el SO_2 y el MP. Los tipos de fuentes de emisión que se incluyen en los inventarios de emisión, a menudo se clasifican como:

- Fuentes Puntuales.
- Fuentes de Área.
- Fuentes Móviles en Ruta.
- Fuentes Móviles Fuera de Ruta.
- Fuentes Biogénicas.

Actualmente, a nivel internacional y nacional se realizan inventarios de emisiones para GEI y para contaminantes atmosféricos locales. Mediante las guías para la preparación de inventarios de emisión, la US-EPA ha establecido los siguientes procedimientos para asegurar la calidad de los inventarios (US-EPA, 1997):

- Identificar todas las fuentes de emisión en el área definida.
- Seleccionar los métodos para estimar las emisiones de cada fuente.
- Identificar y seleccionar las fuentes de información para los niveles de actividad y otros parámetros requeridos por cada método de estimación.
- Llevar a cabo procedimientos de control y aseguramiento de calidad (QA/QC, por su sigla en inglés) sobre el inventario.
- Documentar los métodos de estimación de emisiones, fuentes de información y procedimientos QA/QC.
- Recopilar y transferir la información.

Las metodologías para la estimación de emisiones se organizan y clasifican por sectores. En el caso de las metodologías para el reporte de GEI, los sectores corresponden a aquellos

establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC[27], por su sigla en inglés). Estos sectores se describen a continuación:

- **Energía:** para la mayoría de los países, el transporte terrestre representa una fuente principal de emisiones de NO_X, CO, y COVs No Metánicos (COVNMs). La producción de petróleo es una fuente de emisiones de COVNMs, NO_X, y CO en los países productores de petróleo y gas. El monóxido de carbono y los COVNMs se generan en condiciones de combustión subestequiométrica y dependen de diversos factores, incluidos el tipo de combustible y las condiciones de combustión.
- **Procesos Industriales y Uso de Productos** (IPPU[28], por su sigla en inglés)**:** los procesos industriales pueden generar emisiones de NO_X, CO, COVNMs y SO_2. Las emisiones de estos gases dependen del tipo de proceso, las técnicas de reducción y otras condiciones. Las emisiones resultantes de los procesos industriales y el uso de los productos comprenden tanto las emisiones canalizadas (emisiones de fuentes puntuales como chimeneas) y las fuentes de emisiones difusas o no puntuales. Por ejemplo, las emisiones difusas de la evaporación de solventes y del almacenamiento y la gestión de los productos son comúnmente fuentes primarias de emisiones de COVNMs. En algunos casos, las emisiones excepcionales (liberaciones accidentales) pueden constituir emisiones considerables de la fuente (IPCC, 2006).
- **Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra** (AFOLU[29], por su sigla en inglés)**:** las fuentes primarias de las emisiones de COVNMs son la combustión de residuos de cultivos y otros desechos vegetales, así como la degradación anaeróbica de alimentos y excrementos de la crianza de animales. Las plantas, principalmente árboles y cereales, también contribuyen a la generación de COVNMs en la atmósfera.
- **Desechos:** las emisiones de COVNMs pueden originarse en las plantas de tratamiento de las aguas residuales y de la eliminación de desechos sólidos en vertederos y rellenos sanitarios.

[27] Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático).
[28] Industrial Processes and Product Use (Procesos Industriales y Uso de Productos).
[29] Agriculture, Forestry and Other Land Use.

Las Guías de la Agencia Europea del Medio Ambiente (EEA[30], por su sigla en inglés) organizan y clasifican las metodologías de estimación de emisiones principalmente por sectores y procesos, las categorías consideradas son:

- Emisiones asociadas a la Energía:
  - Combustión.
  - Emisiones fugitivas derivadas de los combustibles.
- Procesos Industriales y Uso de Productos:
  - Productos minerales.
  - Industria química.
  - Producción metalúrgica.
  - Uso de solventes y productos
  - Otras industrias productivas.
  - Procesamiento de madera.
  - Producción de Contaminantes Orgánicos Persistentes.
  - Otras actividades de producción, consumo, almacenamiento, transporte o manipulación de productos a granel.
- Agricultura.
- Desechos.
- Otras fuentes.
- Fuentes Naturales.

En el Programa de Mejora de Inventarios de Emisión de la US-EPA (EIIP[31], por su sigla en inglés) las metodologías para la estimación de emisiones se clasifican por tipo de fuente y contaminante, las categorías consideradas son:

- Fuentes Puntuales.

[30] European Environment Agency.
[31] Emission Inventory Improvement Program.

- Fuentes de Área.
- Fuentes Móviles.
- Fuentes Biogénicas.
- Estimación de GEI.
- Estimación de MP.

Las metodologías de estimación de emisiones deben determinarse de acuerdo con el tipo de fuente de emisión y otros factores como: disponibilidad de información; recursos asignados a la elaboración del inventario de emisiones; uso previsto del inventario de emisiones y nivel de precisión de las estimaciones, entre otros aspectos. Un mayor nivel de precisión de las estimaciones requerirá asignar mayores recursos, especialmente para mejorar la disponibilidad de información. Cada metodología de estimación de emisiones involucra determinados requerimientos de información, un rango de aplicabilidad e incertidumbre y procedimientos de aseguramiento y control de calidad (QA/QC).

Usualmente, las metodologías de estimación de emisiones atmosféricas de contaminantes antropogénicos incluyen los compuestos, sustancias y/o contaminantes identificados o establecidos por diferentes regulaciones y convenios de aplicación nacional o internacional.

La mayoría de las metodologías de estimación de emisiones se basan en las siguientes fuentes de información y/o procedimientos de estimación:

1) **Datos provenientes de testeos en la fuente:** es un método para estimar las emisiones que reduce la cantidad de supuestos utilizados en la metodología de estimación, ya sean para la propia fuente, como para las eficiencias control y abatimiento de emisiones de los dispositivos asociados. Los testeos o pruebas en las fuentes de emisión deben realizarse durante un período de tiempo suficientemente prolongado para producir resultados representativos de las condiciones que prevalecerán en el periodo inventariado. Los testeos en fuentes de emisión más completos son los producidos por Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEMS[32], por su sigla en inglés). Los CEMS miden y registran las emisiones reales durante el período de tiempo en que el monitor está funcionando. Los datos producidos pueden utilizarse para estimar las emisiones en diferentes

[32] Continuous Emission Monitoring Systems (Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones).

períodos de funcionamiento de la fuente de emisión. La principal ventaja de este tipo de método es su precisión. No obstante, la cantidad de recursos requeridos no está disponible en todas las fuentes, ni para todos los contaminantes que se consideran en un inventario de emisiones. Usualmente, estos métodos se utilizan en grandes fuentes de emisión y del tipo puntual (chimeneas y ductos).

2) **Balance de masa/materiales:** el balance de masa y/o materiales se utiliza para estimar factores de emisión o las emisiones totales que ocurren en un determinado período. En el caso de los COVs, los balances de masa son métodos prácticos y pueden ser más precisos que el uso de factores de emisión, especialmente cuando las emisiones fugitivas son menores o se pueden medir de manera simple. El uso de balances de masa implica examinar los procesos industriales u operaciones unitarias para determinar si las emisiones pueden estimarse en base a parámetros operativos, composición de los materiales y usos del material. Por ejemplo, los balances de masas simplificados asumen que todo el solvente utilizado en un proceso tiende a evaporarse en algún lugar de la instalación industrial convirtiéndose en emisiones atmosféricas. En muchas operaciones de revestimiento de superficies, se puede asumir que todo el disolvente utilizado en el revestimiento se evapora a la atmósfera durante su aplicación y secado. Los balances se simplifican y son muy precisos en los casos en los que todos los disolventes consumidos se liberan a la atmósfera como emisiones atmosféricas. No obstante, existen muchas situaciones donde una parte de la evaporación del solvente es capturado y enviado a un dispositivo de control como un incinerador o condensador. En estos casos, la fracción capturada debe medirse o estimarse por otros medios y contabilizarse como material recuperado.

   Una de las principales limitaciones de los balances de masa, es que no pueden emplearse con precisión, a un costo razonable, en todos los procesos de evaporación. En el caso de los tanques de almacenamiento de productos derivados del petróleo generalmente no es factible realizar balances de masa, porque las pérdidas son demasiado pequeñas en relación con la incertidumbre de cualquier dispositivo de medición. En estos casos, se utilizan preferentemente factores de emisión (US-EPA, 1997).

3) **Factores de Emisión:** una de las herramientas disponibles más comunes y útiles para estimar emisiones desde fuentes puntuales, móviles y de área son los factores de emisión. Un factor de emisión es una estimación de la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera como resultado de alguna actividad. Las emisiones se

estiman, por lo tanto, como una función del nivel de actividad (como la combustión o la fabricación de un determinado producto). En la mayoría de los casos, los factores de emisión se expresan simplemente como un número único, con el supuesto subyacente de que existe una relación lineal entre las emisiones y el nivel de actividad especificado en el rango probable de aplicación. Los factores de emisión suelen ser promedios obtenidos a partir de datos con un alto grado de representatividad, y pueden presentar diversos niveles de precisión e incertidumbre. Por lo anterior, las emisiones calculadas mediante factores de emisión generalmente van a diferir de las emisiones reales de una determinada fuente o instalación. En la mayoría de los casos los factores de emisión establecen valores conservadores, es decir, sobreestiman las emisiones reales. Al usar cualquier metodología de estimación de emisiones se debe tener en cuenta que sólo la medición de emisiones en fuentes específicas puede determinar la contribución real de contaminantes de dichas fuentes, para las condiciones existentes en el momento de la medición. Los factores de emisión se utilizan de manera más apropiada para estimar las emisiones de varias fuentes, como se lleva a cabo en los procesos de elaboración de inventarios de emisiones (US-EPA, 1997).

Debido a que no es práctico medir las emisiones en todas las fuentes que constituyen un inventario, la aproximación más común es la combinación de datos de actividad de una fuente con coeficientes que cuantifican las emisiones o remociones por cada unidad en la que se mide el nivel de actividad. Estos coeficientes corresponden a los Factores de Emisión (FE). La ecuación básica para estimar las emisiones es la siguiente:

$$\text{Emisiones} = \text{NA} \times \text{FE}$$

Donde:

NA: Nivel de Actividad.

FE: Factor de Emisión.

Las metodologías de estimación de emisiones que utilizan factores de emisión se clasifican en *"Tiers"* (nivel), los que representan diversos grados de complejidad metodológica. Por lo general, se utilizan tres Tiers o niveles:

- **Tier 1:** es el método más simple o básico. Se asume una relación lineal simple entre los datos de actividad y los factores de emisión. Los datos de actividad derivan de información estadística (estadísticas de consumo de energía, producción, otros). Los factores de emisión por defecto correspondientes a Tier 1 representan

condiciones de proceso "típicas" o "promedio", tendiendo a ser independientes de las tecnologías utilizadas.

- **Tier 2:** es un método intermedio en términos de complejidad, que utiliza datos de actividad o información similar a los métodos Tier 1, pero se aplican factores de emisión específicos para el país o información específica para las condiciones del proceso, calidad de los combustibles, tecnologías de reducción, entre otras variables. En muchos casos estos métodos también podrían aplicarse a un nivel superior de detalle, donde la información pueda desagregarse en subactividades o se pueden considerar características más detalladas de los procesos y/o actividades que generan las emisiones.
- **Tier 3:** es el nivel más exigente en términos de complejidad y requerimiento de datos, incluye el uso de datos a nivel de instalación, establecimientos y/o modelos específicos para una determinada fuente de emisión y factores de emisión específicos para el país o localidad.

Los Tiers 2 y 3 son métodos de nivel superior y generalmente se consideran mucho más precisos en la elaboración de inventarios de emisiones. No obstante, requieren más información sobre el proceso o la fuente de emisión, que en muchos casos podría no estar disponible. Adicionalmente, el método Tier 3 requiere una desagregación de información de los procesos de la instalación por etapa, lo que podría implicar la propagación de errores significativos en la estimación de emisiones, en caso que no exista un registro de los niveles de actividad con el detalle requerido.

4.8 Acciones en la Transferencia y Almacenamiento de Combustibles, Solventes y Otros Productos Químicos

Las emisiones atmosféricas relevantes asociadas al almacenamiento a granel de sustancias líquidas y gases licuados pueden tener los siguientes orígenes:

- Proceso de transferencia de la sustancia (vaciado y llenado).
- Respiración de los tanques de almacenamiento, que corresponden a emisiones que se originan por aumentos de temperatura, lo que a su vez provoca una expansión de los vapores y consecuentemente su emisión a la atmósfera.
- Elementos de estanqueidad tales como bridas, empalmes y bombas.
- Toma de muestras.
- Actividades de limpieza.

La principal fuente de emisión potencial asociada los sistemas de transferencia y manipulación, tiene relación con las fugas de vapor a través de sellos, empaquetaduras, bridas y conexiones que en condiciones normales debieran estar ajustadas adecuadamente. Estas emisiones dependen de la presión a la que opera el sistema. A excepción del almacenamiento en tanques presurizados, la presión en los sistemas de transferencia y manipulación es relativamente baja en comparación con la de las tuberías en una planta de proceso, por lo que en general, las emisiones asociadas a los sistemas de transferencia y manipulación son considerablemente más bajas que las generadas por fugas en los equipos de una planta de proceso.

Respecto a los estanques, existen diferentes tipos y usos asociados, así como elementos de control de emisiones que pueden implementarse. Además, existe una serie de elementos que pueden instalarse en los tanques de almacenamiento, dependiendo de su diseño, por ejemplo: respiraderos, pozos de muestra, drenajes de techo, entre otros. Estos elementos están asociados a la estructura, o proveen ciertas funciones operacionales requeridas, y pueden ser una fuente de emisiones atmosféricas en tanto requieren realizar perforaciones en el techo para su implementación.

4.9 Tecnologías de Abatimiento para Emisiones de COVs

En ingeniería de procesos se distinguen dos grandes divisiones para el tratamiento de contaminantes, el primero lo forman las medidas al interior de los procesos (*"in process"*) y los otros son incorporaciones tecnológicas *("add-on"*). Las tecnologías que existen y/o están en desarrollo tienen los siguientes objetivos:

- Eliminar los COVs convirtiéndolos en sustancias inocuas para el ambiente, lo que no siempre se logra y es motivo de múltiples estudios que identifican relaciones *causa-efecto* de las tecnologías propuestas, donde interesa destacar el uso del ciclo de vida como herramienta de mayor uso.
- Recuperar la energía de gases calientes antes que sean descargados a la atmósfera, tanto por razones ambientales como de optimización energética de las instalaciones. Hay que considerar que las tecnologías ambientales pueden reportar un beneficio económico a las instalaciones industriales.
- Revalorización de residuos, que en el caso de gases resulta muy importante ya que los COPs son materiales de alto valor y su recuperación contribuye a reportar beneficios en las instalaciones industriales.

- Cumplimiento de normas de emisión, que es la obligación ambiental externa a las instalaciones industriales, que regula su operación.

Algunas definiciones relevantes que se deben considerar para las tecnologías de abatimiento de COVs son:

- *Eficiencia de Destrucción y Remoción* (DRE[33], por su sigla en inglés): corresponde a la razón porcentual de la diferencia entre concentraciones de entrada y salida respecto de la concentración de entrada. La DRE está dada por la siguiente expresión:

$$DRE = 100\left[\frac{VOC_f - VOC_s}{VOC_f}\right]$$

  Donde: los subíndices f y s se refieren a la alimentación y salida del sistema de tratamiento de gases.

  De acuerdo con A. Krishnamurthy et al. (2020), un sistema moderno tiene un DRE que varía entre 95 a 99%.

- Límite Inferior de Explosión (LEL[34], por su sigla en inglés): corresponde a la concentración (%v/v) de una mezcla de combustible y aire que en condiciones estándares puede inflamarse. Su rango varía entre 0,5 a 15%.

- Incineradores Térmicos Regenerativos (RTO[35], por su sigla en inglés): es un dispositivo de control de contaminantes industriales peligrosos para descomponer COVs, especialmente HAPs en CO_2 y H_2O mediante el calentamiento del aire de escape a temperaturas superiores a 760 °C. Los RTO son la tecnología de oxidación preferida para la mayoría de las aplicaciones debido a su alta eficiencia de destrucción y su capacidad para recuperar la mayor parte del calor térmico que se genera en la destrucción de COVs. Los oxidantes vienen en muchos tamaños, formas y configuraciones diferentes, pero todos operan con el mismo principio básico de oxidación térmica.

[33] Destruction and Removal Efficiency.
[34] Lower Explosive Limit.
[35] Regenerative Thermal Oxidizer.

4.10 Mejores Técnicas Disponibles (BAT)

Las Mejores Técnicas Disponibles (BAT[36], por su sigla en inglés) corresponden a las técnicas y/o tecnologías disponibles para una determinada industria y/o sector que generan los menores impactos ambientales y a la vez, son viables económicamente. La determinación de cuáles son las BAT para el control y prevención de la contaminación es clave en términos regulatorios en algunos países o jurisdicciones, ya que las BAT permiten determinar valores de referencia para limitar las emisiones y para la concesión de permisos ambientales. La determinación de las BATs identificadas en la bibliografía revisada se ha realizado por los gobiernos europeos mediante una evaluación exhaustiva de los impactos ambientales de una determinada industria y en base a un análisis multicriterio (Geldermann y Rentz, 2013). Los gobiernos europeos han buscado aplicar de manera progresiva BATs para diversos sectores industriales con el objetivo de controlar y reducir las emisiones, a partir de la Directiva Integrada de Prevención y Control de la Contaminación (Directiva 1) la cual fue adoptada en 1996. Esta directiva exige un alto nivel de protección ambiental, la que debe lograrse mediante la aplicación de BATs teniendo en cuenta la viabilidad económica y los factores ambientales locales. El vehículo principal para el intercambio de información son los llamados Documentos de Referencia BAT (BREFs[37], por su sigla en inglés). Los BREFs son utilizados como guías por las autoridades para establecer controles a las fuentes emisoras. Por lo anterior, las BAT identificadas en los BREFs proporcionan un punto de referencia para determinar las posibilidades en cada industria con respecto a la prevención y el control de la contaminación.

[36] Best Available Technique.

[37] BAT Reference Documents.

5. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el desarrollo del presente Estudio involucró las actividades que se presentan en la Figura 2.

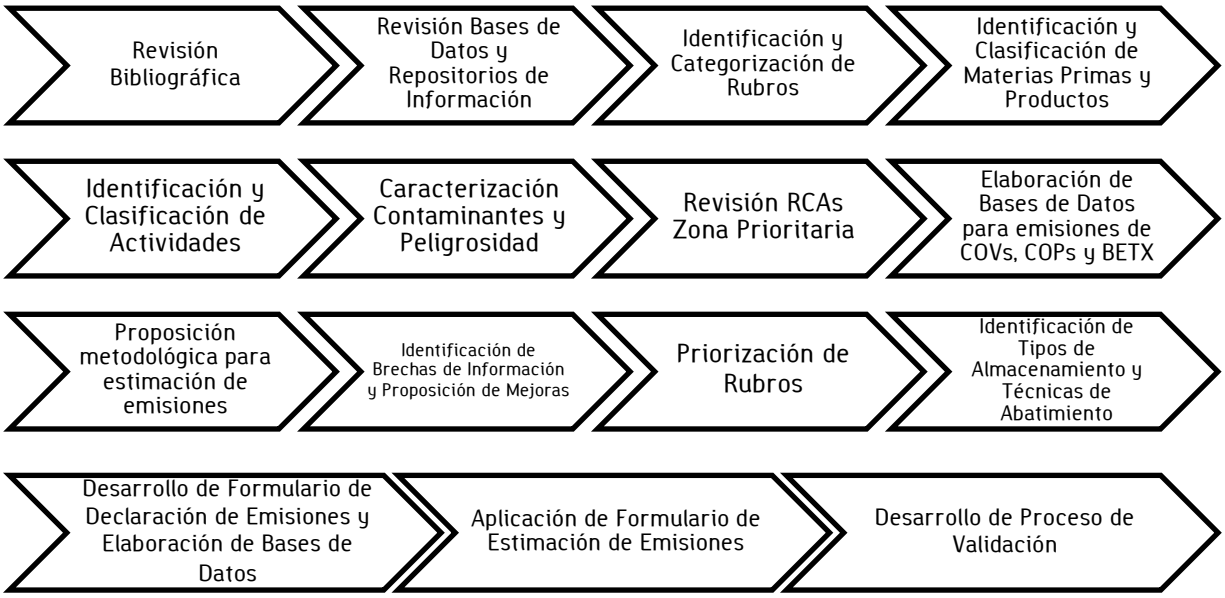


Figura 2. Actividades para el desarrollo de la Metodología de Estimación de Emisiones de COV, COP y BETX

Las actividades realizadas consisten principalmente en una revisión y análisis de diferentes documentos e información pública que comprende libros técnicos y académicos, normas, guías, estudios y bases de datos o repositorios de información en línea.

5.1 Revisión Bibliográfica

Se realizó una revisión de publicaciones científicas y técnicas con el objetivo de recopilar antecedentes y definiciones sobre las emisiones de COVs, COPs y BETX, generando un marco teórico para el desarrollo del estudio. Adicionalmente, la revisión de bibliografía se enfocó en la identificación de materias primas, productos intermedios y/o finales que generen emisiones de contaminantes atmosféricos pertenecientes a COVs, COPs y BETX con potenciales riesgos para la salud de las personas en función de su toxicidad.

En el caso de la identificación de COVs y COPs, se han revisado diversas fuentes bibliográficas, incluyendo regulaciones para la emisión e inmisión de estos compuestos.

Las definiciones utilizadas en este Estudio se basan en la revisión del material bibliográfico indicado en **REFERENCIAS** (capítulo 8) del presente documento. Para determinar definiciones

de términos y conceptos se ha establecido el siguiente orden de prelación:

- Definiciones establecidas por leyes, normas y decretos publicados y vigentes (en tanto sean funcionales a los objetivos del estudio).
- Definiciones establecidas por normas de Emisión de Países de Referencia: Estados Unidos, Canadá, países de la Comunidad Europea (CE), Australia y Nueva Zelanda.
- Definiciones establecidas por organismos internacionales (EPA, EEA, UNEP, OMS, otros)
- Definiciones establecidas en literatura académica, técnica y científica publicada por fuentes acreditadas internacionalmente.

La identificación de materias primas, productos intermedios y/o finales que potencialmente generen emisiones de COVs, COPs y BETX, se basó en una revisión de literatura internacional y sitios webs. Para fines del presente Estudio se entenderá por producto intermedio aquellos que son el resultado de un proceso industrial, para luego ser procesado en el mismo establecimiento. El producto final se entenderá como aquel resultado de un proceso industrial que será utilizado o procesado por un consumidor final, tercero u otro establecimiento distinto al que originó el producto.

La bibliografía revisada durante el Estudio se enfocó en los siguientes aspectos:

- Elaboración de marco teórico y conceptual y definición de términos.
- Identificación de materias primas productos intermedios y finales que potencialmente podrían generar emisiones de COVs, COPs y BETX con potencial efecto en la salud de las personas.
- Identificación de fuentes no puntuales, procesos, acciones u otros que generen emisiones de COVs, COPs y/o BETX dentro del perímetro de un establecimiento.
- Identificación de rubros y empresas potencialmente emisoras de COVs, COPs y/o BETX a nivel nacional y con un énfasis en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.
- Clasificación de actividades a través de los códigos de la CIIU.
- Realización de un catastro a nivel comunal de posibles fuentes de emisión de COVs, COPs, BETX u otros contaminantes con potencial efecto sobre la salud humana, con especial énfasis en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

- Identificación de los posibles contaminantes emitidos, clasificándolos en función de su peligrosidad para la salud humana bajo estándares internacionales.

La bibliografía y las fuentes de información revisadas se han clasificado, para los efectos de este estudio, en las siguientes categorías:

- Estudios y guías de origen nacional.
- Estudios y guías de origen internacional.
- Leyes, normas y decretos nacionales.
- Convenios internacionales suscritos y ratificados por Chile.
- Normativa internacional.
- Libros y publicaciones técnicas y académicas.

5.2 Revisión de Bases de Datos y Repositorios de Información

Se revisaron Bases de Datos y Repositorios de Información (sitios Web) de instituciones técnicas de nivel internacional y/o de agencias técnicas multilaterales. Los repositorios de información revisados se listan en **REFERENCIAS** (capítulo 8) del presente documento.

5.3 Realización de Reuniones con la Contraparte Técnica del Estudio

A lo largo del presente Estudio se realizó un total de once (11) reuniones de coordinación con la contraparte técnica y dos reuniones de presentación de resultados preliminares los que se pusieron a disposición de la contraparte técnica mediante dos Informes de Avance. Además, se realizaron seis entregas de productos adicionales mediante cuatro memorándums y dos formularios de estimación de emisiones, uno a nivel conceptual y otro operacional. El Formulario de Declaración de emisiones fue distribuido a establecimientos de la zona prioritaria y aplicado a fuentes de emisión de las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

Las actividades realizadas con la contraparte durante el desarrollo del Estudio se presentan en Tabla 7.

Tabla 7. Actividades realizadas con la contraparte técnica durante el desarrollo del Estudio

Actividad	Fecha de Realización	Objetivos
Reunión de inicio	01/07/2020	• Presentar el equipo de Mejores Prácticas e identificar a las personas que participarán del Estudio como contraparte técnica.

Actividad	Fecha de Realización	Objetivos
		• Establecer y estandarizar las revisiones documentales básicas necesarias para comenzar la ejecución de los servicios. • Definir aspectos administrativos tales como: coordinación del servicio y programación de las actividades a desarrollar. • Actualizar programa de trabajo presentado en la oferta técnica.
Reunión de Coordinación N° 1	15/07/2020	• Proponer criterios para el desarrollo del Informe de Avance I. • Solicitar formalmente información al RETC para el desarrollo del Estudio. • Actualizar cronograma de trabajo para la primera etapa del Estudio. • Establecer compromisos para la próxima reunión de coordinación.
Reunión para Revisión de la Plataforma del RUEA	23/07/2020	• Revisar la plataforma de declaración de emisiones atmosféricas del RETC para COVs y otras emisiones (RUEA – F138) • Determinar cómo se integra la declaración de COVs, COPs y BETX en el RUEA. • Identificar información que podría ser de utilidad para el desarrollo de la metodología de estimación de COVs, COPs y BETX.
Reunión de Coordinación N° 2	29/07/2020	• Presentar aspectos generales sobre la entrega de resultados preliminares. • Recibir comentarios y observaciones sobre los aspectos tratados. • Establecer compromisos para la próxima reunión de coordinación. • Indicar los aspectos relevantes a definir en la presente etapa para el desarrollo del Estudio.
Reunión de Coordinación N° 3	12/08/2020	• Abordar comentarios y observaciones sobre la primera entrega de resultados preliminares para actividades comprendidas en el Informe de Avance I. • Proponer criterios para la elaboración de un listado de compuestos y contaminantes de COVs, COPs y BETX. • Presentar aspectos generales sobre la segunda entrega de resultados preliminares. • Recibir comentarios y observaciones sobre los aspectos tratados. • Confirmar las fechas para la realización de las siguientes actividades.
Reunión de Presentación de Resultados del Informe de Avance I	02/09/2020	• Presentar objetivos, alcance, metodología y principales resultados del Informe de Avance I, incluyendo conclusiones preliminares de la etapa I, abordando, además, las próximas actividades programadas y algunos aspectos relevantes para el desarrollo de las etapas II y III.
Reunión de Coordinación N° 4	16/09/2020	• Revisar comentarios y observaciones sobre Informe de Avance I.

Actividad	Fecha de Realización	Objetivos
		• Presentar objetivos y resultados esperados para Etapa II. • Discutir aspectos claves para Etapa II. • Coordinar entregas de resultados preliminares (memorándums).
Reunión de Coordinación N° 5	30/09/2020	• Presentar resultados preliminares para el objetivo e) de la Etapa II. • Discutir resultados preliminares obtenidos en la Etapa II.
Reunión de Coordinación N° 6	14/10/2020	• Presentar resultados parciales y preliminares para el objetivo f) de la Etapa II. • Definir temas relevantes para el desarrollo de la Etapa II y III.
Reunión de Coordinación N° 7	28/10/2020	• Presentar objetivos, actividades y resultados esperados considerados en la Etapa III del Estudio. • Presentar conceptualización general del Formulario de Declaración de Emisiones que se basa en tres módulos de declaración.
Reunión de Coordinación N° 8	02/11/2020	• Presentar avances en la conceptualización y desarrollo del Formulario de Declaración de Emisiones en formato Excel, incluyendo maquetas para el desarrollo de un Formulario Web.
Reunión de Presentación de Resultados del Informe de Avance II	04/11/2020	• Definir lineamientos para el desarrollo del Formulario de Declaración de emisiones en formato Excel.
Reunión de Coordinación N° 9	11/11/2020	• Revisar resultados preliminares del Formulario de Declaración de Emisiones
Webinar para la aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones	16/11/2020	• Iniciar la actividad de prueba del Formulario de Declaración de Emisiones por parte de los Establecimientos de la zona prioritaria.
Reunión de Coordinación N° 10	18/11/2020	• Responder consultas sobre el Formulario de Declaración de Emisiones.

5.4 Identificación y Clasificación de Materias Primas y Productos

a) Se realizó una revisión del catastro de importaciones o compras a nivel nacional, especialmente respecto de la importación de hidrocarburos, solventes, productos químicos y otros productos, con el fin de identificar sustancias que potencialmente podrían generar emisiones COVs, COPs y BETX. Se identificaron, recopilaron y sistematizaron los códigos arancelarios de las materias primas identificadas. Las fuentes de información utilizadas fueron principalmente:

- Servicio Nacional de Aduanas.
- Servicio de Impuestos Internos (SII).
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

- Banco Central de Chile.

b) Se identificaron productos intermedios y/o finales asociados al procesamiento de las materias primas catastradas. La asociación de productos intermedios y/o finales a materias primas se basó en una revisión de literatura internacional, publicaciones y estudios nacionales, además de la experiencia del equipo consultor. Posteriormente, se realizó una retroalimentación de la información en base a la revisión de los expedientes de evaluación de impacto ambiental de proyectos de la zona prioritaria y/o de proyectos de relevancia en cada sector y rubro caracterizado.

c) Se identificaron fuentes no puntuales, procesos, acciones u otras causas de emisiones de los contaminantes atmosféricos incluidos en el alcance del presente Estudio, mediante una revisión exhaustiva de la Guía establecida como referencia en las bases técnicas del Estudio *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019*. A partir de la información revisada se elaboró un listado y descripción de actividades y operaciones unitarias que podrían generar potencialmente emisiones de COVs, COPs y BETX, tales como almacenamiento de hidrocarburos, acciones de trasvasije, carga y/o descarga, procesos para la obtención de productos intermedios y/o finales en base al catastro de materias primas. La identificación de fuentes no puntuales se retroalimentó con los resultados de la actividad de **Identificación y Categorización de Rubros y Empresas** del presente documento, enfocándose especialmente en los procesos industriales que ocurren en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.

   Se identificaron y describieron procesos industriales, operaciones unitarias y actividades, asociando en cada caso materias primas y productos intermedios y/o finales. En los casos pertinentes, se identificaron los compuestos pertenecientes a las categorías COVs, COPs y BETX, que potencialmente podrían ser emitidos a la atmósfera.

   Se elaboró una matriz de sectores y rubros, realizando una identificación de *"fuentes no puntuales"* que se sistematizó en un listado de actividades basada en:

   - Una revisión bibliográfica de diferentes publicaciones, especialmente aquellas relacionadas con la zona prioritaria (Inventarios de Emisiones, Estudio de Riesgo Ecológico, entre otros).
   - Análisis de la información sobre rubros y fuentes de emisión de la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes

Puntuales en el RETC (MMA, 2019).

- Revisión y análisis de bases de datos de importaciones, RCAs y declaraciones de establecimientos al RETC.
- Descripción de procesos industriales y operaciones unitarias de la industria nacional, basada en una revisión bibliográfica y en la experiencia de los consultores en proyectos de ingeniería en diversos sectores productivos.

d) Se realizó un codificación, clasificación y agrupación de materias primas, productos intermedios y/o finales, utilizando el nombre común y/o comercial de éstas. La codificación se basó en la Clasificación Central de Productos (CCP) de las Naciones Unidas. La codificación, clasificación y agrupación de materias primas y productos se realizó mediante la Revisión v 2.1. de la CCP. Complementariamente, en los casos pertinentes, se añadieron los Códigos Arancelarios y los números de registros CAS.

e) Se identificaron las propiedades fisicoquímicas que caracterizan a las materias primas, productos intermedios y/o finales mediante una revisión y recopilación de información publicada en bases de datos y repositorios de información en línea.

5.5 Identificación y Categorización de Rubros y Empresas Potencialmente Emisores

La caracterización y clasificación de rubros y empresas potencialmente emisores de COVs, COPs y BETX se llevó a cabo tomando como base los sectores y rubros definidos por la *Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Provenientes de Fuentes Puntuales*, RETC (MMA, 2019). Esta información se complementó con las bases de datos publicadas por el RETC en su plataforma web y el Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes 2005-2017 (MMA, 2019). La información obtenida de la revisión de Informes RETC se utilizó para elaborar una base de datos de sectores y rubros, clasificándolos a través de los códigos y glosas CIIU. Las descripciones se complementaron con la información proporcionada por la CIIU – Revisión 4 (ONU, 2009).

a) Se realizó una identificación de rubros a nivel nacional, tales como:

- Minería;
- Industria Alimentaria y Agropecuaria;
- Industria de Madera y Papel;
- Industria Petroquímica;

- Industria Química:
- Industria Energética:
- Industria Sanitaria:
- Otros.

b) Se identificaron empresas potencialmente emisoras clasificándolas a través de los códigos y descripciones de la CIIU. Se realizó una identificación de las empresas involucradas, en base a información proporcionada por el RETC. Adicionalmente, se revisó la información de los establecimientos localizados en la zona prioritaria en base a la información publicada en:

- Plataforma RETC.
- Portal de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA).
- Portal del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).

Se utilizó la información y las colecciones de datos sobre establecimientos y declaración de emisiones publicada en la plataforma RETC, con el fin de identificar los establecimientos y rubros que actualmente declaran emisiones para fuentes fijas[38].

c) La información se sistematizó en bases de datos con campos que permiten la realización de cruces de información entre el catastro de importaciones, productos intermedios y/o finales y empresas de la zona prioritaria y relevantes para la industria nacional.

5.6 Identificación de Contaminantes y Clasificación de Peligrosidad

a) Se elaboró un listado de contaminantes, en base a los lineamientos de la EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 (2.D Solvent and product use), La revisión del capítulo "*2.D Solvent and product use*" incluyó las siguientes secciones aplicables a establecimientos:

- *2.D.3.e Degreasing*
- *2.D.3.f Dry cleaning*

[38] Información publicada en el sitio: https://datosretc.mma.gob.cl/group/emisiones-al-aire, consultas realizadas durante los meses de julio y agosto de 2020.

- *2.D.3.g Chemical products*
- *2.D.3.h Printing*
- *2.D.3.i, 2G Other solvent and product use*

Se realizó una clasificación de los compuestos en función de los siguientes criterios:

- Categorías o grupo (clasificación química);
- Características físicas y/o químicas;
- Materias primas y productos intermedios o finales que los emitan.

La identificación de compuestos y contaminantes atmosféricos orgánicos se ha enfocado sólo en compuestos antropogénicos. En el caso de los COVs, se excluyen compuestos biogénicos, es decir aquellos compuestos orgánicos que provienen de procesos físicos, químicos y biológicos propios de la vegetación, suelos y océanos sin intervención directa del ser humano.

Se ha determinado excluir también, Compuestos Orgánicos Semi-Volátiles (COSVs), debido a que estas sustancias se encuentran en fase de aerosol y no en fase gaseosa, por lo que en general forman parte del MP y presentan diferencias en términos químicos y de transporte en la atmósfera (Koppmann, 2007). Excluyéndose, además, del análisis los contaminantes secundarios, es decir compuestos que no son emitidos directamente por las fuentes industriales o actividades económicas, sino que son producidos como consecuencia de la reacción de los compuestos presentes en la atmósfera, tales como Nitrato de Peroxiacilo (PAN, por su sigla en inglés), Nitratos Orgánicos, entre otros.

En el caso de los COPs se incluyen aquellos listados en el Convenio de Estocolmo y sus actualizaciones. Se han excluido diversos compuestos prohibidos por tratados internacionales y/o aquellos propios de la contaminación intramuros.

b) Para la clasificación de peligrosidad se ha realizado una revisión de fuentes de información disponibles por parte de fabricantes nacionales e internacionales de los diferentes productos químicos identificados en el alcance del Estudio. Se han revisado Fichas de datos de Seguridad (FDS), también conocidas como Hojas de Datos de Seguridad, de productos que tienen como componente alguno de los compuestos químicos identificados. La información sobre peligrosidad está contenida en las FDS, estandarizada internacionalmente por el Sistema

Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos de Naciones Unidas (GHS[39], por su sigla en inglés).

La clasificación de peligrosidad utilizó los criterios del GHS, los que se han revisado debido a su uso sistemático, generalizado e internacionalmente aceptado, específicamente en la protección de la salud humana y el ambiente.

Adicionalmente, se revisaron las bases de datos de compuestos tóxicos de la US-EPA, identificando las características de toxicidad de cada compuesto. Se utilizó la base de datos del Sistema Integrado de Información de Riesgos de la US-EPA (IRIS[40], por su sigla en inglés).

c) Se asoció un código a cada contaminante identificado de acuerdo al número de registro del Chemical Abstract Service (CAS), el CASRN es la recopilación de información sobre sustancias químicas con mayor divulgación a nivel mundial y cubre las sustancias identificadas en la literatura científica desde 1957 al presente, actualizándose diariamente (Chemical Abstract Service, 2020).

5.7 Revisión de RCAs de la Zona Prioritaria

a) Se realizó una identificación, clasificación y categorización de la información dispuesta en las RCAs de los establecimientos identificados en **Rubros y Empresas Potencialmente Emisores** (sección 6.2), en relación con la **Identificación y Clasificación de Compuestos y Contaminantes** (sección 6.3). Se realizó una revisión de las RCAs de proyectos localizados en la zona prioritaria identificando, clasificando y categorizando establecimientos.

b) Se realizó una identificación, clasificación y categorización de las medidas de mitigación, abatimiento u otras exigidas mediante RCAs a los establecimientos identificados en la actividad **Identificación y Categorización de Rubros y Empresas Potencialmente Emisores** (sección 6.2), en relación con la **Identificación y Clasificación de Compuestos y Contaminantes** (sección 6.3). La identificación se enfocó en las tecnologías de abatimiento de contaminantes utilizadas por las industrias, a modo de considerar esta información en las metodologías de estimación de contaminantes atmosféricos.

c) Se realizó un cruce de información o agrupación de datos de los resultados de las

[39] Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals.
[40] Integrated Risk Information System.

actividades efectuadas.

La información recopilada, revisada y analizada se sistematizó en bases de datos con el fin de permitir cruces de información, asociando materias primas y productos intermedios a rubros con establecimientos potencialmente emisores.

5.8 Revisión y adaptación de Métodos de Estimación de Emisiones

Se realizó una revisión de publicaciones científicas y técnicas con el objetivo de recopilar antecedentes sobre metodologías de estimación de emisiones de COVs y BETX. Adicionalmente, la revisión de bibliografía se enfocó en la identificación de reducción y abatimiento de emisiones, con el objetivo de identificar medidas de control de emisiones disponibles, tanto a nivel internacional, como nacional.

Las metodologías de estimación y tecnologías de reducción y abatimiento de emisiones propuestas e identificadas en el presente Estudio se basan en la revisión del material bibliográfico indicado en **REFERENCIAS** (capítulo 8) del presente documento. En la adaptación de una metodología de estimación de emisiones se procuró obtener resultados que apuntaran a la mayor precisión posible con un mínimo en términos de requerimientos de información de acuerdo a las directrices establecidas por la contraparte técnica, con el fin de facilitar y promover la declaración por parte de los establecimientos y minimizar los errores en las estimaciones.

Se identificaron metodologías de estimación de emisiones aplicables a los rubros y/o establecimientos identificados, las que permiten obtener resultados para grupos o "familias" de compuestos (COVNMs), como para compuestos específicos en el caso de procesos productivos, uso de solventes y almacenamiento de sustancias orgánicas.

Se realizó una priorización para la recopilación de factores de emisión y la determinación de sectores y rubros para los cuales se desarrollará el Formulario de Declaración, la prelación en la recopilación de factores de emisión se realizó mediante el año de publicación, privilegiando las fuentes de información más recientes. Los métodos de estimación de emisiones provienen principalmente de las siguientes publicaciones:

- EMEP/EEA, Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (2019).
- US-EPA, Air Emissions Inventory Improvement Program (EIIP), EIIP Technical Report Series – Volumes: 2 y 3 (2001).
- US-EPA, AP-42 (1995-1996).

Además, se determinó la relevancia del rubro para la estimación de emisiones provenientes de fuentes no puntuales y procesos distintos de la combustión, con el fin de profundizar fundamentalmente en métodos Tier 1 y 2 para rubros de alta relevancia y métodos Tier 1 para rubros de relevancia media.

La relevancia del rubro se determinó en base a los siguientes aspectos:

- El rubro presenta una generación significativa de COVNMs por emisiones fugitivas y/o de proceso de acuerdo a la identificación y caracterización realizada en el estudio. No se consideran las emisiones fugitivas de metano, debido a las características particulares del compuesto y a la redefinición de alcance durante el Estudio[41].
- El rubro ha sido identificado como fuente importante de COVs en la zona prioritaria.

5.9 Identificación de Parámetros Externos que Afectan la Generación de Emisiones

Se realizó una revisión de bibliografía especializada en el área de la química orgánica, física, química y modelación de la atmósfera y contaminantes atmosféricos. La bibliografía revisada se indica en **REFERENCIAS** (capítulo 8) del presente documento.

5.10 Identificación de Compuestos que Participan en Reacciones Fotoquímicas en la formación de O_3 y $MP_{2,5}$ y factores Relevantes Asociados

Se realizó una revisión de bibliografía especializada en el área de la química orgánica, física, química y modelación de la atmósfera y contaminantes atmosféricos. La bibliografía revisada se indica en **REFERENCIAS** (capítulo 8) del presente documento.

5.11 Identificación de Brechas de Información y Propuestas de Mejora

Se realizó una identificación de brechas de información en base a una revisión de requerimientos de información para la estimación de emisiones establecidas por las guías examinadas. Adicionalmente, se llevó a cabo una revisión de las publicaciones del RETC, con el objetivo de identificar las limitaciones que actualmente existen respecto a:

- Antecedentes de las fuentes no puntuales en los establecimientos que declaran emisiones:
- Nivel de desarrollo (estado del arte) de los formularios de declaración en el país:

[41] Las definiciones metodológicas pueden revisarse y verificarse en las actas de las reuniones de coordinación realizadas en el transcurso del Estudio, las que han sido aprobadas por la contraparte técnica.

- Métodos de estimación de emisiones utilizados en el RUEA.

Se propusieron diversas medidas para cerrar las brechas identificadas, en base a la experiencia de los consultores en el desarrollo de inventarios de emisión y estimación de emisiones atmosféricas, así como en el desarrollo de herramientas para el cálculo y reporte de emisiones atmosféricas.

5.12 Elaboración de Listado de Rubros Prioritarios

La prioridad para los rubros identificados se determinó en una escala de tres niveles (baja, media y alta) en base a los criterios presentados en la Tabla 8.

Tabla 8. Criterios para determinar la relevancia de los rubros en la estimación de COVNMs y COPs

Prioridad	Generación de COVNMs y COPs	Presencia en la Zona Prioritaria
Baja	Presenta de manera poco significativa	-
Media	Presenta de manera significativa	No
Alta	Presenta de manera significativa	Si

Fuente: Elaboración Propia

Los rubros de prioridad baja se excluyeron de la metodología de estimación de emisiones, por presentar una generación de emisiones provenientes de fuentes no puntuales y procesos distintos a la combustión poco significativa, de acuerdo a la identificación y descripción de Fuentes No Puntuales y la determinación de las principales emisiones en cada rubro.

5.13 Identificación de Tipos de Almacenamientos utilizados a Nivel Nacional e Internacional

Para la identificación de tipos de almacenamiento utilizados a nivel nacional se realizó una revisión de Resoluciones de Calificación Ambiental (RCAs) en dos niveles: en primer lugar, de los proyectos de la zona prioritaria, es decir emplazados en la comuna de Concón, Quintero y Puchuncaví. En segundo lugar, se realizó una revisión de *"proyectos clave"*, es decir, proyectos de gran envergadura ingresados y aprobados[42] por el SEIA que correspondan a rubros de prioridad alta, de acuerdo a la priorización de rubros que se llevó a cabo durante el presente Estudio. Se priorizaron las tecnologías de almacenamiento utilizadas para:

- Hidrocarburos (combustibles, lubricantes, otros).

[42] Que iniciaron su tramitación ambiental bajo el nuevo Reglamento del SEIA (Dto. 40/2013).

- Solventes.
- Otras sustancias orgánicas de interés.

Para la identificación de tipos de almacenamiento utilizados a nivel internacional se realizó una revisión documental, determinando las BAT y Técnicas de Control de emisiones asociadas al almacenamiento y transferencia de estas sustancias. Los principales documentos de referencia utilizados son los publicados por la US-EPA, *Environment Canada* y la Comisión Europea (CE). Se utilizó principalmente la información establecida en el documento *"Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage"*, de la CE, publicado en 2006, debido a que era la información más reciente y completa para la identificación de los tipos de almacenamiento y medidas de control. Lo anterior se complementó con información obtenida del documento *"Best available techniques to reduce emissions from refineries"* (Concawe, 1999).

5.14 Identificación de Tipos de Control Disponibles y Eficiencias de Abatimiento

Se realizó una revisión de bibliografía especializada en Ingeniería de Procesos la que se detalla en **REFERENCIAS** (capítulo 8) del presente documento. Para establecer eficiencias de abatimiento y remoción de COVs aplicables a los rubros priorizados y a los métodos de estimación de emisiones de COVs, COPs y BETX se realizó una revisión de publicaciones internacionales para la elaboración de inventarios de emisiones, especialmente la Guía EMEP/EEA, Air Pollutant Emission Inventory Guidebook (2019).

Se determinaron eficiencias de remoción asociadas a las metodologías de estimación de emisiones aplicables a los rubros y/o establecimientos identificados[43].

5.15 Realización de Recomendaciones y Procedimientos Normados para Evitar Emisiones

Se realizó una revisión del documento *"Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage"*, de la Comisión Europea (CE), de 2006, con el fin de determinar procedimientos y recomendaciones que permitan evitar la generación de emisiones de COVs provenientes de fuentes no puntuales y procesos distintos de la combustión,

[43] La identificación de técnicas, tecnologías y/o medidas de abatimiento realizada como parte de la revisión bibliográfica no implica que toda la información contenida en el informe pueda aplicarse directamente a los métodos de estimación de emisiones ni al formulario de estimación de emisiones. Se debe tener en cuenta que las metodologías de estimación utilizan simplificaciones y supuestos que permiten que sean aplicables a una mayor cantidad de situaciones y contextos, no abordando todas las posibilidades en términos de mitigación y remoción de emisiones que pueden existir en la literatura especializada.

principalmente, el almacenamiento de diversas sustancias, transferencias de materiales y uso de solventes.

5.16 Desarrollo de Formulación de de Estimación de Emisiones

Se desarrolló un catastro de la información requerida por parte de los regulados para la estimación de emisiones a partir de la adaptación de metodologías internacionales de estimación de emisiones. La información se clasificó en diversas categorías a partir de la revisión de los métodos de estimación de emisiones propuestos. Adicionalmente, se diseñaron procesos lógicos mediante diversas categorías para minimizar errores en el ingreso de datos al Formulario de Declaración por parte de los usuarios. Este proceso se basó principalmente en la experiencia del equipo consultor en el desarrollo de sistemas similares.

5.17 Elaboración de Bases de Datos para Formulario de Declaración de Emisiones

Se elaboraron bases de datos para factores de emisión, parámetros de cálculo para la estimación de emisiones por almacenamiento de sustancias orgánicas y eficiencias de remoción de contaminantes que aplican a los métodos de cálculo de definidos para cada rubro y/o actividad económica. Las bases de datos se presentan en **Anexos 2 y 3** asociados a este documento en formato digital.

5.18 Aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones

Se realizó una aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones en Establecimientos de la zona prioritaria mediante el envío de una herramienta diseñada en formato xls. Esta herramienta fue distribuida por el MMA, con el fin de recibir observaciones y comentarios.

Se diseñó y desarrolló un Formulario de Declaración de Emisiones un Formulario de Declaración de Emisiones en Formato Excel. El formulario comprende las siguientes categorías de información:

- Identificación y Clasificación del Establecimiento.
- Caracterización de Fuentes de Emisión.
- Método y Formato de Estimación de Emisiones Aplicable.
- Niveles de Actividad para la Producción y/o Procesamiento.
- Otras Variables Requeridas en los métodos de cálculo (Transferencia y Almacenamiento de Sustancias Orgánicas)
- Medidas de Abatimiento y Eficiencias de Remoción

- Factores de Emisión Aplicables.
- Estimación de Emisiones.

5.19 Procedimiento de Validación de Niveles de Actividad

Se elaboró un procedimiento de verificación para la estimación de emisiones de manera agregada utilizando diferentes fuentes de información. Los procedimientos se establecieron con el objetivo de permitir la realización de chequeos cruzados de la información ingresada por los usuarios, principalmente niveles de actividad y características de las fuentes no puntuales de emisión. Se planteó por parte de la contraparte técnica del Estudio que los procedimientos para el chequeo cruzado de información utilicen información pública proveniente de sitios web de diferentes organismos del Estado o información proveniente de los mismos establecimientos, pero que pueda ser obtenida por instancias diferentes a la declaración de emisiones para fuentes no puntuales y procesos distintos a la combustión.

6. RESULTADOS

6.1 Materias Primas y Productos Potencialmente Emisores

6.1.1 Materias Primas Generadoras de COVs

Se han identificado diversas materias primas que potencialmente podrían generar emisiones de COVs, COPs y BETX en las actividades relacionadas a su procesamiento, manipulación y/o almacenamiento a nivel industrial. En Tabla 9 se presenta una lista abreviada de las materias primas identificadas.

Tabla 9. Materias Primas Identificadas

Subsector	Rubro	Materia prima
Minería (B5; B6; B7; B8)	Extracción de carbón de piedra y lignito (B5)	Diésel, gasolina y otros combustibles fósiles utilizados en vehículos de carga y maquinaria. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
	Extracción de petróleo crudo y gas natural (B6)	
	Extracción de minerales metalíferos (B7)	
	Extracción de otras minas y canteras (B8)	
Industria alimentaria y agropecuaria (C10; C11)	Elaboración de productos alimenticios (C10)	Grasas y aceites animales y vegetales, carne, pescado, crustáceos y moluscos procesados, frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos, productos lácteos, El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
	Elaboración de bebidas (C11)	Azúcar, cereales, frutas y vegetales, pulpas de fruta, saborizantes, preservantes y colorantes. No se identifican emisiones significativas de COVs.
Industria Manufacturera (C12; C13; C14; C15)	Elaboración de productos de tabaco (C12)	Tabaco procesado. No se identifican emisiones significativas de COVs.
	Fabricación de productos textiles (C13)	Algodón, fibras textiles de algodón y sintéticas, hilos, telas, lanas, seda, nylon, polímeros varios. No se identifican emisiones significativas de COVs.
	Curtido y recurtido de cueros; fabricación de calzado y otros (C15)	Pieles de animales, formaldehído, tolueno, metanol, isopropanol y etanol. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
Industria de Madera y Papel (C16; C17)	Fabricación de la madera y fabricación de productos de madera (C16)	Madera, aserrín, adhesivo resinoso, pesticidas y retardantes de fuego. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón (C17)	Madera, NaOH, Na_2S, O_2, O_3, ClO_2, blanqueadores. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
Imprentas (C18)	Actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales. Puede incluir el etiquetado de envases en los casos en los que haya uso de tinta en base a solventes orgánicos (C18)	Tintas (disolventes orgánicos), diluyentes, limpiadores y humectadores de tinta. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
Industria Petroquímica (C19)	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles (C19)	Hulla bituminosa, Petróleo crudo, GNL, GLP. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
Industria Química (C20)	Fabricación de sustancias y productos químicos (C20)	Solventes orgánicos clorados, aromáticos, alcoholes, cetonas, alcanos y otros como el ácido acético, dimetilformamida El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
		Poliestireno o poliuretano, pentano, butano HFCs y

Subsector	Rubro	Materia prima
		HCFCs. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
		Asfalto. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
		HC, disolventes: metanol, tolueno, acetona, etanol, dicloruro de metano. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
		Sólidos, aglutinantes (resinas), solventes (hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, ésteres, cetonas y ésteres y éteres-ésteres de etileno y propilenglicol) y aditivos. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
		HC, metanol, dióxido de sulfuro, o-xileno. naftaleno y precursores de polímeros como propileno, etileno, benceno, estireno, butadieno, cloruro de vinilo, dicloruro de etileno, solventes. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
Industria Farmacéutica (C21)	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y otros (C21)	Ingredientes activos, excipientes, sustancias químicas varias. No se identifican emisiones significativas de COVs.
Industria del Caucho y el Plástico (C22)	Fabricación de productos de caucho y de plástico (C22)	Derivados del petróleo crudo, desechos plásticos recuperados, etileno, propileno, otros polímeros. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
Industria de Procesamiento de Minerales No Metálicos (C23)	Fabricación de otros productos minerales no metálicos (C23)	A Las principales materias primas corresponden rena, sosa, cal, colorantes, calcín, no generándose emisiones de COVs, COPs y/o BETX a partir de estos. La industria también utiliza aglutinantes orgánicos, extractantes y solventes que podrían generar emisiones de COVs, COPs y/o BETX en su utilización, manipulación y/o almacenamiento.
Industria Metalúrgica Primaria (C24)	Fabricación de productos metalúrgicos básicos (C24)	Hulla bituminosa, hierro y minerales no procesado o sin refinar, extractantes, solventes, floculantes y colectores orgánicos para la minería. No se identifican emisiones significativas de COVs.
Industria Metalúrgica Secundaria (C25)	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (C25)	Las principales materias primas corresponden a metales procesados y/o refinados en diversos formatos, no generándose emisiones de COVs, COPs y/o BETX a partir de estos.
Otras Industrias de Manufactura (C31; C32; C33)	Fabricación de muebles, colchones y somieres (C31)	Maderas tratadas, cepilladas, pinturas, lacas, colas y barnices. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
	Otras industrias manufactureras (C32)	Maderas, plásticos, pinturas, lacas, colas y barnices. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
	Instalación, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo (C33)	La industria utiliza lubricantes, aceites y grasas industriales. podrían generar emisiones de COVs, COPs y/o BETX en su utilización, manipulación y/o almacenamiento.
Industria Energética (D)	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado (D35)	Carbón, hulla bituminosa, nafta, diésel, gas natural, GLP. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs, las que son relativamente menores, con aquellas derivadas de los procesos de combustión.
Industria Sanitaria (E)	Evacuación y tratamiento de aguas residuales (37)	Aguas servidas, floculantes, coagulantes, productos químicos para regular el pH. El proceso genera

Subsector	Rubro	Materia prima
		emisiones fugitivas de COVs.
	Tratamiento y disposición de residuos sólidos (E38)	Residuos Sólidos El proceso genera emisiones fugitivas de COVs. En algunos casos podrían generarse emisiones de COPs.
	Tratamiento y disposición de residuos peligrosos (E3812)	Residuos inflamables, tóxicos, corrosivos y/o reactivos. El tratamiento de Residuos Peligrosos no debería generar COVs, COPs y/o BETX en procesos distintos a la combustión, gasificación o incineración.
Transporte y Almacenamiento (H)	Almacenamiento y actividades complementarias al transporte (H52)	Diésel, gasolina, gas licuado de petróleo, Aceites lubricantes, parafina sólida, estireno, isopropanol, metanol, xileno, tolueno, acetato de vinilo, acetona, metil etil cetona, fenol, acrilato de butilo, gasolina, diésel, fuel oil y otros hidrocarburos. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.

La lista de Materias Primas, Productos Intermedios y/o Finales identificados se presentan en **Anexo 2** asociado a este documento en formato digital.

6.1.2 Productos Intermedios o Finales generadores de COVs

Se han identificado diversos Productos Intermedios y/o Finales que potencialmente podrían generar emisiones de COVs, COPs y BETX en las actividades relacionadas a su manipulación y/o almacenamiento a nivel industrial (descartándose el análisis de generación de emisiones en el uso de los productos a nivel doméstico). En Tabla 10 se presenta una lista abreviada de los productos intermedios y/o finales identificados.

Tabla 10. Productos Intermedios y/o Finales Identificados

Subsector	Rubro	Productos Intermedios	Productos finales
Minería (B5; B6; B7; B8)	Extracción de carbón de piedra y lignito (B5)	Gas grisú (metano). El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.	Carbón piedra, carbón lignito. No se identifican emisiones significativas de COVs.
	Extracción de petróleo crudo y gas natural (B6)	Gas Natural y GLP. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.	Petróleo crudo y gas natural, GLP y derivados de los hidrocarburos. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
	Extracción de minerales metalíferos (B7)	-	Minerales chancados de: hierro, metalíferos ferrosos y no ferrosos, uranio y torio, oro y otros metales preciosos, níquel. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
	Extracción de otras minas y canteras (B8)	-	Piedra, arcillas, arenas, áridos, cal, yeso, caolín, bentonitas, esmeraldas y piedras preciosas, sales, minerales para abonos y productos químicos (salitre), turba y otros minerales no metálicos. No se identifican emisiones significativas de COVs.
Industria alimentaria y agropecuaria (C10; C11)	Elaboración de productos alimenticios (C10)	-	Grasas y aceites animales y vegetales, carne, pescado, crustáceos y moluscos procesados, frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos, productos lácteos, productos de molinería, almidones y productos derivados del almidón, azúcar refinada, productos de panadería, cacao, chocolate y productos de confitería,

Subsector	Rubro	Productos Intermedios	Productos finales
			macarrones, fideos, alcuzcuz y productos farináceos similares, alimentos para animales. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
	Elaboración de bebidas (C11)	-	Bebidas alcohólicas (cervezas, malteadas, vinos, espumantes, licores y destialdos) y bebidas analcohólicas (gaseosas, jugos, aguas minerales, entre otras). El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
Industria Manufacturera (C12; C13; C14; C15)	Elaboración de productos de tabaco (C12)	-	Tabaco, cigarrillos. No se identifican emisiones significativas de COVs.
	Fabricación de productos textiles (C13)	-	Productos textiles y prendas de vestir, tapices, alfombras, cuerdas, cordeles, redes y otros artículos textiles. No se identifican emisiones significativas de COVs.
	Curtido y recurtido de cueros; fabricación de calzado y otros (C15)	-	Pieles curtidas, cueros, calzado, prendas de vestir, bolsos, carteras y otros productos de cuero. No se identifican emisiones significativas de COVs.
Industria de Madera y Papel (C16; C17)	Fabricación de la madera y fabricación de productos de madera (C16)	-	Madera aglomerada, cepilladas, enchapadas, tableros de madera, madera seca, pellets de madera, productos en base a maderas. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón (C17)	Celulosa, licor negro, Na_2S, NaOH, Trementina	Pulpa de Celulosa, Papel, Cartón y derivados del Papel y Cartón. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
Imprentas (C18)	Actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales (C18)	-	Material gráfico. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
Industria Petroquímica (C19)	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles (C19)	Alquitrán, amoníaco, fenol, naftaleno, aceite ligero y azufre; Ácido sulfhídrico, crudo reducido, metano	Coque, gas de coque; Asfalto, aceites lubricantes, aceites minerales, aquilato, butano, ceras de petróleo, coque de petróleo, diésel, etano, fueloil, gasoil, gasolina, GLP, queroseno doméstico y de aviación nafta, otros hidrocarburos. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
Industria Química (C20)	Fabricación de sustancias y productos químicos (C20)	-	Acrilonitrilo, amoniaco, anhídrido ftálico, estireno, copolímeros de estireno-butadieno, etilbenceno, formaldehído, grafito, negro de carbón, policloruro de vinilo, poliestireno, polietileno, polipropileno, resinas de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.
			Espuma de poliestireno o poliuretano. No se identifican emisiones significativas de COVs.
			Asfalto soplado. No se identifican emisiones significativas de COVs.
			Productos farmacéuticos. No se identifican emisiones significativas de COVs.
			Pinturas a base de alquídicos o látex. No se identifican emisiones significativas de COVs.
			Espuma de poliestireno o poliuretano
Industria Farmacéutica	Fabricación de productos	-	Productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso

Subsector	Rubro	Productos Intermedios	Productos finales
(C21)	farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y otros (C21)		farmacéutico. No se identifican emisiones significativas de COVs.
Industria del Caucho y el Plástico (C22)	Fabricación de productos de caucho y de plástico (C22)	-	Sustancias y Productos Químicos Básicos, Plásticos en formas primarias, caucho sintético en forma primaria.
Industria de Procesamiento de Minerales No Metálicos (C23)	Fabricación de otros productos minerales no metálicos (C23)	-	Vidrios planos, vidrio para envases, vidrios especiales, lana de vidrio, fibras de filamentos continuos, vidrio soluble y vajillas; cerámicas refractarias; porcelana, cal, yeso, hormigón, cemento, productos de piedra tallada y/o tratada. No se identifican emisiones significativas de COVs.
Industria Metalúrgica Primaria (C24)	Fabricación de productos metalúrgicos básicos (C24)	Coque, Concentrado de minerales metálicos	Hierro y acero, Concentrados de minerales metálicos; metales refinados (cátodos, láminas, lingotes, otros formatos). No se identifican emisiones significativas de COVs.
Industria Metalúrgica Secundaria (C25)	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (C25)	-	Productos metálicos para uso estructural, tanque, recipientes y depósitos metálicos, metales forjados, laminados, artículos elaborados a partir de productos de la metalurgia primaria, armas, maquinaria, metales tratados, revestidos y/o galvanizados. No se identifican emisiones significativas de COVs.
Otras Industrias de Manufactura (C31; C32; C33)	Fabricación de muebles, colchones y somieres (C31)	-	Muebles, Colchones y Somieres. No se identifican emisiones significativas de COVs.
	Otras industrias manufactureras (C32)	-	Joyas, instrumentos musicales, juguetes, instrumentos y materiales médicos, otros productos no clasificados anteriormente. No se identifican emisiones significativas de COVs.
	Instalación, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo (C33)	-	Servicios de reparación y mantenimiento de maquinaria y equipo. No se identifican emisiones significativas de COVs.
Industria Energética (D)	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado (D35)	Energía eléctrica, calor, vapor	Energía eléctrica, calor, vapor. No se identifican emisiones significativas de COVs.
Industria Sanitaria (E)	Evacuación y tratamiento de aguas residuales (37)	Lodos primarios y secundarios	Agua Residual Tratada, Biogás, Lodos, lodos digeridos y/o estabilizados. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs
	Tratamiento y disposición de residuos sólidos (E38)	-	Residuos Sólidos Tratados, Biogás. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs
	Tratamiento y disposición de residuos peligrosos (E3812)	-	Residuos Peligrosos Tratados
Transporte y Almacenamiento (H)	Almacenamiento y actividades complementarias al	-	Servicios de Transporte y Almacenamiento. El proceso genera emisiones fugitivas de COVs.

Subsector	Rubro	Productos Intermedios	Productos finales
	transporte (H52)		

La lista de Materias Primas, Productos Intermedios y/o Finales identificados se presenta en el **Anexo 2** asociado a este documento en formato digital.

6.1.3 Fuentes No Puntuales, Procesos, Acciones u otros que generan emisiones de COVs, COPs y BETX

En el transcurso del presente Estudio se identificó que en la legislación nacional no existe una definición para el término "Fuente No Puntual". Por lo anterior, a partir de una revisión bibliográfica se ha propuesto una definición que se enfoca principalmente en las emisiones de COVs, incluyendo fuentes de emisión que en algunas definiciones se consideran como "puntuales" y en otras se consideran como "areales". En general, los procedimientos para la determinación de fuentes puntuales están mucho más avanzados que aquellos para la determinación de fuentes de área.

Para fines del presente Estudio se definirá "Fuentes No Puntuales" aquellas instalaciones o actividades industriales que generan emisiones a la atmosfera no conducidas por un ducto o chimenea, mediante procesos distintos a la combustión, tales como: procesos industriales, fugas, almacenamiento de materias primas o productos, procesos de venteo y/o sistemas de ventilación, tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales.

La identificación de fuentes no puntuales se realizó mediante una revisión bibliográfica de procesos industriales y operaciones unitarias de diversos rubros y empresas, recopilando información sobre el uso de materias primas, productos intermedios y/o finales e identificando, además, las principales emisiones generadas en cada sector o rubro, incluyendo aquellas emisiones que no corresponden necesariamente a COVs, COPs y BETX, tales como MP, NO_X, SO_2, entre otros compuestos, con el fin de determinar la importancia relativa de los diferentes tipos de contaminantes atmosféricos en dichas actividades.

6.1.3.1 Minería (B5; B6; B7; B8)

i. Extracción de carbón de piedra y lignito (B5)

La extracción y tratamiento de carbón resulta principalmente en emisiones de metano. Sin embargo, también se emiten COVNMs, material particulado y CO_2. Durante la extracción de carbón, se pueden identificar los siguientes procesos relacionados con la liberación de metano:

- Desarrollo del acceso al depósito de carbón y su preparación para la extracción;
- Extracción y transporte de carbón en la superficie;

- Procesamiento, eliminación, transporte y trituración del carbón antes del uso final;
- Proceso de desmetanización antes, durante y después de la excavación;
- Eliminación de los escombros del sistema de extracción de carbón.

El aire que contiene metano generalmente se emite a la atmósfera, debido a que su uso como combustible o con fines de combustión no es económicamente viable, por la alta dilución del gas. Las emisiones de metano se estiman de acuerdo a las directrices del IPCC. Las emisiones de COVNMs no son significativas en esta actividad (EEA, 2019).

ii. Extracción, procesamiento y distribución de petróleo crudo y gas natural (B6)

La extracción de combustibles fósiles líquidos y gaseoso en Chile es bastante acotada, por lo que esta sección se enfoca en las operaciones de procesamiento y distribución.

Un terminal de gas recibe gas por ductos y acondiciona el gas para exportarlo a una red de distribución. El acondicionamiento del gas incluye separación, eliminación de CO_2 y H_2S, incineración de sulfuro de hidrógeno, alivio de presión y sistemas de purga. El transporte de gas, como de crudo normalmente se hace por ductos, naves y otros vehículos de carga. El gas natural también puede transportarse en forma licuada (GNL), en cuyo caso se carga y descarga en terminales especialmente diseñados para estos fines. Los sistemas de almacenamiento usualmente funcionan a altas presiones. Tanto en los sistemas de almacenamiento, como de distribución ocurren pérdidas de diferentes maneras. Las pérdidas más comunes se deben a: purgas de secciones de tubería y equipos, puesta en servicio, fallas, desmantelamiento y mantenimiento.

- **Principales emisiones:** las emisiones de las instalaciones de petróleo y gas se deben a venteos y pérdidas o emisiones fugitivas. También ocurre una evaporación desde aguas residuales o contaminadas. Los venteos son una liberación deliberada, controlada y directa de gas desde diversos procesos a la atmósfera. Generalmente, los venteos están asociados a sistemas de alivio de presión y purga para garantizar operaciones seguras. Las emisiones por venteos pueden reducirse quemando (incinerando) el gas. Esto es deseable desde un punto de vista ambiental, ya que uno de los principales constituyentes del gas natural, el metano, es un GEI con un Potencial de Calentamiento Global (PCG) mayor al CO_2. La instalación de sistemas de recuperación para respiraderos atmosféricos también es una posibilidad. El gas recuperado puede exportarse, utilizarse en plataformas o reinyectarse. Se puede utilizar nitrógeno como gas de purga en lugar de hidrocarburos. Las emisiones

fugitivas surgen de varias fuentes, en particular de las fugas de gas a través de los sellos, válvulas y bridas de los compresores.

Las emisiones en el transporte y almacenamiento de crudo ocurren principalmente en operaciones de carga y descarga, en las que el vapor de los hidrocarburos es desplazado por la fracción líquida. La cantidad de emisiones dependerá de:

- El movimiento de la embarcación: cuanto mayor es el movimiento, mayores son las emisiones;
- La presión de vapor del crudo;
- Temperatura del crudo: la temperatura debe ser lo más baja posible;
- Tasa de carga en cada tanque: cuanto mayor es la tasa de carga, menores son las emisiones;
- Método de carga - carga por salpicadura, sumergida o por el fondo;
- Geometría de los tanques: cuanto mayor es el área de superficie a volumen, mayores son las emisiones;
- Atmósfera del tanque;
- Procedimientos de lavado.

La descarga en sí misma es una fuente menor en comparación con la carga de los estanques, los procedimientos de descarga pueden influir en las emisiones durante la carga.

- **Principales emisiones:** los principales contaminantes atmosféricos emitidos en el transporte y almacenamiento de crudo son: CO_2, CH_4, etano (C_2H_6), Propano (C_3H_8), 2-metilpropano (C_4H_{10}), butano (C_4H_{10}), 2,2-dimetilpropano (C_5H_{10}), 2-metilbutano (C_5H_{12}), pentano ($C5H_{12}$) y H_2S (EEA, 2019).

iii. Extracción de minerales metalíferos (B7) y Extracción de otras minas y canteras (B8)

La minería de minerales metalíferos y la extracción de otras minas y canteras incluye actividades comunes como la voladura, el transporte y la trituración de materiales. En el caso de la minería del cobre, los minerales se clasifican en dos grupos minerales oxidados y azufrados. Los minerales se trituran o se someten a un chancado o molienda.

- **Principales emisiones:** las emisiones de mayor importancia en la explotación de minerales metalíferos, otras minas y canteras son las PTS, MP_{10} y $MP_{2,5}$. No siendo significativas las emisiones de COVs, COPs y/o BETX (EEA, 2019).

6.1.3.2 Industria Alimentaria y Agropecuaria (C10; C11)

i. Elaboración de productos alimenticios (C10) y Elaboración de bebidas (C11)

En estas industrias se incluyen productos tales como: pan, azúcar, harina, carnes, pescado, productos alimenticios elaborados, vinos, cervezas y licores (destilados), entre otros. La fabricación de alimentos incluye todos los procesos de la cadena productiva que ocurren después del faenamiento de animales y la cosecha de cultivos agrícolas. La fabricación de alimentos puede implicar la cocción o calentamiento de grasas y aceites y de los productos alimenticios que los contienen: la cocción de cereales, harinas y legumbres, la fermentación en la elaboración de pan, la cocción de verduras y carnes y el secado de residuos. Estos procesos pueden ocurrir en fuentes que varían en tamaño, desde pequeñas instalaciones hasta plantas industriales de gran tamaño. En el caso de la elaboración de bebidas alcohólicas, el azúcar se convierte en etanol mediante la levadura, este proceso se denomina fermentación. El azúcar proviene de frutas, cereales u otros vegetales. Para la fabricación de licores, el líquido fermentado se destila. Las bebidas alcohólicas, especialmente las bebidas espumantes y el vino, pueden almacenarse durante varios años antes de su consumo.

- **Principales emisiones:** en la industria de alimentos y bebidas alcohólicas las emisiones de COVNMs se estiman de manera general, por lo que no se identifican compuestos específicos para este sector. Las emisiones de COVs ocurre durante las siguientes etapas en la elaboración de productos alimenticios:
  - Cocción de carne, pescado y aves, liberando principalmente grasas y aceites y los productos de su degradación;
  - Procesamiento de la remolacha azucarera y refinación del azúcar;
  - Procesamiento de grasas y aceites para producir margarina y manteca para cocinar;
  - Cocción de pan, bizcochos y cereales para el desayuno;
  - Procesamiento de subproductos cárnicos y vegetales para producir alimentos para animales;
  - Tostado de granos de café.

En el caso de la elaboración de bebidas alcohólicas las emisiones pueden ocurrir durante cualquiera de las cuatro etapas involucradas en la producción de una bebida alcohólica.

- Durante la preparación de materias primas, las emisiones más importantes parecen ocurrir durante el tostado de cereales y el secado de residuos sólidos.
- Durante la fermentación, el alcohol y otros COVNMs se producen junto con el dióxido de carbono que escapa a la atmósfera. En algunos casos, el dióxido de carbono puede recuperarse, reduciendo como resultado la emisión de COVNMs.
- Durante la destilación de los productos de fermentación se producen emisiones, pero no se dispone de suficiente información. Las pérdidas ocurren como resultado de un mal mantenimiento y el uso de equipamiento en malas condiciones.
- Durante la maduración, los COVNMs se evaporan de la bebida almacenada. La masa de emisión será proporcional a la duración del período de maduración.

6.1.3.3 Industria Manufacturera (C12; C13; C14; C15)

i. Elaboración de productos de tabaco (C12); Fabricación de productos textiles (C13); Confección de prendas de vestir (C14)

La industria manufacturera cubre diversas actividades. No obstante, su contribución a los inventarios de emisión por procesos distintos a la combustión es poco significativa, es decir, menos del 1% de las emisiones de los contaminantes a nivel nacional en los inventarios de emisiones (EEA, 2019). Por lo anterior, no se consideran fuentes no puntuales, ni emisiones COVNMs relevantes en este rubro.

ii. Curtido y recurtido de cueros; fabricación de calzado y otros (C15)

En la curtiembre las pieles son sometidas a diversas operaciones fisicoquímicas que permiten obtener el cuero curtido. En general las operaciones unitarias de las curtiembres son: Preparación de la piel; Remojo; Apelambrado o depilado; Descarnado; Desencalado; Purga y Piquelado. Las emisiones en la curtiembre se producen por el uso de solventes halogenados y no halogenados y disolventes para las operaciones de eliminación de grasas y acabados. Algunos de los productos químicos utilizados en esta industria son: formaldehído, tolueno, metanol, isopropanol y etanol (para emisiones por uso de solventes y disolventes ver sección industria química).

6.1.3.4 Industria de Madera y Papel (C16; C17)

i. Transformación de la madera y fabricación de productos de madera (C16)

La mayoría de los COVs emitidos en la industria forestal corresponden a compuestos provenientes de la madera, los cuales varían dependiendo de la especie de árbol, la edad y el origen la estación del año de la extracción del árbol. Incluso varían entre especímenes de las mismas características y dentro del mismo árbol. La emisión de COVs ocurre cuando el bosque aún está en pie durante todo su proceso de crecimiento, sin embargo, cuando la madera se seca previamente, para las diferentes aplicaciones, las emisiones se incrementan en forma significativa.

- **Aserraderos y fabricación de madera elaborada:** las maderas aglomeradas y tableros se fabrican a partir de astillas, chips, virutas, fibras, trenzas o láminas que conforman un conglomerado. Las partículas se producen por corte, ruptura o fricción. Luego se someten a un proceso secado dependiendo de la humedad inicial, exponiendo las partículas a una corriente de aire caliente. Posteriormente, viene una etapa de mezclado en donde se utiliza un adhesivo o pegamento que utiliza resinas, añadiendo también pesticidas y retardantes del fuego. El uso de resinas Urea-Formaldehído (UF) produce liberación de gases. Las emisiones en este rubro corresponden a formaldehído, el que se controla empleando extracción forzada y ventilación.

- **Secado de la madera:** muchos de los compuestos orgánicos volátiles de las maderas de coníferas corresponden a las familias de los terpenos (C10), sesquiterpenos (C15) y diterpenos (C20). De estos los de mayor interés por su alta volatilidad son los monoterpenos. Algunos ejemplos de monoterpenos son el α-pineno, β-pineno, canfeno, β-mirceno, 3-careno, limoneno, β-felandreno y acetato de borilo. En el caso de los árboles latifoliados también dominan los triterpenos y esteroles. Estos compuestos se emiten durante el secado de la madera bajo condiciones ambientales normales o cuando se la seca artificialmente por calentamiento. En este último caso la emisión de COVs es mayor e incluso se han encontrado en los vapores emitidos producto del secado, compuestos COVs que no estaban originalmente en la madera. Por ejemplo, la transformación por un mecanismo de oxidación del alfa-pineno por el oxígeno del aire a compuestos aromáticos con aldehídos, cetonas y grupos hidroxilos, tales como verbenol, verbenona, 3-pineno-2-ol, mirtenol y mirtenal (Kåre A Eriksson, 1996).

- **Fabricación de tableros:** se han podido detectar en los vapores, producto del secado de madera, compuestos dañinos para la salud. Entre éstos, metanol, acetaldehído, formaldehido en cantidades que varían entre 0,3 a 0,8 kg/t de tableros, siendo los dos últimos compuestos los predominantes en el caso de tableros OSB[44] (por su sigla en inglés). Además, se han identificado emisiones de monoterpenos en aserraderos. Por otra parte, en el almacenamiento de tableros se emiten compuestos como las terpenos, aldehídos, alcoholes y cetonas. Adicionalmente a las emisiones de compuestos volátiles de la madera, en esta industria se usan adhesivos como la urea-formaldehido y fenol-formaldehido.
- **Producción y almacenamiento de pellets de madera:** cuando estos pellets son almacenados a granel en bodegas cerradas y poco ventiladas, después de su producción, se emiten algunos COVs siendo el hexanal, un aldehído de bajo peso molecular que se emite en mayores concentraciones. En bodegas de almacenamiento de pellets también se ha registrado la presencia de aldehído, hexanal, pentanal, acetona y metanol. En el caso del almacenamiento a granel, la madera triturada hasta el nivel de serrín o con aserrín residual de otras actividades se seca y, a través de una máquina peletizadora en base a presión y temperatura, se comprime el aserrín en caliente para formar los pellets de dimensiones determinadas. El secado previo se hace para aumentar el poder calorífico y para disminuir las emisiones de MP a la atmósfera derivado de la combustión. El peletizado permite incrementar la densidad del aserrín y controlar la combustibilidad de los pellets. Durante las etapas de secado de la madera, del peletizado en caliente y en el almacenamiento a granel de los pellets aún calientes, se emiten una serie de compuestos orgánicos volátiles, principales de las familias de mono, di y triterpenos, los que por reacciones fotoquímicas posteriores producen otros agentes oxidantes, que dependiendo de las concentraciones a la que puedan llegar, pueden causar daños al sistema respiratorio.

- **Principales emisiones:** las principales emisiones en la industria de la transformación de la madera y fabricación de productos de madera son: terpenos, formaldehído, aldehído, hexanal (aldehído), cetonas y metanol.

ii. Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón (C17)

[44] Oriented Strand Board (tablero de virutas orientadas).

La celulosa es la materia prima del papel. El proceso de celulosa consiste en separarla eficientemente de las hemicelulosas, lignina y otros materiales presentes. El proceso básico consiste en tratar las astillas en un digestor con licor blanco a alta temperatura (aproximadamente 170° C) y presión (7,5 kg/cm^2). Las principales emisiones atmosféricas de la industria de la celulosa son los compuestos azufrados (H_2S, CH_3SH, CH_3-S-CH_3 y CH_3-S-S-CH_3), los que normalmente son retornados a los sistemas de recuperación química o quemados en calderas.

La producción de pulpa y papel consta de tres pasos principales de procesamiento: pulpa, blanqueo y producción de papel. El tipo de pulpa y la cantidad de blanqueador utilizado depende de la naturaleza de la materia prima y las cualidades deseadas del producto final.

La fabricación de pulpa Kraft (sulfato) es el proceso de fabricación de pulpa más utilizado y se utiliza normalmente para producir productos de papel resistentes. El proceso de fabricación de pulpa Kraft incluye la digestión de la madera (u otros materiales que contienen celulosa) en una solución acuosa de sulfito de sodio e hidróxido de sodio, lavado de la pulpa, blanqueo, recuperación química y recuperación de subproductos.

Las principales operaciones en el proceso de pulpa Kraft son:

- **Descortezado, astillado y cribado:** se usan técnicas de descortezado húmedo o seco cuando se descorteza la madera.
- **Digestión:** las astillas de madera se cuecen en un digestor con licor blanco, una mezcla de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na_2S). Hay dos tipos de sistemas de digestión: por lotes (*batch*) y continuos. Una vez que se completa la cocción en un proceso por lotes o continuo, la mezcla química (licor negro) y la pulpa se descargan en un tanque de soplado, un recipiente de baja presión. Los vapores del tanque de soplado se pueden ventilar a un acumulador o una esfera de vapor para su recolección. Los vapores pueden incinerarse, separarse o recuperarse como trementina o aceite de resina.
- **Lavado:** la pulpa del tanque de soplado se lava para eliminar el licor negro. Hay varios tipos de equipos de lavado, que incluyen vacío a contracorriente, difusión, presión rotatoria, filtros de banda horizontal, lavadoras químicas, prensa de lavado y dilución/extracción. El licor negro extraído de este proceso se diluye con agua de lavado, por lo que se denomina licor negro débil.

- **Deslignificación:** se realiza en el digestor. Sin embargo, se pueden lograr reducciones adicionales de lignina mediante deslignificación con oxígeno y/o blanqueo con ozono.
- **Blanqueamiento:** la pulpa se produce en forma de lechada después de la eliminación de los productos químicos de cocción usados y los orgánicos de madera disueltos. Posteriormente, se usa blanqueador para eliminar lignina y hacer que la pulpa sea más blanca. El blanqueo generalmente se realiza en diferentes pasos utilizando una combinación de dióxido de cloro y productos químicos en base a oxígeno.
- **Producción de trementina:** los vapores descargados del digestor contienen hasta aproximadamente 6 kg de trementina por tonelada de pulpa, dependiendo de la especie de madera y las condiciones de cocción. Estos vapores normalmente se condensan como parte del sistema de control de olores. La trementina tiene un peso específico diferente al del agua, por lo que puede decantarse o recuperarse mediante otros procesos basados en diferencias de densidad. La trementina recuperada suele ser comercializada o se utiliza como combustible en el mismo establecimiento.
- **Recuperación química:** las funciones principales del sistema de recuperación Kraft son: convertir compuestos de azufre en el licor negro en Na_2S; regenerar NaOH; generar vapor a partir de la combustión de compuestos orgánicos.

- **Principales emisiones:** las emisiones de la producción de papel y pulpa incluyen COVNMs, dióxido de azufre (SO_2), material particulado (MP), óxidos de nitrógeno (NO_X) y monóxido de carbono (CO). Las emisiones COVNMs se estiman de manera general, por lo que no se identifican compuestos específicos para este sector. Sin embargo, en base a la experiencia de los consultores en esta industria se puede establecer que algunos COVs de importancia generados en este proceso son: formaldehído, trementina, metanol y cloroformo.

6.1.3.5 Imprentas - Actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales (C18)

La impresión implica el uso de tintas, las que pueden contener una parte de disolventes orgánicos. Las diferentes tintas tienen diferentes proporciones de disolventes orgánicos y requieren dilución en diferentes grados. La impresión también puede requerir el uso de disolventes de limpieza y humectadores orgánicos. Los disolventes, diluyentes, limpiadores y humectadores de tinta pueden contribuir de manera significativa a las emisiones de la impresión industrial.

- **Principales emisiones:** una parte importante de las emisiones de las imprentas provienen del alcohol isopropílico (IPA[45], por su sigla en inglés) en la solución humectante y el resto de los agentes de limpieza. Las emisiones de tinta que se generan en los procesos de secado provienen de aceites con altos puntos de ebullición y, en general, son abatidas junto a las emisiones de IPA y las que se generan por el uso de agentes de limpieza. Las emisiones fugitivas de COVs provienen principalmente del uso de solventes y disolventes, principalmente IPA e isopropanol.

6.1.3.6 Industria Petroquímica (C19) - Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles

i. Fabricación de horno de coque (C1910)

La producción de coque en general se puede dividir en manipulación y almacenamiento de carbón, carga en horno de coque, coquización de carbón, extinción de coque y purificación de gas en horno de coque. Las emisiones fugitivas dan lugar a emisiones de todos los principales contaminantes, incluidos los metales pesados y COPs. La mayor parte del coque se utiliza en hornos de fundiciones de acero. El coque y los subproductos del coque (incluido el gas de los hornos de coque) se producen por pirólisis (calentamiento en ausencia de aire) de carbón. El proceso también incluye el procesamiento de gas de horno de coque para eliminar alquitrán, amoníaco (generalmente recuperado como sulfato de amonio), fenol, naftaleno, aceite ligero y azufre. Para la producción de coque, la hulla se tritura, mezcla y tamiza. El carbón se transporta al horno de coque, que es cargado por la mezcla, después de calentar durante 14 a 36 horas a 1.150-1.350° C en ausencia de oxígeno, la mezcla coquizada se extrae de las cámaras de coque en vagones especiales.

- **Principales emisiones:** las emisiones relacionadas con la producción de coque se pueden atribuir a cuatro subprocesos:
  - **Manipulación y almacenamiento de carbón:** emisión de MP;
  - **Producción y extinción de coque:** emisión de MP (polvo de coque) y gas de horno de coque;
  - **Tratamiento y purificación de gases de hornos de coque:** emisión de benceno, tolueno, xileno, fenol, HAPs, H_2S, HCN y NH_3.

[45] Isopropyl Alcohol (Alcohol Isopropílico).

- **Combustión de gas de horno de coque:** emisión de HC, SO_2, NO_X, CO, CO_2, HF y hollín.

  El gas del horno de coque puede quemarse para calentar el horno de coque, o transferirse fuera del sitio (por ejemplo, al sistema de distribución de gas natural) y usarse como fuente de energía.

ii. Fabricación de productos de la refinación del petróleo y Actividad de mezcla de combustibles (C1921; C1922)

Esta industria convierte el petróleo crudo en más de 2.500 productos refinados, incluyendo: i) combustibles líquidos (desde gasolina hasta aceite residual); ii) combustibles derivados del petróleo; iii) materias primas como asfalto, lubricantes, gases, coque; y iv) petroquímicos primarios (por ejemplo: etileno, tolueno, xileno). Las actividades de las refinerías de petróleo comienzan con la recepción de crudo para su almacenamiento en la refinería e incluyen todas las operaciones de manipulación y refinación del petróleo, terminando con el almacenamiento para la distribución de los productos refinados, e incluyendo todos los procesos de destilación a que se somete el aceite crudo, desde su separación en fracciones, hasta la obtención de combustibles como la gasolina, queroseno y gasoil (petróleo diésel).

Las principales operaciones unitarias en la refinación de combustibles son:

- **Procesos de separación:** el petróleo crudo consiste en una mezcla de hidrocarburos (parafinas, nafténicos y aromáticos) más cantidades menores de impurezas, con contenido de azufre, nitrógeno, oxígeno y metales. La primera fase en las operaciones de refinación de petróleo es la separación del petróleo crudo en fracciones mediante el punto de ebullición común utilizando tres procesos de separación de petróleo: destilación atmosférica, destilación al vacío y recuperación de extremos ligeros (procesamiento de gas).
- **Procesos de conversión:** consiste en la ruptura de enlaces C-C (*Craking*), convirtiendo las fracciones más pesadas, en fracciones más ligeras, tales como: gasolinas, diésel y otros. Los procesos de craqueo, coquización y viscorreducción rompen grandes moléculas y las convierten en moléculas más ligeras. Los procesos de polimerización y alquilación reorganizan la estructura de las moléculas de petróleo en otras más grandes. Los procesos de isomerización y reformado reorganizan la estructura de las moléculas de petróleo para producir moléculas de mayor valor y tamaño similar.

- **Procesos de tratamiento:** son procesos que estabilizan y mejoran los productos derivados del petróleo, por ejemplo, la reestructuración de las cadenas carbonadas de los hidrocarburos de la gasolina mediante el *"reforming"* o la eliminación de impurezas de los compuestos obtenidos (principalmente compuestos azufrados), con el propósito de obtener un producto de mayor calidad. La desalación se utiliza para eliminar sal, minerales, arena y el agua del crudo antes de la refinación. Los elementos indeseables como el azufre, el nitrógeno y el oxígeno se eliminan de los productos intermedios mediante hidro-desulfuración, hidro-tratamiento, edulcoración química y eliminación de gases ácidos. El desasfaltado se utiliza para separar el asfalto de otros productos.
- **Mezcla:** las corrientes de varias unidades se combinan para producir gasolina, queroseno, gasóleo y aceite residual, entre otros productos.
- **Recuperación de azufre:** este proceso se utiliza tanto en refinerías de petróleo como en plantas de procesamiento de gas natural. Convierte el subproducto de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en corrientes de gas/ácido en un producto de azufre elemental. Durante las etapas iniciales del procesamiento de gas o petróleo crudo con alto contenido de azufre, los gases de proceso y combustibles que contienen cantidades significativas de H_2S se tratan en una solución de amina pobre para absorber los componentes de sulfuro. Posteriormente, el H_2S se extrae para proporcionar un gas de alimentación a una planta de recuperación de azufre. Alternativamente, es quemado o incinerado en plantas donde no se recupera el azufre.
- **Almacenamiento y manipulación:** el almacenamiento y manipulación de crudos, productos intermedios y productos finales en una refinería es una parte del proceso de refinación. Las emisiones surgen como resultado de la evaporación de los tanques de almacenamiento y el desplazamiento de vapor durante el llenado. Los productos intermedios y finales pueden almacenarse en una variedad de tanques como:
  - Techo fijo.
  - Techo flotante externo.
  - Techo flotante interno.
  - Otros tipos de tanques, como espacio de vapor variable.

La mayoría de las emisiones de COVs por evaporación provienen de los sistemas de almacenamiento y distribución de combustibles (tanques y sistemas de distribución). Las emisiones por evaporación se producen en combustibles o hidrocarburos más ligeros como la gasolina y el queroseno. En el caso diésel y otros hidrocarburos de mayor densidad las emisiones por evaporación son menores debido a la presencia de compuestos más pesados y presiones de vapor relativamente bajas.

- **Principales emisiones:** las refinerías de petróleo crudo son fuentes de emisiones de SO_2, CH_4 y COVNMs, tales como: etano, propano y butano. También existe una generación de MP, NO_X y CO. En la mayoría de los casos, estos gases se utilizan como combustible en el propio proceso o se queman al aire libre en una antorcha.

  Las emisiones del proceso de refinación de crudo se clasifican dependiendo de si pueden monitorearse en la fuente (p.e. en una tubería de ventilación de proceso, chimenea o chimenea de una unidad de combustión), o si, sólo se pueden monitorear fuera de la fuente (p.e. tanques de almacenamiento, separadores de aceite-agua, otros). En este último caso se denominan emisiones "difusas". Las emisiones "fugitivas", se producen debido a diferencias de presión y/o venteos y son un subconjunto de las emisiones difusas.

  Las emisiones totales de COVNMs producidas en el almacenamiento de combustibles en tanques, son el resultado de dos tipos de pérdidas. El primer tipo de pérdida es la respiratoria o permanente, que, en el caso de los tanques de techo fijo, es la liberación de vapores debido a cambios en las condiciones meteorológicas como temperatura y presión, sin ningún cambio apreciable en el nivel de líquido del tanque. En el caso de los tanques de techo flotante, las pérdidas se deben a fugas de vapor a través de sellos, accesorios de techo, u otros. La mayoría de las emisiones de los tanques de techo flotante se deben a pérdidas permanentes. El segundo tipo de pérdida es la pérdida de trabajo (incluyendo las transferencias, llenados y vaciamientos). Para los tanques de techo fijo, esto se debe al desplazamiento de los vapores durante el llenado y la evaporación del producto que queda en la carcasa del tanque durante el vaciado. Para los tanques de techo flotante, la pérdida de trabajo se debe solo a la evaporación del producto que queda en la carcasa del tanque cuando el nivel del techo desciende a medida que el producto se retira del tanque.

Las emisiones de COVNMs también incluyen fuentes como válvulas de todo tipo, tuberías, bombas, sellos de compresores, dispositivos de alivio de presión, líneas o válvulas abiertas, conexiones de muestreo, entre otros dispositivos.

6.1.3.7 Industria Química - Fabricación de sustancias y productos químicos (C20) – Industria Farmaceútica (C21)

Las operaciones unitarias en la industria química, a grandes rasgos, pueden ser divididas en dos grandes grupos:

- **Almacenamiento, manipulación y transporte de sustancias químicas:** incluye todas las actividades en las que pueden ocurrir emisiones difusas, como es el caso de las pérdidas en tanques de almacenamiento, especialmente durante el llenado y respiración del tanque en periodos de cambios de temperatura, carga y descarga de contenedores, y pérdidas por evaporación en derrames.
- **Producción de sustancias químicas:** corresponde a todas las operaciones que tienen como objetivo transformar la materia prima para obtener el producto deseado. Estas pueden dividirse en tres categorías: 1) mezcla de productos químicos, 2) separación en distintos componentes (por ejemplo, el proceso de destilación) y 3) reacción química entre productos. Las emisiones de COVNMs suelen ser relevantes especialmente en industrias que utilizan procesos orgánicos en la transformación de los productos.

i. <u>Actividades que utilizan solventes industriales como agentes de limpieza</u>

Los equipos de limpieza existentes para el desengrasado y limpieza de metales con disolventes se explican en la Norma Europea EN 12921. El desengrasado industrial de metales mediante el uso de disolventes orgánicos se realiza en equipos de limpieza especialmente diseñados. El desengrasado de metales mediante el uso de disolventes orgánicos se realiza en tanques abiertos o cerrados. Las actividades que pueden generar emisiones por el uso de solventes industriales como desengrasantes son: limpiadores en frío (tintorerías), sistemas de vapor de techo abierto, desengrasantes con cinta transportadora y limpieza en equipos sellados.

Las actividades incluidas en esta categoría contribuyen con menos del 1% de las emisiones totales nacionales de cada contaminante de acuerdo los inventarios de emisiones de la EEA. Sin embargo, en algunas actividades las emisiones pueden ser significativas, en términos COVNMs. Los solventes orgánicos se dividen en las siguientes categorías:

- Clorados.

- Aromáticos.
- Alcoholes.
- Cetonas.
- Alcanos.
- Otros (ácidos acético y N,N-dimetilformamida).

Aproximadamente el 50% del uso de solventes está cubierto por compuestos clorados y aromáticos (EEA, 2019).

ii. Procesamiento de espuma de poliuretano y poliestireno

En esta industria se han utilizado históricamente CFCs, como F11, F12 y F22 para el procesamiento del poliestireno. Actualmente, estos compuestos han sido reemplazados por el Pentano. En el caso del procesamiento de poliestireno extruido se utilizan agentes de expansión, tales como butano y pentano, al igual que HFCs y HCFCs. El poliuretano se produce por reacción exotérmica de isocianatos con alcoholes. En el procesamiento de Poliestireno se utiliza Pentano. Todas las emisiones de COVNMs resultan de la liberación de agentes espumantes (pentano) durante el procesamiento, curado, moldeado y almacenamiento (EEA, 2019).

iii. Soplado de asfalto

El soplado de asfalto se utiliza para polimerizar y estabilizar el asfalto, mejorando sus características de intemperismo. Los asfaltos soplados por aire se utilizan en la producción de productos de asfalto para techos, en la instalación de techos construidos y para la reparación de techos con goteras. El soplado de asfalto con aire puede realizarse en refinerías de petróleo, plantas de procesamiento de asfalto y plantas de techado de asfalto. Las emisiones del soplado de asfalto son principalmente partículas orgánicas con una concentración bastante alta de hidrocarburos gaseosos y materia orgánica policíclica. Las emisiones de hidrocarburos gaseosos son menores debido a la eliminación previa de hidrocarburos ligeros o volátiles en las unidades de destilación (EEA, 2019).

iv. Industria química orgánica especializada

Son plantas que fabrican una amplia gama de productos, utilizando diversos procesos de producción, pudiendo almacenar y utilizar cientos de materias primas o productos intermedios. Los procesos generalmente operan sobre una base de plantas multipropósito. Para un ingrediente activo, se requieren varias etapas de transformación. Los procesos involucran típicamente entre 1 y 40 etapas de transformación dependiendo de las

moléculas. Las etapas del proceso cubren toda la gama de operaciones unitarias, como reacciones, extracción líquido/líquido, líquido/sólido o gas/sólido; destilación; cristalización; secado, adsorción de gas, entre otros. La producción se realiza en procesos discontinuos o procesos por lotes (batch). Los equipos utilizados tienen múltiples aplicaciones y en estos procesos se utilizan con frecuencia disolventes. En este sector se utilizan principalmente cinco (5) disolventes (metanol, tolueno, acetona, etanol, dicloruro de metano) representan alrededor del 70% del consumo de disolventes. Normalmente en esta industria se utilizan alrededor de 40 disolventes diferentes. Cualquier materia prima que haya reaccionado puede recuperarse o reciclarse o, en última instancia, descargarse al medio ambiente después de un tratamiento adecuado. Debido a la diversidad de procesos utilizados en este sector, no se puede hacer una descripción simple del proceso. Las plantas que tienen un consumo anual de disolventes entre 900 y 1.500 t pueden tener entre 10 y 50 t de emisiones de COVNMs a la atmósfera (EEA, 2019).

v. Fabricación de pinturas, tintas y colas

Las materias primas utilizadas en el proceso de fabricación de productos en estas industrias incluyen sólidos, aglutinantes, solventes y todo tipo de aditivos.

- Los sólidos proporcionan al recubrimiento color, opacidad y cierto grado de durabilidad.
- Los aglutinantes son componentes que forman una fase continua, retienen los sólidos en la película seca y hacen que se adhiera a la superficie a recubrir. La mayoría de los aglutinantes están compuestos por resinas y aceites secantes que son en gran medida responsables de las propiedades mecánicas generales y protectoras de la película (más importante en pinturas decorativas).
- Para el ajuste de la viscosidad, se requieren solventes. Los materiales que se pueden usar como disolventes incluyen hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, ésteres, cetonas y ésteres y éteres-ésteres de etileno y propilenglicol.
- Los aditivos son materias primas que se añaden en pequeñas concentraciones (0,2 a 10%). Realizan una función especial o dan una determinada propiedad al revestimiento. Los aditivos incluyen secadores, espesantes, antiespumantes, agentes dispersantes y catalizadores.

La función de cada pintura es la misma ya sea a base de alquídicos o látex (a base de polímeros de estireno-butadieno). En esta industria se llevan a cabo principalmente, procesos físicos como pesaje, mezclado, triturado, teñido, diluido y envasado; no hay

reacciones químicas involucradas. Estos procesos se llevan a cabo en grandes tanques de mezcla a aproximadamente temperatura ambiente (EEA, 2019). Las emisiones se producen por:

- **Fugas:** durante el proceso de fabricación y pérdidas durante las actividades de llenado y limpieza de los tanques:
- **Pérdidas:** por productos adherido a recipientes y equipos:
- **Emisiones fugitivas:** durante la mezcla de preparaciones y almacenamiento de solventes y disolventes.

- **Principales emisiones:** las principales emisiones de las industrias de pinturas, tintas y colas son los COVNMs que pueden emitirse de la industria química son: 1,2-dicloretano, ABS, acetileno, ácido acético, acrilonitrilo, benceno, butadieno, butileno, cloruro de vinilo, coque, estireno, etilbenceno, etilenglicol, etileno, gas natural, hidrocarburos aromáticos, policíclicos, metanol, monocloroetano, nafta, naftaleno, propileno, tolueno, xileno.

vi. Otras industrias

A continuación, se presenta un listado de industrias químicas potencialmente emisoras de COVNMs, en base a la producción de diversos compuestos, indicando en cado caso las principales emisiones de contaminantes atmosféricos:

- **Acrilonitrilo:** el acrilonitrilo se obtiene mediante la oxidación catalítica de propileno en fase de vapor. Algunas plantas todavía usan el proceso más antiguo, es decir, la adición de cianuro de hidrógeno al acetileno. Las principales emisiones a la atmósfera son el acrilonitrilo, etileno, metano e hidrocarburos halogenados. Los hidrocarburos halogenados se liberan debido a la limpieza, el acrilonitrilo se libera en varias secciones de la planta, el metano se libera debido a una fuga y el etileno se libera debido a la combustión.
- **Amoniaco:** la principal emisión de esta industria corresponde a amoníaco, sin embargo, COVNMs pueden ser emitidos en el proceso de reformado primario, debido a que se utiliza gas natural u otros combustibles derivados del petróleo para producir hidrógeno puro.
- **Anhídrido ftálico:** se fabrica a partir de la oxidación de o-xileno o naftaleno. El ácido acético puede ser usado como solvente si el o-xileno es usado como materia prima.

- **Estireno:** se produce por la deshidrogenación o la oxidación del etilbenceno. En este proceso se pueden generar emisiones de estireno y tolueno debido a fugas y/o pérdidas en el almacenamiento de la sustancia.
- **Estireno butadieno, látex de estireno-butadieno y caucho de estireno-butadieno:** la polimerización por emulsión es el principal proceso para producir copolímeros de estireno y butadieno. Las principales emisiones corresponden a COVNMs producidas por fugas, las cuales pueden ser controladas con métodos de abatimiento.
- **Etilbenceno:** se produce por el proceso de catálisis con aluminio. Las materias primas del proceso son etileno, benceno, el catalizador y un promotor (monocloroetano o HCl). Las principales emisiones corresponden a etileno, benceno y tolueno. El etileno es liberado debido a pérdidas por fugas y combustión, benceno debido a pérdidas por fugas y tolueno debido a fugas y pérdidas por almacenamiento.
- **Etileno y propileno:** el etileno es producido principalmente en el proceso de cracking de la nafta. En el proceso se pueden obtener otros productos como el propileno, el butileno y otros hidrocarburos aromáticos. Mientras mayor sea el peso molecular de la materia prima, menor es el porcentaje de etileno producido y, en cambio, se producen otros productos como el butadieno y el benceno. Además, para varias aplicaciones se remueve el acetileno del etileno.
- **Formaldehído:** el formaldehído se produce por la oxidación catalítica del metanol. En el proceso pueden ocurrir emisiones de COVNMs.
- **Grafito:** el grafito es producido principalmente a partir que coque o carbón. Las principales emisiones involucradas en el proceso de grafitización corresponden a hidrocarburos aromáticos policíclicos, dióxido de sulfuro proveniente de coque y otros combustibles y COVNMs provenientes de agentes impregnantes.
- **Monómero de cloruro de vinilo, 1,2-dicloroetano (dicloruro de etileno):** es un compuesto utilizado para producir cloruro de vinilo, uno de los mayores precursores del PVC. Las mayores emisiones del proceso son 1,2-dicloroetano, cloruro de vinilo y otros cloruros de hidrocarburos, los cuales son emitidos principalmente de forma difusa.

- **Negro de carbón (BC):** el negro de carbono (BC[46], por su sigla en inglés) corresponde a una forma de carbón elemental altamente dispersado, derivado de una mezcla de hidrocarburos gaseosos o líquidos. Pueden emitirse COVNMs en el proceso principal de producción de BC, conocido como "negro de horno", como en el almacenamiento y manipulación de hidrocarburos.
- **Policloruro de vinilo:** el policloruro de vinilo corresponde a un polímero de cloruro de vinilo. Este puede ser producido principalmente por tres procesos: polimerización de masa, polimerización por suspensión o polimerización por emulsión. Las principales emisiones corresponden a cloruro de vinilo producto de fugas o de pérdidas en su almacenamiento.
- **Poliestireno:** se produce por la polimerización del monómero de estireno. El proceso requiere otras materias primas, como es el caso de solventes, iniciadores y agentes de transferencia de cadenas. Las mayores emisiones corresponden a estireno y otros hidrocarburos.
- **Polietileno de baja y alta densidad:** el polietileno es un polímero de etileno, el cual es procesado de distintas maneras según el tipo de polímero que se quiere obtener. Las mayores emisiones de los procesos corresponden a COVNMs, especialmente etileno, alquenos y alcanos y una pequeña cantidad de aditivos.
- **Polipropileno:** se produce en la polimerización de propileno. Este se produce de forma similar al polietileno de alta densidad. Los dos procesos más utilizados para la producción de polipropileno es el proceso por fase gaseosa y el proceso por suspensión. Las mayores emisiones corresponden a propileno, las cuales pueden ser controladas por métodos de abatimiento modernos.
- **Resinas de Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS):** el ABS es formado por la polimerización de estireno, acrilonitrilo y caucho, mediante la polimerización por emulsión, polimerización de masas o la polimerización de masas por suspensión. Las principales emisiones son COVMNs producto de fugas en el almacenamiento y transporte.

6.1.3.8 Industria del Caucho y el Plástico - Fabricación de productos de caucho y de plástico (C22)

Las fuentes no puntuales y emisiones de este rubro y/o actividad se incluyen en la sección

[46] Black Carbon.

Industria Química – Fabricación de Sustancias y productos químicos (C20).

6.1.3.9 Industria de Procesamiento de Minerales No Metálicos - Fabricación de otros productos minerales no metálicos (C23)

i. Fabricación de vidrio y productos de vidrio (C2310)

La materia prima del vidrio se compone de arena, sosa procedente de carbonato sódico, cal y otros constituyentes, en especial colorantes. A esta mezcla se le añade calcín, vidrios rotos provenientes de los residuos de fabricación, de la recogida selectiva de residuos o de los contenedores de reciclaje. La mezcla de materias primas y calcín se funde en continuo en hornos a una temperatura aproximada de 1.500° C. La producción de vidrio da lugar a diferentes productos, tales como: vidrios planos, vidrio para envases (botellas, frascos, otros), vidrios especiales, lana de vidrio, fibras de filamentos continuos, vidrio soluble y vajillas. El proceso de fundición para los diferentes productos suele ser similar. El proceso de fabricación del vidrio consta de las siguientes etapas:

- **Selección y control de materias primas**.
- **Preparación de materias primas**: consiste esencialmente en una operación de pesaje y mezclado.
- **Fusión:** las materias primas se fusionan a alta temperatura en un horno.
- **Conformado:** se le da forma al vidrio fundido y se le permite solidificar (producción de vidrio plano y para envases): la formación de fibras como filamentos continuos o en esteras de lana de vidrio se lleva a cabo (producción de lana de vidrio) mediante procesos especiales de fibrización.
- **Curado para lana:** se deja curar la estera de fibra de vidrio revestida con aglutinante (producción de lana de vidrio).
- **Recocido:** las tensiones internas inducidas térmicamente en los artículos de vidrio se eliminan mediante tratamiento térmico.
- **Acabado o postprocesamiento**.
- **Control de calidad y corte.**

Los procesos posteriores pueden incluir el templado del vidrio o la aplicación de revestimientos en las superficies de vidrio para cambiar las propiedades de aislamiento óptico o térmico de los productos de vidrio plano, para agregar funcionalidad a los productos de vidrio o para aumentar la resistencia al rayado de las superficies de vidrio.

- **Principales emisiones:** los contaminantes liberados durante la fabricación de vidrio son óxidos de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_X), en casos muy raros monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) u óxido nitroso (N_2O). También se producen emisiones de metales pesados mediante el proceso de fusión. Las emisiones de material particulado también pueden resultar de la manipulación de materias primas. A veces, los metales pesados pueden estar presentes en el material particulado. Los contaminantes más relevantes son: SO_2, NO_X y CO_2. Las emisiones de COVNMs se ha identificado principalmente en la producción de lana de vidrio. Los productos de lana de vidrio suelen contener una proporción de aglutinante a base de resina fenólica. La solución aglutinante se aplica a las fibras en el área de formación y se seca en el horno de curado. El gas residual del área de formación contiene MP, fenol, formaldehído y amoníaco. La materia particulada consta de material orgánico e inorgánico, a menudo con un tamaño de partícula muy pequeño. También se pueden detectar niveles más bajos de COVs y aminas si se incluyen en el sistema aglutinante (EEA, 2019).

ii. Fabricación de productos minerales no metálicos n.c.p. (C239)

El procedimiento de refinación de sales de nitrato y potasio se basa en el método de Guggenheim que consiste en lixiviar el mineral molido con soluciones acuosas diluidas de nitratos. La solución obtenida del proceso de lixiviación se envía a piscinas de evaporación y posteriormente a un proceso de cristalización mediante intercambiadores de calor que utilizan amoniaco como enfriador. Posteriormente, los cristales se funden a 300-350° C.

En el caso del Yodo las sales que contienen el mineral se reducen con dióxido gaseoso, obtenido por tostación de azufre, produciéndose la reducción de yodato a yoduro. El yodo se obtiene como un sólido fino que se recupera mediante un proceso de flotación, efectuando posteriormente una extracción con solvente. El concentrado de Yodo se introduce en un reactor donde se funde a 120° C produciendo la separación de las fases de yodo líquido y agua.

- **Principales emisiones:** las emisiones más relevantes que ocurren durante el almacenamiento, manipulación y transporte de productos minerales son emisiones de MP. No se han identificado emisiones de COVs, COP y BETX de relevancia en este sector. Las emisiones de COVs por manejo de solventes y disolventes se abordan en la sección *Industria Química – Fabricación de Sustancias y productos químicos (C20)*.

6.1.3.10 Industria Metalúrgica Primaria - Fabricación de productos metalúrgicos básicos (C24)

i. Industrias básicas de hierro y de acero (C2410)

La industria del hierro y el acero consiste en general en:

- Instalaciones primarias que producen hierro y acero;
- Instalaciones secundarias de fabricación de acero;
- Instalaciones de producción de hierro;
- Producción externa de coque metalúrgico.

Parte de los procesos en la producción de hierro y acero son procesos de combustión (principalmente durante la sinterización). La metalurgia del hierro implica su reducción con coque en alto horno. El coque se obtiene mediante la destilación (sin combustión) del carbón mineral, proceso en el que se extraen sus componentes volátiles. La parte inferior del horno está a una temperatura superior al punto de fusión del hierro (1.275° C). El hierro fundido se retira como una masa líquida denominada colada. Los principales contaminantes atmosféricos en la producción de hierro son el MP y el CO. Para el control de contaminantes se utilizan precipitadores electroestáticos junto con otros equipos de control de MP como filtro de mangas, ciclones, entre otros.

El acero es una aleación de hierro con bajo contenido de Carbono (0,03-1,14%) que contiene metales como Cr, Ni, Mn, Mo y W. Las propiedades de los distintos tipos de acero dependen de la composición de sus aleaciones y de los tratamientos térmicos al que éste es sometido. La conversión de arrabio en acero es un proceso de oxidación, el que se efectúa en un horno convertidor con oxígeno puro.

La producción de acero puede ocurrir en instalaciones integradas a partir de mineral de hierro, o en instalaciones secundarias, que producen acero principalmente a partir de chatarra de acero reciclada. Las instalaciones integradas suelen incluir altos hornos y hornos de Fabricación de acero con Oxígeno Básico (BOF[47], por su sigla en inglés) o, en algunos casos, Hornos de Hogar Abierto (OHF[48], por su sigla en inglés). El acero crudo se produce utilizando un horno de oxígeno básico a partir de arrabio producido por el alto horno y luego procesado en productos de acero terminados. El arrabio también se puede transformar directamente en productos de hierro. La fabricación de acero secundario

[47] Basic Oxigen Steel Making Furnaces.
[48] Open Hearth Furnaces.

ocurre con mayor frecuencia en Hornos de Arco Eléctrico (EAF[49], por su sigla en inglés).

- **Principales emisiones:** el carbono se elimina como CO_2 o como carburo de hierro (cementita) en la escoria. Los principales contaminantes atmosféricos generados en la producción de acero son el MP, SO_2, NO_X y metales pesados, asociados al BC. Los HAP y PCDD/F, pueden formarse a partir de cloro y compuestos precursores como aditivos oleosos. Potencialmente, las emisiones de material orgánico pueden liberarse desde el proceso de sinterización y de las operaciones de procesamiento del producto de sinterización (es decir, trituración, cribado y enfriamiento). Debido a las altas temperaturas utilizadas en las operaciones de sinterización, las emisiones de compuestos orgánicos policíclicos de la planta de sinterización se presenten tanto en forma gaseosa como en forma de partículas (EEA, 2019).

ii. Industrias básicas de metales preciosos y de metales no ferrosos (C242) y Fundición de metales (C243)

La refinación del cobre se realiza mediante hidrometalurgia (se aplica principalmente a minerales oxidados) o pirometalurgia. La hidrometalurgia considera operaciones como la lixiviación, extracción con solvente y electro-obtención. La Pirometalurgia considera operaciones como la flotación, conversión, fusión y fusión flash. En general, los procesos pirometalúrgicos son intensivos en consumo de energía y en generación de emisiones atmosféricas.

- **Principales emisiones:** los contaminantes liberados durante la producción de cobre son MP, SO_2, NO_X, COVNMs, CH_4, CO, CO_2, N_2O, oligoelementos y COPs. Los COPs son principalmente dioxinas y furanos emitidos por hornos, convertidores y hornos de llama, es decir, en procesos de combustión.

6.1.3.11 Industria Energética (D) - Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado (D35)

i. Generación de energía eléctrica (D3511)

Las principales emisiones de la generación de energía provienen de la combustión de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos en centrales termoeléctricas, tales como: centrales a carbón en base a combustión en lecho fluidizado, centrales de biomasa, calderas, turbinas de gas, centrales de ciclo combinado, entre otras tecnologías.

[49] Electric Arc Furnaces.

- **Principales emisiones:** las emisiones de la generación de energía provienen principalmente de fuentes puntuales. Las emisiones de COVNMs se generan principalmente por procesos de combustión incompleta. Pueden existir pérdidas y fugas que generen emisiones de COVNMs y CH_4 en calderas y otras fuentes de generación que operan principalmente con combustibles líquidos y gaseosos. No obstante, estas emisiones son menores y disminuyen en términos relativos en las centrales de mayor tamaño.

ii. Transmisión de energía eléctrica (D3512)

No se identifican emisiones significativas de COVs, COPs y BETX en este rubro (EEA, 2019).

iii. Distribución de energía eléctrica (D3513)

No se identifican emisiones significativas de COVs, COPs y BETX en este rubro (EEA, 2019).

6.1.3.12 Industria Sanitaria (E37; E38)

i. Evacuación y tratamiento de aguas residuales (E37)

El tratamiento de aguas residuales de origen doméstico (aguas servidas) e industrial es una actividad poco significativa en la generación de emisiones de COVNMs en la mayoría de los casos (EEA, 2019). Las principales actividades llevadas a cabo en el proceso de aguas residuales, tanto de origen doméstico, como industrial son:

- **Tratamiento primario (fisicoquímico):** tiene por objetivo remover material sólido, sólidos suspendidos, material orgánico particulado, aceites y grasas, así como acondicionar las aguas residuales en términos de pH y caudal. Las operaciones comunes en esta etapa son:
  - Cribado;
  - Ecualización;
  - Desgrasado;
  - Coagulación/floculación;
  - Sedimentación;
  - Flotación;
  - Filtración y;
  - Adsorción.

- **Tratamiento Secundario (biológico):** tiene por objetivo la remoción de la materia orgánica disuelta o en suspensión. Las operaciones comunes en esta etapa son:
  - Aireación en tanques (procesos aeróbicos).
  - Nitrificación.
  - Desnitrificación.
  - Fermentación.
  - Separación sólido/líquido.
  - Sedimentación.
- **Tratamiento Terciario:** tiene por objetivo la remoción de nutrientes como N y P, en algunos casos se incluye también la desinfección de los efluentes tratados.
- **Digestión anaeróbica:** la digestión anaeróbica es un proceso por el cual la biomasa es degradada por microorganismos en ausencia de oxígeno. Los microorganismos digieren la biomasa y liberan un gas rico en metano (biogás) que puede ser combustionado en antorchas o utilizado en plantas de biogás para generar calor y energía eléctrica. El material sólido (digestato) es rico en nutrientes, por lo que puede usarse como fertilizante. El proceso de digestión anaeróbica depende de la biomasa de microorganismos, la composición del sustrato, la temperatura en el digestor, el contenido de materia seca de la materia prima, el tiempo de residencia en el digestor y las tecnologías de tratamiento.
- **Tratamiento de lodos:** el tratamiento de lodos puede involucrar la deshidratación en prensas y centrifugas removiendo el agua contenida en las células. En algunos casos se opta por el espesamiento en donde los sólidos se concentran mediante la remoción de agua en tanques o el secado de lodos en canchas de secado.

- **Principales emisiones:** en plantas de tratamiento de aguas servidas y RILes se pueden generar emisiones de COPs, COVNMs, CO y NH_3, sin embargo, suelen ser insignificantes en relación con el total de emisiones (EEA, 2019). No obstante, en algunos casos las emisiones de COVNMs pueden ser relevantes localmente en áreas urbanas. Algunos de los COVNMs que se pueden generar en el tratamiento de aguas servidas son: clorofenol, crotilmercaptano, dimetilsulfuro, difenilsulfuro, etilmercaptano, etilsulfuro, indol, metilamina, metilmercaptano, escatol, tiocresol y trimetilamina (Metcalf & Eddy , 2014).

El proceso de digestión anaeróbica de lodos y/o residuos puede generar emisiones por almacenamiento de materia prima y/o digestato en tanques abiertos, así como su tratamiento mecánico, pueden provocar emisiones de NH_3, NO, N_2O, CH_4, olores y MP. Normalmente, la digestión anaeróbica se lleva a cabo en recipientes herméticos a los gases, y es poco probable que se produzcan emisiones fugitivas al aire, excepto durante la transferencia hacia y desde el digestor y el almacenamiento de materias primas y digestato. Sin embargo, es posible que se produzcan emisiones fugitivas de biogás a partir de válvulas de ventilación de emergencia y de trampas de agua mal selladas.

Por otra parte, los lodos provenientes del tratamiento de lodos son secados con el propósito de disminuir sus niveles de humedad para posteriormente ser tratados como residuos sólidos. En este proceso pueden generarse emisiones de COVNMs como hidrocarburos halogenados e hidrocarburos policíclicos aromáticos.

ii. Recolección, tratamiento y disposición de residuos, recuperación de materiales (E38) - Tratamiento y disposición de residuos no peligrosos (E3821)

La industria asociada al tratamiento y disposición de los residuos sólidos no peligrosos (industriales y domiciliarios) genera emisiones fugitivas, principalmente en la manipulación de en los sitios de disposición final. Se clasifican como residuos industriales sólidos no peligrosos, materiales como materias primas no utilizadas, cenizas, lodos, desechos agrícolas, envases y embalajes, entre otros. Los Residuos Sólidos Domiciliarios (RSD) incluyen todo tipo de materiales desechados en viviendas, espacios públicos y en el sector comercial.

El principal método de tratamiento y disposición de residuos industriales sólidos no peligrosos es el Relleno Sanitario. Existen otros métodos alternativos como el compostaje y la digestión anaeróbica (ver Evacuación y Tratamiento de aguas residuales). El compostaje no es relevante ni en términos de volumen de residuos tratados, ni tampoco en generación de emisiones. A nivel local, pueden ser sitios relevantes en la generación de olores.

En los Rellenos Sanitarios se llevan a cabo procesos, operaciones y/o actividades que incluyen la carga de residuos en pilas, el tráfico de vehículos, la erosión eólica de pilas y áreas de disposición y la quema no intencionada de residuos.

- **Principales emisiones:** en términos de emisiones, la descomposición microbiana aeróbica y anaeróbica de la materia orgánica que ocurre en los Rellenos Sanitarios genera diversos gases, principalmente dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y Sulfuro de Hidrógeno (H_2S), mezcla denominada biogás. El tratamiento y disposición

de residuos sólidos es una fuente menor de emisiones contaminantes del aire. Las emisiones más relevantes, corresponden a GEI (CH_4, CO_2 y N_2O). En general, el biogás producido en los Rellenos Sanitarios se quema en antorchas o generadores.

Adicionalmente pueden generarse emisiones en pequeñas cantidades de COVNMs. No obstante, las metodologías de estimación no disponen factores de emisión específicos para estos contaminantes. Alrededor de un 99% de los COVs generados como emisiones difusas en rellenos sanitarios corresponden a metano, mientras que el resto se compone principalmente de gases como el percloroetileno, pentano y butano (EEA, 2019). Actualmente, estas emisiones se han reducido debido a la menor generación de residuos producto de la implementación de políticas de reutilización y reciclaje, y de la instalación de sistemas de recuperación de gases en los rellenos sanitarios.

iii. Tratamiento y disposición de residuos peligrosos

Los residuos peligrosos son aquellos que exhiben una o más de las siguientes características: inflamabilidad, toxicidad, corrosividad y reactividad. El manejo y tratamiento de residuos peligrosos incluye actividades como almacenamiento en depósitos de seguridad, inertización, tratamiento fisicoquímico e incineración, entre otros.

- **Principales emisiones:** las actividades de tratamiento de residuos peligrosos pueden generar emisiones de COVs, COPs y BETX, tales como: dibenzo-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/F), Hexaclorobencenos (HCB), Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) y metales pesados como cadmio, mercurio, entre otros, COVs, SO_2, NO_X y MP. Todas estas emisiones provienen de la incineración de los residuos y no es una fuente significativa de emisiones a nivel nacional (EEA, 2019).

6.1.3.13 Transporte y Almacenamiento (H)

Las emisiones por transporte y almacenamiento por procesos distintos a la combustión se han incluido en las secciones anteriores, en relación con las materias primas, productos intermedios y/o finales en cada rubro e industria.

La Matriz de Fuentes No Puntuales y Actividades que generan emisiones de COVs, COPs y BETX se presenta en **Anexo 2** asociado a este documento en formato digital.

6.1.4 Codificación de Materias Primas y Productos

La revisión, codificación, clasificación y agrupación de materias primas y productos intermedios y finales se llevó a cabo utilizando la Clasificación Central de Productos (CCP),

debido a su correspondencia con los criterios de la CIIU utilizada en la actividad de caracterización y clasificación de rubros y empresas.

i. Antecedentes de la Clasificación Central de Productos (CCP)

La CCP es una clasificación completa de productos, que abarca bienes y servicios. Su objetivo principal es ofrecer un marco para la comparación internacional de estadísticas relativas a los productos y orientar la elaboración o revisión de planes de clasificación de productos existentes para hacerlos compatibles con las normas internacionales.

La CCP se elabora principalmente para mejorar la armonización entre diversas esferas de estadísticas económicas afines y fortalecer el papel de las cuentas nacionales como instrumento de coordinación de las estadísticas económicas, brindando una base para recopilar las estadísticas básicas en una clasificación estándar. La CCP se basa en los siguientes principios:

- La CCP es un sistema de categorías exhaustivo y a la vez mutuamente excluyente. Esto significa que si un producto no está incluido en una categoría de la CCP este tiene que pertenecer automáticamente a otra.
- Se promueve al máximo la homogeneidad dentro de las categorías, por lo que la CCP clasifica productos en categorías sobre la base de las propiedades físicas y la naturaleza intrínseca de los productos, así como el principio del origen industrial.
- Cada subclase de las secciones 0 a 4 de la CCP se define como el equivalente de una o más partidas o subpartidas del Sistema Armonizado (SA), que es una clasificación de la Organización Mundial de Aduanas (OMA), y que utiliza principalmente el criterio de las propiedades físicas para clasificar los productos.
- Las propiedades físicas y la naturaleza intrínseca de los productos son características que distinguen a los productos propiamente dichos.
- La importancia del origen industrial de los bienes y los servicios tiene por objetivo agrupar en una sola subclase de la CCP los productos que provienen de una determinada industria. Gracias a su vínculo con el criterio de origen industrial, la estructura de los insumos, la tecnología y la organización de características de producción de los productos se reflejan también en la estructura de la CCP. Este criterio del origen industrial es uno de los principios de clasificación que también es aplicado por la CIIU. Es importante precisar que algunos productos pueden ser el resultado de la actividad de varias categorías de la CIIU.

- En la elaboración de la CCP se tuvieron en cuenta la naturaleza del producto y la industria de origen. En algunos casos, la misma industria produce bienes de naturaleza muy diferente.
- En algunos casos, bienes de origen industrial diferente se incluyen en una sola categoría de la CCP, en particular cuando no se observa el criterio de origen industrial del SA.
- Se suscitan problemas en relación con el origen industrial cuando las industrias producen a la vez bienes y servicios. Aunque el origen industrial de estos servicios suele ser el mismo que el origen bienes en sí mismos, debe quedar especificado que la naturaleza de los servicios en cuestión puede ser diferente respecto a los bienes, de modo que los bienes y los servicios se clasifican en partes diferentes de la CCP.

ii. Estructura general y nomenclatura de la clasificación de la CCP

Los códigos para las secciones varían entre 0 y 9. Cada sección puede dividirse en nueve divisiones y estas, a su vez, pueden dividirse en 9 grupos y así sucesivamente hasta llegar a las subclases. Para el nivel denominado producto, existen 99 posibilidades de desagregación.

Por organización de la estructura, la ubicación de aquellos productos denominados n.c.p. (no clasificados previamente) se ha dispuesto al final de todos los productos contemplados en las subclases de la CCP. Por efecto de codificación, cada subclase contendrá un máximo de 99 productos y por tal motivo los productos n.c.p. se ubican en la posición final de los productos pertenecientes a cada subclase cuyo código termina en el número 99.

En los casos en que un nivel determinado de clasificación no se subdivide en categorías del siguiente nivel de clasificación, se utiliza un "cero" a la derecha en la última posición de la categoría del nivel más detallado.

La base de datos de materias primas y productos contiene los siguientes campos:

- Compuesto incluido en código arancelario.
- Código arancelario.
- Denominación CAS.
- CASRN.
- Código CCP.

- Nombre de producto.
- Notas CCP.

La clasificación de Materias Primas y Productos Intermedios y/o Finales se presenta en **Anexo 2** asociado a este documento en formato digital.

6.1.5 Propiedades Físicoquímicas para Materias Primas y Productos

Se elaboró una base de datos con las propiedades fisicoquímicas para las principales materias primas, productos intermedios y/o finales que potencialmente podrían generar COVs, COPs y BETX, indicando para cada sustancia los siguientes parámetros:

- Presión de vapor en función de rango de temperaturas.
- Punto de ebullición a condiciones normales.
- Condición física a condiciones normales.
- Otros que se estimen convenientes

La base de datos de propiedades fisicoquímicas se presenta en **Anexo 2** asociado a este documento en formato digital.

6.2 Empresas y Rubros Potencialmente Emisores

6.2.1 Empresas Identificadas en la Zona Prioritaria

Según los registros del RETC para el año 2020 en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví existe un total de 81 establecimientos que declaran emisiones atmosféricas. La distribución de establecimientos se presenta en la Figura 3.

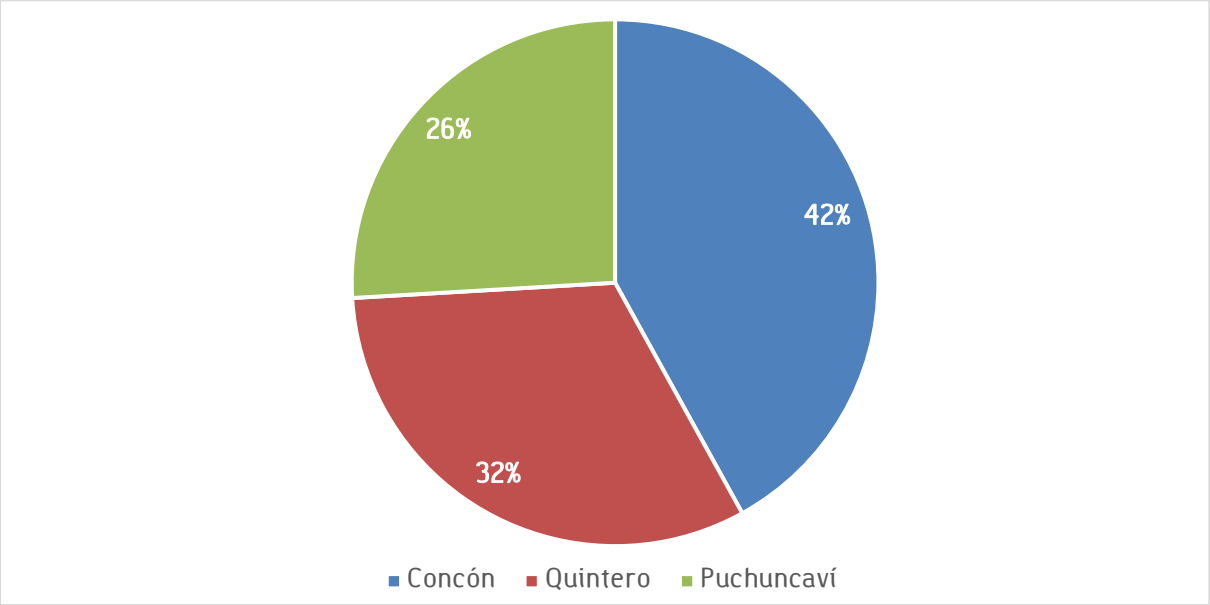


Figura 3. Establecimientos que declaran emisiones atmosféricas al RETC, 2020

Fuente: elaboración propia en base a registros RETC

Las actividades que declaran emisiones atmosféricas en la zona prioritaria se identifican en la Tabla 11 para cada comuna.

Tabla 11. Actividades que declaran emisiones atmosféricas al RETC en la zona prioritaria

Descripción CIIU	Concón	Quintero	Puchuncaví	Total
Actividades bancarias	1	1	0	**2**
Actividades de atención en instituciones para personas de edad y personas con discapacidad física	1	0	0	**1**
Actividades de hospitales y clínicas privadas	0	0	1	**1**
Actividades de hospitales y clínicas públicas	0	1	0	**1**
Alquiler de bienes inmuebles amoblados o con equipos y maquinarias	0	0	1	**1**
Captación, tratamiento y distribución de agua	2	2	5	**9**
Centros médicos privados (establecimientos de atención ambulatoria)	0	1	0	**1**
Consejo de administración de edificios y condominios	0	0	1	**1**
Cultivo de otras plantas perennes	0	1	0	**1**
Elaboración de bebidas no alcohólicas	1	0	0	**1**
Evacuación y tratamiento de aguas servidas	8	3	1	**12**
Extracción y procesamiento de cobre	0	0	1	**1**
Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso	1	0	0	**1**
Fabricación de cemento, cal y yeso	0	0	1	**1**
Fabricación de gas; distribución de combustibles gaseosos por tubería, excepto regasificación de GNL	2	0	0	**2**

Descripción CIIU	Concón	Quintero	Puchuncaví	Total
Fabricación de otras sustancias químicas básicas n.c.p.	0	1	0	**1**
Fabricación de otros productos de caucho	1	0	0	**1**
Fabricación de otros productos minerales no metálicos n.c.p.	1	0	1	**2**
Fabricación de otros productos químicos n.c.p.	1	2	0	**3**
Fabricación de productos de la refinación del petróleo	1	2	1	**4**
Fabricación de recipientes de metal para gases comprimidos o licuados	1	0	0	**1**
Generación de energía eléctrica en centrales termoeléctricas	2	1	3	**6**
Manipulación de la carga	0	0	1	**1**
Otras actividades de telecomunicaciones n.c.p.	0	0	1	**1**
Otros servicios de almacenamiento y depósito n.c.p.	1	0	1	**2**
Otros servicios de atención de la salud humana prestados por empresas	1	0	0	**1**
Pesca marítima industrial, excepto de barcos factoría	0	1	0	**1**
Regasificación de Gas Natural Licuado (GNL)	0	1	0	**1**
Sin Clasificación	0	1	0	**1**
Suministro de vapor y de aire acondicionado	1	0	0	**1**
Telefonía móvil celular	1	2	1	**4**
Transmisión de energía eléctrica	1	0	0	**1**
Transporte por gasoductos	0	1	0	**1**
Transporte por oleoductos	1	1	0	**2**
Venta al por mayor de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos y productos conexos	1	2	0	**3**
Venta al por menor en comercios de alimentos, bebidas o tabaco (supermercados e hipermercados)	4	2	1	**7**
Total	**34**	**26**	**21**	**81**

Fuente: elaboración propia en base a registros RETC

De acuerdo al PPDA de Concón, Quintero y Puchuncaví (MMA, 2019) *"el sector industrial que se asocia con el manejo y procesamiento de hidrocarburos y sus derivados, es responsable de la mayor parte de las emisiones de COVs en la zona, siendo las principales fuentes: Refinería Aconcagua de ENAP. Gasmar, Copec, Oxiquim, GNL Quintero, ENAP Quintero y Enex. De acuerdo a lo informado por las empresas en cumplimiento de lo establecido en el D.S. N° 138/2005 del Ministerio de Salud, las emisiones de COVs al año 2017 corresponden a 698 t/año"*. Además, se considera que *"otras fuentes emisoras presentes en la zona corresponden a Central Térmica Quintero de ENEL, Industria Química BASF. Catamutún, ESVAL, Cementos Melón y Puerto de Ventanas"*. La actividad portuaria es el principal centro de transferencia de grandes líquidos y sólidos como granos, Clinker, combustible, asfaltos, concentrados de cobre y otros minerales además de productos químicos, gas natural y petcoke. En la zona, también coexisten otras instalaciones de menor tamaño".

El PPDA de Concón, Quintero y Puchuncaví pone especial atención en los establecimientos que contemplen *"instalaciones de almacenamiento, carga. descarga y transferencia de hidrocarburos y sus derivados, en volúmenes totales, iguales o superiores a 50 toneladas o 75 m^3 al año"*. Estas instalaciones deben declarar las emisiones de COVs y de forma individualizada las emisiones de Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX). La declaración de emisiones de COVs debe incluir las emisiones generadas por el almacenamiento, operaciones de carga y descarga, transferencias, mantención, manipulación de hidrocarburos y sus derivados, procesos de combustión y sistemas de control de emisiones, tales como antorchas, lavadores de gases, válvulas de retorno, u otros. Esta declaración debe incluir las emisiones difusas de COVs, así como las contenidas en gases residuales.

La Tabla 12 presenta resultados preliminares de la identificación de establecimientos, procesos industriales, operaciones unitarias y potenciales emisiones atmosféricas, dentro de la zona de interés (cordón industrial de la bahía de Quintero-Puchuncaví y comuna de Concón).

Tabla 12. Identificación de Procesos Industriales y Operaciones Unitarias Potenciales Emisoras de COVs, COPs y BETX en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví[50]

División	Empresa y Establecimiento	Descripción General de Procesos Industriales y Actividades y emisiones asociadas
Actividades de organizaciones y entidades extraterritoriales (A)	Inversiones Bosques del Mauco S.A.	Empresa dedicada a la fungicultura de hongos comestibles, bajo condiciones controladas, principalmente champiñones elaborados y frescos. Declara emisiones de: BETX, COVs, SO_2, Hg, CO, MP, NH_3, PCDD/F y NO_X.
	Pesquera Quintero S.A.	Planta para el faenado de las capturas de la pesca, varadero para el mantenimiento de las naves de la flota, maestranza para la reparación y mantenimiento de las embarcaciones, vehículos, equipos y maquinarias, muelle propio para la descarga de las capturas, taller de redes, planta de hielo, cámaras frigoríficas, generadores eléctricos, calderas, bodegas y talleres. La planta produce: • Crustáceos, principalmente camarones; • Langostinos y gambas, en varios formatos, como colas cocidas descoladas, seleccionadas y congeladas IQF. La planta tiene una capacidad de proceso de 5.500 kg/día de colas cocidas de camarón, gamba, langostino congelados IQF. Declara emisiones de benceno. Las principales emisiones son MP y NO_X. Las emisiones de COVs y COPs declaradas en la actualidad son relativamente menores.
Explotación de minas y canteras (B)	Codelco Refinería Ventanas	La División Ventanas de Codelco es una fundición y refinería en donde se procesan los concentrados de cobre para producir principalmente ánodos y cátodos. Declara

[50] La información sobre las empresas y establecimientos que declaran emisiones atmosféricas al RETC y se localizan en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví se obtuvo de una base de datos proporcionada por el Departamento de Información Ambiental (DIA) del RETC. Algunas clasificaciones presentan errores (como Codelco Refinería Ventanas). Se mantuvieron las clasificaciones originales para evitar conflictos en la sistematización de información por parte del MMA.

División	Empresa y Establecimiento	Descripción General de Procesos Industriales y Actividades y emisiones asociadas
		emisiones de: MP, SO_2, $NO_{X\ y}$ CO. Las emisiones de COVs y COPs declaradas en la actualidad son relativamente menores.
Industrias manufactureras (C)	Asfalcom S.A.	Planta dedicada a la elaboración de: Productos Asfálticos, Mezclas Asfálticas y Equipamiento. Además, presta servicios en la construcción de pavimentos, Tratamientos Superficiales, Lechadas y micro-pavimentos y Distribución. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	BASF Chile S.A. - Planta Concón	Planta de elaboración de productos químicos para diversos sectores industriales, producción de dispersiones para pinturas y otros productos para la construcción, dispersiones para la industria del papel y cartón y dispersiones para adhesivos y autoadhesivos. Considera el almacenamiento de materias primas (principalmente monómeros) en estanques, tales como: 2-Etil Hexil Acrilato, n-Butil Acrilato, Acrilonitrilo, Acetato de Vinilo, Estireno, Metacrilato de Metilo, Ácido Acrílico, Acrilamida 30%. Genera emisiones de COVs tales como: 2-Etil Hexil Acrilato, n-Butilacrilato, Acrilonitrilo, Acetato de Vinilo Monómero, Estireno, Metacrilato de metilo, Ácido Acrílico, entre otros.
	Coca Cola Embonor S.A. - Planta Concón	Embotelladora de bebidas analcohólicas, bebidas no carbonatadas (jugos) y aguas (purificadas y saborizadas), con licencia para elaborar y distribuir productos Coca-Cola. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	Constructora de pavimentos asfalticos Bitumix S.A. - Planta Concón	Planta dedicada a la elaboración de productos para la infraestructura vial y urbana y la producción de mezclas asfálticas y áridos del país, tales como: • Mezclas asfálticas tradicionales. • Mezclas con asfalto modificado (polímero). • Mezclas especiales. • Mezclas discontinuas. • Mezclas a color. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	Enex SA - Planta Greda Alta	Empresas del rubro de los combustibles líquidos, dedicada al ámbito de combustibles, lubricantes, asfaltos y químicos, para clientes del sector industrial. Poseen estanques de almacenamiento de combustible para distribución a estaciones de servicio. Presenta emisiones de COVs derivadas, principalmente, de las operaciones de almacenamiento y carga y descarga de combustibles.
	ENAP Refinerías S.A. – Planta Concón	La refinería se ubica en la comuna de Concón y produce la mayor parte de los combustibles que consume la RMS. Tiene capacidad instalada para procesar (destilar) 104.000 barriles/día de petróleo crudo y cuenta con una dotación de alrededor de 785 empleados. Empresas del rubro de los combustibles líquidos, poseen estanques de almacenamiento de combustible. El Terminal Marítimo Quintero (TMQ) de ENAP se ubica en la bahía de Quintero. Es el terminal petrolero más importante del país, construido en 1954. Tiene el propósito de recepcionar, cargar, almacenar y preparar productos, tales como gasolinas, diesel, kerosene, gas licuado (GLP) y petróleo crudo, este último como materia prima de todos los productos anteriores. En el TMQ se recibe la totalidad del crudo que es adquirido en diferentes mercados del mundo y que es procesado en Refinería Aconcagua, en la comuna de Concón. Mensualmente, recibe y entrega más de 700 mil m^3 de productos y petróleo crudo, tanto a la Refinería, como a naves y compañías vecinas. Considera doble sello para estanques de petróleo crudo. Se ha identificado como una fuente importante de COVs, tales como: Hidrocarburos ligeros y BETX.
	Enap Refinerias S.A. - Terminal Marítimo de Quintero	
	Linde Gas Chile S.A. - Planta Concón	Planta dedicada a la elaboración de gases industriales, tales como: • Gases atmosféricos; • Gases de Protección;

División	Empresa y Establecimiento	Descripción General de Procesos Industriales y Actividades y emisiones asociadas
		• Congelamiento de alimentos; • Químicos envasados; • Gases especializados; • Productos de seguridad y soldadura; • Otros. Presenta emisiones fugitivas de COVs.
	Melon S.A. - Planta Ventanas	Planta dedicada a la producción de cementos, hormigones y áridos. las principales emisiones se asocian con los procesos de moliendas, y corresponden principalmente a material particulado y ruido. Los molinos de ambas instalaciones cuentan con tecnología de abatimiento de polvo mediante filtros de mangas que aseguran niveles de emisión por debajo de los 20 mg/m^{3}N. Cuentan con sistemas de monitoreo continuo y discreto para el MP. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	Metso Minerals Chile S.A. - Fábrica Concón	Fábrica de maquinaria industrial para la minería. Produce Chancadores, Molinos, Alimentadores (feeders) y servicios y piezas para la minería. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	MTE Cemcogas S.A. - Concón	Cemcogas es una empresa metalmecánica dedicada a la manufactura y reparación de cilindros para gas. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	Oxiquim S.A.	Es una empresa dedicada a la distribución, producción y almacenaje de servicios y productos químicos para la industria de alimentos, remedios, agua potable, papel, adhesivos para tableros de madera, producción del cobre, gas licuado y combustibles. Oxiquim provee servicios y materias primas. En su instalación petroquímica, su operación principal es la carga/descarga de camiones cisterna para líquidos a granel desde su terminal marítimo en la bahía de Quintero, traslado a las instalaciones de almacenamiento y distribución para la industria y el sector minero. También posee una planta de resinas sintéticas. Terminal marítimo que presta se, rvicios de almacenamiento y transferencias de graneles líquidos de sustancias químicas. En Oxiquím se han identificado diversas fuentes de emisiones de COVs, tales como: Propano, Gasolina, Terbutilmercaptano (TBM), Sulfato de dimetilo, Mezcla de Hidrocarburos (C10-C14), Trementina, Metanol, Acetato de vinilo, Alcohol Isopropílico (2-Propanol), n-propanol, x-xileno, Estireno, Acrilato de butilo (Butil propil-2-enoato), Fenol, Diesel, Hidrocarburos alifáticos (EXXSOL D-40, Escaid 110), Acrilato de etilo (Propenoato de etilo), Propilenglicol. También se generan emisiones de MP, SO_2, NO_X, CO. Las medidas de abatimiento consideran la implementación de válvulas de presión/vacío, scrubber (para planta de resinas sintéticas).
	Ready Mix Hormigones Ltda. - Planta Concón	Ready Mix es una planta de hormigón. Procesa áridos y cemento para abastecer principalmente al rubro de la construcción. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	Sociedad Petreos S.A. - Planta Placilla	Planta de hormigón. Procesa áridos y cemento para abastecer principalmente al rubro de la construcción. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	Styropek Chile Spa - Planta Styropek Concón	Planta dedicada a la producción de poliestireno, Considera almacenamiento de hidrocarburos en estado líquido, tales como estireno y pentano. Genera emisiones de MP, Nitrógeno, Estireno y Pentano. Considera un sistema denominado "pendulación", que tiene como principio que cada trasvasije se efectúa en circuito semi-cerrado
Suministro de electricidad (D)	Abastible S.A. – Planta Concón	Planta dedicada a la distribución de GLP para los sectores industrial, comercial y residencial. Es esta actividad se producen principalmente emisiones fugitivas de alcanos, como propano y butano.

División	Empresa y Establecimiento	Descripción General de Procesos Industriales y Actividades y emisiones asociadas
	AES Gener - Central Termoeléctrica Ventanas Unidades 1 y 2	Complejo termoeléctrico Ventanas, localizado en la comuna de Puchuncaví. Posee cuatro (4) unidades a carbón con una potencia instalada total de 884 MW. Cada unidad inició su operación comercial en forma desfasada, entre los años 1977 y 2013. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	Central Colmito S.A.	Colmito posee y opera una turbina aeroderivada en ciclo abierto dual. Comenzó sus operaciones en agosto de 2008 y provee energía y respaldo en la parte central del Sistema Eléctrico. La central tiene una capacidad efectiva total de 58 MW. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión. No obstante, podría presentar emisiones fugitivas de metano.
	Empresa Eléctrica Campiche S.A. - Central Termoeléctrica	Central ubicada en Ventanas, comuna de Puchuncaví. Tiene una capacidad instalada de 270 MW y genera energía en base a carbón. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	Empresa Eléctrica Ventanas S.A - Central Termoeléctrica Nueva Ventanas	La central termoeléctrica Nueva Ventanas se ubica en la comuna de Puchuncaví. La planta posee una capacidad instalada de 272 MW y genera energía en base a carbón. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	Empresas Lipigas S.A. - Planta Lipigas Concón	Planta dedicada a la distribución de GLP para los sectores industrial, comercial y residencial. Es esta actividad se producen principalmente emisiones fugitivas de alcanos, como propano y butano.
	ENAP Refinerías S.A. - Planta Cogeneradora	Central de cogeneración en base a gas natural de 125 t/h de vapor de alta presión para alimentar los procesos de la Refinería Aconcagua, produciendo aproximadamente 77 MW de potencia eléctrica y supliendo en su totalidad la demanda de la Refinería e inyectando los excedentes al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Los principales componentes de la central son una turbina eléctrica a gas natural equipada con quemadores de última generación (Dry Low Nox DLN) que permiten disminuir considerablemente las emisiones de NO_X, una Caldera Recuperadora de Calor que operará aprovechando la energía de los gases de escape de la turbina de gas para generar el vapor de proceso. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión. No obstante, podría presentar emisiones fugitivas de metano.
	Enel Generación Chile	Central termoeléctrica Quintero, posee dos (2) unidades a gas natural/Diésel A1 con una potencia instalada de 257 MW. Entró en operación comercial en 2009. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión. No obstante, podría presentar emisiones fugitivas de metano.
	GNL Quintero S.A. - Terminal Marítimo	Terminal de recepción, almacenamiento y regasificación de Gas Natural Licuado (GNL) inaugurado en 2009, fue construido para recibir barcos de hasta 265 mil m^3 de GNL. El Terminal se compone de un muelle, 3 tanques de almacenamiento, vaporizadores, estación de carga de camiones y sala de control. El GNL es recibido desde barcos y almacenado en los Tanques de almacenamiento del Terminal, es enviado posteriormente al área de regasificación donde se encuentran los Vaporizadores, equipos que permiten llevar el GNL nuevamente a su estado gaseoso original e inyectarlo a la red de gasoductos. El Terminal de GNL Quintero tiene cuatro Vaporizadores, cada uno con una capacidad de regasificación de aproximadamente 5 millones de m^3. El primer tanque de almacenamiento tiene 14.000 m^3 de GNL (brutos). Mide aproximadamente 24 metros de alto y 45 de diámetro. Su diseño es de "contención simple" y está rodeado por un dique de contención. Este tanque fue el primero en ser construido y el que operó durante la etapa de entrega de Gas Temprano, suministrando el gas natural a los consumidores un año antes de lo normal, mientras se concluía la construcción de los Tanques de almacenamiento principales. Los dos Tanques principales son de 56 metros de altura, 80 de diámetro y pueden almacenar hasta 160.000 m^3 (brutos) cada uno. Su diseño, de "contención total", consiste en un tanque de acero niquelado (para resistir las temperaturas criogénicas)

División	Empresa y Establecimiento	Descripción General de Procesos Industriales y Actividades y emisiones asociadas
		dentro de otro, cubierto exteriormente por hormigón. Los Tanques principales están construidos sobre 260 aisladores sísmicos, que los hacen resistentes a sismos de gran magnitud y tienen un sistema de monitoreo y alarmas que son controlados desde la sala de control. GNL Quintero tiene la capacidad de almacenar 334.000 m^3 de GNL. Se generan emisiones de P, SO_2, NO_X, CO, HC y COVs, principalmente por emisiones fugitivas de metano.
	TECNORED S.A. - Planta Concón	Central termoeléctrica de menor tamaño, opera en base a diésel. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión, no obstante, podría presentar emisiones fugitivas derivadas de la manipulación y almacenamiento de diésel.
	Catamutun Energía S.A.	Empresa de servicios dedicada a la Importación y distribución de carbón térmico, generación y venta de vapor con equipos de térmicos propios, entre otros servicios. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
Actividades de saneamiento ambiental (E)	Esval S.A.	Cuenta con 21 establecimientos de los cuales 10 corresponden a estaciones elevadoras de agua potable y aguas servidas; 5 corresponden a estanques; 2 Planta de Agua Potable; 3 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas y 1 Emisario Submarino. En estos establecimientos se podrían generar emisiones fugitivas de metano y otros gases derivados de la descomposición microbiológica de la materia orgánica.
Transporte y almacenamiento (H)	Depósitos Asfalticos S.A.	Distribuidor de productos asfálticos. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión.
	Gasmar S.A. – Terminal Quintero	Importador mayorista de GLP que se abastece por vía marítima. Además, posee capacidad de almacenamiento y distribución. El GLP se compone principalmente de propano o butano o una mezcla de ambos. La distribución de GLP a los centro de consumo se realiza mediante gasoductos y camiones. En esta actividad se producen principalmente emisiones fugitivas de alcanos, como propano y butano.
	SONACOL S.A. – Centrales Concón y El Bato	Empresa dedicada al transporte de energía por ductos o tuberías, con una línea Concón-Maipú de 134 km Transporta el 98% de los combustibles a la RMS (gasolinas 93-97, diésel A1, queroseno de aviación y doméstico). Los oleoductos se someten a inspecciones internas realizadas por dispositivos inteligentes denominados "conejos", los que transitan a través de los oleoductos registrando a su paso el detalle de cualquier posible anomalía. En esta actividad se generan emisiones fugitivas de COVs principalmente por pérdidas de presión, fugas, fallas y averías de los sistemas de distribución.
	Terminal Puerto Ventanas S.A.	Es el principal puerto granelero de la zona central del país, presta servicios portuarios como almacenaje, atención de naves, estiba y desestiba y transporte terrestre. Tiene una superficie de más de 27.000 m^2 con 8 bodegas de almacenamiento. Los principales productos almacenados son concentrados de cobre y abastecimiento de carbón. Tiene 4 sitios de atraque de naves y cintas transportadoras las que permiten la carga y descarga de las materias primas y productos. Las principales emisiones se generan como MP y gases derivados de la combustión. No obstante, podría presentar emisiones fugitivas de metano y COVNM producto de la manipulación, transferencias y almacenamiento de combustibles, especialmente en los sistemas de carga, descarga y almacenamiento.
Otros (I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U)	Asociación de Dialisis Ltda - Centro Quintero; Banco De Chile Concón y Quintero; Claro Chile S.A. – Puchuncavi; Clínica Alemana de Santiago S.A. - Centro Maitencillo; Clínica	Corresponden a establecimientos que prestan servicios en el rubro de la salud, las telecomunicaciones, la recreación, entre otros. Las emisiones de COVs, COPs y BETX generadas en estas actividades no son significativas.

División	Empresa y Establecimiento	Descripción General de Procesos Industriales y Actividades y emisiones asociadas
	Ciudad del Mar S.A. - Centro Médico Bosques; Condominio Playa Abanico; Entel PCS Telecomunicaciones S A – Marbella, Concón 1, Concón 2, Quintero Sur; Living Acalis Spa - Residencia Montemar; Servicio de Salud Viña del Mar Quillota; Hospital Adriana Cousiño de Quintero; Sociedad Comercial Pacific Ship Management Ltda. Todo Arauco S.A. - Arauco Premium Outlet Curauma.	

Fuente: Elaboración propia en base a registro de empresas y establecimientos RETC para el año 2020.

La lista detallada de fuentes de emisión, metodologías de cuantificación y tecnologías de control y abatimiento de COVs y BETX de la zona prioritaria se presenta **Anexo 5** asociado a este documento en formato digital.

6.2.2 Empresas y Rubros de Relevancia a Nivel Nacional

La Tabla 13 presenta los resultados de la identificación y caracterización de rubros, procesos industriales y actividades que podrían tener relevancia a nivel nacional en la generación de emisiones atmosféricas, especialmente en la generación de COVs, COPs y BETX.

Tabla 13. Identificación preliminar de Procesos Industriales y Operaciones Unitarias Potenciales Emisoras de COVs, COPs y BETX a nivel nacional

Subsector	Rubro	Descripción
Minería (B5; B6; B7; B8)	Extracción de carbón de piedra y lignito (B5)	En el RETC estos establecimientos se clasifican en la categoría "Explotación de Otras Minas y Canteras N.C.P." categoría que cuenta con 15 establecimientos.
	Extracción de petróleo crudo y gas natural (B6)	Esta categoría en el RETC cuenta con 6 establecimientos., todos localizados en la Región de Magallanes.
	Extracción de minerales metalíferos (B7)	Extracción de otros minerales metalíferos no ferrosos n.c.p. (B7): En Chile la extracción de minerales metalíferos se concentra principalmente en minerales cupríferos.
	Extracción de otras minas y canteras (B8)	La minería no metálica de Chile comprende una gran variedad de productos tales como el Yodo, Nitrato de Sodio y Potasio, Cloruro y Sulfato de Potasio, Cloruro de Sodio, Compuestos de Litio y Compuestos de Boro. Los yacimientos de estos minerales se encuentran principalmente en el norte de Chile en yacimientos de salitre. Las formas principales del salitre son el nitrato de sodio y de potasio.
Industria alimentaria y agropecuaria (C10; C11)	Elaboración de productos alimenticios (C10)	Esta categoría comprende las subcategorías de: Elaboración de Cacao y Chocolate y de Productos de Confitería; Otros Productos Alimenticios N.C.P.; Productos Lácteos; Productos de Molinería; Panadería y Galletas; Aceites y Grasas de Origen Vegetal y

Subsector	Rubro	Descripción
		Animal: Alimentos Preparados para Animales: Azúcar de Remolacha o Caña: Almidones y Productos Derivados del Almidón y Elaboración de Glucosa y Otros Azucares Diferentes de la Remolacha: Macarrones, Fideos, Alcuzcuz y Productos Farináceos Similares. En el RETC existe un total de 277 establecimientos en todas las regiones del país con excepción de Arica y Parinacota, Atacama y La Araucanía.
	Elaboración de bebidas (C11)	Comprende las categorías de Elaboración de Vinos: Bebidas No alcohólicas y Bebidas Malteadas, Cervezas y Maltas. En el RETC hay un total de 88 establecimientos en las regiones: Antofagasta, Araucanía, Arica y Parinacota, Biobío, Coquimbo, O'Higgins, Los Lagos, Los Ríos, Maule, Metropolitana de Santiago y Valparaíso.
Industria Manufacturera (C12: C13: C14: C15)	Elaboración de productos de tabaco (C12)	A esta categoría pertenece sólo un establecimiento ubicado en la Región de O'Higgins.
	Fabricación de productos textiles (C13)	Comprende las siguientes subcategorías: Acabado de Productos Textil: Fabricación de Artículos Confeccionados de Materias Textiles, Excepto Prendas de Vestir: Fabricación de Cuerdas, Cordeles, Bramantes y Redes: Fabricación de Otros Productos Textiles n.c.p.: Fabricación de Tapices y Alfombra: Preparación de Hilatura de Fibras Textiles y Tejedura de Productos Textiles. Los establecimientos comprendidos en estas categorías llegan a 18, los que se localizan en las regiones: Metropolitana: Biobío: Los Lagos y Aysén.
	Curtido y recurtido de cueros: fabricación de calzado y otros (C15)	Considera la subcategoría Curtido y Adobo de Cueros con 6 establecimientos en las regiones del Maule, Metropolitana, Los Lagos y Biobío.
Industria de Madera y Papel (C16: C17)	Fabricación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho (C16)	Incluye las subcategorías: Aserrado y Acepilladura De Maderas: Fabricación de Otros Productos de Madera: Fabricación de Artículos de Corcho, Paja y Materiales Trenzables y Fabricación de Hojas de Madera para Enchapado: Fabricación de Tableros Contrachapados, Tablero Laminado, Tableros de Partículas y Otros Tableros y Paneles. En estas subcategorías se clasifican un total de 88 establecimientos localizados en las regiones: Valparaíso, O'Higgins, Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Magallanes.
	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón (C17)	Comprende un total de 15 establecimientos localizados en las regiones: Metropolitana de Santiago y O'Higgins.
Imprentas (C18)	Actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales (C18)	Comprende las subcategorías: Actividades de Servicio Relacionada con la Impresión y Actividades de Impresión. Los establecimientos en la base de registros RETC llegan a 8, todos localizados en la Región Metropolitana de Santiago.
Industria Petroquímica (C19)	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles (C19)	En Chile, la industria del procesamiento de combustibles está compuestas por las filiales de ENAP, ENAP Refinerías en Concón (anteriormente RPC) y Talcahuano (anteriormente Petrox) y además, las plantas Manantiales, Cullén, Posesión y Cabo Negro, todas ubicadas en la Región de Magallanes. En este sector se consideran también los terminales de Gas Natural Licuado (GNL) y Gas Licuado de Petróleo (GLP). Los principales terminales de GNL se encuentran en Mejillones, que abastece el norte del país, y GNL Quintero, que abastece la zona central, especialmente la RMS. En el caso del GLP el terminal de GASMAR se encuentra en la bahía de Quintero.
Industria Química (C20)	Fabricación de sustancias y productos químicos (C20)	Comprende las subcategorías: Fabricación de Abonos y Compuestos de Nitrógeno: Fabricación de Fibras Manufacturadas: Fabricación de Otros Productos Químicos N.C.P: Fabricación de Pinturas Barnices y Productos de Revestimiento Similares: Tintas de Imprenta y Masillas: Fabricación de Plaguicidas y Otros Productos Químicos De Uso Agropecuario: Fabricación de Sustancias Químicas Básicas, Excepto Abonos y Compuestos de Nitrógeno: Fabricaciones de Jabones y Detergentes, Preparados Para Limpiar y Pulir, Perfumes y Preparados De Tocador. Los establecimientos correspondientes a esta categoría son 56 y se localizan en las regiones: Antofagasta: Araucanía: Arica y Parinacota: Biobío: O'Higgins: Los Lagos: Magallanes y de la Antártica Chilena: Maule: Metropolitana: Tarapacá: Valparaíso
Industria Farmacéutica (C21)	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias	Comprende la Fabricación de Productos Farmacéuticos, Sustancias Químicas Medicinales y Productos Botánicos Productos Botánicos. La cantidad de establecimientos pertenecientes a esta categoría es de 22, los que se localización en las regiones del Biobío, Metropolitana de Santiago, Valparaíso y Los Lagos.

Subsector	Rubro	Descripción
	químicas medicinales y otros (C21)	
Industria del Caucho y el Plástico (C22)	Fabricación de productos de caucho y de plástico (C22)	Comprende las subcategorías: Fabricación de Otros Productos de Caucho; Fabricación de Productos de Plástico; Fabricación de Plásticos en Formas Primarias y de Caucho Sintético; y Fabricación de Cubiertas y Cámaras de Caucho; Recauchutado y Renovación. Los establecimientos en estas subcategorías llegan a 45 y se localizan en las regiones: Antofagasta; Arica y Parinacota; Biobío; Los Lagos; Metropolitana; Tarapacá; Valparaíso.
Industria de Procesamiento de Minerales No Metálicos (C23)	Fabricación de otros productos minerales no metálicos (C23)	Comprende las categorías: Fabricación de Cemento, Cal y Yeso; Fabricación de Artículos de Hormigón, Cemento y Yeso; Fabricación de Otros Productos Minerales No Metálicos; Fabricación de Vidrios y Productos de Vidrio; Fabricación de Productos De Arcilla y Cerámicas No Refractarias Para Uso Estructural. Los establecimientos en estas subcategorías llegan a 102 y se localizan en las regiones: Arica y Parinacota; Biobío; Metropolitana; O'Higgins; Maule; Antofagasta; Tarapacá; Atacama; Valparaíso; Los Lagos; Coquimbo; Araucanía; Los Ríos.
Industria Metalúrgica Primaria (C24)	Fabricación de productos metalúrgicos básicos (C24)	Comprende las subcategorías: Fabricación de Productos Primarios de Metales Preciosos y Metales No Ferrosos; Fundición de Metales No Ferrosos; Fundición de Hierro y Acero. Actualmente, en el RETC declaran 66 establecimientos que ubican en las regiones de: Antofagasta; Arica y Parinacota; Atacama; Biobío; Coquimbo; Libertador Gral. Bernardo O'Higgins; Maule; Metropolitana; Tarapacá; Valparaíso.
Industria Metalúrgica Secundaria (C25)	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (C25)	Comprende las subcategorías: Fabricación de Productos Metálicos Para Uso Estructural; Forja, Prensado, Estampado y Laminado de Metal; Incluye Pulvimetalurgia Fabricación de Armas y Municiones; Reparaciones de Armas; Fabricación de Maquinaria Metalúrgica; Fabricación de Partes y Accesorios para Vehículos Automotores y Sus Motores; Fabricación de Motores, Generadores y Transformadores Eléctricos; Fabricación de Artículos de Cuchillería, Herramientas de Mano y Artículos de Ferretería; Fabricación de Carrocerías para Vehículos Automotores; Fabricación de Remolques y Semirremolques; Fabricación de Tanques, Depósitos y Recipientes De Metal; Fabricación De Motores y Turbinas, Excepto Para Aeronaves Vehículos Automotores Y Motocicletas; Fabricación de Aeronaves y Naves Espaciales; Fabricación de Vehículos Automotores. Los establecimientos en estas subcategorías son: 29, localizados en las regiones del Biobío, Metropolitana de Santiago, Antofagasta y Valparaíso.
Otras Industrias de Manufactura (C31; C32; C33)	Fabricación de muebles, colchones y somieres (C31)	Comprende la subcategoría Fabricación de Muebles con un total de 14 establecimientos en las regiones: Metropolitana de Santiago, Biobío, La Araucanía y Los Ríos.
	Otras industrias manufactureras (C32)	Comprende las subcategorías: Otras Industrias N.C.P; Fabricación de Equipo Médico y Quirúrgico y de Aparatos Ortopédicos, Sus Reparaciones; Fabricación de Instrumentos de Óptica y Equipo Fotográfico; Fabricación de Instrumentos y Aparatos para Medir, Verificar, Ensayar, Navegar. Son 8 establecimientos localizados en las regiones Metropolitana de Santiago, Maule y Biobío.
	Instalación, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo (C33)	No hay establecimientos en esta categoría actualmente en el Registro RETC.
Industria Energética (D)	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado (D35)	Comprende las subcategorías: Suministro de Vapor y Agua Caliente y Generación, Captación y Distribución de Energía Eléctrica. Los establecimientos llegan a un total de 392 en todas las regiones del país, con excepción de La Araucanía.
Industria Sanitaria (E)	Evacuación y tratamiento de aguas residuales (37)	Comprende la categoría Eliminación de Desperdicios de Aguas Residuales, Saneamiento y Actividades Similares, con un total de 400 establecimientos en las regiones de Antofagasta; Araucanía; Atacama; Aysén; Biobío; Coquimbo; O'Higgins; Los Lagos; Los Ríos; Maule; Metropolitana; Valparaíso.
	Tratamiento y disposición de residuos sólidos (E38)	
	Tratamiento y disposición de residuos peligrosos (E3812)	

Subsector	Rubro	Descripción
Transporte y Almacenamiento (H)	Almacenamiento y actividades complementarias al transporte (H52)	Comprende las subcategorías: Servicios de Almacenamiento y Depósito: Transporte por Tuberías: y Otras Actividades de Transporte Complementarias. Los establecimientos contabilizados en el registro RETC son 202 y se localizan en todas las regiones del país, con excepción de la región de La Araucanía.

Fuente: Elaboración Propia en base a información descargada de la Plataforma RETC durante julio y agosto de 2020

6.2.3 Clasificación de Empresas y Rubros

La CIIU - Revisión 4 (ONU, 2009), tiene como propósito ofrecer un conjunto de categorías de actividades para el análisis y difusión de datos estadísticos. La estructura de la clasificación es un formato estándar que permite organizar la información de manera detallada. La CIIU ha sido ampliamente utilizada a nivel nacional e internacional. Chile homologó la Revisión 4 de la CIIU con las actividades del Clasificador Chileno de Actividades Económicas, mediante Resolución Exenta SII N° 56 del 9 de julio de 2018 (SII, 2018).

La CIIU abarca en general las actividades productivas, es decir, las actividades económicas comprendidas dentro de la frontera de producción del Sistema de Cuentas Nacionales (SCN). Las actividades económicas se subdividen en una estructura jerárquica integrada por cuatro niveles de categorías mutuamente excluyentes, lo que facilita la agrupación, presentación y análisis de datos en forma estandarizada y comparable internacionalmente.

Las categorías del nivel superior de la clasificación se denominan secciones, las que son categorías identificadas por un código alfabético y que subdividen el espectro completo de actividades productivas en grandes grupos. La clasificación se estructura a partir de esas secciones en categorías cada vez más detalladas, identificadas por un código numérico, que es de dos dígitos para las divisiones, de tres dígitos para los grupos, y de cuatro dígitos para las clases, el nivel más desagregado. La clasificación se utiliza para estructurar por clases unidades estadísticas, como establecimientos o empresas, según la principal actividad económica a la que se dedican.

La CIIU ocupa una posición central entre las clasificaciones existentes de las actividades económicas y de otras clasificaciones económicas, como las de productos. Constituye la norma internacionalmente aceptada para la clasificación en categorías de las unidades de producción de una economía, lo que facilita la comparación de los datos a nivel nacional e internacional. Las principales definiciones de la CIIU son:

- **Empresa:** se entiende por empresa una entidad institucional en su calidad de productora de bienes y servicios. Una empresa es un agente económico con autonomía para adoptar decisiones financieras y de inversión y con autoridad y responsabilidad para asignar recursos a la producción de bienes y servicios y que puede realizar una o varias actividades productivas. Una empresa puede ser una

sociedad (o cuasi sociedad), una institución sin fines de lucro o una empresa no constituida en sociedad. Las empresas constituidas en sociedades y las instituciones sin fines de lucro son unidades institucionales completas. En cambio, por "empresa no constituida en sociedad" se entiende una unidad institucional —un hogar o una dependencia gubernamental— exclusivamente en su calidad de productora de bienes y servicios.

La empresa es el nivel estadístico al que se reúne toda la información relativa a sus transacciones, incluidas cuentas financieras y balances, y al que pueden analizarse las transacciones internacionales, la posición internacional de inversiones (cuando procede), la posición financiera consolidada y el valor neto.

- **Establecimiento:** el establecimiento es la unidad estadística que se define y delimita para las estadísticas industriales o de producción. El establecimiento se define como una empresa o parte de una empresa ubicada en un único emplazamiento y en la que sólo se realiza una actividad productiva (no auxiliar) o en la que la actividad productiva principal genera la mayor parte del valor añadido. La CIIU está concebida para agrupar las unidades que realizan actividades similares con el fin de analizar la producción y compilar las estadísticas de producción. Aunque es posible clasificar las empresas por sus actividades principales utilizando la CIIU y agruparlas en industrias, algunas de las esas industrias resultarán probablemente muy heterogéneas si las empresas realizan actividades secundarias muy diferentes de sus actividades principales. Se hace así necesario dividir las empresas grandes y complejas en unidades más homogéneas sobre las que puedan compilarse datos de producción. Eso es particularmente importante en el caso de empresas que generan una proporción considerable del valor añadido de determinadas industrias o del conjunto de la economía. Aunque la definición de establecimiento no excluye la posibilidad de que se realicen una o más actividades secundarias, éstas deben ser actividades de pequeña escala en comparación con la actividad principal. Si la actividad secundaria de una empresa es tan importante o casi tan importante como la actividad principal, la unidad debe considerarse más bien como una unidad local. Debe subdividirse de manera que la segunda actividad se trate como si se realizara en un establecimiento separado de aquel en el que se realiza la actividad principal. En el caso de la mayor parte de las entidades pequeñas y medianas, la empresa y el establecimiento coincidirán exactamente. Las empresas grandes y complejas que realizan muchas actividades pertenecientes a diferentes industrias de la CIIU estarán compuestas de más de un establecimiento,

a condición de que se puedan identificar unidades de producción menores y más homogéneas sobre las que puedan compilarse datos de producción.

La CIIU – Revisión 4 presenta 21 secciones, para cada sección se ha determinado la aplicabilidad para la identificación de operaciones unitarias o actividades que puedan generar emisiones de COVs, COPs y BETX dentro del perímetro de un establecimiento. Las actividades aplicables se identifican en Tabla 14.

Tabla 14. Secciones establecidas en la CIIU – Revisión 4

Sección	Descripción	Aplicabilidad
A	Agricultura, Ganadería, Caza, Silvicultura y Pesca	No Aplica
B	Explotación de Minas y Canteras	**Aplica**
C	Industrias Manufactureras	**Aplica**
D	Suministro de Electricidad, Gas, Vapor y Aire Acondicionado	**Aplica**
E	Distribución de Agua; Evacuación y Tratamiento de Aguas Residuales, Gestión de Desechos y Actividades de Saneamiento Ambiental	**Aplica**
F	Construcción	No Aplica
G	Comercio al por Mayor y al por Menor; Reparación de Vehículos Automotores y Motocicletas	No Aplica
H	Transporte y Almacenamiento	**Aplica**
I	Alojamiento y Servicios de Comida	No Aplica
J	Información y Comunicaciones	No Aplica
K	Actividades Financieras y De Seguros	No Aplica
L	Actividades Inmobiliarias	No Aplica
M	Actividades Profesionales, Científicas y Técnicas	No Aplica
N	Actividades de Servicios Administrativos y de Apoyo	No Aplica
O	Administración Pública y Defensa; Planes de Seguridad Social de Afiliación Obligatoria	No Aplica
P	Educación	No Aplica
Q	Actividades de Atención de la Salud Humana y de Asistencia Social	No Aplica
R	Actividades Artísticas, de Entretenimiento y Recreación	No Aplica
S	Otras Actividades de Servicios	No Aplica
T	Actividades de los Hogares Individuales en Calidad de Empleadores; Actividades No Diferenciadas De Los Hogares Individuales Como Productores De Bienes Y Servicios Para Uso Propio	No Aplica
U	Actividades de Organizaciones y Entidades Extraterritoriales	No Aplica

Se identificó un total de cinco secciones de la CIIU que comprenden actividades económicas que usualmente son llevadas a cabo dentro del perímetro de un establecimiento industrial con un potencial significativo de generación de emisiones de COVs, COPs y BETX. En estas secciones hay más de 190 categorías para actividades industriales que se llevan a cabo en Chile, las que comprenden un código para División (D), Grupo (G) y Clase (C). La CIIU para establecimiento industriales aplicables a la industria chilena se presenta en **Anexo 3** asociado a este documento en formato digital.

6.3 Identificación y Clasificación de Compuestos y Contaminantes

6.3.1 Listado de Contaminantes

Los lineamientos de la EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 (2.D Solvent and product use), establece las categorías para la clasificación de Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (COVNMs) que se presentan en Tabla 15.

Tabla 15. Categorías para Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (COVNMs)

Categoría COVNM
Hidrocarburos Alifáticos
Alcoholes
Aminas
Cetonas
Esteres
Éteres
Hidrocarburos aromáticos
Hidrocarburos clorados
Ácidos orgánicos

Los alcanos presentes en las emisiones son predominantemente propelentes de butano y propano. El etanol es el alcohol más utilizado a nivel doméstico e industrial, en ausencia de información más detallada, se recomienda asumir que todas las emisiones de productos que no son aerosoles son de etanol. Se espera que el segundo constituyente más importante sea la trementina (EEA, 2019).

Los solventes orgánicos utilizados como agentes de limpieza a nivel industrial, más comunes son: Cloruro de Metileno (MC), Tetracloroetileno (PER), Tricloroetileno (TRI) y los Xilenos (XYL). El uso de Clorofluorocarbonos (CFCs) fue desplazado por Hidrofluorocarbonos (HFCs) y Perfluorocarbonos (PFCs). El uso de 1,1,1, -tricloroetano (TCA) ha sido prohibido desde el Protocolo de Montreal y reemplazado por tricloroetileno (TRI). La aplicación de cloruro de metileno, tetracloroetileno y tricloroetileno normalmente requiere una máquina de limpieza cerrada. Para los limpiadores en frío por lotes, los principales disolventes utilizados son alcoholes minerales, disolventes “Stoddard” (aguarrás) y alcoholes como propilenglicol (EEA, 2019).

Para la elaboración de un listado de contaminantes se determinaron criterios de inclusión, los que fueron validados y modificados por la contraparte del MMA. En la Figura 4 se presenta un diagrama que permite determinar los compuestos que formarán parte de esta lista.

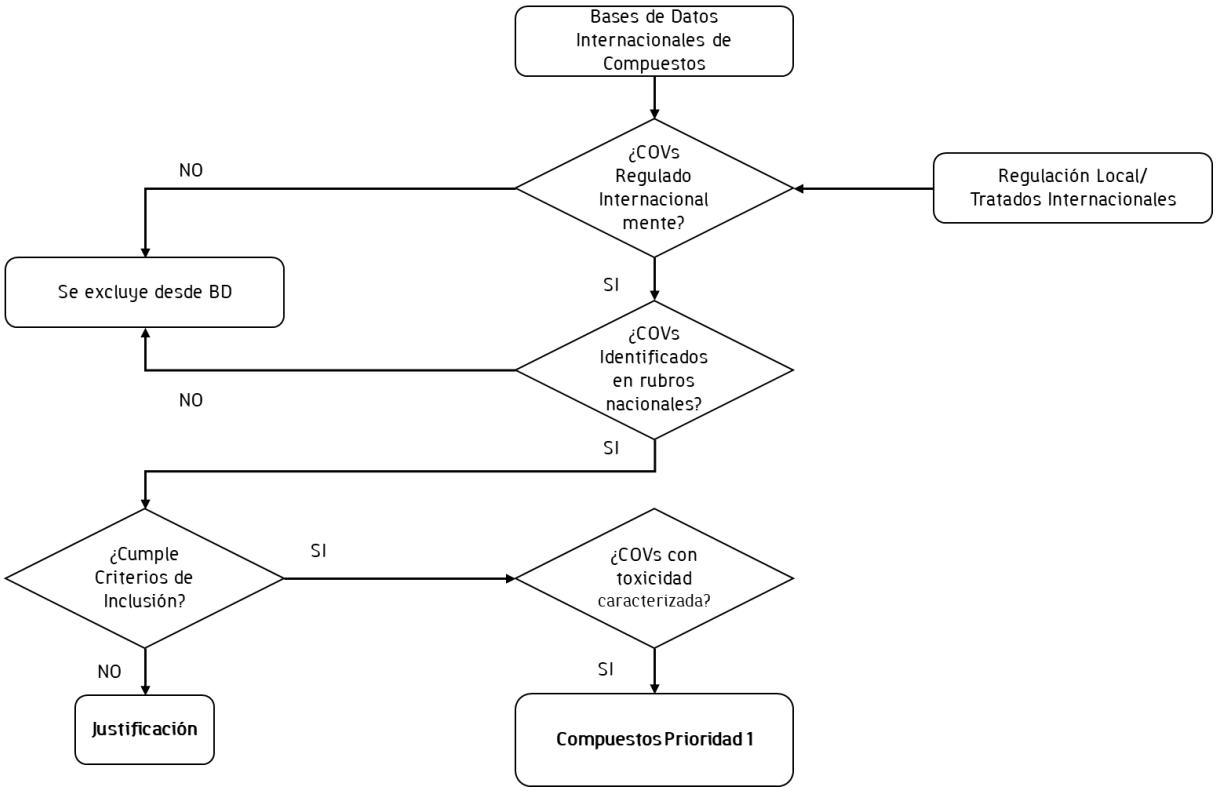


Figura 4. Criterios de inclusión y exclusión de Compuestos para la elaboración de un Listado de Contaminantes COVs, COPs y BETX

A partir de la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión de compuestos se determinaron los siguientes resultados:

- Lista total de compuestos: 376.
- Compuestos regulados internacionalmente y localmente (incluyendo tratados internacionales): 251.
- Compuestos con toxicidad caracterizada por la US-EPA: 248 compuestos.
- Compuestos Prohibidos por Tratados Internacionales: 24.
- Compuestos Identificados en Rubros Nacionales: 95.

La lista de compuestos que cumplen con los criterios establecidos para ser considerados como Prioridad 1, se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Compuestos Prioridad 1

CASRN	Denominación Química/IUPAC	Nombre Comercial/Abreviación	EPA DSSTOX_ID	Referencia
50000	Formaldehyde	Metanal/Formalina/Aldehído fórmico/Óxido de Metileno/Metanaldehído/Oxometano/ Formol	DTXSID7020637	Ind. Chile; ATSDR; US-EPA; Canadá; NPI Australia
60355	Acetamide	Acetamida	DTXSID7020005	Ind. Chile; US-EPA
62533	Aniline	Anilina	DTXSID8020090	Ind. Chile; US-EPA; Canadá; NPI Australia
64175	Ethanol	Etanol	DTXSID9020584	Ind. Chile; Canadá; NPI Australia
67561	Methanol	Metanol/Carbinol/Alcohol metílico/Alcohol de madera/Espíritu de madera	DTXSID2021731	Ind. Chile ;US-EPA; Canadá; NPI Australia
67630	Isopropyl Alcohol	2-Propanol/Isopropanol/Alcohol isopropílico/IPA	DTXSID7020762	Ind. Chile; Canadá
67641	Acetone/Propan-2-one	Acetona/Propanona	DTXSID8021482	Ind. Chile; ATSDR; NPI Australia
67663	Chloroform	Cloroformo/Tricloruro de metilo/Triclorometano	DTXSID1020306	Ind. Chile; NILU; ATSDR; US-EPA; NPI Australia
67721	Hexachloroethane	Hexacloroetano	DTXSID7020689	Ind. Chile; ATSDR; US-EPA
68122	Dimethyl formamide	N,N-dimetilformamida (DMF)	DTXSID6020515	Ind. Chile; US-EPA
71432	Benzene	Benceno	DTXSID3039242	Ind. Chile; Fallo ICS; PPDA Concón Quintero Puchuncaví; ATSDR; Canadá; NPI Australia
74828	Methane	Metano	DTXSID8025545	Ind. Chile;
74840	Ethane	Etano	DTXSID6026377	Ind. Chile; NILU
74851	Ethylene	Etileno/Eteno	DTXSID1026378	Ind. Chile; Canadá
74862	Acetylene	Acetileno/Etino/ Vinileno	DTXSID6026379	Ind. Chile; Canadá
74873	Chloromethane	Clorometano/Cloruro de metilo	DTXSID0021541	Ind. Chile; ATSDR; US-EPA
74884	Methyl iodide/Iodomethane	Yoduro de metilo	DTXSID0024187	Ind. Chile; US-EPA
74931	Methyl Mercaptan/Metanotiol	Metanotiol/Metilmercaptano	DTXSID5026382	Ind. Chile; NILU; ATSDR
74986	Propane	Propano	DTXSID5026386	Ind. Chile ;Canadá
75003	Chloroethane	Cloroetano/Cloruro de etilo	DTXSID1020302	Ind. Chile; ATSDR; US-EPA; NPI Australia
75014	Vinyl Chloride	Cloruro de vinilo	DTXSID8021434	Ind. Chile; ATSDR; US-EPA; NPI Australia
75058	Acetonitrile	Acetonitrilo	DTXSID7020009	Ind. Chile; US-EPA; NPI Australia
75070	Acetaldehyde	Acetaldehído	DTXSID5039224	Ind. Chile; US-EPA; NPI Australia
75092	Methylene chloride (Dichloromethane)	Cloruro de metileno/Diclorometano	DTXSID0020868	Ind. Chile; NILU; US-EPA; NPI Australia
75150	Carbon Disulfide	Disulfuro de carbono/Sulfuro de carbono	DTXSID6023947	Ind. Chile; NILU; ATSDR
75274	Bromodichloromethane	Bromodiclorometano/BDCM	DTXSID1020198	Ind. Chile; ATSDR

CASRN	Denominación Química/IUPAC	Nombre Comercial/Abreviación	EPA DSSTOX_ID	Referencia
75285	2-methylpropane	Isobutano/Metilpropano	DTXSID1026401	Ind. Chile: NILU
75343	1,1-Dichloroethane	1,1-Dicloroetano	DTXSID1020437	Ind. Chile: ATSDR; US-EPA
75376	1,1-Difluoroethane	Difluoroetano/HFC-152a	DTXSID0024050	Ind. Chile: Protocolo de Kioto
77474	Hexachlorocyclopentadiene	Hexaclorociclopentadieno	DTXSID2020688	Ind. Chile: US-EPA
79005	1,1,2-Trichloroethane	1,1,2-Tricloroetano	DTXSID5021380	Ind. Chile: ATSDR; US-EPA; NPI Australia
79016	Trichloroethylene	TCE	DTXSID0021383	Ind. Chile: ATSDR; US-EPA; NPI Australia
79061	Acrylamide	Acrilamida	DTXSID5020027	Ind. Chile: US-EPA
79107	Acrylic acid	Ácido acrílico	DTXSID0039229	Ind. Chile: US-EPA; NPI Australia
79345	1,1,2,2-Tetrachloroethane	1,1,2,2-Tetracloroetano	DTXSID7021318	Ind. Chile: ATSDR; US-EPA; NPI Australia
80568	Alpha-Pinene/(1S,5S)-2,6,6-Trimethylbicyclo[3.1.1]hept-2-ene ((−)-α-Pinene)	Alfa-pineno	DTXSID4026501	Ind. Chile: Canadá
80626	Methyl methacrylate	Metacrilato de metilo	DTXSID2020844	Ind. Chile: US-EPA; NPI Australia
82688	Pentachloronitrobenzene /Quintobenzene	Pentacloronitrobenceno/PCNB	DTXSID2021105	Ind. Chile: US-EPA
95476	o-Xylenes	o-Xilenos	DTXSID3021807	Ind. Chile: US-EPA
95636	1,2,4-Trimethylbenzene	1,2,4-Trimetilbenceno	DTXSID6021402	Ind. Chile: Canadá
98953	Nitrobenzene	Nitrobenceno	DTXSID3020964	Ind. Chile: Fallo ICS; NILU; ATSDR; US-EPA
100414	Ethylbenzene	Etilbenceno	DTXSID3020596	Ind. Chile: ATSDR; US-EPA; NPI Australia
106423	p-Xylenes	p-Xileno	DTXSID2021868	Ind. Chile: US-EPA
106467	1,4-Dichlorobenzene(p)	1,4-Diclorobenceno	DTXSID1020431	Ind. Chile: US-EPA; Canadá
106978	Butane	Butano/n-butano	DTXSID7024665	Ind. Chile: NILU
106989	but-1-ene/1-butene/butene	Butileno	DTXSID1026746	Ind. Chile: Ind. Chile
107062	1,2-Dichloroethane	1,2-Dicloroetano	DTXSID6020438	Ind. Chile: ATSDR; US-EPA; Canadá; NPI Australia
108383	m-Xylenes	m-xileno	DTXSID6026298	Ind. Chile: US-EPA
108883	1-metil-1,3,5-ciclohexatrieno	Metilbenceno/Tolueno/Toluol/Metilbenzol	DTXSID7021360	Ind. Chile: Fallo ICS; PPDA Concón Quintero Puchuncaví; NILU; ATSDR; US-EPA; Canadá; NPI Australia
108907	Chlorobenzene	Clorobenceno	DTXSID4020298	Ind. Chile: ATSDR; US-EPA; Canadá
110543	Hexano/n-Hexane	Hexano	DTXSID0021917	Ind. Chile: ATSDR; US-EPA; Canadá; NPI Australia
115071	Propylene	Propileno/Propeno	DTXSID5021205	Ind. Chile: Canadá
118741	Hexachlorobenzene	Hexaclorobenceno	DTXSID2020682	Ind. Chile: Convenio de Estocolmo; Fallo ICS; US-EPA
120821	1,2,4-Trichlorobenzene	1,2,4-Triclorobenceno	DTXSID0021965	Ind. Chile: US-EPA

CASRN	Denominación Química/IUPAC	Nombre Comercial/Abreviación	EPA DSSTOX_ID	Referencia
124049	Hexanedioic acid	Ácido adípico	DTXSID7021605	Ind. Chile: Canadá
126998	Chloroprene/2-Chlorobuta-1,3-diene	Cloropreno	DTXSID5020316	Ind. Chile: US-EPA
127184	Perchloroethylene/Tetrachloroethylene/1,1,2,2-tetrachloroethene	Tetracloroetileno/Percloroetileno/PERC	DTXSID2021319	Ind. Chile: NILU: ATSDR: US-EPA: NPI Australia
156592	1,2-Dichloroethene	1,2-Dicloroeteno	DTXSID2024030	Ind. Chile: ATSDR
542756	1,3-Dichloropropene	1,3-Dicloropropeno	DTXSID1022057	Ind. Chile: US-EPA
811972	1,1,1,2-Tetrafluoroethane	1,1,1,2-Tetrafluoroetano/HFC-134a	DTXSID1021324	Ind. Chile: Protocolo de Kioto
1330207	Xylenes (isomers and mixture)	Xileno	DTXSID2021446	Ind. Chile: Fallo ICS: ATSDR: US-EPA: NPI Australia
1634044	Methyl tert butyl ether	Metil ter-butil éter/MTBE	DTXSID3020833	Ind. Chile: US-EPA
8052413	Stoddard Solvent/White spirit	Disolvente de Stoddard	DTXSID9026051	Ind. Chile: ATSDR

La lista de compuestos contaminantes de COVs, COPs y BETX se presenta en **Anexo 4** asociado a este documento en formato digital.

6.3.2 Clasificación de Peligrosidad

Considerando que el plan de aplicación adoptado en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (CMDS) de Johannesburgo en el año 2002, alentó a los países a aplicar el nuevo GHS lo antes posible, motivó a que Chile se encuentre en proceso de adoptar el sistema GHS en su normativa, estandarizando estos criterios con el resto del mundo.

Este sistema ya ha se encuentra implementado en los instrumentos de regulación y control de importantes naciones, como es el caso de la Unión Europea, Estados Unidos, China y Canadá. Por esta razón los criterios y métodos de GHS están alineados con la ECHA, OIT, US-EPA y OMS, entre otros.

La implementación del GHS a nivel mundial se ha realizado por medio de diferentes instrumentos legales internacionales, códigos y recomendaciones, tales como:

- Gestión de plaguicidas: códigos y directrices de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por su sigla en inglés).
- Prevención y tratamiento de intoxicaciones: clasificación de pesticidas de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- Transporte de mercancías peligrosas: recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el transporte de mercancías peligrosas.
- Medio ambiente: Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos

transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

El GHS es un sistema con criterios semicuantitativos o cualitativos que se aplica a sustancias puras, a soluciones diluidas y a mezclas, entregando una metodología sencilla, clara entre clases y categorías para una "autoclasificación". De esta forma es posible obtener información relevante para el conocimiento de los tipos de compuestos químicos que conforman el alcance del presente estudio.

La clasificación del GHS incorpora tres pasos:

- Identificación de los datos relevantes sobre los peligros de una sustancia o mezcla:
- Examen ulterior de esos datos para identificar los peligros asociados a la sustancia o mezcla:
- Decisión sobre si la sustancia o mezcla se clasificará como peligrosa y determinación de su grado de peligrosidad, en caso necesario, comparando los datos con criterios de clasificación de peligros convenidos.
- Los criterios de clasificación de GHS considera categorías para:
  - Toxicidad aguda.
  - Corrosión/irritación cutánea.
  - Irritación ocular.
  - Sensibilización cutánea y ocular.
  - Mutagenicidad en células germinales: categoría 1.
  - Mutagenicidad en células germinales: categoría 2.
  - Carcinogenicidad.
  - Toxicidad para la reproducción.
  - Toxicidad específica de órganos diana (exposición única).
  - Toxicidad específica de órganos diana (exposición repetida).
  - Peligros por aspiración: categoría 1.
  - Peligros por aspiración: categoría 2.
  - Toxicidad para el medio ambiente acuático.

El Sistema asigna una codificación de peligrosidad, consistente en una clave alfanumérica de una letra y tres números, estos son:

- Letra H (indicación de peligro), del inglés "Hazard Statement".
- Un número que designa el tipo del peligro al que se asigna la indicación, siguiendo la numeración de las diversas partes de los criterios del GHS, a saber:
  - "2" en el caso de peligro físicos.
  - "3" en el caso de peligros a la salud.
  - "4" en el caso de peligros al Medio Ambiente.
- Dos números que corresponden a la numeración consecutiva de los peligros según las propiedades intrínsecas de la sustancia o la mezcla.

Se realizó una clasificación de peligrosidad de cada compuesto químico identificado, utilizando los criterios del GHS. Estos criterios se han revisado porque su uso es sistemático, generalizado e internacionalmente comprensible, específicamente en la protección de la salud humana y el ambiente; por lo que los fabricantes de químicos utilizan estos estándares para la entrega de información sobre sus productos.

Este sistema ya ha se encuentra implementado en los instrumentos de regulación y control de importantes naciones, como es el caso de la Unión Europea, Estados Unidos, China y Canadá. Por esta razón los criterios y métodos de GHS están alineados con la ECHA, OIT, US-EPA y OMS, entre otros.

La información obtenida del sistema IRIS de la US-EPA considera la siguiente información relacionada a la toxicidad de las sustancias:

- Análisis de dosis de Referencia para Exposición Oral (RfD).
- Análisis de Concentración de Referencia para Inhalación (RfC).
- Análisis de Carcinogenicidad.
- La identificación de Toxicidad de la Sustancia (ID DSSTox[51], por su sigla en inglés).

Actualmente, existe información de 100.000 compuestos tóxicos en la Base de Datos de Sustancias Tóxicas y Peligrosas RISCTOX[52], incluyendo COPs. Los registros solo incluyen datos básicos: nombre, sinónimos, número de identificación CAS, grupos químicos, usos

[51] Distributed Structure-Searchable Toxicity Database.

[52] RISTOC corresponde a una base de datos de dominio público sobre sustancias peligrosas que se relaciona principalmente con sustancias que ofrecen riesgo a la salud humana y al medioambiente. La estructura de la base de datos se diseñó en fichas con un buscador por producto, números de identificación CAS.

principales, fórmula molecular y alguna información adicional (i.e. si pertenece a la Lista Negra de ISTAS), especificando riesgos para la salud humana.

La clasificación de peligrosidad y toxicidad para cada compuesto se presenta en **Anexo 4** asociado a este documento en formato digital.

6.3.3 Codificación de Compuestos

Se identificaron los códigos de registro numérico del Chemical Abstract Service (CASRN[53], por su sigla en inglés) para cada sustancia contaminante. El listado de sustancias contaminantes con su respectivo código se presenta en **Anexo 4** asociado a este documento en formato digital.

6.4 Revisión de RCAs de la Zona Prioritaria

6.4.1 Identificación, clasificación y categorización de información dispuesta en RCAs

La revisión de la información establecida mediante RCAs aprobadas de proyectos en la zona prioritaria, permitió identificar los siguientes aspectos sobre estimación o cuantificación de emisiones de COVs, COPs y BETX:

- Los sectores que cuentan con RCAs aprobadas en la zona prioritaria corresponden a Energía, Infraestructura Portuaria, Instalaciones Fabriles, Oleoductos y Gasoductos, Producción y Almacenamiento de Sustancias, Proyectos Mineros y Saneamiento.
- En total se revisaron las RCAs de 104 proyectos, de los cuales 19 estiman emisiones de COVs, incluyendo dos proyectos en los que se estimaron también emisiones de BETX.
- No se encontró ningún proyecto que realice estimaciones de COPs.
- Reportabilidad de las emisiones de COVs y BETX indicando parámetros, frecuencia de reporte y organismos destinatarios. Esta información fue considerada para integrar, en lo posible, la información de estos reportes con el formulario de estimación desarrollado en el marco del presente Estudio.
- La metodología de estimación más utilizada corresponde a la EPA AP-42, quinta edición:
  - Capítulo 7.1: "Organic Liquid Storage Tanks".

[53] Chemical Abstract Service Registry Number.

- Capítulo 1.4: "Natural Gas Combustion".
- Capítulo 13.5: "Industrial Flares".
- Capítulo 5.1: "Petroleum Refining".
- Software TANKS, desarrollado por la EPA.

- Otras metodologías señaladas en las RCAs de los proyectos son:
  - API (American Petroleum Institute), Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous material (Liquids and gases). Parts I and II. CPR 14E. The Yellow Book, TNO. 1997.
  - Emission Estimation Technique Manual National Pollutant Inventory Environment Australia for Oil & Gas Exploration & Production, 1999.
  - Emission Estimation Technique Manual National Pollutant Inventory Environment Australia for Fuel and Organic Liquid Storage, 2002.
  - Metodologías de estimación basadas en muestreos.
- Para los proyectos que cuentan con estimación de emisiones de COVs y/o BETX, se identificaron las materias primas, productos intermedios y/o finales indicados en sus RCAs, que eventualmente podrían generar emisiones de estos contaminantes. Las sustancias potencialmente emisoras son:
  - 2-Etil-hexil Acrilato.
  - Aceite Base Chevron 220 N.
  - Aceite Base Star 12.
  - Aceite Residual.
  - Aceite Tratado.
  - Acetato de Vinilo.
  - Acetona.
  - Acido Acrílico.
  - Acrilamida (Sol. 30%)
  - Acrilonitrilo.
  - Trementina (aguarrás).

- Butil Acrilato.
- Chev 110 N
- Diésel.
- Diluyente.
- Escaid 110.
- Estireno.
- Exxsol D40.
- Fenol.
- Fuel Oil 5 y 6.
- Gasolina.
- GNL.
- Isopropanol.
- Kerosene de Aviación.
- LMFO N° 386
- Metacrilato de Metilo
- Metanol.
- Metil Etil Cetona.
- N-Butil Acrilato.
- Pentano.
- Petróleo crudo.
- Pintura.
- Poliol.
- Propilenglicol.
- Prowax 320.
- Tolueno.
- Vinil Acetato Monómero (VAM).

- Xileno.

Las metodologías de estimación de emisiones de COVs, COPs y BETX fueron registradas y clasificadas en una base de datos que se presenta en **Anexo 5** asociado a este documento en formato digital.

6.4.2 Identificación, clasificación y categorización de medidas de mitigación y abatimiento para emisiones de COVs, COPs y BETX dispuesta en RCAs

Se realizó una identificación de medidas mitigación y abatimiento de COVs y/o BETX establecidas en las RCAs de los proyectos de la zona prioritaria aprobados ambientalmente. Al respecto cabe señalar lo siguiente:

- Se identificaron medidas de mitigación y tecnologías de control y abatimiento de emisiones.
- Del total de RCAs de proyectos revisados (104), sólo dos proyectos consideran tecnología de abatimiento (Scrubber para rubro instalación fabril; el cual estima emisiones de COVs y BETX; y del rubro de producción y almacenamiento de sustancias, el cual no realiza estimación de emisiones de COVs y/o BETX).
- Del total de RCAs de proyectos revisados (104), sólo siete proyectos consideran medidas de mitigación para prevenir emisiones de COVs y/o BETX: mantas flotantes, doble sello, válvulas de presión/vacío, tanques pintados de blanco para aumentar reflexión solar. Otros dos proyectos mencionan medidas tales como mantención regular de equipos y automatización de procesos.

Las medidas de mitigación y abatimiento de emisiones de COVs, COPs y BETX fueron registradas y clasificadas en una base de datos que se presenta en **Anexo 5** asociado a este documento en formato digital.

6.4.3 Sistematización de la información de RCAs y Establecimientos RETC

La información sistematizada sobre emisiones de COVs, COPs y BETX de los proyectos existentes en la zona prioritaria con RCAs aprobadas se presenta en **Anexo 5** asociado a este documento en formato digital.

6.5 Metodologías para la Estimación de Emisiones

Las metodologías de estimación de emisiones propuestas para la declaración de COVs, COPs y BETX por fuentes no puntuales y procesos distintos de la combustión para el Reporte Único de Emisiones Atmosféricas (RUEA–Ex F138) del RETC corresponden a metodologías

para el reporte y la elaboración de inventarios de emisiones, bajo convenciones, protocolos y estándares internacionales, tales como:

- Convenio de Ginebra sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia (Convention on Longrange Transboundary Air Pollution).
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC[54], por su sigla en inglés).
- Convenio de Aarhus de la CEPE (UNECE[55], por su sigla en inglés): Protocolo de Kiev sobre Registro y Transferencia de Contaminantes.

Se determinó que los métodos de estimación de emisiones más apropiadas para la elaboración de un Formulario de Declaración de COVs, COPs y BETX corresponden a factores de emisión. Los métodos de cálculo que se utilizan se describen a continuación:

- Métodos Tier 1: el método de cálculo Tier 1 se aplica utilizando datos de actividad totales y/o anuales para el proceso o sector. Estos métodos asumen tecnologías de producción y/o medidas de reducción y abatimiento promedio o típicas para cada industria. Los factores de emisión utilizados en los métodos Tier 1 son valores por defecto, que se aplican a un nivel general y que incluyen diversos supuestos, por lo tanto, las estimaciones presentarán mayores niveles de incertidumbre. Los métodos Tier 1 utilizan la Ecuación 1.

$$E_i = NA \times FE_i \times \left(1 - \frac{EA}{100}\right)$$

Ecuación 1. Método de Estimación de Emisiones Tier 1 para Procesos Productivos

Dónde:

E_i: Emisiones del contaminante i

NA: Nivel de Actividad del proceso asociado

FE_i: Factor de Emisión para el contaminante i.

EA: Eficiencia de Abatimiento (%).[56]

[54] United Nations Framework Convention on Climate Change.
[55] United Nations Economic Commission for Europe.
[56] La EA se utiliza sólo en los casos en que las fuentes de emisión cuenten con sistema de reducción y/o abatimiento de emisiones que no estén considerados implícitamente en el FE utilizado.

En el caso de aplicar tecnologías de control se deben considerar las eficiencias de abatimiento en la ecuación.

- Métodos Tier 2: el método Tier 2 es similar al método Tier 1, respecto al uso de datos de actividad, como de factores de emisión. No obstante, estos métodos utilizan factores de emisión específicos para las tecnologías y técnicas utilizadas en la industria y/o país. Los datos de actividad deben desagregarse por producto y/o proceso. Los métodos Tier 2 utilizan la Ecuación 2.

$$E_i = \sum_{tecn} NA_{prod/tecn} \times FE_{i/tecn} \times \left(1 - \frac{EA}{100}\right)$$

Ecuación 2. Método de Estimación de Emisiones Tier 2 para Procesos Productivos

Dónde:

E_i: Emisiones del contaminante i

$NA_{prod/tecn}$: Nivel de Actividad del proceso y tecnología específico.

$FE_{i/tecn}$: Factor de Emisión para el contaminante i y tecnología.

EA: Eficiencia de Abatimiento (%).

En el caso de aplicar tecnologías de control se deben considerar las eficiencias de abatimiento en la ecuación.

- Métodos Tier 3: una estimación Tier 3 implica la modelación de los procesos de cada instalación, lo que significa realizar estimaciones independientes para cada proceso teniendo en cuenta los sistemas de abatimiento instalados, es decir, no se utilizan valores por defecto como en los métodos Tier 1 y 2. Los métodos Tier 3 requieren de información desagregada de las fuentes no puntuales, para la que actualmente no existe un registro en el RETC[57]. Por lo anterior, se considera que estos no son apropiados para la elaboración del Formulario de Declaración de COVs en desarrollo, debido a que actualmente el RETC no hay disponibilidad de información sobre las características de las fuentes no puntuales de los establecimientos. Las metodologías Tier 3 se descartan, adicionalmente, con el

[57] El registro de fuentes no puntuales que generan emisiones de COVNMs no ha sido creado a la fecha de acuerdo a la información proporcionada por la contraparte técnica, la que se puede verificar en las actas de reuniones del presente Estudio (Acta de reunión N° 7 del 16/09/2020).

objetivo de simplificar el Formulario de Declaración y evitar errores por parte de los titulares al momento de declarar.

Para el empleo de los métodos de estimación Tier 1 y Tier 2 se han recopilado factores de emisión aplicables a diversos sectores, rubros, procesos y/o actividades. Las magnitudes de los factores de emisión o las unidades definidas para estos han sido adaptadas con el fin de simplificar la estimación mediante niveles o datos de actividad que sean utilizados en el contexto nacional y/o en la declaración de emisiones a través del RUEA (Ex F-138).

En los casos en los que se han identificado tecnologías y/o medidas específicas de reducción y abatimiento (*add-ons*), se deben aplicar métodos de estimación Tier 2.

A continuación, se presentan los resultados de la revisión de metodologías de estimación de emisiones de COVNMs en los rubros con generación significativa de estos contaminantes por fuentes no puntuales y procesos distintos a la combustión[58]. Los factores de emisión recopilados presentan intervalos de confianza del 95% en los casos en los que esta información estuvo disponible. Un mayor detalle de esta información se presenta en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.1 Extracción de Crudo y Gas Natural (B5; B6)

Los datos de actividad para la extracción de Petróleo Crudo y Gas Natural corresponden a la masa o volumen total de petróleo y gas extraída durante un periodo de tiempo determinado. Los factores de emisión para los métodos Tier 1 asumen una tecnología y reducción promedio o típica e integran todos los diferentes subprocesos distintos de la combustión que generan emisiones de proceso y/o emisiones fugitivas. Los factores de emisión para la exploración, producción y transporte de Gas Natural y Crudo se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.2 Elaboración de productos alimenticios (C10) y Elaboración de bebidas (C11)

Los factores de emisión para el método Tier 1 integran todos los subprocesos dentro de la industria, desde el ingreso de materias primas hasta el despacho de los productos fuera del establecimiento. Los intervalos de confianza para los factores de emisión del método Tier 1, se deben a la gran cantidad de fuentes consideradas para procesos distintos de la combustión. En caso de aplicar métodos Tier 2 los datos y factores de emisión deben

[58] La metodología no considera situaciones de emergencia y/o accidentes tales como derrames de combustibles, incendios, fugas masivas por roturas, fallas, entre otros, debido a que las emisiones producidas en estas situaciones deben evaluarse caso a caso, incorporando las particularidades que puedan existir al momento de producirse la contingencia o emergencia.

estratificarse de acuerdo con las diferentes actividades y/o técnicas de producción que se llevan a cabo. En el caso de la producción de alimentos y bebidas, los métodos Tier 2 se desagregan por tipos de productos, tales como: pan, azúcar, carne, vino, cerveza y licores, entre otros. En todos los casos, los datos de actividad corresponden a la producción de dichos alimentos y bebidas en masa o volumen.

En el caso de la estimación de emisiones por producción de bebidas alcohólicas las metodologías establecen los siguientes supuestos:

- Se requieren 0,15 toneladas de cereales para producir una (1) tonelada de cerveza (Passant, 1993).
- Se considera que la cerveza tiene típicamente un 4% de alcohol por volumen y pesa 1 tonelada por m^3.
- Si no se dispone de mejores datos, se supone que los licores contienen un 40% de alcohol por volumen.
- El alcohol (etanol) tiene una densidad de 789 kg/m^3.

Los factores de emisión para la elaboración de productos alimenticios y la elaboración de bebidas se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.3 Industria Manufacturera (C15)

Las emisiones de COVNMs en la industria manufacturera se asocian principalmente al uso de solventes orgánicos. Los datos de actividad corresponden a la cantidad de solventes utilizados o la producción de productos en base a cuero, ya que esta es la única actividad relevante en términos de generación de COVNMs. Los métodos Tier 1 asumen tecnologías de producción y de abatimiento promedio, integrando todos los subprocesos de la industria que ocurren en el perímetro de un establecimiento, desde el ingreso de materias primas hasta el despacho del producto. Los factores de emisión para el método Tier 1 para el el curtido y recurtido de cueros se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.4 Industria de Madera y Papel (C16; C17)

Los factores de emisión del método Tier 1 para la industria de la madera asumen que las emisiones se producen por el uso de preservantes sin tecnologías de control. Cuando no se dispone de datos sobre el consumo de preservantes, este se puede calcular utilizando la "cantidad de madera procesada". Para el cálculo de preservantes en el procesamiento de la madera se las metodologías de estimación establecen los siguientes supuestos:

- Cantidad de preservante utilizado = Volumen de madera impregnada (m^3) × kg de preservante de madera por m^3;
- 1 m^3 de madera requiere 75 kg de creosota;
- 1 m^3 de madera requiere 24 kg de preservante a base de disolvente;
- 1 m^3 de madera es aproximadamente 1 t.

En el caso de la producción de pulpa, papel y cartón los factores de emisión por defecto del método Tier 1, corresponden a la fabricación de pulpa mediante el proceso Kraft, ya que este es el proceso más extendido en la producción de celulosa y papel. Los factores de emisión para la Fabricación de la madera y productos de la madera y para la producción de pulpa, papel y cartón se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.5 Imprentas (C18)

La estimación de emisiones de COVNMs en imprentas implica el uso de datos de actividad para el consumo de disolventes y de tintas, lo que también podría aplicar al etiquetado de envases cuando existe uso de solventes o tintas en base a solventes orgánicos. Los supuestos no consideran el uso de tintas a base de agua y no se considera la existencia de controles como la incineración/condensación o recuperación de vapores. Los factores de emisión para Imprentas se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.6 Industria Petroquímica (C19)

En la industria Petroquímica los datos de actividad para los métodos Tier 1 corresponden principalmente al total en masa o volumen de crudo/coque procesado/alimentado en la refinería para el periodo de tiempo considerado (mensual, anual, otro). En el caso de métodos Tier 2, se deben considerar los diversos procesos que ocurren en las refinerías, las emisiones totales para el periodo corresponden a la suma de las emisiones de todos los procesos llevados a cabo en el establecimiento. Por lo anterior, para aplicar métodos Tier 2, se deben desagregar los datos de actividad por proceso. Dependiendo del tipo de método que se utilice, se requieren diferentes datos de actividad. Por ejemplo, en el caso de pérdidas o emisiones fugitivas, las emisiones de COVNMs pueden estimarse por material procesado, producido o en función de la cantidad de componentes presurizados que tiene la instalación. Los factores de emisión aplicables al procesamiento de crudo se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.7 Industria Química (C20) y Farmacéutica (C21)

Los factores de emisión para métodos de estimación Tier 1 asumen tecnologías y reducciones promedio o típicas, implementadas en el país e integran todos los subprocesos de la industria química y farmacéutica, desde la entrada de materia prima hasta la salida de los productos de las instalaciones. Los factores de emisión del método Tier 1 se aplican a la industria química "general", independiente del material producido. Las industrias que son relevantes en términos de generación de COVNMs son principalmente aquellas que procesan sustancias orgánicas.

Para aplicar el enfoque Tier 2, tanto los datos de actividad como los factores de emisión deben desagregarse de acuerdo con los diferentes procesos que pueden ocurrir en las instalaciones y/o en función de los materiales producidos. Los métodos Tier 2 involucran estimaciones para:

- Diferentes productos;
- Diferentes tecnologías de abatimiento de emisiones implementadas.

En general, los datos de actividad utilizados en los métodos Tier 1 y Tier 2 corresponden a la producción de materiales del establecimiento. Los factores de emisión para la Industria Química y Farmacéutica se presentan **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.8 Fabricación de Productos de Caucho y Plástico (C22)

Las emisiones por producción de plásticos ocurren en el almacenamiento de materias primas y productos, ya sea por fugas o filtraciones. Adicionalmente, pueden existir emisiones de proceso. Los datos de actividad para estimar las emisiones corresponden principalmente a las cantidades de materiales producidos. Los factores de emisión para la Fabricación de productos de caucho y de plástico (C22) se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.9 Industria de Procesamiento de Minerales No Metálicos

En el caso del Procesamiento de Minerales No Metálicos sólo la producción de lana de vidrio y lana de vidrio mineral genera COVNMs. Los datos de actividad corresponden principalmente al uso de solventes y a la producción de lana de vidrio. Los factores de emisión para la Industria de Procesamiento de Minerales No Metálicos (C2310) se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.10 Industria Energética (D)

En la industria energética las emisiones de COVNMs se producen principalmente en las actividades asociadas al procesamiento y distribución de gas natural y GLP (las emisiones por Transporte y Almacenamiento son incluidas en dicho rubro). Los factores de emisión del método Tier 1 asumen una tecnología de producción y reducción promedio o típica, integrando todos los diferentes subprocesos, que ocurren en el procesamiento y distribución de gas natural, excluyendo su extracción. Los factores de emisión para el procesamiento de gas natural se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.11 Industria Sanitaria (E)

En el tratamiento de aguas residuales los datos de actividad corresponden a la cantidad total de aguas residuales tratadas en la planta de tratamiento para un periodo determinado. Los factores de emisión para la Industria Sanitaria (E) se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.12 Almacenamiento y Transporte (H)

En la distribución de combustibles se producen emisiones asociadas principalmente a la evaporación de gasolina y combustibles líquidos ligeros. Los componentes de combustibles ligeros tienden a ser más volátiles que los pesados. Por tanto, el perfil de las especies que se evaporan puede desplazarse a componentes más ligeros[59].

Los datos de actividad corresponden principalmente a la cantidad de gasolina distribuida y/o comercializada en una determinada región y periodo de tiempo. Los factores de emisión para esta categoría asumen una densidad del combustible condensado de 730 kg/m^3 y una densidad del vapor de 600 kg/m^3, sin considerar controles para las emisiones. El método Tier 1 agrupa todas las actividades involucradas en la distribución en un solo factor de emisión. El método Tier 2 permite desagregar las diferentes etapas, por lo que las emisiones totales del proceso corresponden a la suma de todas las actividades llevadas a cabo en un determinado establecimiento.

Los datos de actividad en los métodos de cálculo involucran diversos aspectos de las operaciones de almacenamiento y distribución de combustibles, tales como:

[59] La composición de COVNMs en las emisiones evaporativas de los combustibles se presenta en **Anexo 6** de este documento.

- Instalaciones para la carga en estaciones de despacho de refinerías, terminales y depósitos: volumen de productos volátiles cargados en diferentes modos de transporte (p.e. buques, ductos, camiones cisterna), prácticas de carga para modos de transporte específicos (p.e. sumergido, arriba, abajo); tipo y alcance de las medidas de control de emisiones implementadas (ver sección Eficiencias de Abatimiento para Almacenamiento y Transporte);
- Almacenamiento en terminales y depósitos: volumen de combustible almacenado en los tanques;
- Estaciones de servicio: volumen de gasolina distribuido y/o comercializado; tipo y alcance de las medidas de control de emisiones implementadas (ver sección Eficiencias de Abatimiento para Almacenamiento y Ttransporte);
- Temperatura ambiente media;
- Presión de Vapor Reid (RVP[60], por su sigla en inglés): es una medida común de la volatilidad de la gasolina y otros productos del petróleo. Se determina mediante un método de laboratorio estándar llamado RVP, que mide su tendencia inherente a evaporarse a 37,8 °C (100 °F)[61] con una relación vapor/líquido de 4:1 y se expresa en kPa. La RVP representa la volatilización a presión atmosférica y se define como la presión de vapor absoluta ejercida por el vapor del líquido y cualquier gas disuelto/humedad a 37,8 °C. El método de prueba mide la presión de vapor de la gasolina, el petróleo crudo volátil, los combustibles para aviones, la nafta y otros productos derivados del petróleo que volatilizan, pero no es aplicable a los gases licuados del petróleo. A partir del valor promedio anual de RVP y los datos de temperatura promedio se puede calcular la presión de vapor verdadera (requerida para los factores de emisión Tier 2).
- Presión de Vapor Verdadera (TVP[62], por su sigla en inglés): la TVP se define como la presión parcial de equilibrio ejercida por un líquido orgánico volátil en función de la temperatura y se determina por el método de prueba ASTM D 2879. En la

[60] Reid Vapor Pressure.

[61] Los equipos y procedimientos se detallan en los siguientes métodos estándar: IP 69/78 (método Reid de presión de vapor), ASTM D-323 (método Reid de presión de vapor de productos petrolíferos), ISO 3000-1974 (Productos petrolíferos - Determinación de la presión de vapor - Método Reid).de productos volátiles distribuidos (combustibles ligeros, principalmente gasolina).

[62] True Vapor Pressure.

distribución de combustibles (especialmente combustibles ligeros) los métodos de emisión incorporan la TVP, la que depende de la presión de vapor en la carga, y de la temperatura de carga. La definición matemática de la TVP se presenta en la Ecuación 3.

$$TVP = RVP \times 10^{AT+B}$$

Ecuación 3. Cálculo de TVP para operaciones de carga y descarga de combustibles

Dónde:

A = 0,000007047 × RVP + 0,0132

B = 0,0002311 × RVP − 0,5236

T: temperatura en °C.

RVP: Presión de Vapor Reid en kPa.

Se puede asumir que la temperatura de carga promedio anual en los terminales y estaciones de carga es igual al promedio anual temperatura ambiente.

Los factores de emisión para Almacenamiento y Transporte (H) de combustibles se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.5.13 Almacenamiento de Líquidos Orgánicos en Tanques (Diversos Rubros)

La metodología propuesta para la estimación de emisiones por almacenamiento de líquidos orgánicos (combustibles, solventes, otros) corresponde a la señalada en el documento *"Supplemental Instructions for Liquid Organic Storage Tanks, South Coast Air Quality Management District - Annual Emissions Reporting Program" (2019)*. El documento referido, propone una metodología simple para calcular las emisiones de los tanques de almacenamiento, basada en las metodologías presentadas en AP-42 de la EPA, las cuales se simplifican en base a supuestos y condiciones aplicables a la zona geográfica abordada en el documento, los que pueden tener similitud con la zona central de Chile[63]. Los supuestos principales considerados para la simplificación de las metodologías de estimación son los siguientes:

- Temperatura ambiente promedio: 15,7 °C.
- Rango (variación) de temperatura ambiente diaria: 9,9 °C.

[63] El Estado de California presenta una variedad de climas desde árido a subártico, con un clima mediterráneo en las zonas próximas a la costa, inviernos con precipitaciones y veranos secos.

- Presión atmosférica: 1 bar.
- Color del tanque: blanco.
- Estado de la carcasa: óxido ligero.

Además, existe un conjunto de parámetros necesarios para calcular las emisiones de los tanques de almacenamiento, que tienen relación con las propiedades de la sustancia almacenada (por ejemplo, peso molecular de vapor o líquido y la presión de vapor real), y también parámetros asociados con el diámetro del tanque, para diferentes tipos de tanques, los que se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

A continuación, se señalan algunos aspectos relevantes en la estimación de emisiones provenientes del almacenamiento de sustancias líquidas orgánicas en tanques:

- Las emisiones de los tanques de almacenamiento de sustancias líquidas orgánicas se producen por la pérdida por evaporación del líquido durante su almacenamiento y por cambios en el nivel del líquido almacenado.
- Las emisiones de los tanques de techo fijo son el resultado de pérdidas por evaporación durante el almacenamiento (pérdidas por respiración o pérdidas por almacenamiento permanente) y pérdidas por evaporación durante las operaciones de llenado y vaciado (pérdidas de trabajo).
- La pérdida de almacenamiento corresponde a la expulsión de vapor desde un tanque, asociado a la expansión y contracción del vapor, como resultado de cambios en la temperatura y la presión. Esta pérdida ocurre sin ningún cambio de nivel del líquido almacenado.
- Respecto a la pérdida de trabajo, durante la actividad de llenado del tanque, se produce evaporación asociada al aumento en el nivel de líquido en el tanque. A medida que aumenta el nivel del líquido, la presión dentro del tanque excede la presión de alivio y los vapores se expulsan del tanque. Durante el vaciado, el aire que ingresa al tanque durante el retiro de sustancia se satura con vapor orgánico y se expande, excediendo la capacidad del espacio de vapor.
- En el caso de los tanques de techo flotante, las pérdidas de almacenamiento permanente son el resultado de pérdidas por evaporación a través de sellos y accesorios de la plataforma.
- Las pérdidas por extracción se producen al retirar parte de la sustancia

almacenada con el consiguiente descenso del techo flotante, quedando parte de la sustancia en la superficie de la pared interior del tanque, la cual se evapora. Para un tanque de techo flotante interno que tiene un techo fijo soportado por columnas, cierta cantidad de la sustancia también se adhiere a las columnas y se evapora. La pérdida por evaporación ocurre hasta que el tanque se llena y las superficies expuestas se vuelven a cubrir.

A continuación, se presentan los métodos de estimación para diferentes tipos de estanques que almacenan sustancias líquidas orgánicas. Los valores por defecto utilizados en los métodos de estimación para diversas sustancias orgánicas y estanques de almacenamiento se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

a) Estimación de emisiones para almacenamiento en tanques de techo flotante

Las emisiones totales se pueden calcular mediante la Ecuación 4.

$$L_T = L_W + L_R + L_F + L_D$$

Ecuación 4. Pérdida total para almacenamiento en tanques de techo flotante

Donde:

L_T: Pérdida total [masa/tiempo]

L_W: Pérdida de trabajo [masa/tiempo]

L_R: Pérdidas de sellos de bordes [masa/tiempo]

L_F: Pérdida de accesorios de la plataforma [masa/año]

L_D: Pérdida de juntas de plataforma [masa/tiempo] - aplica sólo para tanques con techo flotante interno.

La pérdida de trabajo se estima mediante la Ecuación 5.

$$L_W = (1 - N_C) \times \left(\frac{22{,}45 \times Q \times S_C \times W_L}{D}\right)$$

Ecuación 5. Pérdidas de trabajo para almacenamiento en tanques de techo flotante

Donde:

L_W: Pérdida de trabajo [masa/tiempo].

N_C: Factor del soporte del techo (adimensional). Para tanques de techo flotante externo se utiliza $N_C = 0$. Para tanques de techo flotante interno se utiliza factor que depende del diámetro.

Q: Consumo/cantidad anual almacenada en unidades de volumen [volumen/tiempo].

S_C: Factor de adherencia de la carcasa. Se utiliza S_C = 0,006 para petróleo crudo y S_C = 0,0015 para otras sustancias.

W_L: Densidad promedio de sustancia [masa/volumen].

D: Diámetro del tanque [longitud].

Las pérdidas de sellos de bordes se estiman mediante la Ecuación 6.

$$L_R = K_R \times D \times F_P \times M_V \times K_C$$

Ecuación 6. Pérdidas de sellos de bordes para almacenamiento en tanques de techo flotante

Donde:

L_R: Pérdida de sello [masa/tiempo].

K_R: Factor de pérdida de sello [masa molar/longitud anual]. Se utiliza K_R = 20,1 para tanques de techo flotante externo y K_R = 6,7 para tanques de techo flotante interno

D: Diámetro del tanque [longitud]

F_P: Función de presión de vapor (adimensional).

M_V: Peso molecular de vapor promedio [masa/masa molar].

K_C: Factor de producto; se utiliza K_C = 0,4 para petróleo crudo; y K_C = 1 para otras sustancias.

La pérdida de accesorios de la plataforma se estima mediante la Ecuación 7.

$$L_F = F_F \times F_P \times M_V \times K_C$$

Ecuación 7. Pérdidas de accesorios de la plataforma para almacenamiento en tanques de techo flotante

Donde:

L_F: Pérdida de accesorios de la plataforma [masa/tiempo].

F_F: Factor total de pérdida de accesorios de plataforma [masa molar/tiempo]. Este factor depende del diámetro del tanque y el tipo de plataforma. En función del diámetro, y de si es del tipo pontón o doble plataforma en el caso de los techos flotantes externos, y de si está atornillada o soldada en el caso del techo flotante interno.

F_P: función de presión de vapor (adimensional).

M_V: peso molecular de vapor promedio [masa/masa-molar].

K_C: factor de producto; se utiliza K_C = 0,4 para petróleo crudo; y K_C = 1 para otras sustancias.

La pérdida de juntas de la plataforma aplica solamente a los tanques con techo flotante interno con plataformas atornilladas y se estima mediante la Ecuación 8.

$$L_D = S_D \times K_D \times D^2 \times F_P \times M_V \times K_C$$

Ecuación 8. Pérdidas de juntas de la plataforma para almacenamiento en tanques de techo flotante

Donde:

L_D: Pérdida de juntas de plataforma [masa/tiempo]

S_D: Factor de longitud de la junta de la plataforma [longitud/área]. Para plataformas atornilladas se utiliza S_D = 0,2, y para otros S_D = 0,0

K_D: Factor de pérdida de la junta de la plataforma por unidad de longitud de la junta [masa molar/longitud-tiempo]. Para plataformas atornilladas se utiliza K_D = 0,14, y para otros K_D = 0,0.

D: Diámetro del tanque [longitud]

F_P: Función de presión de vapor (adimensional).

M_V: Peso molecular de vapor promedio [masa/masa molar].

K_C: Factor de producto; se utiliza K_C = 0,4 para petróleo crudo; y K_C = 1 para otras sustancias.

b) Estimación de emisiones de almacenamiento para tanques de techo fijo

Las emisiones totales se pueden calcular mediante la Ecuación 9.

$$L_T = L_W + L_S$$

Ecuación 9. Pérdida total para almacenamiento en tanques de techo fijo

Donde:

L_T: Pérdida total [masa/tiempo].

L_W: Pérdida de trabajo [masa/tiempo].

L_S: Pérdida por respiración [masa/tiempo].

La pérdida de trabajo se estima mediante la Ecuación 10.

$$L_W = 0{,}024 \times M_V \times P_{VA} \times Q \times K_P \times K_N$$

Ecuación 10. Pérdida de trabajo para almacenamiento en tanques de techo fijo

Donde:

L_W: Pérdida de trabajo [masa/tiempo]

M_V: peso molecular de vapor promedio [masa/masa-molar].

P_{VA}: Presión de vapor verdadera del líquido almacenado, a la temperatura superficial promedio del líquido.

Q: Consumo anual [volumen/tiempo].

K_P: Factor de pérdida de trabajo del producto (adimensional). Se utiliza K_P = 0,75 para petróleo crudo y K_P = 1,0 para otras sustancias.

K_N: factor de rotación (adimensional), depende de Q y de la capacidad del tanque C [volumen]. Si Q/C ≤ 36, se utiliza K_N = 1,0

Si Q/C › 36 se utiliza la siguiente fórmula:

$$K_N = \frac{180 \times C + Q}{6 \times Q}$$

Ecuación 11. Cálculo de K_N para almacenamiento en tanques de techo fijo

La pérdida por respiración se estima mediante la siguiente ecuación:

$$L_S = U \times V_V \times W_V \times K_E \times K_S$$

Ecuación 12. Pérdida por respiración para almacenamiento en tanques de techo fijo

Donde:

L_S: Pérdida por respiración [masa/tiempo]

U: Número de días en el año en los cuales el tanque es utilizado para almacenar la sustancia. Este número no puede ser superior a 365 días. Si no se conoce, se asume que es 365.

V_V: Volumen del espacio de vapor.

El volumen del espacio de vapor (V_V) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_V = 66{,}84 \times C + V_F$$

Ecuación 13. Volumen del Espacio de vapor para almacenamiento en tanques de techo fijo

Donde:

C: Capacidad del tanque [volumen].

V_F: Función del espacio de vapor. Depende del diámetro del tanque.

W_V: Densidad de vapor [masa/volumen].

K_E: Factor de expansión del espacio de vapor (adimensional).

K_S: Factor de saturación de venteo de vapor (adimensional).

El Factor de saturación de venteo de vapor (K_S) se calcula mediante la Ecuación 14.

$$K_S = \frac{1}{1 + (S_A \times H) + (S_B \times D)}$$

Ecuación 14. Factor de saturación de venteo de vapor para almacenamiento en tanques de techo fijo

Donde:

S_A, S_B: Funciones de saturación de vapor.

D: Diámetro del tanque [longitud].

H: Altura del tanque [longitud].

Las ecuaciones anteriores se utilizan para tanques verticales cilíndricos. En el caso de tanques horizontales cilíndricos, deben reemplazarse algunas de las ecuaciones anteriores por las siguientes:

$$V_V = \frac{H \times D^2}{2}$$

Ecuación 15. Volumen del espacio de vapor (V_V) para almacenamiento en tanques horizontales cilíndricos de techo fijo

$$K_S = \frac{1}{1 + (0{,}0265 \times P_{VA} \times D)}$$

Ecuación 16. Factor de saturación de venteo de vapor (K_S) para almacenamiento en tanques horizontales cilíndricos de techo fijo

En el caso de tanques rectangulares, deben reemplazarse algunas de las ecuaciones anteriores por las siguientes:

$$V_V = \frac{0{,}393 \times H \times L_1 \times L_2}{(L_1 + L_2)}$$

Ecuación 17. Volumen del espacio de vapor (V_V) para almacenamiento en tanques rectangulares de techo fijo

$$K_S = \frac{1}{1 + (0{,}0133 \times P_{VA} \times H)}$$

Ecuación 18. Factor de saturación de venteo de vapor (K_S) para almacenamiento en tanques rectangulares de techo fijo

Donde:

L_1, L_2: Lado 1 y Lado 2 del tanque rectangular [longitud].

D: Diámetro del tanque [longitud].

H: Altura del tanque [longitud].

P_{VA}: Presión de vapor verdadera del líquido almacenado, a la temperatura superficial promedio del líquido.

c) Estimación de emisiones de almacenamiento en tanques subterráneos

Para los tanques subterráneos, se asumen que no se producen pérdidas por respiración (L_S = 0), ya que la naturaleza aislante de la tierra limita el cambio de temperatura. El tanque subterráneo se clasifica como tanque de techo fijo, por lo que se puede usar la Ecuación 10 para estimar la pérdida de trabajo (pérdida total).

d) Estimación de emisiones de almacenamiento para tanques pequeños

A continuación, se presenta una metodología para estimar las emisiones de tanques con una capacidad de almacenamiento inferior a 38 m^3, y que operan a temperatura y presión ambiental. Las emisiones de tanques pequeños (similares a los tanques de techo fijo) son iguales a la suma de las pérdidas de trabajo y las pérdidas permanentes o por respiración, a saber:

$$L_T = L_W + L_S$$

Ecuación 19. Pérdidas para almacenamiento en tanques pequeños

Donde:

L_T: Pérdida total [masa/tiempo]

L_W: Pérdida de trabajo [masa/tiempo]

L_S: Pérdida por respiración [masa/tiempo]

La pérdida de trabajo se estima mediante la siguiente ecuación:

$$L_W = f \times Q$$

Ecuación 20. Pérdidas de trabajo para almacenamiento en tanques pequeños

Donde:

L_W: Pérdida de trabajo [masa/tiempo].

f: Factor de pérdida de llenado de tanques pequeños [masa/volumen].

Q: Consumo/cantidad almacenada anual [volumen/tiempo].

La pérdida por respiración se estima mediante la siguiente ecuación:

$$L_S = \frac{a \times H \times D^2}{1 + b \times H}$$

Ecuación 21. Pérdidas por respiración para almacenamiento en tanques pequeños

Donde:

L_S: Pérdida por respiración [masa/tiempo]

a, b: Factor de pérdida de respiración de tanques pequeños.

D: Diámetro del tanque [longitud]

H: Altura del tanque [longitud]

Las ecuaciones anteriores, corresponden a las utilizadas para tanques cilíndricos. Para la estimación de emisiones de tanques rectangulares o cuadrados, se utilizan las ecuaciones que se presentan a continuación.

Para tanques rectangulares y cuadrados, debe sustituirse D, por un Diámetro Equivalente (D_E), que se calcula de acuerdo a lo siguiente:

$$D_E = \frac{2 \times L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$$

Ecuación 22. Cálculo de D_E para almacenamiento en tanques pequeños rectangulares y cuadrados

Donde:

L_1: Lado 1 del tanque rectangular [longitud]

L_2: Lado 2 del tanque rectangular [longitud]

Para tanques cuadrados, se tiene que todos los lados tienen la misma dimensión L, por tanto: D_E = L [longitud].

e) Estimación de emisiones de almacenamiento en Tanques Presurizados

Los tanques de alta presión se consideran sistemas cerrados, prácticamente sin emisiones. Las pérdidas fugitivas de los tanques de alta presión se estiman como fugas de equipos y no se tratan en la metodología para estimar las emisiones de los tanques de almacenamiento (US-EPA AP-42, 2020).

f) Estimación de Contaminantes Atmosféricos Tóxicos

Las emisiones de contaminantes Atmósféricos Tóxicos (TAC[64], por sus siglas en inglés) asociadas a emisiones desde tanques de almacenamiento pueden estimarse para diversos componentes mediante la Ecuación 23.

$$L_{TAC} = Z_{TAC} \times L_T$$

Dónde:

L_{TAC}: tasa de emisión del componente TAC [masa/tiempo].

Z_{TAC}: fracción en peso del componente TAC con los perfiles de fracción de peso TAC de productos derivados del petróleo, los que se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

LT = pérdidas totales [masa/tiempo].

Para productos que contienen una gran cantidad de componentes TAC, es recomendable utilizar el software TANKS de la US-EPA para el cálculo de emisiones para cada componente TAC.

6.5.14 Estimación de emisiones por Uso de Solventes (Diversos Rubros)

El uso de solventes, disolventes y otros productos químicos podría producir emisiones de COVNMs en los casos en los que no existan sistemas de abatimiento adecuados en una determinada instalación o establecimiento o que la aplicación de los solventes se realice al aire libre. El método de cálculo para la estimación de emisiones por uso de solventes corresponde a la Ecuación 2.

[64] Toxic Air Contaminant.

6.5.15 Estimación de Compuestos Individuales

Los compuestos individuales que pueden estimarse mediante las metodologías propuestas alcanzan un total de 178, de este conjunto de compuestos 32 corresponden a *"Prioridad 1"* los que se identifican mediante su nombre común o comercial y el respectivo código numérico CASRN:

- Acetaldehído (75070).
- Acetona/Propanona (67641).
- Acetonitrilo (75058).
- Ácido acrílico (79107).
- Acrilamida (79061).
- Anilina (62533).
- Benceno (71432).
- Disulfuro de carbono/Sulfuro de carbono (75150).
- Clorobenceno (108907).
- Cloroetano/Cloruro de etilo (75003).
- Cloroformo/Tricloruro de metilo/Triclorometano (67663).
- Cloropreno (126998).
- Cloruro de metileno/Diclorometano (75092).
- 1,1-Dicloroetano (75343).
- 1,2-Dicloroetano (107062).
- N,N-Dimetilformamida (DMF) (68122).
- Etanol (64175).
- Etilbenceno (100414).
- Hexano (110543).
- Metanol/Carbinol/Alcohol metílico/Alcohol de madera/Espíritu de madera (67561).
- Metacrilato de metilo (80626).
- Metil ter-butil éter/MTBE (1634044).
- Nitrobenceno (98953).
- 2-Propanol/Isopropanol/Alcohol isopropílico/IPA (67630).
- 1,1,2,2-Tetracloroetano (79345).
- Tetracloroetileno/Percloroetileno/PERC (127184).
- Tolueno/Toluol/Metilbenceno/Metilbenzol (108883).

- 1,1,2-Tricloroetano (79005).
- Tricloroetileno/TCE (79016).
- 1,2,4-Trimetilbenceno (95636).
- Xileno (1330207).
- o-Xilenos (95476).

Los factores de emisión para procesos productivos y uso industrial de solventes y otros productos químicos, utilizados en diferentes sectores y rubros industriales; junto con los parámetros de cálculo para la estimación de emisiones del almacenamiento de sustancias orgánicas se presentan en **Anexo 6** asociado a este documento en formato digital.

6.6 Parámetros Externos que Afectan la Generación de COVs

Las propiedades físicas de los compuestos, tales como su punto de fusión, punto de ebullición y densidad, definen el estado en el que estos se encuentran en condiciones estándar[65]. Además, se deben considerar (1) las energías de interacción que surgen de los contactos entre las moléculas (entalpía) y (2) la libertad de movimiento de las moléculas en una fase determinada (entropía).

La "fugacidad" de un determinado compuesto es una función de la cantidad de sustancia y su temperatura, como también, de la composición del sistema gaseoso (tipos y cantidades de compuestos gaseosos presentes) y de la presión total. Sin embargo, la fugacidad de un compuesto gaseoso está estrechamente relacionada con su presión parcial. Por lo anterior, las propiedades de los compuestos y la manera en la que estos se manejen influyen en la cantidad del compuesto que se liberará al ambiente, junto con los tipos de almacenamientos que se utilicen y las medidas para prevenir y mitigar las liberaciones de gases orgánicos a la atmósfera.

Por otra parte, la permanencia de un compuesto en la atmósfera varía de minutos a horas (terpenos e isopreno), de días a semanas (acetona, metanol, propano), años a décadas (metilcloroformo, HCFC-134a) y hasta cientos de años en el caso de los CFCs cuya vida media está determinada por la tasa de mezcla en la estratosfera. Por lo que, los compuestos de vida corta, como las especies biogénicas presentan fuertes gradientes atmosféricos en las capas inferiores de la atmósfera (0-2 km), mientras que los compuestos de larga permanencia presentan concentraciones más homogéneas, con mayores gradientes entre

[65] De acuerdo a regulación EPA las condiciones de referencia estándar corresponden a 298 K y 1 atm - *National Primary and Secondary Ambient Air Quality Standards", 40 CFR—Protection of the Environment, Chapter I, Part 50, Section 50.3, 1998 National Ambient Air Standards*.

los hemisferios. Algunos compuestos están distribuidos más o menos uniformemente en la troposfera (CFCs), mostrando solo gradientes de concentración a nivel estratosférico.

En las áreas urbanas, los COVs exhiben ciertos patrones recurrentes, que dependen del comportamiento de las personas (tráfico vehicular), la ubicación geográfica, los parámetros meteorológicos y la contribución de las fuentes de emisión.

Los factores externos a un establecimiento que pueden influir en la liberación de COVNMs a la atmosfera y su permanencia en esta, son principalmente:

- **Temperatura y presión:** a medida que aumenta la temperatura y disminuye la presión más moléculas de la fase líquida pasan a la fase gaseosa, incrementando la densidad del compuesto en la fase gaseosa y disminuyendo la densidad en la fase líquida. La temperatura y la presión afectan el almacenamiento de sustancias orgánicas en fase líquida (1) por su efecto sobre el coeficiente de actividad del compuesto en la fase líquida y (2) por su efecto sobre la presión de vapor del líquido del compuesto. En las temporadas y regiones cálidas se incrementan las emisiones por evaporación. Además, la permanencia de los COVs en la atmósfera también depende de las reacciones químicas de oxidación, en donde la cinética de estas reacciones también son función de la temperatura y presión.
- **Condiciones meteorológicas:** las condiciones meteorológicas influyen en la permanencia de los COVs en la atmósfera. Una de las variables meteorológicas más relevantes es la velocidad del viento, ya que permite una dispersión de las emisiones locales y regionales. Los fenómenos meteorológicos de corto plazo podrían aumentar las concentraciones de COVs en sitios elevados durante las tardes de verano, por el transporte convectivo de masas de aire desde zonas contaminadas. Por otra parte, se deben considerar otros mecanismos de remoción, los que operan para ciertas especies orgánicas, como la deposición seca y húmeda.
- **Presencia de otros compuestos:** la capacidad de la troposfera para oxidar las emisiones depende de la cantidad de compuestos orgánicos presentes. La oxidación mediante el radical hidroxilo (OH), es el principal mecanismo de remoción de la materia orgánica en la atmósfera. Sin embargo, en la mayor parte de la tropósfera, la producción de OH no está limitada por los compuestos orgánicos, sino más bien por la presencia de NO_X, y en estas condiciones, el aumento de las concentraciones orgánicas generalmente disminuye las concentraciones ambientales de OH. En la troposfera superior, donde las concentraciones de agua son bajas (<100 ppmv), las especies orgánicas pueden proporcionar la principal fuente de radicales OH_X.

6.6.1 Reacciones Fotoquímicas y Formación de Contaminantes Secundarios a partir de COVs

Los COVs son emitidos por procesos biogénicos, de combustión e industriales (principalmente como hidrocarburos). La oxidación atmosférica de los hidrocarburos produce una cascada de especies de COVs oxigenadas (OVOCs[66], por su sigla en inglés) que eventualmente conducen a CO y CO_2. El COV de mayor duración es el metano, con una permanencia en la atmósfera de aproximadamente diez años. Otros COVs tienen una permanencia considerablemente más corta. El isopreno, por ejemplo, emitido por la vegetación, tiene una permanencia de solo una hora durante el día de verano. Por lo tanto, los COVs se limitan en gran medida a la troposfera, y los COVNMs de vida corta tienen influencia principalmente en la zona en la que son emitidos.

El principal sumidero de la mayoría de los COVs es la oxidación por OH. Los oxidantes adicionales, incluidos el ozono, el NO_3 y los halógenos, pueden ser importantes para algunas especies. La fotólisis es un sumidero adicional para las especies de carbonilo y peróxido. Los COVs con presiones de vapor relativamente bajas (semivolátiles) pueden dividirse en las fases de aerosol y gaseosa con la posterior eliminación por deposición.

Las reacciones de oxidación de COVs en presencia de NO_X son diferentes para los alcanos (hidrocarburos saturados), alquenos (hidrocarburos no saturados con doble enlace, también llamados olefinas), alquinos (hidrocarburos no saturados con triple enlace) y compuestos aromáticos (hidrocarburos no saturados con anillos de benceno). Sin embargo, todos los COVNMs reaccionan con el radical OH y el ciclo de reacciones asociados a la reacción de COVs con OH_X, puede expresarse de la siguiente manera[67]:

$$OH + RH + O_2 \rightarrow RO_2 + productos$$

$$RO_2 + NO \rightarrow RO + NO_2$$

$$RO + O_2 \rightarrow R'CHO(R'COR'') + HO_2$$

$$HO_2 + NO \rightarrow OH + NO_2$$

El O_3 y el NO_3 tienen mayores constantes de reacción en alquenos, y estas aumentan con el número de átomos de carbono del compuesto. Las diferencias en las constantes de reacción dependen en gran medida de la estructura molecular, aunque las moléculas presenten el mismo número de átomos de carbono. Formación de ozono a partir de COVs.

[66] Oxygenated Volatile Organic Compounds.

[67] Un grupo R es una etiqueta genérica para una cadena lateral.

6.6.2 Formación de Ozono a partir de COVs

La formación de radicales OH por la reacción de alquenos y O_3 en la atmósfera contaminada es muy importante en la formación de ozono. La cadena de reacciones generada por el radical OH juega un rol esencial en la química troposférica relativa a la remoción de casi todos los compuestos orgánicos de la atmósfera, la formación de contaminantes secundarios, incluyendo aerosoles orgánicos y la formación y destrucción del ozono (Akimoto, 2016). En la presencia de bajas concentraciones de NO_X, donde la influencia antropogénica es pequeña, los radicales OH generados a partir de la reacción de vapor de agua y el átomo de oxígeno excitado $O(^1D)$ formado en la fotólisis de O_3 provoca la pérdida de O_3. Por otra parte, en presencia de concentraciones NO_X superiores a un cierto umbral, la reacción en cadena del radical OH junto con la fotólisis de NO_2 causa la formación neta de O_3.

La formación y remoción de O_3 presenta características muy distintas cuando las concentraciones NO_X exceden 1 ppbv. Generalmente se acepta que la tasa de formación de O_3 es aproximadamente proporcional a la concentración de COVs en la atmósfera, por lo que se han desarrollado modelos empíricos para determinar la concentración máxima de O_3 troposférico.

Los modelos presentan una serie de limitaciones. La primera, es la incertidumbre que surge del hecho de que estos modelos no están completamente validados en la atmósfera real, sino que se originan en ambientes controlados. El segundo problema es la extensión temporal y espacial de la contaminación fotoquímica del aire, es decir, la relación entre el O_3 y las concentraciones de NO_X y COVs en el área afectada por las fuentes de contaminantes y por diferentes condiciones meteorológicas, especialmente el viento, el que transporta los contaminantes, incluyendo el O_3 (Schwarzenbach, Gschwend, & Imboden, 2003).

Uno de los enfoques utilizados para clasificar los COVs según su capacidad de producción de ozono en condiciones atmosféricas es el potencial fotoquímico de creación de ozono (POCP[68], por su sigla en inglés) desarrollado por Derwent y Jenkin (1991) y la escala de reactividad incremental máxima (MIR[69], por su sigla en inglés), desarrollada por Carter (1994).

El POCP describe la cantidad de ozono generada a partir de la introducción de un COV en la atmósfera. Para el cálculo del POCP, se vinculan las reacciones en un modelo químico con

[68] Photochemical Ozone Creation Potential.
[69] Maximum Incremental Reactivity.

modelos de trayectoria en condiciones reales. Para la comparación de los potenciales de formación de ozono de diferentes COVs, el POCP para un COV_i se calibra mediante la relación de sus valores absolutos con los de otro COV (p.e. el eteno), las que se pueden expresar en la siguiente ecuación:

$POCP_i$ = Cantidad extra simulada de ozono debido al COV_i / cantidad extra simulada de ozono debido al eteno × 100

Los valores de la escala MIR se determinan a partir de modelos simplificados de sistemas de irradiación fotoquímica. Estos modelos se han utilizado principalmente para evaluar la formación de ozono en áreas urbanas durante períodos de hasta un día en condiciones óptimas de COV/NO_X (Koppmann, 2007).

Los métodos identificados permitirán profundizar en la producción de O_3 a partir de COVs en una etapa posterior. No obstante, la aplicación de modelos de producción de contaminantes secundarios escapa del alcance del presente estudio.

La Figura 5 presenta un esquema en el que se identifican los principales procesos fisicoquímicos a los que son sometidos los COVs en la atmósfera.

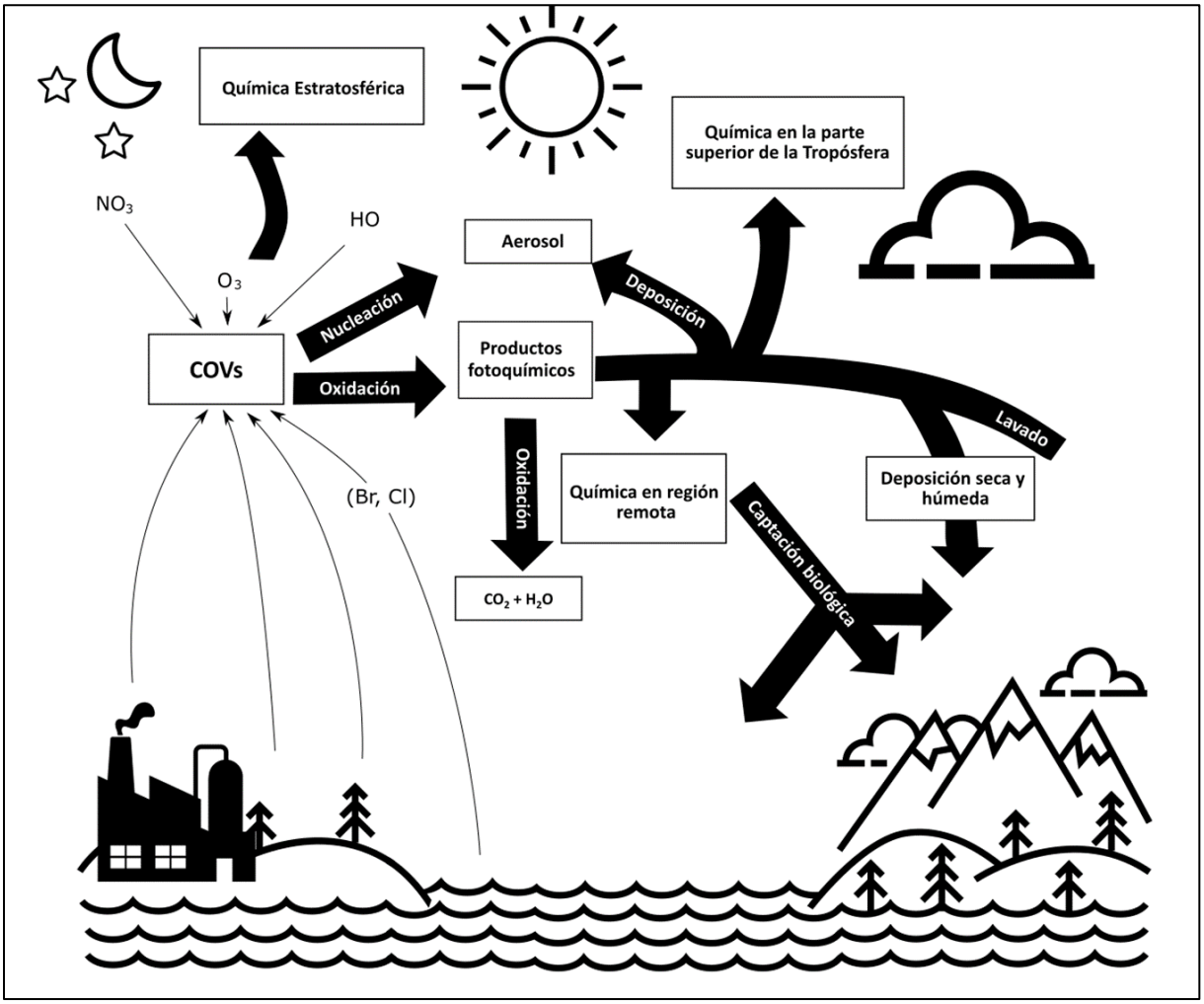


Figura 5. Procesos que determinan la presencia de los COVs en la atmósfera

Fuente: Elaboración propia - adaptado de Koppmann (2007)

6.6.3 Formación de Aerosoles Orgánicos Secundarios a parir de COVs

Los aerosoles orgánicos secundarios (SOA[70], por su sigla en inglés) son un componente principal de la masa total de aerosoles y pueden contribuir por tanto a la modificación del equilibrio radiativo de la atmósfera inducida por el material particulado, Los COVs aromáticos antropogénicos contribuyen a la formación de SOA (Odum et al. 1997). Los productos oxigenados exhiben una presión de vapor más baja y una mayor solubilidad en agua, lo que favorece su transferencia al material particulado. Además, se ha descubierto

[70] Secondary Organic Aerosol.

que los productos originados en la oxidación de COVs forman oligómeros, que se incorporan a la fase de aerosol.

La formación de SOA en la atmósfera se produce por una transferencia de masa a la fase aerosol a partir de la oxidación de gases orgánicos de baja presión de vapor. En la medida que los gases orgánicos son oxidados en la fase gaseosa por especies como: radical hidroxilo (OH), el ozono (O_3) y el radical nitrato (NO_3), los productos de la oxidación se acumulan. Parte de dichos productos presenta baja volatilidad y condensa en las partículas disponibles, estableciéndose un equilibrio entre la fase gaseosa y la fase aerosol.

La capacidad de un determinado COV para producir SOA durante su oxidación atmosférica depende de tres factores:

1) La volatilidad de los productos de su oxidación.
2) La abundancia del compuesto en la atmósfera.
3) Su reactividad química.

La oxidación de COVs lleva a la formación de productos altamente substituidos y por lo tanto, con menores volatilidades. La reducción en la volatilidad se debe principalmente al hecho que la adición de moléculas de oxígeno y/o nitrógeno. La adición de ácido carboxílico, alcohol, aldehído, cetonas, nitrato de alquilo y otros grupos nitrogenados al COV precursor puede reducir su volatilidad en varios ordenes de magnitud. Las reacciones de COVs con O_3, OH y NO_3 pueden llevar a la formación de SOA en la atmósfera. La capacidad de casi todos los productos de la oxidación atmosférica de COVs para disolverse en la fase orgánica particulada sugiere que, al menos en teoría, todo COV contribuye a la formación de SOA. No obstante, la contribución de pequeñas moléculas de COVs a la formación de aerosoles orgánicos secundarios es prácticamente insignificante, debido a las relativas altas presiones de vapor de sus productos (Seinfeld & Pandis, 2006).

Los COVs que, para todos los fines prácticos, no producen aerosoles orgánicos secundarios en la atmósfera incluyen todos los alcanos hasta 6 átomos de carbono (desde el metano al hexano y sus isómeros), todos los alquenos hasta 6 átomos de carbono (desde el eteno al hexeno y todos sus isómeros) y la mayoría del resto de compuestos de bajo peso molecular, con la importante excepción del isopreno. En general, las grandes moléculas de COVs que contienen uno o más dobles enlaces son precursores de los aerosoles orgánicos secundarios.

Se ha propuesto un conjunto de relaciones de estructura/potencial de formación de SOA para los cicloalcanos:

- La producción de SOA se incrementa a medida que el número de átomos de carbono en el anillo aumenta.
- La producción de SOA se incrementa en la presencia de grupos metilo en moléculas con dobles enlaces.
- La producción de SOA se reduce en la presencia de grupos metilo en moléculas sin dobles enlaces.

Los hidrocarburos aromáticos son la mayor fuente antropogénica de precursores de SOA y, también, el componente dominante del SOA en las grandes extensiones urbanas. Se ha demostrado que la formación de SOA durante la fotooxidación de vapores de gasolina está determinada por el contenido de compuestos aromáticos del combustible (Odum et al, 2007).

El proceso de formación de SOA en la atmósfera presenta tres pasos principales:

1) Reacciones químicas en la fase gaseosa producen compuestos SOA a partir del COV original.
2) Partición de los compuestos SOA entre las fases gaseosa y particulada.
3) Reacciones en la fase particulada que convierten las especies SOA en otros compuestos químicos.

Como se señaló anteriormente, la presencia de NO_X afecta de manera significativa las vías de reacción del COV original mediante el cambio de las fracciones de COVs que reaccionan con O_3, OH y NO_3, pero también afectan los pasos intermedios en estos procesos de reacción. La humedad es otro factor que influye en las tasas de SOA obtenidas y la distribución de los productos de la reacción. Por último, la mayor o menor presencia de COVs también puede determinar la distribución de los productos obtenidos en las reacciones que tienen lugar en la formación de SOA.

Los mecanismos identificados permitirán profundizar en la producción de SOA a partir de COVs en una etapa posterior. No obstante, la aplicación de modelos de producción de contaminantes secundarios escapa del alcance del presente estudio.

6.7 Brechas para la Estimación de Emisiones y Propuestas de Mejora

Se han identificado las brechas para la estimación de emisiones para el caso específico de la conceptualización y desarrollo del Formulario de Declaración de emisiones de COVs en el RUEA del sistema VU del RETC, que se presentan en Tabla 17.

Tabla 17. Identificación de Brechas para la Estimación de Emisiones mediante un

Formulario de Declaración en el RUEA del Sistema VU - RETC

Brecha	Descripción	Propuesta de Mejora
Carencia de información para la caracterización de fuentes de emisión no puntuales	Actualmente, el RETC no cuenta con información sistematizada para la caracterización de fuentes no puntuales que generen emisiones de COVs o COPs. Esto podría generar errores en la estimación de emisiones, al no contar con mecanismos de corroboración adecuados para los niveles de actividad declarado mediante el formulario que se implementará en el RUEA.	Realizar una recopilación de información para caracterizar las fuentes no puntuales en rubros prioritarios mediante el Formulario de Declaración de emisiones, creando un registro similar al que hoy existe para fuentes puntuales. El registro debería en primera instancia permitir una recopilación de información de las capacidades de almacenamiento de hidrocarburos, solventes, tintas, conservantes y otras sustancias que puedan generar emisiones de COVs en la industria, junto con los flujos mensuales de dichas sustancias. Además, se deben registrar las características y dimensiones de los estanques de almacenamiento que se definieron para el Formulario de Declaración.
Carencia de factores de emisión para COVs individuales en procesos productivos	En la mayoría de los casos, los métodos de estimación de COVs no presentan factores de emisión para compuestos individuales, sino que estos se agrupan para familias de compuestos o categorías, p.e. COVNMs.	En los casos que lo ameriten se podrían usar métodos alternativos a los factores de emisión para estimar las emisiones de contaminantes puntuales, mediante mediciones o balances de masa. Esta información puede ser declarada al RETC mediante informes o reportada mediante una sección especial del Formulario de Declaración que permita registrar los resultados de extrapolaciones de mediciones y/o balances de masa realizados específicamente para un establecimiento determinado.
Factores de emisión no específicos para el contexto nacional	Los factores de emisión recopilados en la bibliografía internacional provienen de estudios realizados principalmente en Estados Unidos y Europa.	Desarrollar factores de emisión específicos para el país.
Limitaciones de los métodos de estimación de emisiones	Algunas limitaciones de los métodos de estimación de emisiones se relacionan con la estandarización de actividades, procesos y tecnologías entre otras variables las que pueden no adaptarse a todos los casos. En algunos casos los métodos de estimación de emisiones pueden resultar demasiado complejos para algunos rubros, o establecer simplificaciones que no se adecúan a los procesos de los establecimientos.	Realizar talleres con los declarantes con el fin de recibir retroalimentación, modificando los métodos de estimación de emisiones de acuerdo a las necesidades, restricciones y/o condiciones de los declarantes. En el caso de establecimientos con un alto volumen de almacenamiento de sustancias orgánicas es recomendable que se utilicen los softwares disponibles para la estimación

Brecha	Descripción	Propuesta de Mejora
		de emisiones (p.e. US-EPA-TANKS[71]) y se reporten los resultados mediante informes propios de cada establecimiento.

6.8 Listado de Rubros Prioritarios

Se establecieron criterios para la priorización de rubros en tres categorías de prioridad Alta, Media y Baja mediante los criterios que se presentan en la Figura 6.

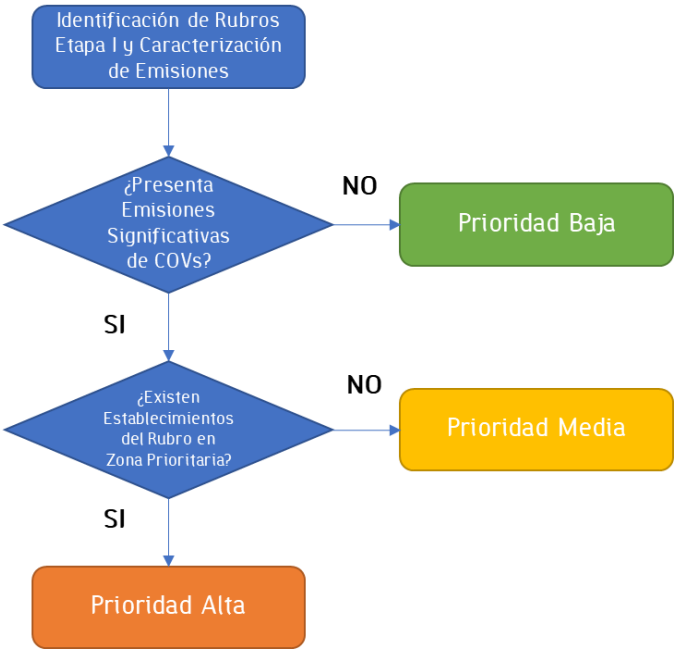


Figura 6. Criterios para la Priorización de Rubros

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 18 presenta los rubros prioritarios para la estimación de emisiones de COVNMs. La identificación de fuentes no puntuales y de las principales emisiones de cada rubro realizada en la sección **Fuentes No Puntuales, Procesos, Acciones u otros que Generan Emisiones de COVs, COPs y BETX** del presente documento permitió determinar los rubros que presentan emisiones significativas de COVNMs, COPs y BETX de aquellos que no generan dichas emisiones en fuentes no puntuales y por procesos distintos a la combustión. Para mayores antecedentes revisar la sección referida. Adicionalmente, se verificó que los rubros priorizados generaran emisiones que puedan presentar riesgos para la salud de las personas y el medio ambiente de acuerdo a la caracterización de toxicidad y la clasificación

[71] TANKS es un software basado en Windows que calcula las emisiones de COVs y contaminantes atmosféricos peligrosos (HAPs) de los tanques de almacenamiento de techo fijo y flotante. TANKS se basa en los procedimientos de estimación de emisiones del Capítulo 7 de la Compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos de la EPA (AP-42).

de peligrosidad presentada en **Anexo 4** asociada a este documento en formato digital. Las justificaciones para la priorización de rubros se basan, además, en los resultados presentados en **Empresas Identificadas en la Zona Prioritaria** del presente documento), teniendo en cuenta que el Estudio tiene un alcance nacional, pero con un énfasis en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, se estableció de manera adicional un criterio geográfico para la priorización de rubros.

Tabla 18. Priorización de los rubros para la estimación de emisiones de COVNMs para fuentes no puntuales y procesos distintos a la combustión

Subsector	Rubro	Prioridad	Justificación
Minería	Extracción de carbón de piedra y lignito (B5)	Baja	La extracción y tratamiento de carbón resulta principalmente en emisiones de metano. Las emisiones de COVNMs son poco significativas, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019). La cantidad de establecimientos en el país es 15.
	Extracción de petróleo crudo y gas natural (B6)	Media	Emisiones de COVNMs de manera significativa debido a venteos y pérdidas, emisiones fugitivas y evaporación. La cantidad de establecimientos en el país es 6, ninguno localizado en la zona prioritaria.
	Extracción de minerales metalíferos (B7)	Baja	Las principales emisiones corresponden a MP, siendo la generación de COVNMs poco significativa, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019).
	Extracción de otras minas y canteras (B8)	Baja	Las principales emisiones corresponden a MP, siendo la generación de COVNMs poco significativa, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019).
Industria alimentaria y agropecuaria	Elaboración de productos alimenticios (C10)	Alta	Se generan emisiones de COVNMs principalmente asociadas al procesamiento de grasas y aceites de origen animal y vegetal y a procesos como la cocción, fermentación y maduración, entre otros. La cantidad de establecimientos en el país es 277. En la zona prioritaria existe 1 establecimiento perteneciente a esta categoría.
	Elaboración de bebidas (C11)	Alta	Se generan emisiones de COVNMs principalmente en la producción de bebidas alcohólicas (fermentación, destilación, almacenamiento). La cantidad de establecimientos en el país es 88. En la zona prioritaria existe 1 establecimiento perteneciente a esta categoría.
Industria Manufacturera	Elaboración de productos de tabaco (C12)	Baja	Generación de COVNMs poco significativa, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019). No hay establecimientos de esta categoría en la zona prioritaria.
	Fabricación de productos textiles (C13)	Baja	Generación de COVNMs poco significativa, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019). No hay establecimientos de esta categoría en la zona prioritaria.
	Curtido y recurtido de cueros; fabricación de calzado y otros (C15)	Media	Generación de COVNMs significativa. La cantidad de establecimientos en el país es 6, fuera de la zona prioritaria.
Industria de Madera y Papel	Fabricación de la madera y fabricación de productos de madera (C16)	Media	Generación de COVNMs significativa. La cantidad de establecimientos en el país es 88, fuera de la zona prioritaria.
	Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón (C17)	Media	Generación de COVNMs significativa. La cantidad de establecimientos en el país es 15, fuera de la zona prioritaria.
Imprentas	Actividades de impresión (C18)	Media	Generación de COVNMs significativa. La cantidad de establecimientos en el país es 8, fuera de la zona prioritaria.
Industria Petroquímica	Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles (C19)	Alta	Generación de COVNMs muy significativa. Las refinerías de petróleo crudo son fuentes de emisiones de COVNMs, por venteos, fugas, pérdidas y evaporación. ENAP Refinerías cuenta con establecimientos de importancia en Concón

Subsector	Rubro	Prioridad	Justificación
			(anteriormente RPC) y Talcahuano (anteriormente Petrox) y además, las plantas Manantiales, Cullén, Posesión y Cabo Negro, todas ubicadas en la Región de Magallanes.
Industria Química	Fabricación de sustancias y productos químicos (C20)	Alta	Generación de COVNMs significativa por utilización de solventes y disolventes, agentes espumantes, refrigerantes, entre otros compuestos. Las emisiones provienen de fugas, pérdidas y procesos industriales. La cantidad de establecimientos en el país es 56, con establecimientos presentes en la zona prioritaria (Oxiquim, BASF, otros).
Industria Farmacéutica	Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y otros (C21)	Media	Generación de COVNMs significativa por utilización de solventes y disolventes, agentes espumantes, refrigerantes, entre otros compuestos. Las emisiones provienen de fugas, pérdidas y procesos industriales. La cantidad de establecimientos en el país es 22, fuera de la zona prioritaria.
Industria del Caucho y el Plástico	Fabricación de productos de caucho y de plástico (C22)	Media	Generación de COVNMs significativa por utilización de solventes y disolventes, agentes espumantes, refrigerantes, entre otros compuestos. Las emisiones provienen de fugas, pérdidas y procesos industriales. La cantidad de establecimientos en el país es 45, fuera de la zona prioritaria.
Industria de Procesamiento de Minerales No Metálicos	Fabricación de vidrio y productos de vidrio (C2310)	Media	En general, las emisiones de COVNMs son poco significativas. No obstante, se han identificado emisiones de COVNMs en la producción de lana de vidrio. Los productos de lana de vidrio suelen contener una proporción de aglutinante a base de resina fenólica. Este tipo de establecimientos no se encuentra en la zona prioritaria.
	Fabricación de productos minerales no metálicos n.c.p. (C239)	Baja	Las emisiones de COVNMs son poco significativas, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019). No hay establecimientos de esta categoría en la zona prioritaria.
Industria Metalúrgica Primaria	Industrias básicas de hierro y de acero (C2410)	Baja	Las emisiones de COVNMs son poco significativas, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019). No hay establecimientos de esta categoría en la zona prioritaria.
	Industrias básicas de metales preciosos y de metales no ferrosos (C242) y Fundición de metales (C243)	Baja	Las emisiones de COVNMs son poco significativas, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019). No hay establecimientos de esta categoría en la zona prioritaria.
Industria Metalúrgica Secundaria	Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (C25)	Baja	Las emisiones de COVNMs son poco significativas, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019). No hay establecimientos de esta categoría en la zona prioritaria.
Otras Industrias de Manufactura	Fabricación de muebles, colchones y somieres (C31)	Baja	Las emisiones de COVNMs son poco significativas, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019). No hay establecimientos de esta categoría en la zona prioritaria.
	Otras industrias manufactureras (C32)	Baja	Las emisiones de COVNMs son poco significativas, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019). No hay establecimientos de esta categoría en la zona prioritaria.
	Instalación, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo (C33)	Baja	Las emisiones de COVNMs son poco significativas, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019). No hay establecimientos de esta categoría en la zona prioritaria.
Industria Energética	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado (D35)	Alta	Las emisiones de COVNMs son significativas en los establecimientos que utilizan combustibles líquidos y gaseosos. En la zona prioritaria existen diversos establecimientos pertenecientes a esta categoría, especialmente los terminales de Gas Natural Licuado (GNL) y Gas Licuado de Petróleo (GLP) y las centrales termoeléctricas que utilizan combustibles líquidos y gaseosos (Enel Generación, Tecnored, Colmito, otros).
Industria Sanitaria	Evacuación y tratamiento de aguas residuales (E37)	Alta	Pueden generarse emisiones de COVNMs relevantes a nivel local. En la zona prioritaria existen establecimientos pertenecientes a esta categoría.
	Tratamiento y disposición de residuos sólidos (E38)	Baja	Pueden generarse emisiones en pequeñas cantidades de COVNMs. No obstante, las metodologías de estimación no

Subsector	Rubro	Prioridad	Justificación
			disponen factores de emisión específicos para estos contaminantes. Alrededor de un 99% de los COVs generados como emisiones difusas en rellenos sanitarios corresponden a metano.
	Tratamiento y disposición de residuos peligrosos (E3812)	Baja	El tratamiento de aguas residuales de origen doméstico (aguas servidas) e industrial es una actividad poco significativa en generación de emisiones de COVNMs, de acuerdo a la revisión de la Guía *Air Pollutant Emission Inventory Guidebook* (EMEP/EEA, 2019).
Transporte y Almacenamiento	Almacenamiento y actividades complementarias al transporte (H52)	Alta	Emisiones significativas de COVNMs debido a venteos y pérdidas, emisiones fugitivas y evaporación. La cantidad de establecimientos en el país es 202, con presencia en la zona prioritaria.

6.9 Almacenamientos Existentes a Nivel Nacional e Internacional

6.9.1 Tipos de Almacenamiento utilizados en la Zona Prioritaria y a Nivel Nacional

Los tipos de almacenamiento a nivel local corresponden a los 19 proyectos ingresados y aprobados por el SEIA identificados en el Estudio, que estimaron COVs y BTEX en la zona prioritaria. Se identificó la utilización de diversos tipos de estanque, para diferentes sustancias, los cuales se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Tipos de Almacenamientos utilizados en la Zona Prioritaria

Sustancia	Tipos de estanque utilizados y tecnologías de control
Aguas ácidas	• Tanque de techo fijo exterior y techo flotante interior con doble sello
Gas natural licuado	• Estanque refrigerado de contención total • Líneas de retorno de gases en islas de carga
Petróleo crudo, Petróleo diésel, gasolina, queroseno de aviación Drenajes de proceso	• Tanque con techo flotante (no se especifica subtipo), algunos con doble sello • Tanque con techo flotante externo de pontón, algunos con doble sello • Tanque de techo fijo con membrana flotante, uno con gas inerte entre ambos techos • Tanque vertical de techo fijo • Tanque vertical con domo geodésico • Tanque con techo cónico • Color blanco
Aceite residual	• Tanque vertical de techo fijo (techo toriesférico y cónico), con sistema cerrado de venteo y color gris
Estireno, Pentano	• Compensación de gases
2-Etil Hexil Acrilato, n-Butil Acrilato, Acrilonitrilo, Acetato de Vinilo, Estireno, Metacrilato de Metilo, Acido Acrílico, Acrilamida (Solución al 30%)	• Tanques de techo fijo • Compensación de gases en uno de ellos
Fenol, Estireno monómero granel, aceite base chevron 220 n, Diesel y gasolina, metanol, vinil acetato, escaid 110, prowax 320, aceite base star 12, butil acrilato,	• Estanque cilíndrico vertical de techo fijo (atmosférico) • Gris y blanco

Sustancia	Tipos de estanque utilizados y tecnologías de control
acetona, isopropanol, metil etil cetona, poliol, chev 110 n, exxsol d40, 2-etilhexilacrilato, ácido sulfúrico	
Etilenglicol, dietilenglicol y producto terminado (resinas)	• Tanque cilíndrico vertical con techo cónico

La revisión de "proyectos clave" de rubros de prioridad alta a nivel nacional, no arrojó información de utilidad, ya que prácticamente la mayoría de los proyectos no mencionaba las emisiones de COVs, ni tampoco caracterizaba los almacenamientos.

6.9.2 Tipos de Almacenamiento utilizados a Nivel Internacional

Los tipos de almacenamiento de sustancias líquidas y gases licuados utilizados a nivel internacional se presentan en Tabla 20.

Tabla 20. Tipos de Almacenamiento Utilizados a Nivel Internacional

Tipo de Almacenamiento	Características	Descripción
Tanques de techo abierto	Presión Atmosférica	Uso común: almacenamiento purines y agua u otros líquidos no inflamables y no volátiles. Pueden cubrirse con capa natural o artificial de materia flotante (materiales granulados, paja o membrana flotante) o con una cubierta sólida (como un techo de hormigón) para evitar entrada de agua lluvia y reducir emisiones. La instalación de una cubierta sólida permite la recolección y tratamiento de las emisiones.
Tanques de techo flotante externo	Presión Atmosférica	Se utilizan para almacenar petróleo crudo, entre otras sustancias. Tienen un techo que flota sobre la superficie del líquido almacenado. El techo sube y baja con las variaciones del nivel de líquido almacenado. Las plataformas flotantes están equipadas con un sistema de estanqueidad periférico que se adosa al perímetro de la cubierta y hace contacto con la pared del tanque. El propósito de la plataforma flotante y del sistema de estanqueidad es reducir las emisiones a la atmósfera (y las pérdidas de producto) del líquido almacenado. Las pérdidas por evaporación del líquido almacenado se limitan a las pérdidas del sistema de estanqueidad y de accesorios de la plataforma (pérdida de almacenamiento en reposo) y de cualquier líquido que quede en la superficie interna del tanque cuando el techo flotante desciende (pérdida por retiro). Existen tres tipos principales de techo flotante: techos flotantes de pontón, techos flotantes de doble plataforma y techos especiales de boyas y con refuerzo radial.
Tanques de techo fijo (verticales)	Presión Atmosférica	Se utilizan para almacenar líquidos inflamables, productos del petróleo y sustancias químicas de cualquier nivel de toxicidad. Pueden ser tanques atmosféricos, tanques de baja presión (presión interna de hasta 20 mbar) o tanques "de alta presión (presión interna de hasta 56 mbar). Adecuados para el almacenamiento a presión atmosférica y, por tanto, tienen chimeneas de ventilación abierta.

Tipo de Almacenamiento	Características	Descripción
		Los tanques de techo fijo no presurizados permiten el almacenamiento de sustancias a presión atmosférica. Tanto los estanques de baja y alta presión tienen válvulas de escape de presión/vacío, que se encuentran completamente abiertas a la presión/vacío de diseño. Las emisiones más significativas de este tipo de estanques están asociadas a las pérdidas por ventilación y por trabajo. Las pérdidas por trabajo se producen por la expansión y contracción del vapor, que son el resultado de cambios de temperatura y presión. Esta pérdida ocurre sin ningún cambio de nivel de sustancia en el tanque. Las pérdidas por trabajo corresponden a la combinación de las pérdidas que se generan durante el llenado y vaciado del estanque.
Tanques horizontales (superficiales)	Presión Atmosférica	En general tienen una capacidad inferior a 150 m^3.
Tanques horizontales (subterráneos)	Presión Atmosférica	Se suelen usar para almacenar gasolina, diésel y otros combustibles y acostumbran a tener una capacidad inferior a 50 m^3.
Tanques de espacio de vapor variable	Presión Atmosférica	Están equipados con depósitos de vapor expandibles para adaptarse a las fluctuaciones en el volumen del vapor causadas por cambios en la temperatura y la presión. Los dos tipos más comunes: Tanques de techo levadizo y Tanques de diafragma flexible. Los tanques de techo levadizo se utilizan para almacenar productos o sustancias, mientras que los tanques de diafragma flexible sólo se utilizan para almacenar vapor a presión atmosférica o cercana a ella, suelen ser conectados a varios tanques para reducir las emisiones por respiración, por lo tanto, son una medida de control de emisiones Tanques de techo levadizo tienen techo telescópico que calza holgadamente alrededor de la parte exterior de la pared principal del tanque. El espacio entre el techo y la pared se cierra mediante un sistema de estanqueidad húmedo o seco. En Europa rara vez se utilizan para almacenar productos asociados a la industria del petróleo. Las pérdidas del tanque de techo levadizo ocurren durante el llenado del mismo, cuando el vapor es desplazado por el líquido y se excede la capacidad de almacenamiento de vapor del tanque.
Tanques esféricos	Presurizado	Se utiliza para cualquier categoría de gas licuado, desde no inflamable hasta inflamable y muy tóxico. Tienen mayor capacidad que los tanques presurizados horizontales o verticales. El límite superior práctico se puede considerar de unos 3.500 m^3. Las boquillas son posibles fuentes de fugas. Por lo tanto, el número de boquillas en un tanque, generalmente se minimiza.
Tanques horizontales	Presurizado	Se utiliza para cualquier categoría de gas licuado, desde no inflamable hasta inflamable y muy tóxico. Existen dos clases tipos: baja y alta presión. Se utilizan generalmente para almacenar líquidos orgánicos y gases con presiones de vapor altas.

Tipo de Almacenamiento	Características	Descripción
		Pueden funcionar de modo que prácticamente no se produzcan pérdidas por evaporación o trabajo. El nivel de equipamiento para el control de emisiones utilizado depende de la sustancia que se almacena.
Tanques cilíndricos verticales	Presurizado	Se utiliza para cualquier categoría de gas licuado, desde no inflamable hasta inflamable y muy tóxico. Uso: Cuando el espacio es limitado y no se necesitan almacenamientos de gran capacidad. Normalmente están limitados a 10 metros de diámetro y a 25 de alto (unos 1750 m^3 de capacidad). Las boquillas son posibles fuentes de fugas. Por lo tanto, el número de boquillas en un tanque, generalmente se minimiza
Tanques cubiertos de tierra	Presurizado	Se utilizan especialmente para almacenar productos inflamables. Corresponde a un sistema de almacenamiento para gases licuados de petróleo en tanques cilíndricos horizontales situados a nivel del suelo o justo por debajo y completamente cubiertos con un relleno adecuado. El volumen máximo del tanque es aproximadamente 3500 m^3 brutos.
Tanques refrigerados	Refrigerado	Existen 3 tipos: Contención simple, Contención doble, Contención completa. El almacenamiento refrigerado se puede considerar para el almacenamiento a gran escala de gases licuados, como el amoníaco, el cloro, gas licuado de petróleo, entre otros.
Cavidades	Presión Atmosférica	Corresponden a cavidades excavadas en lecho rocoso. Permiten almacenar hidrocarburos menos densos que el agua. Cavidades se instalan a una profundidad por debajo del nivel del suelo tal que la presión estática de la capa freática es superior a la presión del hidrocarburo almacenado. Se establece un gradiente de presión hacia el interior de la cavidad, con lo que se evitan fugas del producto hacia los estratos rocosos. Volúmenes habituales: 50.000- 580.000 m^3. Profundidad habitual cavidad: 40-170 m Existen 2 sistemas básicos de almacenamiento: Cavidades con lecho freático fijo y Cavidades con lecho freático variable. Cavidades con lecho freático fijo: En el fondo de la cavidad se mantiene una capa de agua (normalmente inferior a 1 m), el nivel de agua se mantiene constante gracias a un aliviadero provisto de una bomba. pueden almacenar petróleo crudo, GLP, gasolina, diésel, fuel ligero y fuel pesado. Cavidades con lecho freático variable: El nivel del hidrocarburo almacenado se mantiene a una altura casi constante cambiando la profundidad de la capa de agua. Este tipo de cavidad puede almacenar, por ejemplo, gasolina. Emisiones a la atmósfera son bajas debido a temperaturas estables y a posibilidad del almacenar hidrocarburo a presión. En una cavidad con lecho freático variable las emisiones atmosféricas son muy bajas ya que el nivel de gas se mantiene relativamente constante durante el llenado extrayendo el agua.
Cavidades	Presurizado	La mayoría de las cavidades corresponden a cavidades presurizadas. El espacio de vapor no contiene aire y el hidrocarburo almacenado no puede incendiarse en ninguna circunstancia, gracias a la ausencia de oxígeno.

Tipo de Almacenamiento	Características	Descripción
		Diseñadas y operadas de tal modo que el vapor se condensa en líquido, evitando así el aumento de presión en la cavidad y las potenciales emisiones a la atmósfera.
Cavidades salinas lixiviadas	NA	Se crean perforando un pozo en la formación salina, haciendo circular agua dulce o de baja salinidad por el pozo, y finalmente, retirando la salmuera de la cavidad. La sal de la formación se disuelve y amplía el pozo perforado hasta que alcanza el volumen deseado. Pueden almacenarse hidrocarburos líquidos y los gases licuados a presión, sobre una solución de salmuera. Durante el llenado, el hidrocarburo se bombea en la parte superior de la cavidad y desplaza a la salmuera Las grietas y fallas en la sal se tapan gracias al comportamiento viscoplástico de la sal bajo presión geostática. Ello garantiza que no se produzcan emisiones al suelo. Las profundidades habituales de las cavidades salinas lixiviadas son de 300 m a 1200 m. Los estanques o balsas utilizados para almacenar la salmuera necesaria para la extracción del hidrocarburo suelen diseñarse de modo que se adapten al paisaje.
Estanques y balsas/embalses	Presión Atmosférica	En la industria se suelen usar para contener agua para refrigerantes, agua contra incendios, aguas residuales no tratadas y tratadas o salmuera. En la agricultura se usan para almacenar y tratar purines y ensilados. No se usan para productos volátiles derivados del petróleo ni para productos químicos. Existen 2 tipos: Naturales y artificiales.
Almacenamiento flotante	Presión Atmosférica	Corresponde a barcos que se usan para proporcionar una capacidad de almacenaje adicional y temporal en un terminal marítimo. Las conducciones deben disponer de secciones flexibles para soportar el movimiento de las olas y las mareas. Debe considerarse cuidadosamente la contención de derrames o fugas de líquido al agua.
NA: No Aplicable.		

Fuente: "Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage" (EC, 2006)

Los tipos de almacenamiento más utilizados para los hidrocarburos líquidos, de acuerdo al documento son:

- Tanques de techo fijo.
- Tanques de techo flotante externos.
- Tanques de techo flotante interno.
- Almacenamiento a presión (por ejemplo, tanques esféricos).

Las figuras 7 a 10 presentan esquemas para los principales tanques utilizados en el almacenamiento de sustancias orgánicas.

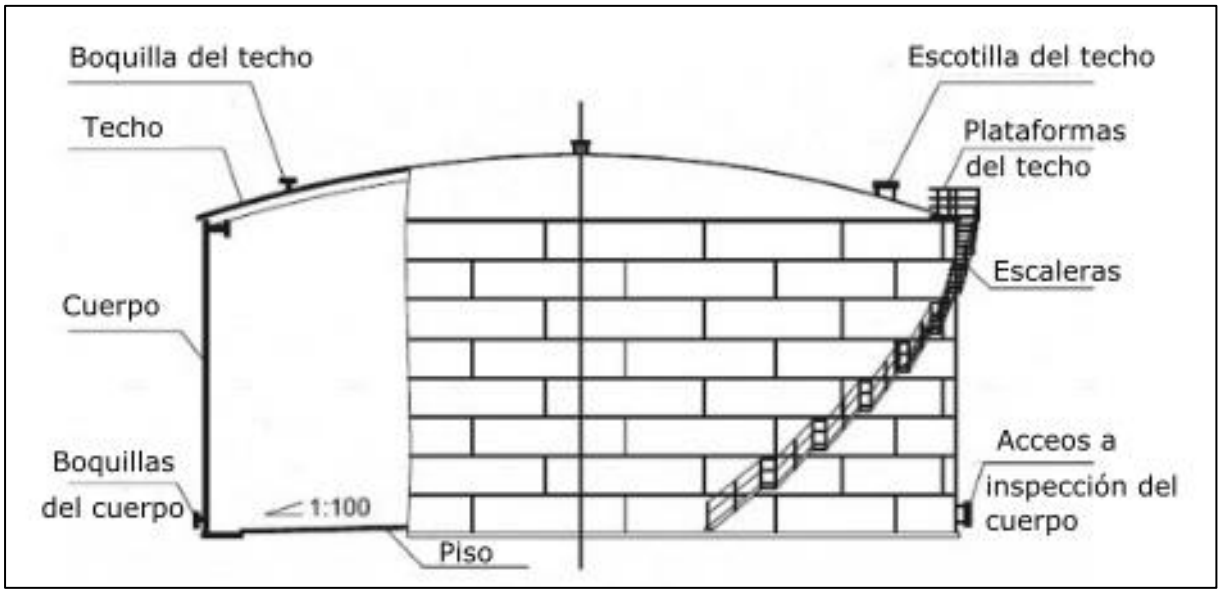


Figura 7. Tanque de Techo Fijo

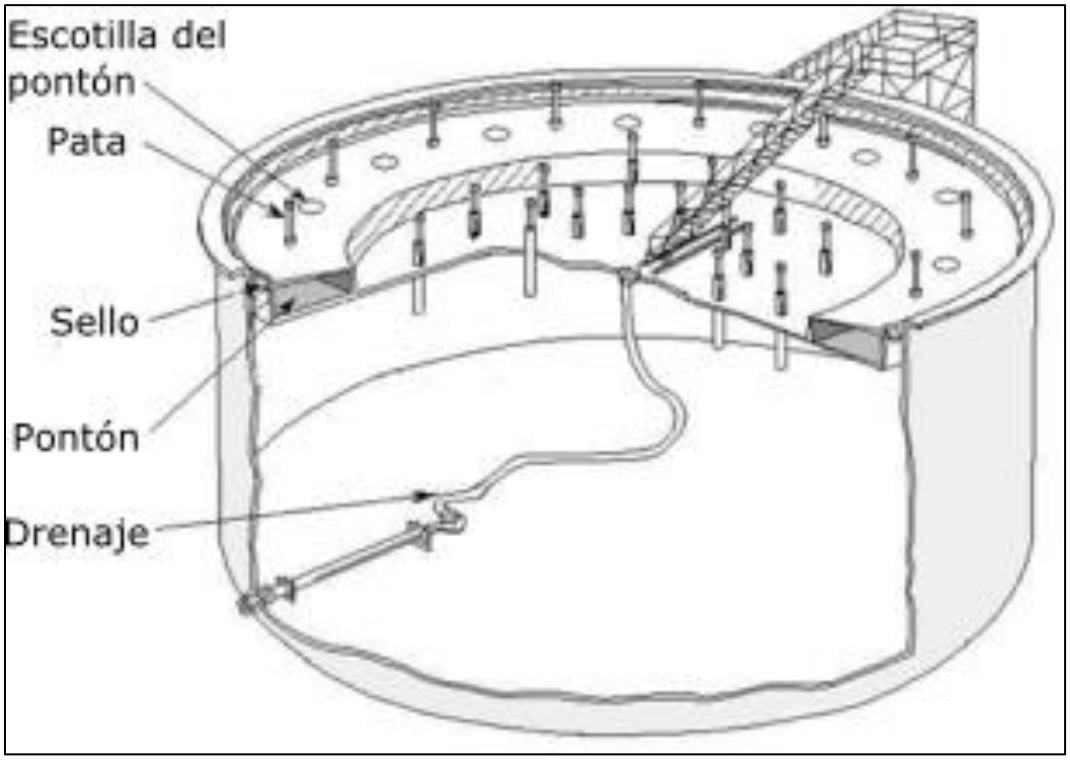


Figura 8. Tanque de Techo Flotante Externo de Membrana Simple con Pontones

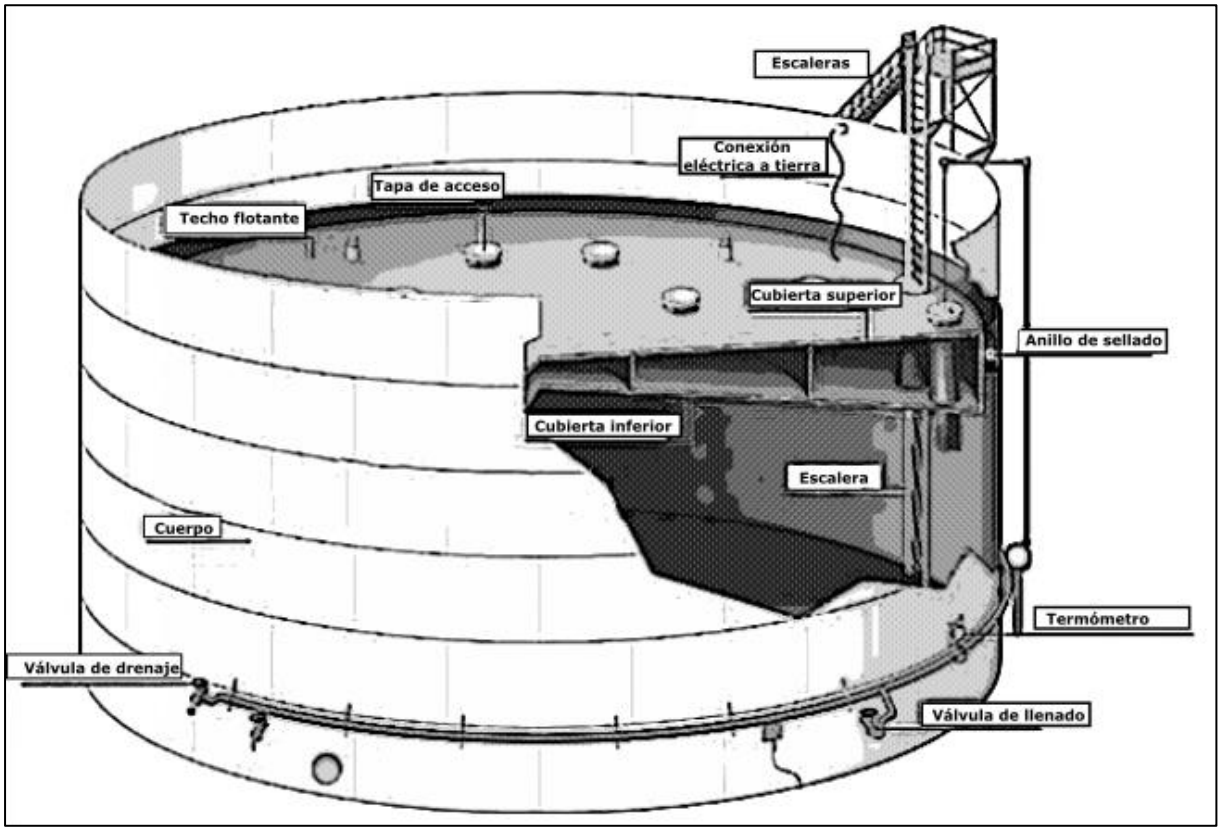


Figura 9. Tanque de Techo Flotante Interno

Figura 10. Tanque Cilíndrico Horizontal para almacenamiento de Crudo

Por otra parte, los tanques pueden tener una serie de elementos, para su funcionalidad, que requieren la perforación del techo para su instalación, y por tanto son una posible fuente de emisiones atmosféricas, los cuales se señalan a continuación:

- Respiraderos: dependiendo del tipo de tanque, pueden implementarse los siguientes tipos de respiraderos:
  - Orificios de venteo.
  - Válvulas de alivio de presión/vacío (o válvulas de respiración).
  - Válvulas de purga (o igualadores de presión).
  - Respiraderos de los elementos de estanqueidad periféricos.
- Trampillas de medición y muestreo: sustancias almacenadas en tanques atmosféricos se suelen muestrear (altura, masa, temperatura, etc.) a través de pozo de medición.
- Pozos fijos y guías: permiten el acceso para realizar mediciones y evitar la rotación del techo.
- Instrumentación: permiten el control de nivel y protección de sobrellenado, pantallas anti-llamas, detección de fugas y gas.
- Trampillas de acceso: permiten el acceso durante una parada del tanque y la liberación del gas mismo.
- Desagües: permiten drenar el agua lluvia del techo.
- Mezcladores: se utilizan para evitar la acumulación de sólidos en la base del tanque.
- Sistemas de calentamiento: para calentar productos almacenados, lo que permite por ejemplo facilitar el bombeo al cambiar su viscosidad.
- Elementos de estanqueidad: emisiones pueden tener su origen en fugas en los elementos de estanqueidad de piezas determinadas del equipo, por ejemplo: compresores, bridas, bombas, cubiertas, entre otros.
- Válvulas: están presentes en el tanque y sistema de transporte.

En cuanto al transporte sustancias líquidas y gases licuados, se identifican los siguientes tipos:

- Tuberías de superficie abierta: sistemas diseñados para recoger aguas lluvia o derrames. Sólo son adecuados para productos poco volátiles no peligrosos.
- Tuberías de superficie cerradas: son la forma más habitual. Permiten transportar líquidos, gases refrigerados (licuados), gases presurizados (líquidos) o gases en estado gaseoso. Las emisiones atmosféricas están asociadas en general a fugas en los elementos de estanqueidad o en las operaciones de limpieza o purgado.
- Tuberías subterráneas cerradas. Permiten transportar las mismas sustancias señaladas en el punto anterior, y sus emisiones también provienen, de fugas en los elementos de estanqueidad o en las operaciones de limpieza o purgado.
- Carga y descarga de dispositivos de transporte: los camiones o vagones cisterna y las embarcaciones se conectan al punto de carga o descarga mediante una manguera flexible o brazo de carga. En los casos que es necesario recoger los vapores de la unidad de transporte durante la carga del líquido, los vapores desplazados deben recogerse con tuberías instaladas en las unidades de transporte o mediante brazos de carga modificados.

Por otra parte, entre las formas o técnicas de manipulación de las sustancias antes indicadas, se tienen las siguientes:

- Flujo por gravedad: solo se aplica en condiciones atmosféricas o en recipientes a presión con un espacio de vapor común o que operan a la presión de saturación del vapor del líquido almacenado.
- Bombas: Se usan para desplazar todo tipo de productos o sustancias en condiciones atmosféricas, presurizadas o refrigeradas, en general se usan dos tipos: de desplazamiento positivo y centrífugas. Para manipular productos derivados del petróleo en general se utilizan bombas centrífugas.
- Compresores: se usan para desplazar gases o productor refrigerados. Para COVs se utilizan en general compresores centrífugos.
- Gases inertes: se utilizan para desplazar un producto, en general se usa para pequeños volúmenes.
- Bridas y juntas: una junta se utiliza para crear y mantener una unión estanca estática entre dos bridas estacionarias, que pueden conectar una serie de conjuntos mecánicos en una planta, incluyendo el área de almacenamiento.

Proporcionan una barrera física para el fluido que contienen, impidiendo cualquier posible vía de fuga.

- Las bridas individuales en general no presentan fugas importantes, no obstante, dado que en el transporte se utilizan muchas, pueden representar una contribución relevante.
- Válvulas y empalmes: Se estima que las válvulas aportan con un 50-60% de las emisiones fugitivas en las industrias química y petroquímica, y la mayor parte de emisiones fugitivas[72] proviene sólo de una pequeña parte de las fuentes (por ejemplo, menos del 1% de las válvulas en servicio de gas o vapor pueden representar más del 70% de las emisiones fugitivas en una refinería). Algunas válvulas tienen más probabilidad de fugas que otras (EC, 2006).
- Existen, además, otros equipos y accesorios, tales como elementos de sellado, orificios de venteo, desagües y puntos de muestreo, instrumentación (para medición de presión y temperatura) y dispositivos de escape de presión.

6.9.3 Controles de Emisiones Asociados a Tipos de Almacenamientos

Las posibles medidas de control para las emisiones atmosféricas en el almacenamiento, considerando solamente los almacenamientos tipo tanque, estanques y tuberías de transporte cerradas, son:

- Cubiertas flotantes (para tanques de techo abierto, estanques y balsas):
  - Se utilizan en tanques de techo abierto, estanques y balsas para evitar la emisión de vapores y especialmente olores a la atmósfera.
  - Existen diversos tipos de cubiertas: grava ligera, paja, turba, gránulos de plástico, capas y láminas.
  - Su inspección por la parte inferior puede ser dificultosa. El mantenimiento durante el funcionamiento no suele ser posible.
  - Existe un riesgo potencial de acumular grandes concentraciones de gases peligrosos y nocivos justo por debajo de la superficie.
- Cubiertas flexibles o toldos (para tanques de techo abierto):

[72] Corresponden a fugas de gases procedentes de los elementos de estanqueidad, empaquetaduras, bridas y conexiones que en condiciones normales deberían ser estancas.

- Pueden cubrir tanques de techo abierto.
- Se pueden instalar en almacenes de hormigón ya existentes con diámetros inferiores a 30 m sin modificaciones, previo estudio técnico.
- En cuanto a seguridad, se pueden generar gases tóxicos.
- Pueden no tener relevancia ambiental, pero deben tenerse en cuenta por cuestiones de seguridad.

- Cubiertas fijas o rígidas:
  - Son cubiertas de hormigón o paneles de fibra de vidrio de forma plana o cónica.
  - Cubren completamente la superficie del producto y evitan la entrada de agua de lluvia y nieve.
  - Permite recoger y tratar las emisiones.
  - Se puede producir un desarrollo de gases tóxicos.
- Cúpulas:
  - Se usan en algunos tanques de almacenamiento de la industria petroquímica.
  - Evita la acumulación de nieve, agua de lluvia y eliminación del viento en la parte superior del techo flotante.
  - La cúpula está formada por vigas en doble T y paneles de aluminio prefabricados.
  - La efectividad de una cúpula depende de la velocidad media anual del viento y del sistema de estanqueidad periférico instalado.
- Color del tanque:
  - El color del tanque influye en la cantidad de radiación térmica y lumínica absorbida por los tanques de superficie, y por tanto en la temperatura del líquido y vapor.
  - Medida aplicable a todos los tipos de tanques de superficie, también para tanques en embarcaciones (almacenamiento flotante).
  - El acero inoxidable no necesitaría pintura como medida de control de emisión.

- La pintura basada en solventes orgánicos genera emisiones de COVs durante su aplicación.

- Escudos solares:
  - Consiste en la colocación de pantallas o escudos solares alrededor de los tanques verticales para minimizar el impacto solar de la estructura.
  - Consiste en reducir y prevenir un aumento de la temperatura del vapor/producto del interior del tanque, lo que permite reducir las emisiones.
  - Solo se utiliza actualmente para tanques pequeños en zonas de alta incidencia solar.
- Enfriamiento natural de los tanques:
  - Medida especial para almacenamiento de mezclas de hidrocarburos líquidos con una elevada proporción de moléculas ligeras, como la gasolina, la nafta y el petróleo crudo.
  - El enfriamiento por medio de películas de agua o pulverización de agua son posibles sistemas para reducir la temperatura del producto y las emisiones.
  - El empleo de agua puede ser inaceptable en regiones con escasez de agua dulce.
- Elementos de estanqueidad para techos flotantes externos e internos:
  - Elementos de estanqueidad periférico: están diseñados para cubrir el hueco existente entre el pontón externo del techo flotante y la estructura del tanque, para minimizar las emisiones al exterior.
  - Pozos fijos y guías:
    - Pozos fijos calibrados: si contienen productos como gasolina, estos producen emisiones de varias toneladas al año, dependiendo de las condiciones de velocidad del viento que afecten al emplazamiento.
    - Soportes del techo: presentan emisiones propias relativamente bajas si se comparan con las de otros accesorios de los techos de los tanques.
- Techo Flotante Interno (TFI):
  - Disponen de techo fijo permanente y techo flotante (o plataforma) en el interior.

- Se utilizan ampliamente en la industria del petróleo (aplicables para tanques de techo fijo verticales).
- Existen los techos flotantes de contacto y sin contacto. Estos últimos son los más habituales.

- Válvulas de Alivio de Presión y Vacío (VAPV): se instalan como mecanismo de seguridad en los tanques de techo fijo para prevenir excesos de presión o arrastre a causa del vacío, pero también resultan útiles al limitar las emisiones de gases a la atmósfera.
- Sistemas de drenaje cerrados: pueden usarse en tanques atmosféricos o a presión. Para los tanques atmosféricos, la materia drenada puede conducirse a una unidad de recuperación, donde el material podrá ser recuperado y reutilizado o bien gestionado como un desecho. Para los tanques presurizados, el material drenado puede ser conducido a un sistema de compresor para relicuarlo o bien a un tratamiento de gases.
- Compensación de vapor: su objetivo es reducir las emisiones atmosféricas generadas por el transporte de líquidos mediante la conducción de los vapores del tanque receptor al de suministro.
  - Requiere que los tanques receptores y de suministro sean de techo fijo para permitir la captación del vapor y su transporte.
  - Solo se puede utilizar en sistemas de almacenamiento de presión atmosférica con un espacio para el vapor situado entre el líquido y el techo.
- Depósitos para vapores (Tanques de Diafragma Flexible):
  - Se instala un diafragma flexible, a media altura del tanque.
  - Se utilizan en los sistemas de compensación de vapor para almacenar los gases producidos por la "respiración exterior" de los tanques.
  - En general corresponden a tanques verticales de superficie.
  - Se emplean para los vapores de algunos productos del petróleo. También se pueden emplear para el almacenamiento flotante.
- Tratamiento de gases:

- Requieren la recolección de los gases y su alimentación a un oxidante térmico o unidad de recuperación de vapores a través de canalizaciones.
- Sólo es viable cuando las emisiones pueden captarse y conducirse hacia el sistema de tratamiento, por ejemplo, desde los orificios de venteo de los tanques de techo fijo. También es viable en el caso del almacenamiento flotante.
- Las tecnologías para el abatimiento de las emisiones de COV a la atmósfera de las operaciones de almacenamiento son:
  - Oxidación de los gases expulsados.
  - Recuperación de hidrocarburos de los gases expulsados.

6.10 Tipos de Control Disponible para Emisiones de COVs

6.10.1 Medidas al Interior de los Procesos

Las medidas al interior de los procesos deben ser consideradas en primer término, cubriendo diversas acciones que pueden agruparse en dos clases: mejoramiento de la gestión técnica y ambiental y cambios tecnológicos menores, incluyendo sustitución de materias primas, modificación de condiciones operacionales y acciones de prevención de posibles fugas de gases al aire.

En establecimientos industriales, las emisiones de gases, y en particular de COVs, se pueden producir a través de diversos equipos y operaciones, entre estas últimas se encuentran las de almacenamiento, trasvasijes, mezclas y reacciones, que implican ocupar medios físicos tales como estanques (especialmente los abiertos), tuberías, bombas, válvulas, sellos y conexiones *("flanges")*, cuyo control y mantención resultan imprescindibles para disminuir posibles escapes de gases, sean difusos o a través de ductos. El enfoque para control de emisiones gaseosas debe ser de carácter holístico, donde se consideran tanto aspectos organizacionales, como humanos y físicos, lo que requiere perfeccionar la gestión técnica de los establecimientos potenciales emisores, además de incorporar mejoras en sus equipamientos y cambios en materias primas y productos intermedios. Las medidas de gestión deben enfocarse hacia la prevención, sin dejar de lado los respectivos planes de emergencia y los monitores continuos. La capacitación y formación especializada juega un rol relevante.

Físicamente se pueden hacer mejoras introduciendo sistemas de alarma, instrumentación duplicada y, en el caso de los estanques los discos de ruptura o venteos de presión deben disponer de sistemas de contención de las eventuales emisiones de vapores. En estos casos

deben existir mecanismos de evacuación y recuperación de COVs, además de disponer de protocolos de gestión sobre estos eventos.

En caso de no poder recuperar el material emitido deben instalarse sistemas de tratamiento de emisiones, de acuerdo con las tecnologías adicionales que se proponen más adelante. En todos los casos se recomienda disponer de equipamientos y capacidades para establecer balances químicos y poder estimar eventuales pérdidas. La capacidad de registro (*"accountability"*) resulta prioritaria en la gestión de emisiones de COVs.

Gran parte de los eventos no previstos que generan emisiones no deseadas a la atmósfera provienen de operaciones rutinarias, sin embargo, no deben descuidarse las emisiones que provienen de situaciones eventuales, donde suele ocurrir que hay menos conocimiento y práctica de trabajo. Por ello es necesario establecer rigurosos procedimientos de trabajo bajo estas condiciones, donde la supervisión superior resulta imprescindible. Estas acciones deben ser evaluadas y revisadas en detalle, generando los protocolos que sean convenientes al mejor control operacional. Los protocolos deben incluir, entre otros aspectos, la identificación de productos, instrucciones de manejo, aspectos sanitarios y de protección personal, control e instrumentación y recomendaciones y medidas frente a emergencias.

6.10.2 Tecnologías al Final del Proceso (end-of-pipe)

Los tipos de tecnologías disponibles se pueden agrupar en aquellas que destruyen las sustancias y las que recuperan y/o transfieren de una fase a otra los contaminantes. Son destructivas las que cambian la estructura química de los compuestos, lo que requiere reacciones químicas, generalmente de combustión. Las tecnologías de transferencia son las que ocupan distintas fases de la materia para atrapar contaminantes gaseosos y tratarlos en forma más conveniente. La opción preferente se orienta por la aplicación del principio convencional de las 3R (Reuso, Reciclaje y Reducción)[73]. La Figura 11 presenta una clasificación de técnicas de remoción de COVs.

[73] Más información y detalles de las tecnologías se encuentran en referencias bibliográficas (Marin Figueredo (2018); Dhananjai Sudhakar Borwankar (2009); F.I. Khan y A. Kr. Ghoshal (2000).

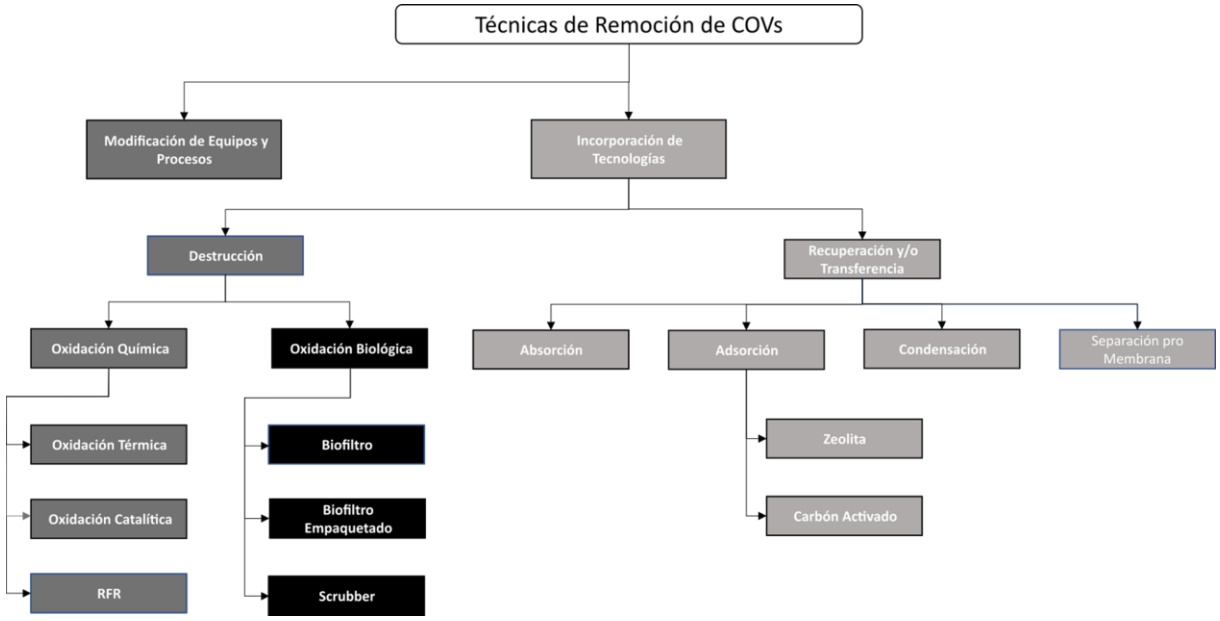


Figura 11. Tecnologías de Abatimiento de COVs

Fuente: Adaptado de A.Krishnamurthy et al. (2020); F.I. Khan y A. Kr. Ghoshal (2000); Dhananjai Sudhakar Borwankar (2009)

El rango de aplicación de las tecnologías depende de varios parámetros, sin embargo, son de mayor importancia el caudal y la concentración de COVs, tal como muestra el diagrama propuesto en la literatura especializada, en la Figura 12.

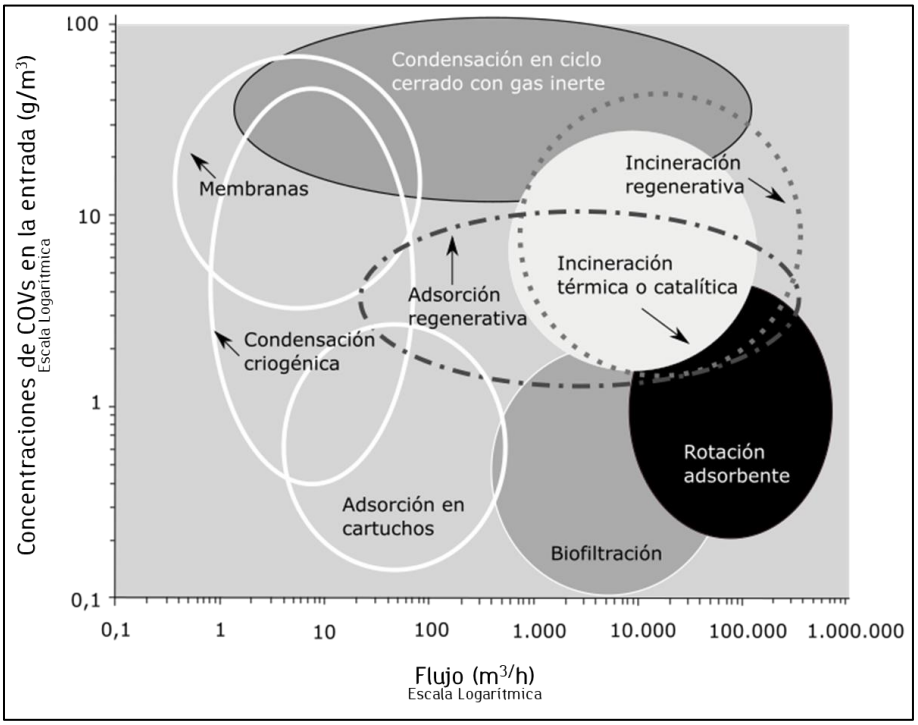


Figura 12. Tecnologías de Abatimiento de COVs y Rangos de Aplicación

Fuente: ec.europa.eu

A continuación, se hace una descripción de las tecnologías presentadas en el diagrama, destacando sus aspectos más relevantes desde el punto de vista de su selección como alternativa de abatimiento de emisiones.

6.10.2.1 Tecnologías Destructivas

El objetivo de las tecnologías destructivas es el cambio que conduce a la destrucción de los COVs para formar productos inocuos o de bajos efectos ambientales, generalmente corresponde a oxidación química o biológica, la primera mediante reactores térmicos y/o catalíticos, mientras que los procesos biológicos consideran básicamente el uso de digestión bacteriana aeróbica, tal como se explica a continuación.

a) <u>Procesos de Oxidación Térmicos</u>

La reacción química de oxidación de tipo general se puede plantear en forma conceptual de la siguiente forma:

$$\boldsymbol{Materia\ Org\acute{a}nica\ (COV) + O_2 \xrightarrow{Temperatura} nCO_2 + mH_2O}$$

Más específicamente, A. Krishnamurthy et al. (Ibid., 2020) presenta la siguiente ecuación de oxidación de COVs halogenados en términos estequiométricos:

$$\boldsymbol{C_aH_bN_cO_dS_eX_f} + \boldsymbol{(a + e + 0,25(b - f) - 0,5d)O_2} \rightarrow \boldsymbol{aCO_2 + 0,5(b - f)H_2O + fHX + eSO_2 + 0,5cN_2}$$

Donde: a, b. c, d, e, f representan coeficientes estequiométricos de los elementos C, H, N, O, S, X respectivamente; X: representa cualquier halógeno.

Estas ecuaciones son fundamentales para el diseño de equipos permitiendo dimensionar las instalaciones, además de identificar propiedades, entre ellas el pH. Como señala Krishnamurthy et al. (Ibid., 2020), hay que observar que los Policloroalcanos (PCM) son altamente persistentes en la atmósfera, con vida media de 100 años. Son PCM compuestos tales como cloroformo, tetracloruro de carbono y el diclorometano (DCM). Desde la perspectiva de tratamiento cabe considerar que por tener halógenos, especialmente cloro, los equipos deben tener capacidad de resistir condiciones ácidas. En estas tecnologías, para evitar emitir ácidos a la atmósfera deben incluirse *Scrubbers* (lavadores de gases gas-líquido) como una etapa de postratamiento.

Los equipos que permiten usar esta reacción se identifican como incineradores, cuya clasificación es la siguiente:

- Combustión Directa: sistemas dotados de un quemador de llama directa. Equipos simples, sin recuperación de calor, suelen denominarse postquemadores. Son aptos para altas concentraciones sustituyendo combustibles convencionales como gas natural, petróleo, carbón y electricidad. Las fallas o el mal uso de este tipo de sistemas pueden representar una reducción de las eficiencias de abatimiento, la generación de otros compuestos orgánicos y la generación de otros contaminantes diferentes a los COVs.
- Sistemas Regenerativos: es la tecnología más utilizada en abatimiento, con menores costos de operación permitiendo altos flujos de aire con COVs. Atendiendo a la gran masa que debe ser calentada son sistemas más lentos en alcanzar condiciones operativas, y pueden requerir energía externa La puesta en marcha se hace con combustibles convencionales hasta que se logra llegar a la temperatura de diseño. Hay equipos de dos o tres cámaras. La recuperación de energía térmica se realiza usando lechos de cerámica de Grès que captan el calor de los gases de salida del incinerador. La corriente de entrada pasa a través del lecho donde recupera calor, previo a la combustión. Son sistemas de alta eficiencia de recuperación energética logrando hasta un 95%. Son usados para

concentraciones bajas y operaciones continuas. Los elementos cerámicos duran de 5 a 10 años, influyendo en el costo.

- Sistemas Recuperativos: tienen dos intercambiadores de tubo y carcasa denominados primario y secundario, el primero previo al incinerador se alimenta de gases de combustión para recuperar calor, mientras el segundo recupera calor del aire tratado. La eficiencia de recuperación energética no supera el 70%. Una de sus ventajas sobre el regenerativo es que requiere un tiempo más corto para alcanzar condiciones operativas, generalmente unos pocos minutos de puesta en marcha. Es la tecnología conveniente para operaciones cíclicas donde se requiere la versatilidad de un sistema de oxidación junto con la capacidad de responder a las condiciones de funcionamiento variables.

Como datos de referencia de tecnologías comerciales de oxidación térmica se pueden considerar los parámetros y valores que se presentan en Tabla 21.

Tabla 21. Datos técnicos de oxidación térmica de COVs

Parámetro	Unidad	Nivel Inferior	Nivel Superior
Eficiencia	%	95	99
Capacidad	m^3/min	28,3	14.150
Concentración de COVs	ppm	100	2.000
Tiempo de Residencia	s	0,5	1
Temperatura	°C	704	982

Fuente: F.I. Khan y A. Kr. Ghoshal (2000)

Aspectos a considerar en la selección de tecnologías:

- Tiempo de residencia: ciertos compuestos pueden requerir tiempos mayores, depende de su estructura química, mientras más compleja mayor será el tiempo. Asimismo, si los COVs están a bajas concentraciones se necesitaría aumentar este parámetro, pero igual debe verse el tema de la temperatura. Un aspecto clave del diseño es definir bien el tiempo de residencia que conduce a tamaño de equipos que son muy complejos de cambiar posteriormente. Esto dificulta que traten corrientes gaseosas de caudal variable.

- Temperatura: el rango es el recomendado para la mayoría de los compuestos, pero cada uno tiene su propio valor de referencia. Mientras mayor la temperatura, mayores serán los riesgos de emisiones, en valor límite superior se pueden producir emisiones de NO_X. Atendiendo al balance energético es fundamental la recuperación de calor.

- Concentraciones: cada compuesto tiene una concentración de explosión inferior, que impide operar equipos que no estén un 25% más abajo de su valor límite de explosión. Pese a ello, la oxidación térmica es prácticamente aplicable a todos los COVs.
- Corrosión: los equipos deben tener materiales de construcción con alta resistencias a químicos agresivos, especialmente los COVs halogenados. El cloro produce corrosión de aceros en forma relativamente rápida, por ello se hace necesario un tratamiento previo y el uso de *Scrubbers*.
- Recuperación de calor: es deseable que esto ocurra a fin de disminuir requerimientos de energía, no es completamente necesario. Se trata de tomar gases de salida y aprovechar su energía residual para mejorar el balance térmico del equipo mediante recirculación.
- Diseño: el diseño depende del Principio de las 3T (tiempo, temperatura y turbulencia), donde cada sustancia se comporta distinto. Por ello hay que tener datos específicos para lograr un buen diseño y operación.

b) Oxidación Catalítica

La oxidación catalítica corresponde a la reacción que se indica a continuación, donde el efecto de usar un catalizador se refleja en menores requerimientos de temperatura para producir el mismo efecto de la tecnología térmica. En estas tecnologías se presentan al menos dos fases, gas y líquido, donde hay tres fenómenos de transporte, difusión gaseosa, difusión líquida y reacción química, lo que se denomina catálisis heterogénea, que cumple con la reacción siguiente:

$$\boldsymbol{Materia\ Org\acute{a}nica\ (COVs)\ +\ O_2\ \xrightarrow{Catalizador+\ Temperatura}\ nCO_2 + mH_2O}$$

En términos estequiométricos se expresa de la siguiente forma:

$$\boldsymbol{C_xH_yO_z + \left[x + \frac{y}{4} + \frac{z}{2}\right]O_2 \rightarrow\ xCO_2 + \frac{y}{2}\,H_2O}$$

Donde: x, y, z son números estequiométricos de los elementos C, H, O, respectivamente.

El mayor problema de esta tecnología radica en el posible envenenamiento de los catalizadores, que son de alto costo. Como informa Marín Figueredo (2018) se encuentran en pleno desarrollo la búsqueda de nuevos catalizadores de menor precio. Catalizadores que se han propuesto corresponden a los metales nobles (Pt, Au, Pd, Rh y Ag) y metales de transición Mn, Co, Ti, Ni, V y Ce. Su rendimiento depende del área específica disponible, los

tamaños y distribución de poros, los tamaños de partículas, los coeficientes de difusión, capacidades eléctricas, estructuras y otros parámetros, entre ellos el peso molecular, la acidez y el potencial Redox.

De acuerdo con A. Krisnamurthy et al (ibid., 2020) las tecnologías en desarrollo logran la destrucción completa de COVs en un rango bajo de temperaturas, entre 150 a 250 °C, usando catálisis heterogénea con fotorreacción y plasma, que se describen más adelante. Entre estos desarrollos cabe considerar los trabajos de Tihamer Hargitai (2013) para eliminar metano de plantas de biogás, que probaron en plantas demostrativas para 500 y 100 Nm^3/h de caudal, operando en temperaturas entre 250 a 800 °C, con recuperación energética superior a 95%. Se probaron con metano, etanol, propano, butano y tolueno, con un catalizador Pd/PdO, logrando conversiones superiores a 98% a los 700 °C. Los datos técnicos de tecnologías comerciales de oxidación catalítica se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Datos técnicos de oxidación catalítica de COVs

Parámetro	Unidad	Nivel Inferior	Nivel Superior
Eficiencia	%	95	99
Capacidad	m^3/min	28,3	2.830
Concentración de COVs	ppm	100	2.000
Tiempo de Residencia	s	0,5	1
Temperatura	°C	371	482

Fuente: F.I. Khan y A. Kr. Ghoshal (2000)

Aspectos para considerar en la selección de tecnología:

- Eficiencia: los rangos son ligeramente menores, por ello cabe analizar en cada caso si se cumplirán valores de normas de emisión.
- Pretratamiento: se deben incorporar intercambiadores de calor que elevan la temperatura de la corriente de COVs antes de ingresar al reactor catalítico.
- Concentraciones: es una tecnología útil para corrientes diluidas, de baja concentración de COVs, hasta un 1%.
- Puesta en marcha: en forma similar a las otras tecnologías, existen sistemas regenerativos y recuperativos, con similares condiciones de operación, sin embargo, los recuperativos combinados con bajas temperaturas responden en tiempos menores.
- Catalizador: es su mayor desventaja porque suelen tener alto costo, y necesitan mayor mantención. Una selección correcta es esencial, lo que depende de condiciones operacionales del flujo a tratar, como temperatura y velocidad.

Los compuestos halogenados por acción de los catalizadores son convertidos en ácidos, cuya eliminación requiere *Scrubbers* adicionales. El catalizador una vez usado se convierte en residuo peligroso. Asimismo, un catalizador sufre bajas de eficiencia por acción de ciertos compuestos, como halógenos y sulfuros.

- Reactor de Flujo Inverso (RFR[74], por su sigla en inglés): es una tecnología que se basa en usar una alimentación que invierte flujos, quedando periódicamente en contracorriente. Con esto, aprovecha al máximo la fuerza directriz (*"driving force"*). Sin embargo, su operación es no estacionaria, siendo algo inestable. Su ventaja es la alta eficiencia y menor costo. Opera en condiciones adiabáticas, lo que requiere buena aislación.

c) Oxidación Biológica

La reacción bioquímica se origina en microorganismos que son capaces de atacar el material orgánico, asimilando metabólicamente, según la siguiente reacción:

$$\boldsymbol{Materia\ Org\acute{a}nica\ (COV) + microorganismos + O_2 \xrightarrow{Nutrientes} nCO_2 + mH_2O + biomasa}$$

En forma más específica, se suele presentar la ecuación estequiométrica para efectos de cálculos de diseño, donde se observa que es una reacción aeróbica que necesita oxígeno:

$$\boldsymbol{C_xH_yO_z + \left(x + \frac{y}{2} - 2z\right)O_2 \rightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O}$$

Los microorganismos suelen ser bacterias, pero también se podrían usar hongos. Se origina en sistemas que fueron desarrollados para abatir olores, considerando biofiltros aeróbicos y empaquetados (*"trickling filter"*). Estos últimos tienen estructura simple, se trata de lechos empaquetados porosos donde se fijan los microorganismos, inmovilizados. A través de éste pasa la corriente gaseosa donde la reacción bioquímica tiene lugar, removiendo los COVs.

Es una tecnología muy similar a la de tratamiento de aguas contaminadas, cuyo lecho puede corresponder a compost, turba, y materia orgánica sólida de distintos orígenes, siempre que tenga ciertas propiedades mecánicas, entre ellas alta superficie activa, capacidad de retención de agua y permitir la inmovilización biológica. Su ventaja puede residir en bajo costo, pero requiere mantención y cuidado permanente. Es una tecnología esencialmente verde, no contaminante. Es un proceso de interacción gas/líquido, donde puede influir la solubilidad de los compuestos, que permite la mejor acción de los microorganismos en fase acuosa. Es una tecnología que requiere ensayos, siendo muy apta para pequeñas

[74] Reverse Flow Reactor.

instalaciones, pero igualmente se pueden diseñar aparatos para recuperación de gran tamaño. Mayor detalle sobre las técnicas identificadas en Kumar Vikrant (2017) donde se destaca el bajo costo y alta remoción que se puede alcanzar en los tres tipos posibles de bioprocesos: biofiltros, empaquetados y *Scrubbers*, estando los reactores de membranas en proceso en desarrollo. Un diagrama ilustrativo se presenta en la Figura 13.

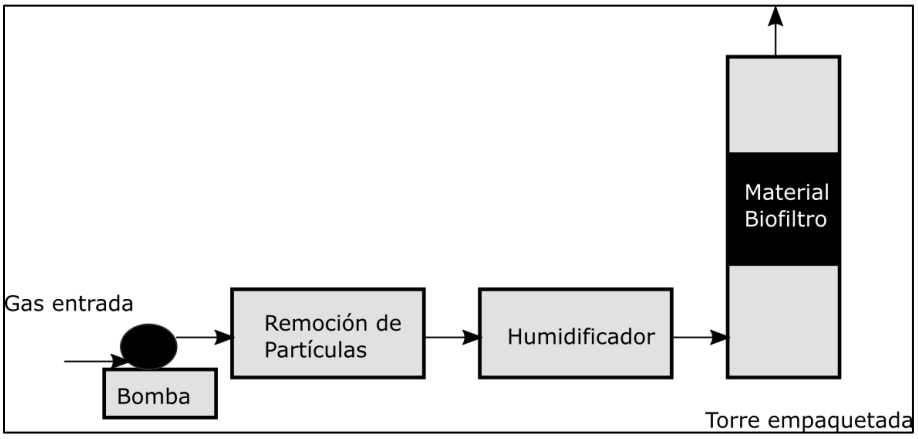


Figura 13. Bioproceso de remoción de COVs

Fuente: elaboración propia (2020)

Los *Scrubbers* biológicos son similares, siendo sistemas de interacción gas/líquido, donde existe presencia de microorganismos en la fase líquida pudiendo estar inmovilizados en soportes sólidos, que operan en contracorriente de tal modo que los COVs pasan a la fase líquida de acuerdo con la ley de Henry, que explica que existiendo un gradiente de concentración se produce una transferencia de materia desde el gas al líquido. Son operaciones de gran uso en la industria de procesos, simples de manejo y de costos relativamente menores. No es muy apto para grandes volúmenes de gases, que encarece el costo del equipamiento. Necesariamente requiere que la corriente líquida sea enviada a una planta de tratamiento de efluentes.

En los reactores biológicos se presentan varios fenómenos acoplados, entre ellos la difusión en cada fase y la respectiva biorreacción, tal como se presenta el diagrama en la Figura 14.

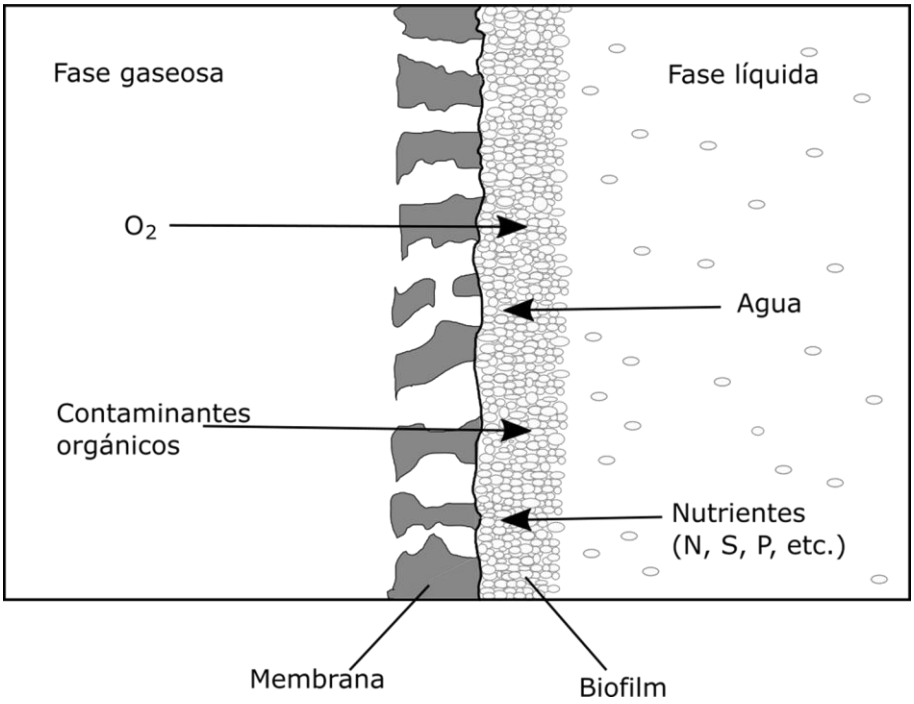


Figura 14. Procesos en reactores biológicos

Fuente: Kumar Vikran et al. (2017)

Cabe considerar que los sistemas biológicos requieren condiciones operacionales relativamente estables, en especial de temperatura y pH, además de necesitar nutrientes como adición externa. Su control es más complejo que el de un sistema físico. Los antecedentes técnicos para Biofiltros se presentan en Tabla 23.

Tabla 23. Datos técnicos para Biofiltros

Parámetro	Unidad	Nivel Inferior	Nivel Superior
Eficiencia	%	30	100
Capacidad	m^3/min	566	2.830
Concentración de COVs	ppm	10	3.750
Tiempo de Residencia	s	1	150
Temperatura	°C	s.i.	s.i.

Fuente: datos de laboratorio, Reza Iranpour (2005)

Estos reactores son aptos para gran variedad de COVs, entre los que se citan están: BETX, DMS, Hexano, Metanol, Cloroformo, Acetona, Fenoles, Aminas y Nitrobenceno.

6.10.2.2 Recuperación y/o Transferencia de COVs

Estas tecnologías se basan en procesos de separación, donde interactúan dos fases, una de las cuales es la corriente gaseosa que requiere tratamiento, y la otra es capaz de atrapar contaminantes, en forma estática (lechos inmovilizados) o dinámica (fluidos). Son

básicamente operaciones unitarias de amplio y reconocido uso en la industria. Algunas de ellas son las siguientes:

- Condensación: donde se utiliza el concepto de sobresaturación de una corriente gaseosa, lo que se puede lograr por enfriamiento o la presurización (o ambos). Es muy eficiente para corrientes gaseosas de COVs con puntos de ebulición superiores a 38 °C y concentraciones mayores a 5.000 ppm, no así para otras de menores puntos de ebullición, que requieren equipos complementarios, de alto costo. Esta tecnología tiene ciertos riesgos, siendo más fácil llegar a sobrepasar el LEL. Es posible usar estas tecnologías para emisiones generadas a partir del uso de un solo solvente, para recuperarlo como corriente líquida. Como todo proceso de separación, no destructivo, cabe poner atención a la generación de corrientes líquidas contaminadas, que pueden requerir tratamiento.

- Absorción: utiliza una corriente líquida para remover los contaminantes de la fase gaseosa, equipo que en general se denomina *Scrubber*. En este proceso interviene tanto la difusión como la absorción, donde cada etapa debe ser optimizada en función de aumentar el contacto en tiempos bajos. Es necesario diseñar sistemas donde se disponga de suficiente área de contacto vapor/líquido, en condiciones de presión y temperatura que faciliten la transferencia de masa. Para ello se puede usar sistemas de atomización, tipo neblinas, o bien lechos empaquetados. Puede incluir un amplio rango operacional, pero requiere alta solubilidad de especies y no operaciones cíclicas. La Tabla 24 presenta los datos técnicos para Absorción de Gases (*Scrubber*).

Tabla 24. Datos técnicos para Absorción de Gases (*Scrubber*)

Parámetro	Unidad	Nivel Inferior	Nivel Superior
Eficiencia	%	95	98
Capacidad	m^3/min	566	2.830
Concentración de COVs	ppm	100	2.000
Tiempo de Residencia	s	1	10
Temperatura	°C	s.i.	s.i.

Fuente: F.I. Khan y A. Kr. Ghoshal (2000)

- Filtración por membranas, Osmosis Inversa (OI): incluye una amplia gama de procesos, similares a la desalación, donde se utilizan materiales de porosidad fina para retener compuestos. No tiene tanto desarrollo, sin embargo, se ha probado su funcionamiento. Se considera apropiado para hidrocarburos y gasolina. Hay factores determinantes como son la velocidad del proceso, su flexibilidad a

cambios operacionales y el costo de mantención, relacionado directamente con las membranas.

- Adsorción: puede ser con o sin reacción química, donde el compuesto a adsorber (adsorbato) debe ser captado por el material que lo podría retener (adsorbente). Se considera más eficiente la adsorción física, que funciona en dos modalidades: por Adsorción por Oscilación Térmica (TSA[75], por su sigla en inglés) y Adsorción por Oscilación de Presión (PSA[76], por su sigla en inglés). La adsorción física se produce por atracción débil de fuerzas de *Van der Waals* entre adsorbato y adsorbente, este último ubicado en la superficie y/o poros del material del lecho. Un aspecto complejo es la posible desorción (reversión) que puede presentarse, lo que hace ineficiente el proceso. En corrientes muy diluidas, la adsorción puede ser una buena opción con el objeto de aumentar concentraciones y lograr recuperar sustancias valiosas. Asimismo, ciertos compuestos que sean susceptibles a descomponerse por acción de temperaturas pueden ser tratados por la tecnología basada en PSA. Este es el caso del estireno. Es común usar carbón activado y/o zeolitas para estas operaciones, materiales que cumplen con tener gran área superficial específica y además atraer a los COVs.

d) Tecnologías en desarrollo

Es importante considerar que existen nuevas tecnologías de acelerado desarrollo, entre las cuales cabe destacan las celdas de combustible, que se basan en convertir hidrocarburos en energía en un proceso estimado de tecnología limpia, donde ocurre una reacción Redox. Como opera a bajas temperaturas, con cátodo y ánodo en una celda electrolítica, no hay opciones de emitir dióxido de carbono como los procesos oxidativos actualmente de uso comercial. Dhananjai, Sudhakar y Borwankar (2009) presenta un proyecto en fase de desarrollo. Hay ciertos aspectos que aún no se han aclarado bien. En primer lugar, las corrientes gaseosas de baja concentración de COVs necesitarían ser concentradas para ingresarlas a una celda de combustible, y por otra parte, estos compuestos debiesen ser parcialmente convertidos en hidrógeno. Esto requeriría un pretratamiento de reformación. Se ha planteado diseñar sistemas híbridos que pudiesen asumir mejor los costos de estas operaciones.

[75] Temperature Swing Adsorption.

[76] Pressure Swing Adsorption.

Otras tecnologías en pleno desarrollo corresponden a reactores foto catalíticos, que muestra resultados muy notables, de alta eficiencia de reducción de COVs, con bajo consumo de energía. En general se han realizado ensayos con catalizadores de titanio. Son tecnologías que se espera usar en contaminación intradomiciliaria ya que trabajan incluso a nivel de ppb. Conceptualmente el proceso está basado en teoría de semiconductores, donde se genera una excitación de electrones por efecto de luz UV, que emite fotones. La activación foto catalítica es una combinación que incluye la excitación de los electrones de la banda de valencia y la recombinación e interacciones de radicales libres. Estos últimos reaccionan con el COV y el oxígeno molecular produciendo dióxido de carbono y agua, como reacción de óxido-reducción, que se expresa de la siguiente forma:

$$C_xH_yCl_z + \left[x + \frac{y-z}{4}\right]O_2 \xrightarrow{hv,TiO_2} xCO_2 + zH^+ + Cl^- + \left(\frac{y-z}{2}\right)H_2O$$

Donde:

x, y, z: son los números estequiométricos de los elementos C, H, O: respectivamente.

Cabe hacer notar que se produce un ambiente ácido, lo que al igual que otras tecnologías de incineración hace presumible el posterior uso de *Scrubbers*. El proceso se esquematiza en la Figura 15.

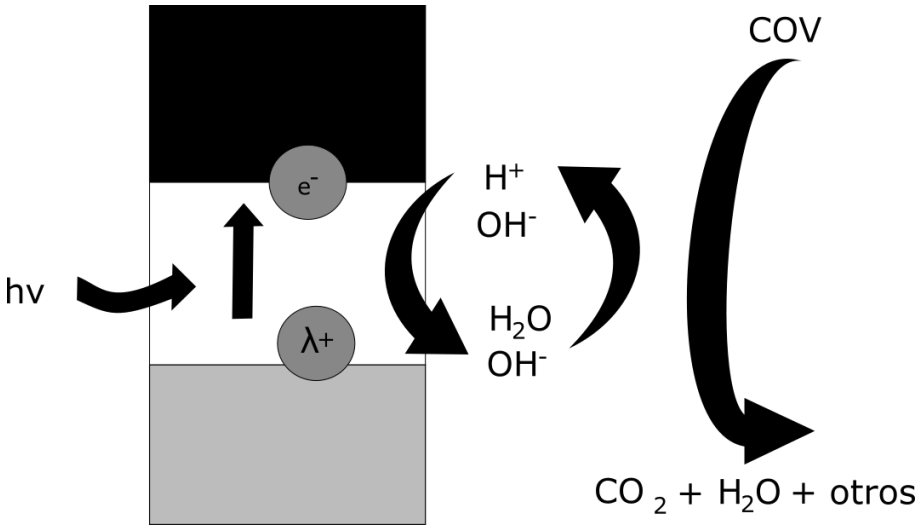


Figura 15. Pasos Primarios en Catálisis basada en Semiconductores

Fuente: A. Krishnamurthy (2020)

La catálisis llevada a cabo en reactores de plasma está siendo desarrollada atendiendo a su operación no térmica, con el consiguiente ahorro de energía. En lo fundamental se trata de un reactor inducido por carga eléctrica que genera un ambiente plasmático. Se trata de utilizar electrones activados mediante un campo eléctrico de alta intensidad lo que produce

un ambiente con gran cantidad de iones, radicales libres, neutrones y fotones, lo que es utilizado para destruir los COVs. Se clasifican en plasmas de alta y baja temperatura. Los de baja a su vez se desglosan en dos tipos: el de Equilibrio Térmico Local (LTE[77], por su sigla en inglés) y los de estado o Plasma No Térmico (NTP[78], por su sigla en inglés). El proceso se produce siempre que la tensión aplicada sea mayor que la generada por descomposición de los gases, aspecto donde se centran muchas investigaciones recientes.

Las tecnologías de abatimiento de COVs están en permanente desarrollo, atendiendo a que estos compuestos son por lejos los más importantes causantes de cambios químicos en la atmósfera. Por ello, si bien se recomienda usar equipos comerciales, debidamente probados a escala real, se debe prestar atención a nuevas tecnologías que resulten más eficientes y de menor costo de tratamiento, no solo a gran escala donde se presentan enormes caudales emitidos en grandes complejos industriales, sino por la necesidad de contar con equipos menores, incluso a nivel domiciliario. Al respecto, cabe destacar que los reactores de plasma pueden tratar corrientes con caudales muy bajos, del orden de 1 Nm^3/h que tengan alta concentración de COVs, más de 10.000 ppm, donde no existen otras tecnologías.

6.11 Eficiencias de Abatimiento para Rubros Priorizados

Las eficiencias de abatimiento se aplican mediante tecnologías, dispositivos y/o prácticas en los diferentes rubros identificados como de relevancia media y alta en términos de generación de emisiones de COVs, COPs y BETX y su presencia en la zona prioritaria. Las eficiencias de abatimiento se consideran principalmente en la estimación de emisiones que emplean métodos de estimación Tier 2, debido a que estos métodos permiten la desagregación de procesos productivos. Las eficiencias de abatimiento y remoción recopiladas presentan intervalos de confianza del 95% en los casos en los que esta información estuvo disponible. Los resultados detallados se presentan en **Anexo 7** asociado a este documento en formato digital.

6.11.1 Eficiencias de Abatimiento para la Extracción de Crudo y Gas Natural (B5; B6)

La exploración, producción y transporte de Gas Natural y Crudo no presenta una identificación de tecnologías de abatimiento, ni eficiencias de remoción de COVNMs aplicables a los métodos de estimación de emisiones identificados en la revisión bibliográfica (EEA, 2019).

[77] Local Thermal Equilibrium.

[78] Non Thermal Plasma/Non Equilibrium Plasma.

6.11.2 Eficiencias de Abatimiento para la Elaboración de productos alimenticios (C10) y Elaboración de bebidas (C11)

En la elaboración de productos alimenticios y la elaboración de bebidas existe una serie de tecnologías complementarias (*"add-ons"*) que tienen como objetivo reducir las emisiones de diferentes contaminantes. Para las diversas actividades de la industria alimentaria, se asume que los equipos de abatimiento reducen las emisiones en un 90% (EMEP Guidebook, 2019). Sin embargo, no existe ninguna especificación de los equipos utilizados. No se dispone de más información sobre la eficacia de las medidas de reducción en la industria de elaboración de alimentos y bebidas. Las eficiencias de remoción para las tecnologías utilizadas en la elaboración de productos alimenticios y la elaboración de bebidas se presentan en **Anexo 7** asociado a este documento en formato digital.

6.11.3 Eficiencias de Abatimiento para la Industria Manufacturera (C15)

El curtido y recurtido de cueros no presenta una identificación de tecnologías de abatimiento, ni eficiencias de remoción de COVNMs aplicables a los métodos de estimación de emisiones. En este rubro las emisiones de COVNMs se producen principalmente, como consecuencia del uso de solventes, actividad que se aborda como transversal a todos los rubros.

6.11.4 Eficiencias de Abatimiento para la Industria de Madera y Papel (C16; C17)

El control de emisiones en las plantas de pulpa de celulosa y papel que operan bajo el proceso Kraft, depende, en gran medida, de los métodos utilizados para controlar olores. El control puede incluir modificaciones del proceso y mejores condiciones de operación, así como tecnologías adicionales de control de emisiones. Los gases no condensables se suelen incinerar. En las instalaciones más antiguas, los gases no condensables se incineran en un incinerador específico, que es eficaz en términos de abatimiento, pero normalmente requiere combustible auxiliar para mantener la combustión. En las instalaciones modernas los gases se incineran en la Caldera Recuperadora, porque su eficiencia es más alta. Es común en plantas Kraft que cuando existen fallas en cascada, se desvíen gases hacia un incinerador y en última instancia a una antorcha. Los procesos Kraft son altamente interconectados, con sistemas acoplados que se manejan con sistemas de control muy sofisticados.

La producción de pulpa, papel y cartón no presenta una identificación de tecnologías específicas de abatimiento, ni eficiencias de remoción de COVNMs. En la Fabricación de la madera y productos de la madera existen tecnologías de abatimiento asociados al uso de conservantes. Las eficiencias de remoción para las tecnologías utilizadas en el

Procesamiento de la madera y la Fabricación de productos de la madera y para la producción de pulpa, papel y cartón se presentan en **Anexo 7** asociado a este documento en formato digital.

6.11.5 Eficiencias de Abatimiento para Imprentas (C18)

Las técnicas y tecnologías de reducción y abatimiento de emisiones de COVNMs en el rubro de la impresión corresponden:

- Reemplazo: en algunos tipos de flexografía y serigrafía, se pueden utilizar tintas a base de agua en lugar de tintas a base de solventes orgánicos, como una buena práctica o medida de producción más limpia. Los disolventes a base de agua contendrán compuestos orgánicos como alcoholes y aminas. La proporción de compuestos orgánicos varía ampliamente desde menos del 5% hasta tanto como el 20%. La composición de la tinta también se puede cambiar utilizando radiación ultravioleta, infrarroja o de electrones para curar la tinta. Muchos de estos métodos de curado utilizan tintas que casi no contienen solventes orgánicos. También se pueden utilizar agentes de limpieza menos volátiles.
- Reducción: las posibilidades de reducción de solventes pueden identificarse mediante planes de manejo de solventes. Los cambios en las prácticas, especialmente durante el almacenamiento y manipulación de disolventes y la limpieza de equipos, pueden reducir las emisiones fugitivas. Algunos cambios tecnológicos también pueden reducir el consumo de productos químicos que generan COVNMs.
- Recuperación: si se utiliza un solo disolvente (p.e. tolueno) en la impresión de revistas, folletos y catálogos, el solvente se puede recuperar para su reutilización, mediante carbón activado u otro medio de adsorción. También se pueden recuperar mezclas de disolventes de esta forma. Sin embargo, su reutilización inmediata a menudo no es práctica y los disolventes recuperados generalmente se envían para su reprocesamiento o destrucción.
- Destrucción: la destrucción de las emisiones de disolventes se puede lograr mediante la oxidación a dióxido de carbono y agua. Las diversas técnicas se pueden clasificar de la siguiente manera:
  - Incineración: Térmica y catalítica.
  - Biológica: biofiltros y bioscrubbers.

En la práctica, la incineración térmica es ampliamente utilizada para destruir compuestos orgánicos emitidos en los procesos de impresión. Las técnicas de destrucción normalmente superan el 90% de eficiencia. No obstante, lo anterior, no significa que la reducción de las emisiones en el rubro puede superar el 90%, debido a que también se producen emisiones en las actividades asociadas al manejo de solventes (transporte, almacenamiento y manipulación).

Las eficiencias de remoción para las tecnologías utilizadas en Imprentas se presentan en **Anexo 7** asociado a este documento en formato digital.

6.11.6 Eficiencias de Abatimiento para la Industria Petroquímica (C19)

Las tecnologías de abatimiento para COVNMs en la industria petroquímica corresponden principalmente la Quema parcial con caldera de CO y la Regeneración de combustión completa, ambas técnicas permiten oxidar los componentes del combustible en las emisiones, haciendo que las emisiones de COVNMs y BETX generadas sean insignificantes. El diseño básico del regenerador de craqueo catalítico normalmente incorpora, dentro del recipiente del regenerador, sistemas de ciclones para separar las partículas de catalizador de los vapores de hidrocarburos. Las eficiencias de remoción para las tecnologías utilizadas en el procesamiento de crudo se presentan en **Anexo 7** asociado a este documento en formato digital.

6.11.7 Eficiencias de Abatimiento para la Industria Química (C20) y Farmacéutica (C21)

En la Industria Química solo se pueden controlar las emisiones que son conducidas por ductos, tales como:

- Unidades de combustión de gases residuales como (antorchas, incineradores y otros pueden producir contaminantes secundarios que no existían en el flujo de residuos original (p.e.: dioxinas, partículas), así como gases de combustión;
- Extracción de agua residual (con aire o vapor) transfiriendo los componentes orgánicos disueltos a la fase gaseosa;
- COVNMs de los sistemas de recolección de aguas residuales p.e.: desagües, tanques de ecualización, otros;
- COVNMs de instalaciones de tratamiento de aguas residuales p.e.: vaporización de COVNMs en unidades de tratamiento biológico;
- COVNMs y partículas procedentes del almacenamiento y tratamiento de desechos sólidos.

Ciertos sistemas de control pueden producir contaminantes secundarios que no existían en el flujo original (por ejemplo, dioxinas, partículas y gases de combustión de la incineración de desechos).

En lo que respecta a las emisiones difusas y fugitivas, el objetivo de la reducción de emisiones es la prevención y/o minimización mediante la recuperación y las buenas prácticas. Las emisiones fugitivas pueden reducirse mediante un programa de detección y reparación de fugas.

La técnica de Detección y Reparación de Fugas (LDAR[79], por su sigla en inglés) consiste en medir la concentración de COVs en la atmósfera alrededor del punto de fuga potencial, luego seleccionar el equipo con fuga por encima de un valor de umbral definido y finalmente operar una reparación en esos elementos con fuga.

Las fuentes de emisiones atmosféricas procedentes del almacenamiento de gases comprimidos y licuados durante el funcionamiento normal comprenden:

- Ingreso y la evacuación de materiales, es decir, la transferencia de sustancias dentro y fuera de los sistemas de almacenamiento (llenado y vaciado);
- Respiración de tanques de almacenamiento debido a aumentos de temperatura que dan lugar a expansiones del espacio de vapor;
- Fugas de sellos de bridas, accesorios y bombas;
- Fugas y emisiones durante el muestreo;
- Operaciones de limpieza.

Se asume que las emisiones del almacenamiento y manipulación de productos químicos se incluyen en las emisiones del proceso. Existe una serie de tecnologías complementarias que tienen como objetivo reducir las emisiones de contaminantes. Las eficiencias de remoción para las tecnologías y técnicas de abatimiento comúnmente utilizadas en la Industria Química y Farmacéutica se presentan en **Anexo 7** asociado a este documento en formato digital.

En la Fabricación de pinturas; tintas y colas, las buenas prácticas corresponden a (USEPA, 1992):

- Recuperación de vapores de solventes durante la distribución de materias primas;

[79] Leak Detection and Repair.

- Descarga de barriles con montacargas para evitar fugas;
- Cobertura de reactores móviles;
- Uso de disolventes más pesados para reducir las emisiones fugitivas;
- Uso de agentes de limpieza que contengan menos disolventes;
- Uso de dispositivos de limpieza automática siempre que sea posible;
- Reciclaje de soluciones de limpieza.

Los programas de medida primarios descritos corresponden a:

- Medidas primarias convencionales: instalaciones que emiten más del 15% del aporte de disolvente: se toma en cuenta un valor medio del 30%;
- Programa de medida primaria 1: instalaciones que emiten entre el 5 y el 15% del aporte de disolvente: se considera un valor promedio del 8%;
- Programa de medida primaria 2: instalaciones que emiten menos del 5% del aporte de disolvente: se considera un valor promedio del 3,5%.

6.11.8 Eficiencias de Abatimiento para la Fabricación de productos de caucho y de plástico (C22)

Durante la fabricación de caucho y productos de caucho los COVNMs se emiten en diversas etapas del proceso. En la industria química orgánica especializada existe una cantidad significativa de puntos de generación de COVNMs. Los circuitos y descargas gaseosas son complejas. Para los mismos equipos existen una cantidad importante de descargas debido a:

- Limitaciones de calidad necesarias en este sector para evitar riesgos de contaminación cruzada;
- Restricciones de seguridad para, por ejemplo, evitar el contacto con gases incompatibles.

Las plantas que tienen un consumo anual de disolventes de entre 900 y 1.500 t pueden tener entre 10 y 50 descargas de emisiones de COVNMs a la atmósfera. En algunas plantas los puntos de descarga están equipados con condensadores para atrapar COVNMs.

Por otra parte, en la industria química existe una alta variabilidad en las descargas de COVNMs a lo largo del tiempo. Las concentraciones de COVNMs pueden variar ampliamente

de un punto de descarga a otro. Existen descargas con altas tasas de flujo de gases residuales y bajas concentraciones. Los sistemas de extracción y ventilación general de las plantas normalmente cumplen con esta condición. Otras descargas, como los respiraderos de los equipos de producción, se caracterizan por caudales de gases residuales muy bajos y concentraciones de COVNMs que pueden ser elevadas.

En el procesamiento de Espuma de Poliuretano y Poliestireno las posibilidades de reducir las emisiones de COVNMs son:

- Control/combustión de alcanos (pentano), siempre que se disponga de unidades de producción definidas;
- Reducción de las emisiones a largo plazo mediante la destrucción controlada del material de espuma usado (como el aislamiento de refrigeradores);
- Sustitución de espumas plásticas como material de embalaje;
- Canalizar los gases residuales a una caldera.

Las técnicas de oxidación son las técnicas más utilizadas, pero los gases residuales que contienen pentano también pueden destruirse en una caldera.

Para el poliestireno, las medidas que se pueden tomar para reducir las emisiones se detallan a continuación (EGTEI, 2005):

- Actualmente se encuentran disponibles perlas de poliestireno expandible con solo un 4% de pentano. Sin embargo, no se pueden producir todos los tipos de productos con este poliestireno al 4%. No se pueden obtener productos de baja densidad que son los más producidos (‹20-25 kg/m^3).
- El reciclaje de residuos de poliestireno (residuos de la producción del sitio, así como residuos de poliestireno de recuperación externa) se utiliza cada vez con más frecuencia. Sin embargo, el uso de poliestireno reciclado está limitado por razones de calidad. El nivel de material reciclado alcanza alrededor del 15% (EMEP Guidebook, 2019).

Como medida secundaria, se puede utilizar la adsorción o incineración de carbón activado para tratar las emisiones del pre-expansor. Un sistema de recolección de gas debe equipar el pre-expansor y el lecho fluidizado. Las eficiencias de remoción para la Fabricación de Productos de Caucho y de Plástico (C22) se presentan en **Anexo 7** asociado a este documento en formato digital.

6.11.9 Eficiencias de Abatimiento para la Industria de Procesamiento de Minerales No Metálicos

La Industria de Procesamiento de Minerales No Metálicos (C2310) no presenta una identificación de tecnologías de abatimiento, ni eficiencias de remoción de COVNMs aplicables a los métodos de estimación de emisiones identificados en la revisión bibliográfica (EEA, 2019).

6.11.10 Eficiencias de Abatimiento para la Industria Energética (D)

El procesamiento de gas natural no presenta una identificación de tecnologías de abatimiento, ni eficiencias de remoción de COVNMs aplicables a los métodos de estimación de emisiones identificados en la revisión bibliográfica.

6.11.11 Eficiencias de Abatimiento para la Industria Sanitaria (E)

La Industria Sanitaria (E) no presenta una identificación de tecnologías de abatimiento, ni eficiencias de remoción de COVNMs aplicables a los métodos de estimación de emisiones (EEA, 2019).

6.11.12 Eficiencias de Abatimiento para el Almacenamiento y Transporte (H)

Los datos de actividad para las tecnologías de abatimiento en el Almacenamiento y Transporte de combustibles involucran los siguientes aspectos y supuestos:

- Controles de Etapa I: equipamiento utilizado para recuperar vapores de gasolina en estaciones de despacho de refinerías, depósitos de comercialización, terminales y estaciones de servicio.
- Controles de Etapa II: equipamiento utilizado para recuperar los vapores de gasolina emitidos durante la recarga de combustible en los de vehículos de motor en las estaciones de servicio.
- Instalaciones de carga en estaciones de despacho de refinerías, terminales y depósitos: volumen de productos volátiles cargados en diferentes modos de transporte (ferrocarril, ductos, camión cisterna, otros); prácticas de carga para modos de transporte específicos (carga por arriba o por abajo); tipo y alcance de las medidas de control de emisiones implementadas (Controles Etapa I).
- Almacenamiento en terminales y depósitos: volumen de producción de gasolina en estos tanques.

- Estaciones de servicio: corresponden a cualquier local en el que se dispensa gasolina desde surtidores a tanques de combustible de vehículos de motor, incluyendo puntos de abastecimiento de combustible que dan servicio a embarcaciones, con almacenamiento de combustible en tierra. Los datos de actividad corresponden al volumen de gasolina vendido y el tipo y alcance de las medidas de control de emisiones implementadas (Controles Etapa I/Etapa II).
- Temperatura ambiente media: la temperatura media anual es un valor que se obtiene a partir del promedio de temperaturas medias registradas para cada mes del año.
- Presión de Vapor Reid (RVP): la RVP es importante en relación con la función y el funcionamiento de los vehículos de gasolina. Los niveles altos de vaporización son deseables para el arranque del motor y el funcionamiento de los vehículos en invierno. En verano es deseable que los combustibles presenten niveles más bajos de vaporización para evitar el bloqueo de vapor durante el calor del verano. Por lo tanto, las refinerías de petróleo manipulan el RVP estacionalmente. La presión de vapor de Reid (RVP) puede diferir sustancialmente de la TVP de una mezcla líquida. A partir del valor promedio anual de RVP y los datos de temperatura promedio, se puede calcular la presión de vapor verdadera (requerida para los factores de emisión Tier 2).
- Presión de Vapor Verdadera (TVP): si se introduce algún líquido en un recipiente al vacío, las moléculas escaparán de la superficie del líquido en virtud de su energía cinética para formar vapor. A partir de entonces, se condensará algo de vapor y, finalmente, se alcanzará un estado de equilibrio, que se mantiene si la temperatura permanece constante. La presión observada en unidades absolutas en el espacio de vapor se define como la presión de vapor verdadera (TVP) del líquido a temperatura constante.
- Tanque de Techo Fijo: un tanque de techo fijo consta de una carcasa de acero cilíndrica rematada por un techo cónico y puede estar equipado con una cubierta flotante interna de aluminio o acero, así como con un respiradero de presión / vacío (respiradero PV).
- Tanque de Techo Flotante: un tanque está equipado con un techo que flota sobre el combustible.

- Terminal: corresponde a grandes depósitos de combustible. Suelen tener más tanques de almacenamiento que un depósito en el que se realiza la comercialización al por menor.
- Unidad de Recuperación de Vapor (VRU[80]): instalación, normalmente ubicada en un terminal, que recibe los vapores de gasolina de los tanques de carga y los recupera para su uso posterior mediante condensación.

Las eficiencias de remoción para Almacenamiento y Transporte (H) de combustibles se presentan en **Anexo 7** asociado a este documento en formato digital.

6.12 Recomendaciones y Procedimientos Normados para Evitar Emisiones

A continuación, se indican algunas regulaciones asociadas a tipos de almacenamiento:

- La Directiva 94/63/CE del Parlamento Europeo sobre el control de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles resultantes del almacenamiento de gasolina y su distribución desde terminales a estaciones de servicio, requiere, entre otros, que los tanques con techos flotantes externos deben estar equipados con elementos de estanqueidad primario y secundario.
- En Holanda se indica que debe utilizarse un techo flotante externo o techo flotante interno cuando la sustancia a almacenar tiene una presión de vapor de 1 kPa (a 20 ºC) y el tanque tiene un volumen mayor o igual a 50 m^3. Esto no aplica para sustancias tóxicas volátiles, caso en el cual el tanque debe estar conectado a una instalación de tratamiento de vapor y por tanto se requiere un tipo de tanque compatible con ese equipamiento
- En Alemania, se requiere para nuevas instalaciones y para sustancias con presión de vapor mayor a 1,3 kPa (a 20 °C), o sustancias específicamente clasificadas, que los puntos de emisión deberán estar conectados a una instalación de tratamiento de vapor, tubería de recolección de vapor o una unidad de recuperación de vapor. Sin embargo, el petróleo crudo a almacenar en tanques con un volumen de más de 20.000 m^3 también pueden almacenarse en un tanque de techo flotante sellado en sus bordes o en tanques de techo fijo con techo flotante interno, si las emisiones son reducidas en al menos un 97% en comparación con los tanques de techo fijo sin techo flotante interno. Además, un techo flotante también se puede utilizar en instalaciones existentes, siempre que el tanque no contiene sustancias de la

[80] Vapour Recovery Unit.

categoría carcinógeno/mutágeno/tóxico para la reproducción y la eficiencia de reducción de emisiones debe ser al menos del 97%. Los tanques de techo fijo cuyo volumen sea inferior a 300 m^3 no necesitan conectarse a una tubería de recolección de vapor o una unidad de tratamiento de gases si se trata de sustancias orgánicas líquidas con una presión de vapor superior a 1,3 kPa (a 20°C), que no figuren entre las sustancias de clasificación especial ni dentro de los valores límites indicados.

- En Alemania, se requiere que las fuentes de emisión estén conectadas a instalación de tratamiento de gases, una tubería de recolección de vapor o una unidad de recuperación de vapor para el almacenamiento y manejo de los siguientes líquidos especificados:
  - Productos líquidos con sustancias orgánicas con una presión de vapor de más de 1,3 kPa (a 20 ° C),
  - Sustancias clasificadas específicas por encima de los valores límite especificados:
    - Contenido en masa de más del 1% de sustancias orgánicas como el fenol, tetracloroetileno (TCE), eteno y cloropropeno;
    - Contenido en masa de más del 1% de sustancias cancerígenas como la acrilamida, acrilonitrilo, benceno y 1,3-butadieno;
    - Contenido en masa de 1% de sustancias tóxicas para la reproducción distintas de las mencionadas en los dos primeros puntos;
    - Contenido en masa de más de 10 mg /kg de sustancias cancerígenas tales como, benzo (a) pireno, cadmio y arsénico;
    - Contenido de masa superior a 10 mg / kg de sustancias mutagénicas distintas de las mencionado anteriormente;
    - Algunas dioxinas y furanos específicos.

Por otra parte, las emisiones de una instalación de tratamiento de vapor deben cumplir con ciertos límites establecidos.

- Las Directrices holandesas para las emisiones al aire son similares a la regulación alemana, basado en consideraciones de rentabilidad, el tratamiento con vapor solo debe aplicarse cuando la emisión se califica como significativa. Una emisión es

significativa cuando anualmente las emisiones de una fuente discontinua exceden 1.000 veces el valor de la corriente másica por hora.

La Tabla 25 presenta un resumen de BATs para los diferentes tipos de almacenamientos.

Tabla 25. Mejores Técnicas Disponibles (BAT) para diferentes tipos de almacenamientos

Proceso/Dispositivo	Descripción BAT
Color de los tanques	Aplicar pintura con una reflectividad frente a la radiación térmica o lumínica de al menos el 70% o bien un escudo solar en tanques de superficie que alberguen sustancias volátiles
Tanques de techo abierto	Cubrir el tanque con cubierta flotante, flexible o toldo, o cubierta rígida. Se podrá instalar un equipo de tratamiento de gases para lograr una reducción adicional.
Tanques de techo flotante externo	Utilizar techos flotantes de contacto directo (de dos pisos). Los techos flotantes sin contacto existentes también son BAT. Medidas adicionales: habilitar un flotador en la guía calibrada, recubrir la guía calibrada con una camisa y/o utilizar "funda" en los soportes del techo Las cúpulas son una BAT cuando las condiciones climatológicas son adversas (viento fuerte, lluvia, nieve)
Tanques de techo fijo	Utilizar todas o una combinación de las siguientes técnicas: • Utilizar válvulas de alivio de presión y de vacío. • Operación a una presión de hasta 56 mbar. • Utilizar compensación de vapor. • Utilizar depósitos para vapores. • Utilizar tratamiento de gases.
Almacenamiento a presión	La BAT para el drenaje depende del tipo de tanque, pero puede consistir en acoplar un sistema de drenaje cerrado a una instalación de tratamiento de gases
Tanques de techo levadizo	Se indican dos opciones de BAT: • Utilizar un tanque de diafragma flexible equipado con válvulas de alivio de presión vacío; • Utilizar un tanque de techo levadizo equipado con válvulas de alivio de presión/vacío y conectado a un equipo de tratamiento de gases.
Tanques refrigerados	No indica ya que no producen emisiones significativas durante el funcionamiento normal
Tanques subterráneos o cubiertos de tierra	Utilizar todas o una combinación de las siguientes técnicas: • Utilizar válvulas de alivio de presión y de vacío; • Utilizar compensación de vapor; • Utilizar depósitos para vapores; • Utilizar tratamiento de gases.
Estanques y balsas	Cubrir estanques y lagunas con cubierta flotante, cubierta de plástico, o cubierta rígida. Se podrá instalar un equipo de tratamiento de gases para lograr una reducción adicional
Cavidades excavadas atmosféricas a presión y salinas	Gracias a su naturaleza intrínseca, las cavidades son el sistema más seguro para almacenar grandes cantidades de hidrocarburos. La BAT es, por tanto, utilizar cavidades excavadas en lugares donde las características geológicas lo permitan

Respecto a la transferencia y manipulación de sustancias, las BAT se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26. Mejores Técnicas Disponibles (BAT) para transferencia y manipulación de diferentes sustancias

Proceso/Dispositivo	Descripción BAT
Tuberías	Utilizar tuberías cerradas en plantas nuevas y en el caso de tuberías subterráneas ya existentes, se debe adoptar un método de mantenimiento basado en el riesgo y la fiabilidad. Minimizar el número de bridas, sustituyéndolas por conexiones de soldadura Para las conexiones mediante bridas empernadas: • Dotar de bridas ciegas los empalmes que no se utilizan frecuentemente; • Utilizar tapas o tapones en tuberías con extremos abierto en vez de válvulas; • Garantizar que las juntas se elijan de acuerdo con el proceso en el que se utilizarán; • Garantizar la correcta instalación de las juntas; • Garantizar que las juntas de bridas se acoplen y reciban la carga de forma correcta; • Si se transportan sustancias tóxicas, carcinogénicas o sustancias peligrosas de otro tipo, realizar las conexiones mediante juntas de alta integridad como las que tienen estructura en espiral, las juntas Kammprofile o las de anillo.
Tratamiento de vapor	Utilizar sistemas de tratamiento o compensación de vapor generados durante la carga y descarga de sustancias volátiles a (o de) camiones, barcazas o buques. La importancia de las emisiones depende de la sustancia en cuestión y del volumen de emisión, y deberá decidirse caso a caso.
Válvulas	Seleccionar correctamente el material de empaquetamiento y estructural, de acuerdo con la aplicación prevista: • Centrarse durante el seguimiento, en aquellas válvulas que representan un mayor riesgo • Usar válvulas de control rotativas o bombas de velocidad variable en vez de válvulas de control de vástago ascendente • Cuando se trate de sustancias tóxicas, carcinogénicas o sustancias peligrosas de otro tipo, utilizar válvulas de diafragma, de fuelle o de doble pared • Conducir las válvulas de seguridad nuevamente al sistema de transporte o almacenamiento o bien a un sistema de tratamiento de vapor
Bombas y compresores	Una serie de acciones asociadas a la implementación y operación de los equipos, de carácter técnico. Seleccionar los tipos de bomba y junta más adecuados para las características del proceso, preferiblemente bombas técnicamente diseñadas para ser estancas. Para los compresores que transportan gases no tóxicos: utilización de juntas mecánicas lubricadas por medio de gas Para los compresores que transportan gases tóxicos: utilización de juntas dobles con barrera de líquido o gas y purgar el lado del proceso de la junta de contención con un gas inerte.
Conexiones de muestreo	Para los puntos de muestreo de sustancias volátiles, utilizar una válvula de muestreo tipo pistón o una válvula aguja y una válvula de bloqueo. En caso que la tubería de muestreo requiera purga, es una BAT instalar conductos de muestreo de circuito cerrado.

A continuación, se señalan medidas de control de emisiones para tuberías de superficie cerradas de superficie y bajo tierra:

- Reducción del número de bridas y conectores.

- Selección y mantenimiento de juntas.
- Bridas mejoradas.
- Colección de vapor.

Respecto a las medidas de control asociadas a la carga y descarga en los dispositivos de transporte, se encuentran las siguientes:

- Compensación de vapor durante la carga y descarga de dispositivos de transporte.
- Tratamiento del vapor durante la descarga de los dispositivos de transporte.

En cuanto a las medidas de control asociadas a la manipulación de sustancias, se encuentran las siguientes:

- Utilizar equipos de alta calidad.
- Eliminar tuberías con extremo abierto y válvulas.
- Válvulas de fuelle, válvulas de diafragma, válvulas de control rotativas, válvulas de doble pared.
- Válvulas de alivio de presión y temperatura.
- Bombas de velocidad variable y bombas de no sellado.
- Juntas individuales mejoradas para bombas.
- Juntas duales presurizadas y no presurizadas para bombas.
- Juntas para compresores.
- Conexiones de muestreo mejoradas.

En el uso de solventes y disolventes las BAT son:

- Todos los equipos que utilicen solventes deben estar conectadas a sistemas de abatimiento.
- Cuando se utilicen grandes cantidades de solventes procurar que estén conectados los equipos de abatimiento.
- Usar bajas cantidades de solventes o productos libres de solventes.
- Minimizar las emisiones en la fuente, recuperar el disolvente de las emisiones o destruir los disolventes en los gases residuales. Los valores de emisión se dan para

industrias individuales. El uso de materiales con bajo contenido de disolventes puede generar demandas energéticas excesivas para operar los oxidantes térmicos. Los oxidantes pueden ser desmantelados cuando los efectos negativos de los medios cruzados superen los beneficios de destruir los COVs.

- Buscar oportunidades para recuperar y utilizar el exceso de calor generado en la destrucción de COVs y minimizar la energía utilizada en la extracción y destrucción de COVs.

6.13 Formulario de Declaración para la Estimación de Emisiones

6.13.1 Información para la estimación de emisiones y Categorías para la Clasificación de Información

La información requerida para la estimación de emisiones y la clasificación de las emisiones generadas por los establecimientos en múltiples categorías se presenta en Tabla 27.

Tabla 27. Información para la estimación de emisiones en el Formulario de Declaración

Categoría de información	Descripción
Identificación Usuario/Establecimiento	La identificación del usuario o establecimiento se realiza a partir de los mecanismos que actualmente operan en el RUEA, mediante el ingreso al sistema VU del RETC.
Clasificación del Establecimiento	**Subsector:** la clasificación del establecimiento en un subsector permite acotar el rango de opciones para la determinación de actividades y tecnologías de producción que son propias a cada subsector.
	Código(s) CIIU: el código CIIU puede asignarse de manera automática al establecimiento de acuerdo a la(s) actividad(es) que se lleven a cabo en éste. Esta categoría permite principalmente clasificar y categorizar la información. Es necesario considerar la posibilidad que un Establecimiento tenga operaciones y/o actividades que puedan ser clasificadas con más de un CIIU.
	Actividades: las actividades llevadas a cabo en un establecimiento permiten determinar los métodos de estimación y factores de emisión aplicables.
	Tecnologías de Producción: en determinados rubros, principalmente aquellos clasificados como prioridad alta, se pueden caracterizar los procesos de producción o las actividades de acuerdo a diversas tecnologías, las que presentan distintos factores de emisión aplicables.
Módulos de Declaración Aplicables	Se propone que el Formulario de Declaración contenga tres módulos de declaración, los que pueden seleccionarse mediante casillas de verificación (*checkbox*) o estar predefinidos para el Establecimiento de acuerdo a la información que dispone el RETC. Los módulos de declaración propuestos son: • Procesos Productivos. • Uso de Solventes. • Almacenamiento y Transferencia de Combustibles y Líquidos Orgánicos. La justificación para disponer de tres módulos de declaración, en vez de un sólo módulo, se relaciona con la transversalidad de las actividades de almacenamiento y transferencia

Categoría de información	Descripción
	de combustibles y líquidos orgánicos y uso de solventes, lo que puede permitir la declaración de rubros de baja prioridad.
Caracterización de Fuentes de Emisión	Actualmente, no existe información a nivel nacional en el RETC para la caracterización de fuentes de emisiones no puntuales y procesos distintos a la combustión. Por lo anterior, el formulario incluye un registro de características de algunas fuentes de emisión en términos de actividades y tecnologías de abatimiento asociadas. El registro más detallado corresponde a estanques de almacenamiento de combustibles y otros líquidos orgánicos.
Productos	Permite la identificación de los bienes y/o servicios producidos por el establecimiento. Los productos están vinculados a métodos de estimación de emisiones, mediante niveles de actividad, en este caso la cuantificación de la producción de un determinado bien y/o servicio.
Procesos	Permite la identificación de los procesos que transforman materias primas e insumos en el establecimiento. Los procesos están vinculados a métodos de estimación de emisiones, mediante niveles de actividad, en este caso la cuantificación de materias primas procesadas en una determinada etapa.
Método de Estimación de Emisiones Aplicable	A partir de la clasificación del establecimiento, la definición de productos y procesos y en algunos casos la caracterización de las fuentes de emisión es posible determinar un método de estimación de emisiones aplicable, es decir, los niveles de actividad y factores de estimación que se utilizarán para estimar las emisiones del establecimiento.
Formato de Estimación de Emisiones Aplicable	El formulario utiliza un formato de estimación de emisiones general o estandarizado para el ingreso de datos por parte del usuario. En algunos casos, se pueden desplegar formatos específicos para determinados rubros. El formato comprende la interfaz del usuario que define la forma en la que los datos son ingresados por este al sistema y las opciones aplicables a cada subsector, rubro y/o establecimiento.
Niveles de Actividad para la Producción	Dependiendo del método de estimación de emisiones aplicable al establecimiento puede ser necesario ingresar la cantidad de bienes y/o servicios producidos por el establecimiento de manera mensual o anual. Este Nivel de Actividad podría aplicarse a cada Producto o Proceso principal del Establecimiento o el establecimiento podría declarar más de un producto/proceso aplicable.
Niveles de Actividad para el Procesamiento	Dependiendo del método de estimación de emisiones aplicable al establecimiento puede ser necesario ingresar la cantidad de materias primas procesadas en el establecimiento de manera mensual o anual. Este Nivel de Actividad podría aplicarse a cada Producto o Proceso principal del Establecimiento o el establecimiento podría declarar más de un producto/proceso aplicable.
Otras Variables Requeridas en los métodos de cálculo	En algunos métodos de estimación pueden requerirse variables adicionales a los niveles de actividad y factores de emisión. Estas variables corresponden principalmente a factores ambientales (presión, temperatura, otras) y características propias de las tecnologías y fuentes de emisión, especialmente en el caso de la estimación de emisiones fugitivas y evaporativas en el almacenamiento de sustancias orgánicas. Para la estimación de emisiones en el almacenamiento de combustibles y otros líquidos orgánicos se utilizan diversos parámetros relacionados con las características de los estanques de almacenamiento (tipo de tanque, diámetro, altura, capacidad, entre otros).
Medidas de Abatimiento y Eficiencias de Remoción	En determinados establecimientos existen dispositivos, equipos, medidas y tecnologías que permiten mitigar las emisiones liberadas a la atmósfera. Cada medida de abatimiento presenta una determinada eficiencia de remoción promedio.

Categoría de información	Descripción
Factores de Emisión Aplicables	Corresponde a la estimación de la cantidad de contaminantes liberados a la atmósfera como resultado de las actividades identificadas y cuantificadas mediante los niveles de actividad (producción, procesamiento, otros). Para cada actividad corresponde un factor de emisión único. Este factor es determinado por el sistema en base a la información entregada por el Titular del Establecimiento.
Estimación de Emisiones	Corresponde al resultado de la aplicación de un determinado método de estimación de emisiones para un establecimiento determinado.
Incertidumbre (opcional)	La incertidumbre en la estimación de emisiones que puede evaluarse mediante el Formulario de Declaración corresponde a los rangos dentro del límite del 95% de confianza asociados a los factores de emisión y a las eficiencias de abatimiento. Mediante el formulario no es posible determinar la incertidumbre de los datos de actividad ingresados por el usuario, ya que ésta dependerá del método que cada establecimiento utilice para determinar esta información (producción, entradas y salidas de materias primas de los procesos, entre otros).

6.13.2 Procedimientos de Verificación para la Estimación de Emisiones

Los procedimientos de verificación para la estimación de emisiones tienen como principal objetivo evitar y/o minimizar errores en las declaraciones, por lo tanto, se proyectan como procesos lógicos o limitaciones de ingreso de información dentro del formulario que permitan obtener las estimaciones adecuadas para cada caso. Los procesos lógicos y medidas que se propone implementar para el desarrollo del formulario se describen a continuación:

a) Procesos Aplicables al Formulario de Declaración Excel[81]: los siguientes procesos son aplicables al Formulario de Declaración en formato Excel que se desarrollará en la tercera etapa del presente Estudio y que será entregado como parte del Informe Final.

- Ingreso de datos mediante listas desplegables: las listas desplegables son interfaces de usuario que permiten seleccionar una o más opciones predefinidas para el Formulario de Declaración y la estimación de emisiones. Las listas desplegables permiten minimizar fallos en la validación de datos, como p.e. evitan el ingreso de datos mediante la digitación a través del teclado, lo que elimina la posibilidad de errores de tipeo u de otro tipo. Las listas desplegables limitan la cantidad de opciones o valores que puede tomar una categoría de información o de ingreso de datos en el formulario a

[81] El desarrollo de la planilla de cálculo para la estimación de fuentes no puntuales en formato xls se entregará como parte del producto final del presente estudio (Informe Final), de acuerdo a lo establecido en las Bases Técnicas de la Licitación (Res. Ex. 0320 del MMA del 20 de abril de 2020).

aquellas opciones que corresponden a valores válidos, es decir, valores presentes en las categorías de la base de datos.

- Límite de opciones para actividades y tecnologías: el formulario presenta actividades y tecnologías predefinidas aplicables a cada rubro. Las actividades y tecnologías se asocian a la disponibilidad de factores de emisión, por lo que las opciones para cada establecimiento están limitadas a los resultados de la revisión bibliográfica realizada en el presente Estudio y han sido sistematizadas en bases de datos, las que se presentan en los Anexos asociado a este documento en formato digital.

- Asignación de Factores de Emisión: los factores de emisión provienen de una base de datos elaborada en base a la revisión bibliográfica que se presenta en **REFERENCIAS** (capítulo 8) del presente documento. Estos factores de emisión, debidamente referenciados, serán validados por el MMA. El usuario no puede ingresar factores de emisión propios, lo que implica que se elimina la posibilidad de que se utilicen valores que puedan subestimar o sobreestimar las emisiones más allá de los rangos que establecen las metodologías definidas.

b) Procesos aplicables a la implementación del Formulario de Declaración en el RUEA: los siguientes procesos lógicos deben ser implementados en el RUEA del sistema VU del RETC, debido a que corresponden a procesos que requieren de la elaboración de bases de datos que están fuera del alcance del presente Estudio o cuyos procesos no pueden ser aplicados a Excel, por las limitaciones que esta aplicación presenta.

- Clasificación automática del establecimiento: es una posibilidad para disminuir la cantidad de información ingresada por el usuario que pueda significar un error en la clasificación del establecimiento y por ende en la estimación de emisiones. La clasificación puede estar asociada a la identificación del usuario y/o establecimiento en el sistema VU del RETC. Este proceso debe ser desarrollado por el RETC una vez implementado el nuevo Formulario de Declaración de COVs en el RUEA.

- Información asignada y precargada al establecimiento: sustituye parte de la información que es ingresada por el usuario, limitando la posibilidad de introducir errores en las declaraciones de emisiones. La información que podría precargarse a un establecimiento podría relacionarse con la

caracterización de fuentes de emisión no puntuales, para lo cual, se requiere del desarrollo de un registro de fuentes de emisión no puntuales.

- Límites para Niveles de Actividad: los límites para los niveles de actividad se refieren a limitar los valores que pueden tomar estas variables en un determinado establecimiento o etapa del proceso (p.e. producción o procesamiento de materias primas). Para llevar a cabo este proceso lógico es necesario elaborar una base de datos que contenga los límites en términos de capacidad para cada establecimiento y/o sus procesos.
- Límites para procesos y productos: consiste en limitar los productos y procesos que pueden asignarse a un establecimiento en base a la precarga de información asociada a la identificación del establecimiento.
- Confirmación por usuario: para cierta información como el ingreso de datos de actividad, en donde el usuario debe digitar las cantidades que aplican a cada campo (nivel de actividad mensual o anual, según corresponda), podría aplicarse una confirmación que permita evitar errores en el ingreso de datos. Este proceso podría incluirse mediante una casilla de confirmación que muestre al usuario los datos ingresados y confirme que estos son los correctos.
- Uso de números enteros: se permitirá la conversión de unidades para evitar el uso de decimales, impidiendo el uso de cifras decimales en la declaración. Esta medida minimizará los errores de magnitud y formato por introducción de puntos y comas en los campos de ingreso de datos numéricos.

La Figura 16 presenta los procesos para minimizar el error en la estimación de emisiones en el Formulario de Declaración que se diseñará como parte del Informe Final del presente Estudio.

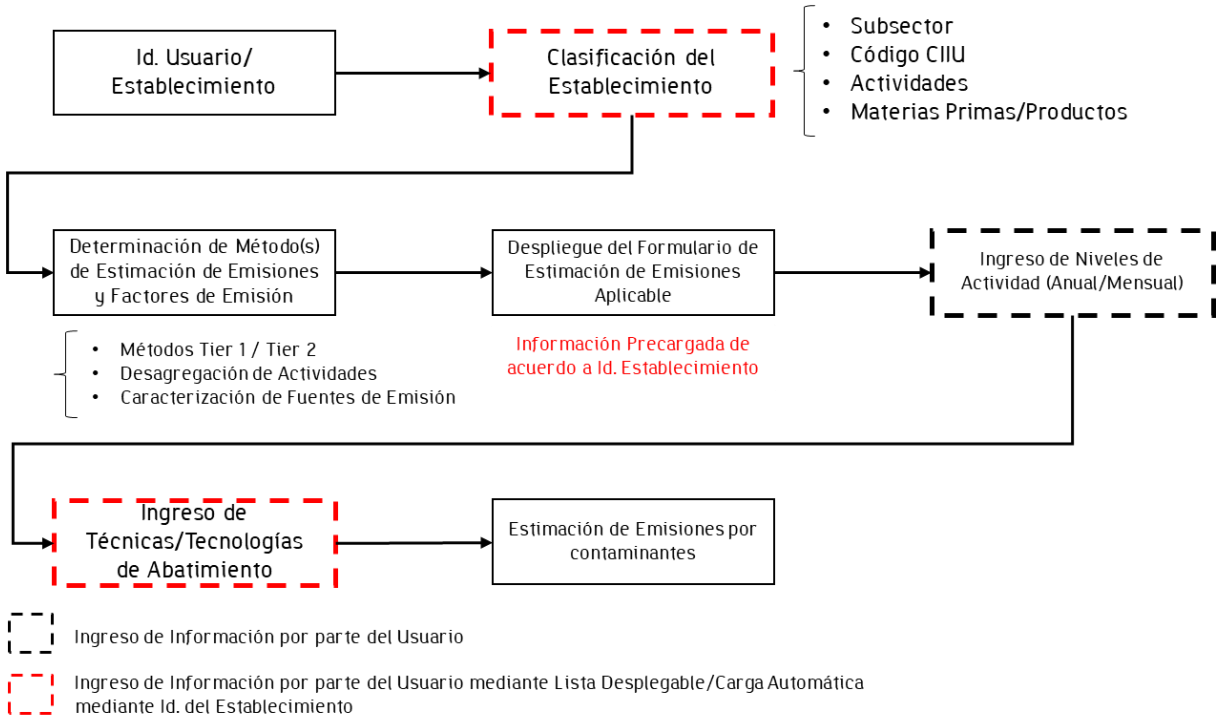


Figura 16. Esquema para la aplicación de procesos lógicos en el Formulario de Declaración de emisiones formato Excel

Fuente: Elaboración propia.

Se propone que el Formulario de Declaración de COVNMs por fuentes no puntuales y procesos distintos a la combustión se realice mediante tres módulos:

- Procesos productivos para los rubros identificados como Prioridad Alta y Media.
- Uso de solventes para todos los rubros.
- Almacenamiento y Transferencia de Combustibles para todos los rubros.

Las Figuras 17 a 21 presentan las maquetas para la conceptualización del formulario de emisiones en el RUEA donde se grafican los métodos de ingreso de información aplicables en cada caso. Las opciones de ingreso de información se pueden revisar en detalle en **Anexo 8** asociado a este documento en formato digital.

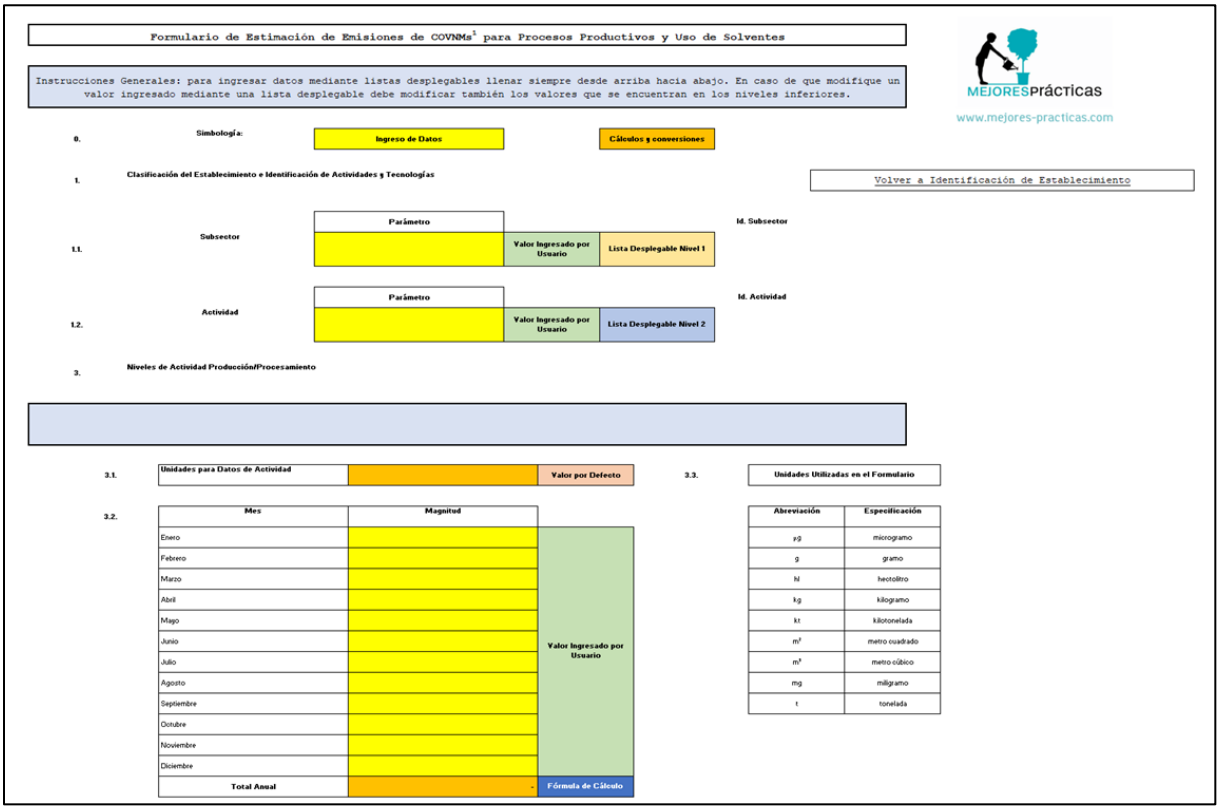
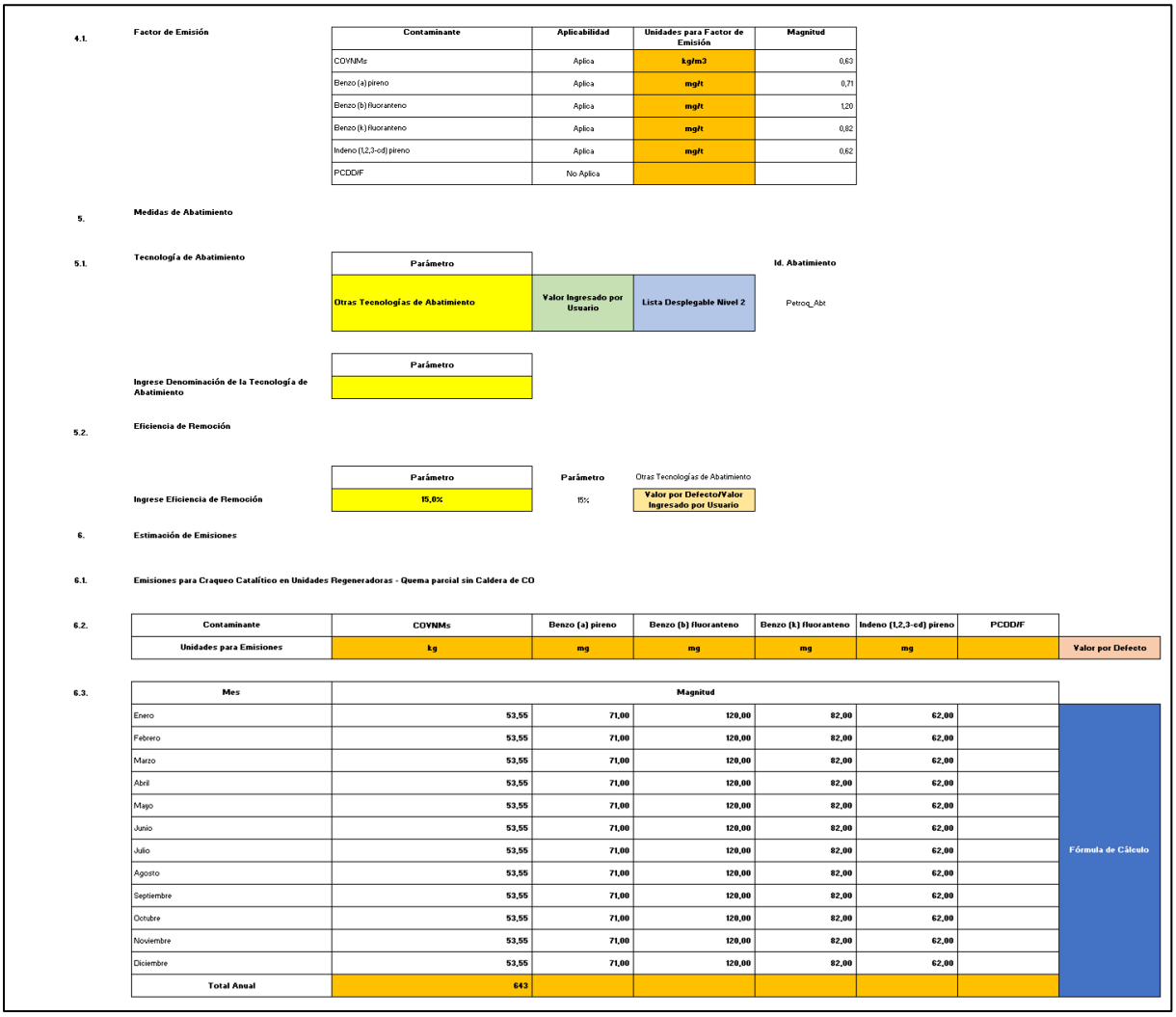


Figura 17. Maqueta Formulario de Declaración de emisiones en RUEA para Módulos Procesos Productivos y Uso de Solventes (parte a)

Fuente: Elaboración propia.



4.1. Factor de Emisión

Contaminante	Aplicabilidad	Unidades para Factor de Emisión	Magnitud
COVNMs	Aplica	kg/m3	0,63
Benzo (a) pireno	Aplica	mg/t	0,71
Benzo (b) fluoranteno	Aplica	mg/t	1,20
Benzo (k) fluoranteno	Aplica	mg/t	0,82
Indeno (1,2,3-cd) pireno	Aplica	mg/t	0,62
PCDD/F	No Aplica		

5. Medidas de Abatimiento

5.1. Tecnología de Abatimiento

Parámetro			Id. Abatimiento
Otras Tecnologías de Abatimiento	Valor Ingresado por Usuario	Lista Desplegable Nivel 2	Petroq_Abt

Parámetro
Ingrese Denominación de la Tecnología de Abatimiento

5.2. Eficiencia de Remoción

Parámetro	Parámetro	Otras Tecnologías de Abatimiento
Ingrese Eficiencia de Remoción	15%	Valor por Defecto/Valor Ingresado por Usuario

6. Estimación de Emisiones

6.1. Emisiones para Craqueo Catalítico en Unidades Regeneradoras - Quema parcial sin Caldera de CO

6.2.

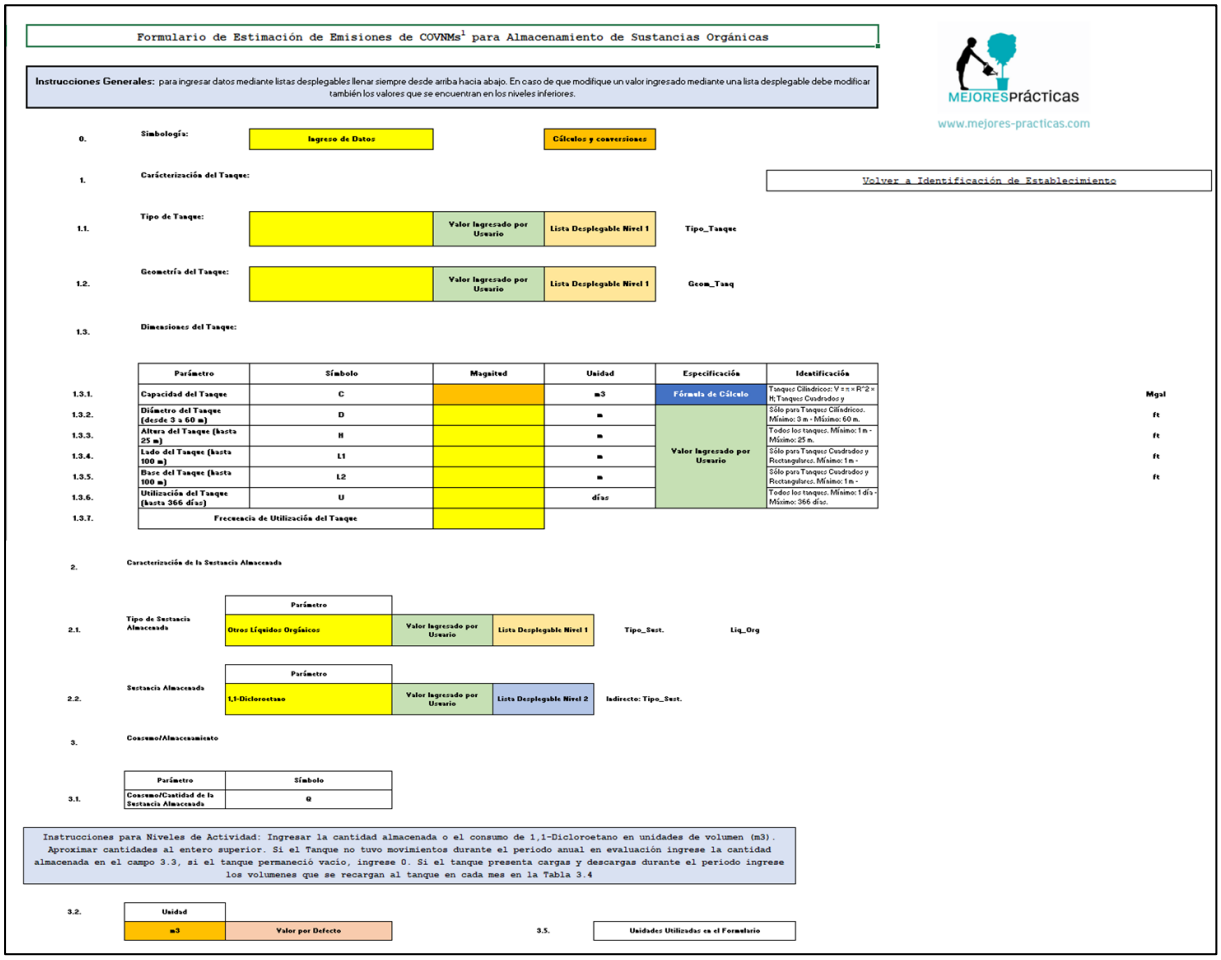
Contaminante	COVNMs	Benzo (a) pireno	Benzo (b) fluoranteno	Benzo (k) fluoranteno	Indeno (1,2,3-cd) pireno	PCDD/F	
Unidades para Emisiones	kg	mg	mg	mg	mg		Valor por Defecto

6.3.

Mes	Magnitud						
Enero	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		Fórmula de Cálculo
Febrero	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		
Marzo	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		
Abril	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		
Mayo	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		
Junio	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		
Julio	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		
Agosto	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		
Septiembre	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		
Octubre	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		
Noviembre	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		
Diciembre	53,55	71,00	120,00	82,00	62,00		
Total Anual	643						

Figura 18. Maqueta Formulario de Declaración de emisiones en RUEA para Módulos Procesos Productivos y Uso de Solventes (parte b)

Fuente: Elaboración propia.



Formulario de Estimación de Emisiones de COVNMs[1] para Almacenamiento de Sustancias Orgánicas

Instrucciones Generales: para ingresar datos mediante listas desplegables llenar siempre desde arriba hacia abajo. En caso de que modifique un valor ingresado mediante una lista desplegable debe modificar también los valores que se encuentran en los niveles inferiores.

MEJORESPrácticas
www.mejores-practicas.com

0. Simbología: Ingreso de Datos | Cálculos y conversiones

1. Caracterización del Tanque: Volver a Identificación de Establecimiento

1.1. Tipo de Tanque: | Valor Ingresado por Usuario | Lista Desplegable Nivel 1 | Tipo_Tanqe

1.2. Geometría del Tanque: | Valor Ingresado por Usuario | Lista Desplegable Nivel 1 | Geom_Tanq

1.3. Dimensiones del Tanque:

	Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad	Especificación	Identificación	
1.3.1.	Capacidad del Tanque	C		m3	Fórmula de Cálculo	Tanques Cilíndricos: V = π = R^2 = H; Tanques Cuadrados y	Mgal
1.3.2.	Diámetro del Tanque (desde 3 a 60 m)	D		m	Valor Ingresado por Usuario	Sólo para Tanques Cilíndricos. Mínimo: 3 m - Máximo: 60 m.	ft
1.3.3.	Altura del Tanque (hasta 25 m)	H		m		Todos los tanques. Mínimo: 1 m - Máximo: 25 m.	ft
1.3.4.	Lado del Tanque (hasta 100 m)	L1		m		Sólo para Tanques Cuadrados y Rectangulares. Mínimo: 1 m -	ft
1.3.5.	Base del Tanque (hasta 100 m)	L2		m		Sólo para Tanques Cuadrados y Rectangulares. Mínimo: 1 m -	ft
1.3.6.	Utilización del Tanque (hasta 366 días)	U		días		Todos los tanques. Mínimo: 1 día - Máximo: 366 días.	
1.3.7.	Frecuencia de Utilización del Tanque						

2. Caracterización de la Sustancia Almacenada

2.1. Tipo de Sustancia Almacenada | Parámetro: Otros Líquidos Orgánicos | Valor Ingresado por Usuario | Lista Desplegable Nivel 1 | Tipo_Sust. | Liq_Org

2.2. Sustancia Almacenada | Parámetro: 1,1-Dicloroetano | Valor Ingresado por Usuario | Lista Desplegable Nivel 2 | Indirecto: Tipo_Sust.

3. Consumo/Almacenamiento

	Parámetro	Símbolo
3.1.	Consumo/Cantidad de la Sustancia Almacenada	Q

Instrucciones para Niveles de Actividad: Ingresar la cantidad almacenada o el consumo de 1,1-Dicloroetano en unidades de volumen (m3). Aproximar cantidades al entero superior. Si el Tanque no tuvo movimientos durante el periodo anual en evaluación ingrese la cantidad almacenada en el campo 3.3, si el tanque permaneció vacio, ingrese 0. Si el tanque presenta cargas y descargas durante el periodo ingrese los volumenes que se recargan al tanque en cada mes en la Tabla 3.4

	Unidad	
3.2.	m3	Valor por Defecto

3.5. Unidades Utilizadas en el Formulario

Figura 19. Maqueta Formulario de Declaración de emisiones en RUEA para Módulo Almacenamiento y Transferencia de Combustibles y Líquidos Orgánicos (parte a)

Fuente: Elaboración propia.

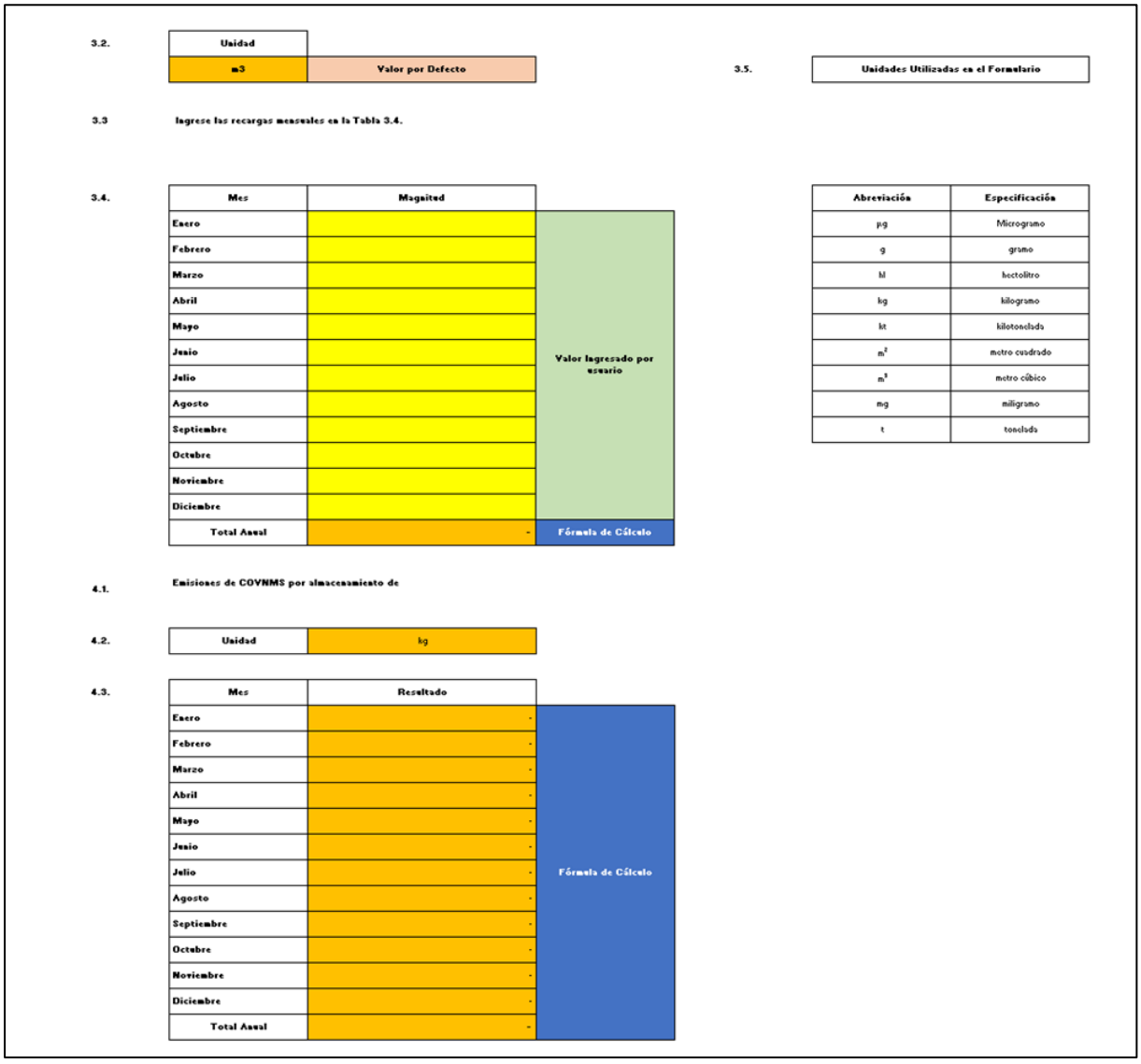
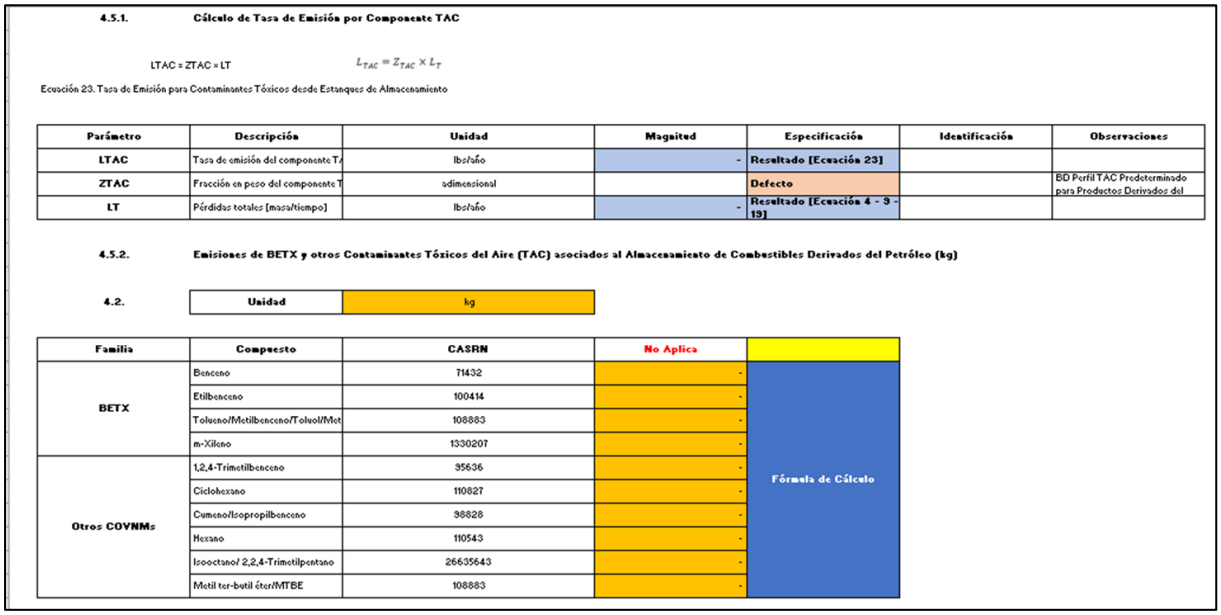


Figura 20. Maqueta Formulario de Declaración de emisiones en RUEA para Módulo Almacenamiento y Transferencia de Combustibles y Líquidos Orgánicos (parte b)

Fuente: Elaboración propia.



4.5.1. Cálculo de Tasa de Emisión por Componente TAC

LTAC = ZTAC × LT $L_{TAC} = Z_{TAC} \times L_T$

Ecuación 23. Tasa de Emisión para Contaminantes Tóxicos desde Estanques de Almacenamiento

Parámetro	Descripción	Unidad	Magnitud	Especificación	Identificación	Observaciones
LTAC	Tasa de emisión del componente TA	lbs/año	-	Resultado [Ecuación 23]		
ZTAC	Fracción en peso del componente T	adimensional		Defecto		BD Perfil TAC Predeterminado para Productos Derivados del
LT	Pérdidas totales [masa/tiempo]	lbs/año	-	Resultado [Ecuación 4 - 3 - 19]		

4.5.2. Emisiones de BETX y otros Contaminantes Tóxicos del Aire (TAC) asociados al Almacenamiento de Combustibles Derivados del Petróleo (kg)

4.2.	Unidad	kg

Familia	Compuesto	CASRN	No Aplica	
BETX	Benceno	71432	-	Fórmula de Cálculo
	Etilbenceno	100414	-	
	Tolueno/Metilbenceno/Toluol/Met	108883	-	
	m-Xileno	1330207	-	
Otros COVNMs	1,2,4-Trimetilbenceno	95636	-	
	Ciclohexano	110827	-	
	Cumeno/Isopropilbenceno	98828	-	
	Hexano	110543	-	
	Isooctano/ 2,2,4-Trimetilpentano	26635643	-	
	Metil ter-butil éter/MTBE	108883	-	

Figura 21. Maqueta Formulario de Declaración de emisiones en RUEA para Módulo Almacenamiento y Transferencia de Combustibles y Líquidos Orgánicos (parte c)

Fuente: Elaboración propia.

El Formulario de Declaración de Emisiones, junto con las metodologías de estimación de emisiones aplicadas al formulario para su aplicación en establecimientos y fuentes de emisión no puntuales de la zona prioritaria se presenta en **Anexo 8** asociado a este documento en formato digital.

6.14 Aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones

Se elaboró un Formulario de Declaración de Emisiones de COVs, COPs y BETX para fuentes no puntuales y procesos distintos a la combustión en formato xls, el que fue aplicado a un total de 76 establecimientos de la zona prioritaria, de los cuales 30 corresponden a la comuna de Concón, 24 a Quintero y 22 a Puchuncaví. Esta actividad se extendió entre los días 13 y 27 de noviembre de 2020, realizándose principalmente una prueba de la metodología de estimación y el diseño del Formulario, lo que permitió recibir observaciones y/o comentarios por parte de 20 representantes de dichos establecimientos. Las observaciones y comentarios fueron analizados por el equipo consultor, para posteriormente realizar mejoras y/o modificaciones al Formulario de Declaración de Emisiones de COVs, COPs y BETX. La lista de participantes y las observaciones realizadas, junto con las aclaraciones y respuestas de parte del equipo consultor, se presentan en **Anexo 9** asociado a este documento en formato digital.

Las principales mejoras y/o modificaciones que se realizaron al diseño del Formulario de

Declaración de Emisiones de COVs, COPs y BETX, a partir de las observaciones y/o comentarios realizados por los representantes de los establecimientos de la zona prioritaria se presentan en Tabla 28.

Tabla 28. Mejoras y/o modificaciones realizadas al diseño del Formulario de Declaración de Emisiones de COVs, COPs y BETX a partir de su aplicación en la zona prioritaria

Sección	Mejora/Modificación
General	Se añadió un apartado con una especificación del alcance en el formulario de declaración de emisiones
General	Se incluyó un "instructivo" de uso o ingreso de datos
Procesos Productivos	Se organizó el Formulario por Actividades en lugar de Rubros o Sectores con el fin de evitar confusiones respecto a las actividades que deben declararse.
Procesos Productivos	Se incluyeron actividades asociadas a la producción de Asfalto.
Almacenamiento	Se modificaron las instrucciones para el ingreso de datos en el formulario, mejorando la traducción respecto a la variable *"Throughput"*, la que se tradujo como "cantidad transferida al mes" de la sustancia orgánica al tanque de almacenamiento.
Procesos Productivos	Se realizó un control de calidad a las bases de datos incorporadas al Formulario de Declaración corrigiendo valores que presentaban errores.
Almacenamiento	Los compuestos incluidos en el formulario se basan en la adaptación de una metodología internacional, la que proporciona un listado de compuestos típicos, los que incluyen propiedades que permiten realizar estimaciones de pérdidas. Los compuestos señalados no se encuentran en las listas de la metodología referida, ni tampoco en la metodología AP-42 capítulo 7 (US-EPA). Por lo tanto, actualmente no es posible, incorporar los compuestos señalados en la Aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones.

Por otra parte, se realizan las siguientes recomendaciones para el desarrollo y la implementación del Formulario de Declaración de COVs, COPs y BETX en el RUEA:

- Se recomienda que las declaraciones se realicen por actividades, no por rubros, debido a que existen actividades auxiliares que son transversales a todos los rubros (transporte y almacenamiento de combustibles, uso de solventes, tratamiento y disposición de residuos, entre otros).
- Se podrían incorporar compuestos adicionales y propiedades a partir de la identificación de las materias primas que aplican a cada Establecimiento. Ya que durante el Estudio esta información no estuvo disponible.
- Considerar la posibilidad de que los establecimientos de alta complejidad puedan incorporar sus propios métodos de estimación y/o factores de emisión en el formulario de declaración. Lo anterior requiere un proceso de validación caso a caso por parte del RETC. Las bases de datos se deben mejorar y actualizar de manera gradual, de acuerdo a la publicación de nuevas metodologías, factores de

emisión, tecnologías y eficiencias de abatimiento y a los avances que realicen las autoridades y los sectores productivos en esta materia.

6.15 Procedimientos de Validación de Niveles de Actividad

En la presente sección, se detalla para cada uno de los subsectores y actividades las fuentes de información que permitirán verificar las emisiones declaradas por los establecimientos de manera agregada. Se indican los casos en los que se requiere realizar conversiones u otros procesos para aplicar las ecuaciones de estimación de emisiones en procesos productivos (Ecuaciones 1 y 2 del presente documento).

La Tabla 29 presenta las recomendaciones para realizar verificaciones para cada subsector y actividad.

Tabla 29. Procedimientos para verificar estimación de emisiones mediante fuentes de información pública

Subsector	Actividad	Procedimiento de Verificación
Minería	Exploración, Producción y Transporte de Gas Natural y Crudo	1. Verificar volumen de producción de combustibles. 2. Verificar volumen de combustibles comercializados. Ambos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" y/o Cifras del Negocio de empresas relacionadas a las actividades, las cuales se encuentran de manera pública en los sitios listados a continuación, a modo de ejemplo: https://www.enap.cl/pag/300/1214/cifras_del_negocio https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/entidad.php?mercado=0&rut=87756500&grupo=&tipoentidad=RGEIN&row=AAAwy2ACTAAAAWdAAI&vig=VI&control=svs&pestania=49
Alimentos y Bebidas	Producción de: • Alimentos [General]. • Bebidas [General]. • Carne [General]. • Azúcar. • Margarina y Grasas Comestibles. • Pan. • Pastelería y Cereales para el Desayuno. • Harina de Pescado. • Subproductos Animales (Rendering). • Café Tostado. • Bebidas Fermentadas (Cerveza (incluyendo sin alcohol y vino).	1. Verificar, a través de Comex de Aduana, "Importaciones por País y Producto", a través del siguiente enlace: https://www.aduana.cl/importaciones-por-producto/aduana/2020-03-27/114420.html https://www.aduana.cl/importaciones-por-codigo-arancelario/aduana/2018-12-14/094441.html 2. Verificar a través de ODEPA "Bases de datos de comercio exterior", a través del siguiente enlace: https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/bases-de-datos-comercio-exterior 3. Verificar volumen de producción. 4. Verificar volumen de productos comercializados. Ambos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" y/o Cifras del Negocio de empresas relacionadas a las actividades, las cuales se encuentran de manera pública en los sitios listados a continuación, a modo de ejemplo: http://www.watts.cl/docs/default-source/memorias/memoria-

Subsector	Actividad	Procedimiento de Verificación
	• Producción de Licores [General].	anual-watt-39-s-2019.pdf?status=Temp&sfvrsn=0.4677816536181254 https://www.chilealimentos.com/wordpress/wp-content/uploads/2019/12/Memoria-2019-1.pdf https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/consulta_busqueda.php?entidad_web=G&valor=alimentos&boton_busqueda=submit
Curtiembre	Uso de Solventes en Producción de Cueros Curtidos Fabricación de Calzado	1. Verificar volumen de producción. 2. Verificar volumen de productos comercializados. Ambos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" y/o Cifras del Negocio de empresas relacionadas a las actividades, las cuales se encuentran de manera pública en el enlace a continuación, a modo de ejemplo: https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/consulta_busqueda.php?entidad_web=G&valor=curtiembre&boton_busqueda=submit https://www.fedeccal.cl/category/estadisticas-comex/
Industria Forestal	Uso de Solventes en Productos de la Madera Producción de Pulpa, Papel y Cartón (pulpa secada al aire)	1. Verificar volumen de producción. 2. Verificar volumen de productos comercializados. Ambos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" de empresas relacionadas a las actividades, las cuales se encuentran de manera pública en los sitios listados a continuación, a modo de ejemplo: https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/consulta_busqueda.php?entidad_web=G&valor=forestal&boton_busqueda=submit https://www.arauco.cl/chile/wp-content/uploads/sites/14/2017/07/memoria-2019-6-abril.pdf
Imprentas	Impresión (uso de tinta/producción de material gráfico)	1. Verificar volumen de producción. 2. Verificar volumen de productos comercializados. Ambos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" y/o Cifras del Negocio de empresas relacionadas a las actividades, las cuales se encuentran de manera pública en el enlace a continuación, a modo de ejemplo: https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/consulta_busqueda.php?entidad_web=G&valor=imprenta&boton_busqueda=submit https://www.asimpres.cl/indicadores/
Petroquímica	Refinación y Almacenamiento: • Procesamiento de crudo [General].	1. Verificar, a través de Comex de Aduana, "Importaciones por País y Producto", a través del siguiente enlace: https://www.aduana.cl/importaciones-por-

Subsector	Actividad	Procedimiento de Verificación
	• Volumen alimentado en unidades de coquización fluida. • Volumen alimentado en unidades de Reformado Catalítico.	producto/aduana/2020-03-27/114420.html https://www.aduana.cl/importaciones-por-codigo-arancelario/aduana/2018-12-14/094441.html 2. En base a los antecedentes de importaciones, realizar conversión de dólares a volumen, para esto se pueden tomar como referencia los valores (US) de las memorias anuales presentes en la "Comisión para el Mercado Financiero", tal como se muestra en la siguiente referencia: https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/entidad.php?mercado=V&rut=87756500&grupo=&tipoentidad=RVEMI&row=AAAwy2ACTAAAAWdAAI&vig=NV&control=svs&pestania=49 3. Verificar volumen de producción de combustibles. 4. Verificar volumen de combustibles comercializados. Ambos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" y/o Cifras del Negocio de empresas relacionadas a las actividades, las cuales se encuentran de manera pública en los sitios listados a continuación, a modo de ejemplo: https://www.enap.cl/pag/300/1214/cifras_del_negocio https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/entidad.php?mercado=O&rut=87756500&grupo=&tipoentidad=RGEIN&row=AAAwy2ACTAAAAWdAAI&vig=VI&control=svs&pestania=49
	Craqueo Catalítico en Unidades Regeneradoras: • Quema parcial sin Caldera de CO (volumen alimentado). • Quema parcial sin Caldera de CO (coque quemado). • Emisiones difusas (crudo refinado).	
	Uso de Saturante en Producción de asfalto	
Industria Química y Farmacéutica	Producción General Industria Química	1. Verificar volumen de productos comercializados. Estos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" de empresas relacionadas a las actividades, las cuales se encuentran de manera pública en el enlace a continuación, a modo de ejemplo: https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/consulta_busqueda.php?entidad_web=G&valor=farmacia&boton_busqueda=submit https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/consulta_busqueda.php?entidad_web=G&valor=+quimica&boton_busqueda=submit Estadísticas industriales ASIQUIM 2019
	Fabricación de Cinta Adhesiva	
	Producción Acrilonitrilo	
	Producción de: • 1,2 Dicloroetano + Cloruro de Vinilo. • Amoniaco. • Anhídrido Ftálico. • Etilbenceno. • Etileno. • Formaldehído. • Óxido de Etileno. • Poliestireno.	
	Utilización de solventes en fabricación de productos farmacéuticos	
	Soplado de asfalto	
	Revestimiento	
Uso de Solventes (no asociado a un	Uso de: • Solventes [General]. • Lubricantes.	1. Verificar, a través de Comex de Aduana, "Importaciones por País y Producto", a través del siguiente enlace: https://www.aduana.cl/importaciones-por-

Subsector	Actividad	Procedimiento de Verificación
proceso productivo)	• Pesticidas. • Creosota. • Conservante Orgánico a Base de Solventes. • Conservante a Base de Agua.	producto/aduana/2020-03-27/114420.html https://www.aduana.cl/importaciones-por-codigo-arancelario/aduana/2018-12-14/094441.html 2. En base a los antecedentes de importaciones, realizar conversión de dólares a volumen, para esto se pueden tomar como referencia los valores (US) de las memorias anuales presentes en la "Comisión para el Mercado Financiero", tal como se muestra en la siguiente referencia: https://www.cmfchile.cl/portal/principal/605/w3-channel.html 3. Verificar volumen de producción. 4. Verificar volumen de comercializados. Ambos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" y/o Cifras del Negocio de empresas relacionadas a las actividades, las cuales se encuentran de manera pública en el enlace a continuación, a modo de ejemplo: https://www.cmfchile.cl/portal/principal/605/w3-channel.html
	Extracción de Grasas, Aceites Comestibles y No Comestibles (Procesamiento de semillas)	
	Aplicación de Colas y Adhesivos	
	Preservación de la Madera Sin Abatimiento (PCP aplicado)	
Fabricación de Caucho y de Plástico	Producción de: • Poliestireno de Uso General (GPPS). • Polietileno de Baja Densidad (LDPE). • Polietileno de Alta Densidad (HDPE). • Poliestireno de Alto Impacto (HIPS). • Poliestireno expandible (EPS). • Polímero SB en general. • Látex de Estireno-Butadieno. • Polipropileno. • PVC. • Estireno. • Resinas de Acrilonitrilo Butadieno. • Estireno (ABS). • Llantas. • Caucho Estireno-Butadieno.	1. Verificar volumen de producción. 2. Verificar volumen de productos comercializados. Ambos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" y/o Cifras del Negocio de empresas relacionadas a las actividades, las cuales se encuentran de manera pública en el enlace a continuación, a modo de ejemplo: https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/consulta_busqueda.php?entidad_web=G&valor=plastico&boton_busqueda=submit Estadísticas Industria Del Plástico Informe 2019 (ASIPLA).
Procesamiento de Minerales No Metálicos	Producción de Lana de Vidrio y Lana de Vidrio Mineral	1. Verificar volumen de producción. 2. Verificar volumen de productos comercializados. Ambos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" y/o a través del Anuario de SERNAGEOMIN, los cuales se encuentran de manera pública como se muestra continuación, a modo de ejemplo:
	Uso de solvente en Producción de Lana Mineral de Vidrio	

Subsector	Actividad	Procedimiento de Verificación
		https://www.sernageomin.cl/pdf/anuario_2019_act100720.pdf https://www.cmfchile.cl/portal/principal/605/w3-channel.html
Industria Energética	Procesamiento de Gas Natural	1. Verificar volumen de producción. 2. Verificar volumen de productos comercializados. Ambos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" y/o Cifras del Negocio de empresas relacionadas a las actividades, las cuales se encuentran de manera pública en el enlace a continuación, a modo de ejemplo: https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/consulta_busqueda.php?entidad_web=G&valor=gas+natural&boton_busqueda=submit
Industria Sanitaria	Tratamiento de Aguas Servidas y Aguas Residuales Industriales	1. Verificar volumen de aguas servidas tratadas anualmente a través de "Mesa Nacional del Agua" del Ministerio de Obras Públicas: https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf
Almacenamiento y Transporte de Combustibles	Distribución de Combustibles Ligeros Distribución de Combustibles - Despacho de combustibles en Refinería	1. Verificar, a través de Comex de Aduana, "Importaciones por País y Producto", a través del siguiente enlace: https://www.aduana.cl/importaciones-por-producto/aduana/2020-03-27/114420.html 2. En base a los antecedentes de importaciones, realizar conversión de dólares a volumen, para esto se pueden tomar como referencia los valores (US) de las memorias anuales presentes en la "Comisión para el Mercado Financiero", tal como se muestra en la siguiente referencia: https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/entidad.php?mercado=V&rut=87756500&grupo=&tipoentidad=RVEMI&row=AAAwy2ACTAAAAWdAAI&vig=NV&control=svs&pestania=49 3. Verificar volumen de combustibles comercializados. Ambos antecedentes pueden ser obtenidos a través de Memorias Anuales publicadas en la "Comisión para el Mercado Financiero" y/o Cifras del Negocio de empresas relacionadas a las actividades, las cuales se encuentran de manera pública en el enlace a continuación, a modo de ejemplo: https://www.cmfchile.cl/institucional/mercados/consulta_busqueda.php?entidad_web=G&valor=copec&boton_busqueda=submit

Fuente: Elaboración Propia

7. CONCLUSIONES

7.1 Materias Primas y Productos Generadores de Emisiones

Se identificaron materias primas, productos intermedios y/o finales para un total de 16 subsectores y 27 rubros con potencial de generar emisiones de COVs, COPs y BETX. Las materias primas, productos intermedios y/o finales que podrían generar emisiones de COVs, COPs y BETX por actividades como almacenamiento, carga, descarga y/o manipulación entre otras son:

- Combustibles fósiles y sus derivados.
- Grasas y aceites animales y vegetales.
- Compuestos, solventes y disolventes utilizados en diferentes industrias, especialmente la industria química, la industria de pinturas, curtiembre y el procesamiento de la madera y la celulosa. Los principales compuestos identificados corresponden a: formaldehído, trementina, cloroformo, metanol, solventes orgánicos, clorados y aromáticos, alcoholes, cetonas, ácido acético, dimetilformamida, pentano, butano, propano, xilenos, naftaleno y precursores de polímeros como propileno, etileno, benceno, estireno, butadieno, cloruro de vinilo, dicloruro de etileno.

No se ha identificado generación de emisiones al aire de COPs (PCDD/F) en fuentes no puntuales y por procesos distintos a la combustión, con excepción de las siguientes actividades:

- Refinación y Almacenamiento de Crudo.
- Uso de Preservantes de la Madera con aplicación de Pentaclorofenol (PCP).

7.2 Empresas y Rubros Potencialmente Emisores

Los rubros que podrían generar mayor cantidad de emisiones de estos contaminantes, tanto por la naturaleza de sus procesos industriales, como por la cantidad de establecimientos existentes en el país son los que se detallan a continuación, identificando entre paréntesis el código CIIU:

- Elaboración de productos alimenticios (C10).
- Elaboración de bebidas (C11).
- Fabricación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho (C16).

- Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón (C17).
- Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles (C19).
- Fabricación de sustancias y productos químicos (C20).
- Fabricación de productos de caucho y de plástico (C22).
- Evacuación y tratamiento de aguas residuales (E37).
- Tratamiento y disposición de residuos sólidos (E38).
- Almacenamiento y actividades complementarias al transporte (H52).

7.3 Compuestos y Contaminantes

La información sobre compuestos orgánicos se obtuvo desde bases de datos internacionales (US-EPA, SPEC, otras). Se identificó un total de 376 compuestos y contaminantes, mediante un código único proporcionado por CASRN, denominación IUPAC y denominación común o comercial. A partir de la información recopilada se aplicaron cuatro criterios de inclusión y exclusión para priorizar compuestos en función de la regulación ambiental internacional, la identificación de su utilización o generación como contaminante en rubros nacionales, toxicidad y las restricciones legales para la circulación del compuesto. La aplicación de los criterios señalados permitió obtener un subconjunto de 63 compuestos *"Prioridad 1"*, para los cuales se realizó una caracterización de toxicidad y clasificación de peligrosidad.

7.4 Medidas Dispuestas en RCAs de la Zona Prioritaria

La revisión de RCAs en la zona prioritaria permitió la identificación de 19 proyectos que cuentan con estimaciones de emisiones atmosféricas de COVs (incluyendo BETX) que han sido sometidas al SEIA. En esta revisión no se encontró ningún proyecto con estimación de emisiones atmosféricas de COPs, en fuentes no puntuales y por procesos distintos a la combustión.

Paralelamente se identificaron los parámetros y la frecuencia de reporte de emisiones de COVs para empresas con compromisos de reporte mediante RCA, estableciendo los organismos a los cuales se realiza dicho reporte.

Las metodologías más utilizadas por los titulares de proyectos corresponden a las establecidas en el documento "AP-42" de la US-EPA.

Se identificaron aproximadamente 40 materias primas y sustancias declaradas por los titulares de los proyectos sometidos al SEIA que potencialmente podrían generar emisiones de COVs y BETX.

Por último, se hallaron siete proyectos que consideran medidas de control y abatimiento específicas para COVs, correspondiendo a: mantas flotantes, doble sello, válvulas de presión/vacío y tanques pintados de blanco para aumentar reflexión solar. Otros dos proyectos mencionan medidas generales, tales como mantención regular de equipos y automatización de procesos.

7.5 Metodologías para la Estimación de Emisiones

Se identificaron metodologías utilizadas en la estimación de emisiones de COVs, COPs y BETX para la elaboración de inventarios de emisiones. Estas metodologías corresponden a:

- Extrapolaciones en base a testeos en las fuentes de emisión.
- Balances de masa/materiales.
- Factores de Emisión.

Se ha realizado una propuesta para adaptar las metodologías de estimación de emisiones de COVs, COPs y BETX utilizadas a nivel internacional, para la elaboración de un Formulario de Declaración basada en factores de emisión de nivel (Tier) 1 y 2. En el transcurso del Estudio se decidió excluir el metano de las estimaciones del Formulario de Declaración por ser un compuesto con propiedades diferentes al resto de COVs y debido a que actualmente es reportado en inventarios nacionales y organizacionales de GEI, para los cuales existen los instrumentos idóneos y metodologías de estimación y reporte.

El uso de factores de emisión de origen internacional se basa en las siguientes consideraciones:

- La simplificación de las metodologías de estimación de emisiones, lo que tiende a minimizar errores y omisiones en las declaraciones.
- El bajo costo de obtención de los datos requeridos para estimar las emisiones, lo que facilita y favorece su estimación y declaración.
- La utilización de datos o niveles de actividad que puedan ser verificados o corroborados por terceros a un costo razonable.

- La compatibilidad y similitud con las metodologías de estimación de emisiones para fuentes puntuales ya existentes en los formularios de declaración del RUEA en la plataforma ventanilla única del RETC.

Las metodologías de estimación de emisiones en base a factores de emisión, en prácticamente la totalidad de los casos, establecen parámetros para la totalidad de compuestos clasificados como COVNMs. Para los casos en que se produzcan emisiones fugitivas desde equipos o instalaciones en los que se almacenen compuestos o mezclas de compuestos saturados o de baja reactividad (principalmente alcanos y refrigerantes) es factible declarar las emisiones para cada uno de estos compuestos, mediante la estimación de la masa o volumen que se libera a la atmósfera, para lo cual cada establecimiento debe disponer de los métodos de estimación adecuados a su propio contexto.

En el caso de estimación de almacenamiento se sustancias orgánicas específicas, es posible estimar las pérdidas o emisiones para mezclas de compuestos o compuestos específicos incluyendo aquellos pertenecientes al subgrupo BETX. Las metodologías propuestas aplicadas al Formulario de Declaración permiten estimar emisiones para 173 compuestos individuales, de los cuales 32 corresponden a compuestos *"Prioridad 1"* según las definiciones y criterios establecidos en el presente Estudio.

En el caso de evaporación de mezclas de combustibles se pueden determinar porcentajes para compuestos específicos mediante los perfiles del combustible. En el desarrollo del presente Estudio se obtuvieron perfiles internacionales para combustibles de uso común tales como la gasolina, el diésel y el queroseno de aviación, entre otros; los que permiten estimar pérdidas o emisiones originadas en el almacenamiento de combustibles líquidos para 10 compuestos específicos.

7.6 Actividades Económicas de Prioridad Alta, Media y Baja

Las actividades determinadas como *"Prioridad Alta"* corresponden a:

- Elaboración de productos alimenticios (C10).
- Elaboración de bebidas (C11).
- Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y actividad de mezcla de combustibles (C19).
- Fabricación de sustancias y productos químicos (C20).
- Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado (D35).

- Evacuación y tratamiento de aguas residuales (E37).
- Almacenamiento y actividades complementarias al transporte (H52).

Las actividades determinadas como *"Prioridad Media"* corresponden a:

- Extracción de petróleo crudo y gas natural (B6).
- Curtido y recurtido de cueros; fabricación de calzado y otros (C15).
- Fabricación de la madera y fabricación de productos de madera (C16).
- Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón (C17).
- Actividades de impresión (C18).
- Fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y otros (C21).
- Fabricación de productos de caucho y de plástico (C22).
- Fabricación de vidrio y productos de vidrio (C2310).

Las actividades determinadas como *"Prioridad Baja"* corresponden a:

- Extracción de carbón de piedra y lignito (B5).
- Extracción de minerales metalíferos (B7).
- Extracción de otras minas y canteras (B8).
- Elaboración de productos de tabaco (C12).
- Fabricación de productos textiles (C13).
- Fabricación de productos minerales no metálicos n.c.p. (C239).
- Industrias básicas de hierro y de acero (C2410).
- Industrias básicas de metales preciosos y de metales no ferrosos (C242) y Fundición de metales (C243).
- Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (C25).
- Fabricación de muebles, colchones y somieres (C31).
- Otras industrias manufactureras (C32).

- Instalación, mantenimiento y reparación especializado de maquinaria y equipo (C33).
- Tratamiento y disposición de residuos sólidos (E38).
- Tratamiento y disposición de residuos peligrosos (E3812).

7.7 Parámetros Externos que influyen en la Generación y Permanencia de COVs en la Atmósfera

Los principales parámetros externos a un establecimiento que influyen en la generación y permanencia de COVs en la atmósfera son:

- Presión y temperatura ambiente.
- Condiciones meteorológicas, principalmente la velocidad del viento y los mecanismos de remoción de COVs (deposición seca y húmeda).
- Presencia de otros compuestos especialmente, en atmósferas contaminadas, la presencia de NO_X.

7.8 Brechas de Información para la Estimación de Emisiones y Propuestas de Mejora

Las principales brechas de información identificadas para la estimación de emisiones son:

- Carencia de información para la caracterización de fuentes de emisión no puntuales.
- Carencia de factores de emisión para COVs individuales en procesos productivos.
- Factores de emisión no específicos para el contexto nacional.
- Limitaciones propias de los métodos de estimación de emisiones.

Las medidas que se proponen para cerrar las brechas identificadas son:

- Realizar una recopilación de información para caracterizar las fuentes no puntuales en rubros prioritarios mediante el registro de las variables asociadas a las características de las fuentes de emisión establecidas en el Formulario de Declaración de emisiones.
- En los casos que lo ameriten, usar métodos alternativos a los factores de emisión para estimar las emisiones de contaminantes puntuales, mediante mediciones o balances de masa.

- Desarrollar factores de emisión específicos para el país.
- Realizar talleres con los declarantes con el fin de recibir retroalimentación, modificando los métodos de estimación de emisiones de acuerdo a las necesidades, restricciones y/o condiciones de establecimientos pertenecientes a actividades de prioridad alta y media.

7.9 Tipos de Almacenamiento para Sustancias Orgánicas

Se identificaron los principales tipos de almacenamientos para combustibles y solventes utilizados a nivel nacional, los que corresponden a:

- Tanques verticales con techo fijo (algunos con cúpula y membrana flotante).
- Tanques con techo flotante exterior (algunos con doble sello y/o membrana flotante interior).

A nivel internacional, los principales almacenamientos para combustibles y solventes corresponden a:

- Tanques de techo fijo.
- Tanques de techo flotante externos.
- Tanques de techo flotante interno.
- Almacenamiento a presión.

7.10 Tipos de Control y Técnicas de Abatimiento

Se realizó una identificación de los tipos de control y técnicas de remoción disponibles para emisiones de COVs, COPs y BETX, los que corresponden a:

- Modificación de Equipos y Procesos.
- Incorporación de Tecnologías de Destrucción:
  - Oxidación Térmica.
  - Oxidación Catalítica.
  - RFR.
  - Biofiltro.
  - Biofiltro empaquetado.

- Scrubber.

- Incorporación de Tecnologías de Recuperación y/o Transferencia:
  - Absorción.
  - Adsorción con Zeolita o Carbón Activado.
  - Condensación.
  - Separación por membrana.

Se determinaron eficiencias de abatimiento para la estimación de emisiones en los rubros de prioridad alta y media.

7.11 Recomendaciones y Procedimientos Normados para Evitar Emisiones

Se determinaron recomendaciones y procedimientos normados aplicables a distintos tipos de almacenamientos:

- Color de los tanques.
- Tanques de techo abierto.
- Tanques de techo flotante externo.
- Tanques de techo fijo.
- Almacenamiento a presión.
- Tanques de techo levadizo.
- Tanques refrigerados.
- Tanques subterráneos o cubiertos de tierra.
- Estanques y balsas.
- Cavidades excavadas atmosféricas a presión y salinas.

Se determinaron recomendaciones y procedimientos normados, bajo las cuales se evitan emisiones en acciones como: carga, descarga, transporte, venteos u otros, que aplican a:

- Tuberías.
- Tratamiento de vapor.
- Válvulas.

- Bombas y compresores.
- Conexiones de muestreo.

Se determinaron las BATs para la manipulación de sustancias, especialmente el uso de solventes y disolventes.

7.12 Formulario de Declaración de Emisiones

Se realizó una propuesta conceptual para el desarrollo del Formulario de Declaración, el que comprende diversas categorías de información que permiten establecer los métodos de estimación, factores de emisión, parámetros de cálculo y niveles de actividad aplicables a cada caso. Se ha propuesto que el formulario contenga tres módulos de declaración en las siguientes categorías:

- Procesos productivos (por rubro/actividad económica).
- Uso de solventes (transversal a todos los rubros/actividades económicas).
- Almacenamiento de sustancias orgánicas (transversal a todos los rubros/actividades económicas).

La elaboración del formulario se basó en las metodologías identificadas y adaptadas para estimar las emisiones de procesos productivos, uso de solventes y almacenamiento de sustancias orgánicas.

En el desarrollo y aplicación del formulario se utilizaron las clasificaciones y categorizaciones que se definieron para materias primas, productos, rubros, actividades económicas y compuestos orgánicos y/o contaminantes.

La cantidad de compuestos "Prioridad 1" que puede estimarse mediante las metodologías de estimación de emisiones aplicadas al formulario es de 32.

Adicionalmente, se han propuesto los siguientes procesos lógicos y recomendaciones de implementación del Formulario de Declaración para evitar o minimizar errores en las declaraciones realizadas por los establecimientos, tales como:

- Ingreso de datos mediante listas desplegables.
- Límite de opciones para actividades y tecnologías.
- Asignación de Factores de Emisión.
- Clasificación automática del establecimiento.

- Información asignada y precargada al establecimiento.
- Límites para niveles de actividad.
- Límites para procesos y productos.
- Confirmaciones por parte del usuario.
- Uso de cifras enteras.

7.13 Aplicación del Formulario de Declaración de Emisiones

En base al esquema conceptual y las maquetas presentadas a la contraparte técnica se elaboró un Formulario de Declaración de emisiones atmosféricas de COVs, COPs y BETX en formato xls para fuentes no puntuales y procesos distintos a la combustión. Este Formulario de Declaración fue puesto a disposición del MMA para ser distribuido a representantes de establecimientos de la zona prioritaria.

La aplicación del formulario a los establecimientos de la zona prioritaria se realizó en noviembre de 2020, obteniéndose las observaciones y/o comentarios de 20 establecimientos, más de un 25% de los establecimientos participantes. La retroalimentación realizada por los representantes de los establecimientos permitió la realización de diversas modificaciones y mejoras al Formulario de Declaración de Emisiones respecto a los siguientes aspectos: diseño, metodología de estimación, instrucciones/especificaciones y alcance. Adicionalmente, se realizaron recomendaciones para el desarrollo e implementación del Formulario de Declaración de Emisiones en el RETC.

7.14 Proceso de verificación y validación para el RETC

Se realizó una revisión de las estadísticas de importación, procesamiento de materias primas y producción de bienes y servicios publicadas por organizaciones públicas y privadas, determinando los procedimientos para realizar chequeos cruzados de niveles de actividad de manera agregada para las actividades económicas priorizadas en el presente Estudio.

8. REFERENCIAS

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2005. Toxicological Profile for Alpha-, Beta-, Gamma-, And Delta-Hexachlorocyclohexane. U.S. Department of Health and Human Services.

Akimoto, H., 2016. *Atmospheric Reaction Chemistry.* Tokyo: Springer Atmospheric Sciences.

Anirudh Krishnamurthy, Busuyi Adebayo, Teresa Gelles, Ali Rownaghi, Fateme Rezaei. Abatement of gaseous volatile organic compounds: A process perspective. Catalysis Today. Volume 350, 15 June 2020, Pages 100-119. https://doi.org/10.1016/j.cattod. 2019.05.069.

Baille, P. Otros, CONCAWE, 2010. Compilation of selected physicalchemical properties of petroleum substances and sulfur (www.concawe.org).

Centro de Ecología Aplicada (CEA), 2013. Análisis de Riesgo Ecológico por Sustancias Potencialmente Contaminantes en el Aire, Suelo y Agua, en las Comunas de Concón, Quintero Y Punchuncaví – Informe Final (v.2). Ministerio del Medio Ambiente.

Cicolella, A. 2008. Les Composés Organiques Volatils (COV): définition, classification et propriétés. Mini-série «composés volatils» coordonnée par J.C. Dalphin. Unité Évaluation des Risques Sanitaires Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, INERIS, Verneuil en Halatte, France. Rev Mal Respir; 2008-25 - 155-63.

CONAMA, 2005. *Plan Nacional de Implementación para la Gestión de los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) en Chile - Fase I: 2006 - 2010.* Santiago de Chile: Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) del Gobierno de Chile.

CONCAWE, 1999. Best available techniques to reduce emissions from refineries. Document N° 99/01. Disponible en: https://www.concawe.eu/publication/document-no-9901/

Dhananjai Sudhakar Borwankar, Design and Performance of a VOC Abatement System Using a Solid Oxide Fuel Cell, tesis, University of Waterloo, 2009.

EMEP/EEA, 2019. Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019.

European Comission (EC), 2006. Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage. Disponible en: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/emissions-storage.

Haagen-Smit, A.J., Bradley, C.E. 1953. Ozone Formation in Photochemical Oxidation of Organic Substances. Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 45, N° 9.

F.I. Khan, A. Kr. Ghoshal. Removal of Volatile Organic Compounds from polluted air, Review. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 13 (2000) 527–545.

Geldermann, J. Rentz, O. 2001. Integrated technique assessment with imprecise information as a support for the identification of best available techniques (BAT). OR Spektrum (2001) 23: 137–157.

Gobierno Vasco, 2007. Guía de apoyo para la implantación del Real Decreto 117/2003 sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades, febrero de 2007.

Grant King, Susie Smith, David Parker y Andrew Macintos. Report of the Expert Panel examining additional sources of low cost abatement Comité de Expertos, Australia, 14 February 2020.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE) de Chile, 2018. Emisiones totales de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) desde fuente móvil, Catálogo del Archivo Nacional de Datos y Metadatos, ANDA (disponible en http://anda.ine.cl/index.php/catalog/10143).

IPCC, 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Hayama, Kanagawa, Japón: National Greenhouse Gas Inventories Programme - IGES.

Kåre A. Eriksson, et all, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health,* Vol. 22, No. 3 (June 1996), pp. 182-190

Kim, M.-S., Kim, J. H., Park, H.-S., Sun, Y. S., Kim, H.-S., Choi, K., & Yi, J., 2007. A new approach for estimating VOC emissions from anthropogenic. *Korean J. Chem. Eng., 24(5)*, 763-773.

Koppmann, R., 2007. *Volatile Organic Compounds in the Atmosphere.* University of Wuppertal, Germany, Blackweel Publishing, ISBN: 978-1-4051-3115-5.

Kumar Vikrant, Ki-Hyun Kim, Jan E. Szulejko, Sudhir Kumar Pandey, R.S. Singh, B.S. Giri, Richard J. C. Brown y S.-H. Lee. Bio-filters for the treatment of VOcs and Odors - A review. Asian Journal of Atmospheric Environment Vol. 11, No. 3, pp. 139-152, September 2017 doi: https://doi.org/10.5572/ajae.2017.11.3.139 ISSN (Online) 2287-1160, ISSN (Print) 1976-6912.

Marin Figueredo, Miguel José. VOC Abatement with Mixed Oxide Catalysts. Tesis Ingeniería Química, Politécnico de Turín, 2018.

Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile (MMA), 2012. *Levantamiento de Antecedentes Sobre los Nuevos Compuestos Orgánicos Persistentes en Chile.* Santiago de Chile: Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile (MMA), 2016. Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Región Metropolitana de Santiago (Dto. 31/2016).

Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile (MMA), 2019. Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunes de Concón, Quintero y Puchuncaví (D.S. 105/2019).

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2019. *Informe Consolidado de Emisiones y Transferencias de Contaminantes. 2005-2017, RETC.* San Martín 73, Santiago Chile: Departamento de Información Ambiental, División de Información y Economía Ambiental.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Ministerio de Salud, 2020. Manual de Usuario Reporte Único de Emisiones Atmosféricas - F138.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), Departamento de Información Ambiental, 2020. RUEA - Manual de Estimación de Emisiones Atmosféricas Sistema RUEA. Disponible en:

https://vu.mma.gob.cl/manuals/ruea/Manual%20Reporte%20Unico%20de%20Emisiones%20Atmosfericas.pdf

Montero-Montoya R., 2018. Volatile Organic Compounds in Air: Sources, Distribution, Exposure and Associated Illnesses in Children. Annals of Global Health: 84(2), pp. 225–238. DOI: https://doi.org/10.29024/aogh.910.

Metcalf & Eddy Inc, Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., Burton, F., Abu Orf, M., *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (Fifth ed.). Mc Graw Hill.

National Provider Identifier (NPI), 2009. Volatile Organic Compound Definition and Information Version 2.7 – September 2009, Australian Government.

Odum, J.R. T. P. W. Jungkamp, R. J. Griffin, R. C. Flagan, J. H. Seinfeld, 1997. The Atmospheric Aerosol-Forming Potential of Whole Gasoline Vapor. Science 04 Apr 1997: Vol. 276, Issue 5309, pp. 96-99.

OECD (2018), Best Available Techniques (BAT) for Preventing and Controlling Industrial Pollution, Activity 2: Approaches to Establishing Best Available Techniques Around the World, Environment, Health and Safety, Environment Directorate, OECD.

ONU, 2009. *Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas (CIIU) - Revisión 4.* Nueva York: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, División de Estadística, Organización de Naciones Unidas (ONU).

Potter, Thomas D.; Colman, Bradley R., 2003. Handbook of Weather, Climate and Water - Atmospheric Chemistry, Hydrology and Societal Impacts. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Reza Iranpour, Huub H.J. Cox, Marc A. Deshusses, y Edward D. Schroederc. Literature Review of Air Pollution Control Biofilters and Biotrickling Filters for Odor and Volatile Organic Compound Removal. Environmental Progress (Vol.24, No.3) 2005.

Schwarzenbach, R., Gschwend, P., & Imboden, D., 2003. *Environmental Organic Chemistry.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N., 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics - From Air Pollution to Climate Change - Second Edition.* New Jersey: John Wiley & Sons.

SII, 2018. *RESOLUCION EXENTA SII N° 56, MATERIA: COMUNICA NUEVA CODIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS.* Servicio de Impuestos Internos, Santiago.

Speijers, G., 1993. VOCs and the environment and public health-health effects. *VOCs in the Environment. Chemistry and Analysis. Blackie*, 24–91.

South Coast Air Quality Management District (AQMD), 2019. Supplemental Instructions for Liquid Organic Storage Tanks South Coast - Annual Emissions Reporting Program.

S.S. Anand, 2014. Volatile organic compounds Encyclopedia of Toxicology (Third Edition).

Tihamer Hargitai, Fredrik A. Silversand, Lars Gunnarsson. Evaluation of catalytic abatement technology for elimination of methane and odor emissions from biogas production plants (Utvärdering av katalytisk reningsteknik för eliminering av metan och luktutsläpp från biogas anläggningar), SGC Rapport 2013:287.

Todd A. Wetzel. Volatile Organic Compounds (VOCs) in indoor air: emission from consumer products and the use of plants for air sampling. Tesis.

US-EPA, 1990. Air Emissions Species Manual, Volume 1: Volatile Organic Compounds Species profiles, second edition, EPA-4502-90-001a, United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, January 1990.

US-EPA, 1995-1996. AP-42: Compilation of Air Emissions Factors.

US-EPA, 1997. *Air Emissions Inventory Improvement Program (EIIP) - Vol. 1 - Introduction to The Emission Inventory Improvement Program.* Morrisville, North Carolina: US-EPA Emission Inventory Improvement Program (EMEP).

US-EPA, 2001. Air Emissions Inventory Improvement Program (EIIP), EIIP Technical Report Series – Volumes: 2 y 3.

US-EPA, 2020. AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 7: Liquid Storage Tanks. Disponible en: www3.epa.gov

Wei-Chieh Chunga, Dan-Hua Meib, Xin Tub, Moo-Been Changa. Removal of VOCs from gas streams via plasma and catalysis. University of Liverpool.

Sitios Web Visitados:

CHARCHEM:

www.charchem.org

EMISSIONS SPECIATION DATABASE, UNIVERSITY OF CALIFORNIA:

https://intra.engr.ucr.edu/~carter/emitdb/

ECHA:

https://echa.europa.eu/es/information-on-chemicals

EPA:

- Distributed Structure-Searchable Toxicity (DSSTox) Database:

https://www.epa.gov/chemical-research/distributed-structure-searchable-toxicity-dsstox-database

- Indoor Air Quality (IAQ), Technical Overview of Volatile Organic Compounds:

https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds

- EPA, Integrated Risk Information System (IRIS) Chemical Search:

https://www.epa.gov/iris

- SPECIATE 5.1 and 5.0 Addendum and Final Report:

https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate-51-and-50-addendum-and-final-report

GREEN FACTS

https://www.greenfacts.org/glossary/tuv/volatile-organic-compound-voc.htm

GOBIERNO DE AUSTRALIA:

https://soe.environment.gov.au/theme/ambient-air-quality/topic/2016/volatile-organic-compounds

ISTAS:

http://www.pops.int

LUNG:

https://www.lung.org/clean-air/at-home/indoor-air-pollutants/volatile-organic-compounds

NCBI:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6339150/

NITE:

https://www.nite.go.jp/en/index.html

PUBCHEM:

pubchem.ncbi.nlm.nih.gov

RETC:

https://retc.mma.gob.cl/

RISTOX:

https://risctox.istas.net/dn_risctox_buscador2.asp?busc=

USGS

https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/volatile-organic-compounds-vocs?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects

OTROS:

http://bancodatosene.ine.cl/

http://sonacol.cl/

http://www.asfalcom.cl/

http://www.bosquesdelmauco.cl/

http://www.gnlquintero.com/

http://www.gnlquintero.com/terminal/infraestructura/muelle.htm

http://www.linde-gas.cl/es/index.html

http://www.pesqueraquintero.com/

http://www.prtr-es.es/

http://www.sii.cl/normativa_legislacion/resoluciones/2018/reso56_anexo1.pdf

http://www.sii.cl/sobre_el_sii/estadisticas_y_estudios_del_sii.html

https://cbb.cl/

https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/search/index.cfm

https://echa.europa.eu/

https://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=432_VOC_spec

https://erainforma.enap.cl/seccion/terminal-maritimo-quintero/

https://gasmar.cl/

https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/convenio-estocolmo-contaminantes-organicos-persistentes

https://portal.sma.gob.cl/

https://si3.bcentral.cl/siete

https://www.abastible.cl/

https://www.aduana.cl/aduana/site/edic/base/port/estadisticas.html

https://www.basf.com/cl

https://www.bitumix.cl/

https://www.cas.org/

https://www.codelco.com/ventanas

https://www.eea.europa.eu//publications/emep-eea-guidebook-2019

https://www.embonor.cl/wps/wcm/connect/embonor/sitio/home/

https://www.enap.cl/

https://www.enap.cl/pag/94/891/refineria_aconcagua

https://www.enex.cl/

https://www.epa.gov/

https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate

https://www.epa.gov/chemical-research/distributed-structure-searchable-toxicity-dsstox-database

https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds

https://www.guiachileenergia.cl/empresa-electrica-campiche-s-a/

https://www.guiachileenergia.cl/empresa-electrica-ventanas-s-a/

https://www.guiachileenergia.cl/termoelectrica-colmito-s-a/

https://www.guidechem.com/

https://www.iarc.fr/

https://www.lipigas.cl/

https://www.melon.cl/

https://www.metso.com/cl/industrias/mineria/

https://www.ncasi.org/technical-studies/air/emission-factors/air-toxics/

https://omnexus.specialchem.com/

https://www.oxiquim.com/

https://www.oxiquim.com/quienes-somos/

https://www.pbl.nl/en

https://www.sea.gob.cl/

https://www.who.int/es

ANEXO 1: ACRÓNIMOS Y SIGLAS

La Tabla 30 presenta los acrónimos y abreviaturas utilizados a lo largo del presente documento.

Tabla 30. Acrónimos y Abreviaturas

Conceptos y Términos Técnicos	
AGIES	Análisis General del Impacto Económico y Social
BAT	Best Available Techniques (Mejores Técnicas Disponibles)
BOF	Basic Oxygen Steel Making Furnaces
BREF	BAT Reference Documents (Documentos de Referencia BAT)
CEMS	Continuous Emission Monitoring Systems (Sistemas de Monitoreo Continuo de Emisiones)
DRE	Destruction and Removal Efficiency (Eficiencia de Destrucción y Remoción).
EAF	Electric Arc Furnaces
ITCZ	Intertropical Conversion Zone (Zona de Convergencia Intertropical)
LDAR	Leak Detection and Repair (Detección y Reparación de Fugas)
LEL	Lower Explosive Limit (Límite Inferior de Explosión
LTE	Local Thermal Equilibrium (Equilibrio Térmico Local)
MIR	Maximum Incremental Reactivity (Reactividad Incremental Máxima)
NTP	Non Thermal Plasma/Non Equilibrium Plasma (Plasma No Térmico)
OHF	Open Hearth Furnaces
OSB	Oriented Strand Board (Tablero de Virutas Orientadas)
PCG	Potencial de Calentamiento Global
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential (Potencial Fotoquímico de Creación de Ozono)
PSA	Pressure Swing Adsorption (Adsorción por Oscilación de Presión)
QA/QC	Quality Assurance/Quality Control (Combinación de Aseguramiento y Control de Calidad)
RFR	Reverse Flow Reactor (Reactor de Flujo Inverso)
RILes	Residuos Industriales Líquidos
RSD	Residuos Sólidos Domiciliarios
RTO	Regenerative Thermal Oxidizer (Incineradores Térmicos Regenerativos)
RVP	Reid Vapor Presusure (Presión de Vapor Reid)
TFI	Techo Flotante Interno
TSA	Temperature Swing Adsorption (Adsorción por Oscilación Térmica)
TVP	True Vapor Pressure (Presión de Vapor Verdadera)
VRU	Vapour Recovery Unit
Contaminantes y Compuestos	
ABS	Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno
APP	Polifosfato de amonio
BETX/BTEX	Benceno, Etilbenceno, Tolueno y Xileno
BFRs	Brominated Flame Retardants
CFC	Clorofluorocarbonos
CO_2	Dióxido de carbono
COPs	Compuestos Orgánicos Persistentes
COSVs	Compuestos Orgánicos Semi-Volátiles

COVNMs	Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos
COVs	Compuestos Orgánicos Volátiles
DCM	Diclorometano
DMS	Dimetilsulfato/Sulfato de dimetilo
DDT	Diclorodifeniltricloroetano
EPS	Expandable Poliestyrene (Poliestireno Expandible)
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GLP	Gas Licuado de Petróleo
GNL	Gas Natural Licuado
GPSS	General Purpose Poliestyrene (Producción de Poliestireno de Uso General)
HAP	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
HBB	Hexabromobifenil
HBCD	Hexabromocyclododecane (Hexabromociclodecano)
HCB	Hexaclorobenceno
HCFC	Hidroclorofluorocarbonos
HCH	Hexaclorociclohexano
HCL	Cloruro de hidrógeno
Hepta-BDE	Heptabromodifenil éter
Hexa-BDE	Hexabromodifenil éter
HF	Fluoruro de hidrógeno
HFC	Hidrofluorocarbonos
HIPS	High Impact Poliestyrene (Poliestireno de Alto Impacto)
IPA	Isopropyl Alcohol (alcohol isopropílico)
MP	Material particulado
MTBE	Metil Ter-Butil Éter
HCNM	Hidrocarburos No Metánicos
NOx	Óxidos de Nitrógeno
Octa-PBDE	Éter de Octabromodifenilo
OVOCs	Oxygenated Volatile Organic Compounds (Compuestos Orgánicos Volátiles Oxigenados)
PAN	Peroxy Acetyl Nitrate (Nitrato de Peroxiacilo)
PBB	Bifenilos polibromados
PBDEs	Polybrominated Diphenyl Ethers (Éteres de polibromodifenil)
PCB	Bifenilos policlorados
PCBs	Polychlorinated Biphenyls (Bifenilos Policlorados)
PCDD/Fs	Polychlorinated Dibenzodioxins and Dibenzofurans (dioxinas y furanos)
PCM	Policloroalcanos
PCP	Pentaclorofenol
PeCB	Pentaclorobenceno
PentaBDE	Éter de Pentabromodifenilo
PFCs	Perfluorocarbonos
PFOS	Ácido Perfluorooctanosulfónico
PFOS-F	Perfluorooctanosulfonato de Flúor
POCs	Plaguicidas Organoclorados
PTS	Partículas Totales en Suspensión

PVC	Polyvinyl chloride (Cloruro de polivinilo)
Resinas UF	Resinas Urea-Formaldehído
ROG	Reactive Organic Gases (Gases Orgánicos Reactivos)
SBR	Styrene-Butadiene Rubber (Caucho Estireno-Butadieno)
SO2	Dióxido de azufre
SOA	Secondary Organic Aerosol (Aerosoles Orgánicos Secundarios)
TBBP-A	Tetrabromobisphenol-A
TetraBDE	Tetrabromodifenil éter
TOC	Total Organic Compounds (Compuestos Orgánicos Totales)
TPP	Fosfato de trifenilo
β-HCH	Beta Hexaclorociclohexano
Instituciones, Programas, Estudios, Regulaciones y Clasificaciones	
AFOLU	Agriculture, Forestry and Other Land Use
ALA	American Lung Association
AP42	Compilation of Air Pollutant Emissions Factors
APEI	Canada's Air Pollutant Emissions Inventory (Inventario de Emisiones Contaminantes del Aire del Gobierno de Canadá)
API	American Petroleum Institute
AQS	US-EPA Air Quality Systems
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Agencia de Registro de Enfermedades y Sustancias Tóxicas de Estados Unidos)
BNE	Balance Nacional de Energía
CAA	Clean Air Act
CAS	Chemical Abstract Service
CASRN	Chemical Abstracts Service Registry Number
CCF8	Código de Clasificación de Fuentes con sus ocho dígitos
CCP	Clasificación Central de Productos de las Naciones Unidas
CE	Comunidad Europea
CEA	Centro de Ecología Aplicada
CERCLIS3	Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Information System - 3
CFR	Código de Regulaciones Federales De Estados Unidos
CIIU	Clasificación Internacional Industrial Uniforme
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente
D.S.	Decreto Supremo
DIA	Declaración de Impacto Ambiental
DSSTox	Distributed Structure-Searchable Toxicity Database US-EPA (Base de Datos Distribuida de Toxicidad con Búsqueda de Estructuras)
ECHA	European Chemicals Agency
EEA	European Environment Agency (Agencia Europea del Medio Ambiente)
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
EIIP	Air Emissions Inventory Improvement Program
EIS	Emissions Inventory System (Sistema de Inventario de Emisiones)
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme (Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación de Emisiones)
ENAP	Empresa Nacional del Petróleo

FDS/HDS	Fichas/Hojas de Datos de Seguridad
FE	Factor de Emisión
GHS	Global Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos de Naciones Unidas)
IARC	International Agency for Research on Cancer (Agencia internacional de Investigación del Cáncer)
ICIS	Integrated Compliance Information System for Air
ICS	Ilustre Corte Suprema
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
IPPU	Industrial Processes and Product Use (Procesos Industriales y Uso de Productos)
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada)
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
NCASI	National Council on Air and Stream Improvement for the Pulp and Paper Industry (Consejo Nacional para la Mejora del Aire y la Corriente para la Industria de la Pulpa y el Papel)
NCh	Norma Chilena
NILU	Norsk institutt for luftforskning (Instituto Noruego de Investigación del Aire)
OMA	Organización Mundial de Aduanas
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de Naciones Unidas
PNI	Plan Nacional de Implementación para la Gestión de los Contaminantes Orgánicos Persistentes
PPDA	Plan Prevención y Descontaminación Atmosférica
RCA	Resolución de Calificación Ambiental
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes
RMS	Región Metropolitana de Santiago
RUEA	Reporte Único de Emisiones Atmosféricas
SCN	Sistema de Cuentas Nacionales
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SEMS	Superfund Enterprise Management System
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SITC	Standard International Trade Classification (Clasificación Estándar Internacional de Comercio)
SOCMI	Synthetic Organic Chemical Manufacturing Industry (Industria de Fabricación de Productos Químicos Orgánicos Sintéticos)
TMQ	Terminal Marítimo Quintero
UE	Unión Europea
UNCCS	United Nations Common Coding System (Sistema de Codificación Común de las Naciones Unidas)
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
UNEP/PNUMA	United Nations Environment Programme/Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
US-EPA	U.S. Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos)
USGS	U.S. Geological Survey (Servicio Geológico de Estados Unidos)
Unidades de Medición	
µg TEQ	Microgramos equivalentes tóxicos
BTU	Unidad térmica británica
C	Celsius
cal	Caloría
cc	Centímetro cúbico

g	Gramo
G	Giga (10^9)
h	Hora
hl	hectolitro (100 L)
J	Joule
K	Kelvin
k	kilo (10^3)
L/l	Litro
m	Metro
m	mili (10^{-3})
m^3	Metros cúbicos
Pa	Pascales
ppb	Partes por billón (10^{-9})
ppm	Partes por millón (10^{-6})
ppt	Partes por trillón (10^{-12})
T	Tera [10^{12}]
t/ton	Tonelada

ANEXO 2: IDENTIFICACIÓN CODIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE MATERIAS PRIMAS, PRODUCTOS INTERMEDIOS Y/O FINALES E IDENTIFICACIÓN DE FUENTES NO PUNTUALES ASOCIADAS

Los resultados se presentan en el **Anexo Digital 2-A-B-C** en archivo *Anexo Digital 1-7 Informe MP-226-2020 [24.12.2020].xls*

ANEXO 3: IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS Y RUBROS

Los resultados se presentan en el **Anexo Digital 3-A-B-C** en archivo *Anexo Digital 1-7 Informe MP-226-2020 [24.12.2020].xls*

ANEXO 4: IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS Y CLASIFICACIÓN DE PELIGROSIDAD

Los resultados se presentan en el **Anexo Digital 4-A-B** en archivo *Anexo Digital 1-7 Informe MP-226-2020 [24.12.2020].xls*

ANEXO 5: REVISIÓN DE RESOLUCIONES DE CALIFICACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA PRIORITARIA

La Tabla 31 presenta las RCAs revisadas de los proyectos localizados en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Los resultados se presentan en el **Anexo Digital 5** en archivo *Anexo Digital 1-7 Informe MP-226-2020 [24.12.2020].xls*

Tabla 31. RCAs revisadas para Proyectos Localizados en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví

Rubro	Comuna	Proyecto	Link SEIA	Titular	RCA
Energía	Puchuncaví	Módulos de desalación de agua de mar, Ventanas Nº 3	Ver	Empresa Eléctrica Ventanas S.A	24/2019
Energía	Concón	?Adecuaciones Operacionales Cogeneradora Aconcagua?	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	6/2019
Energía	Concón	PMGD CONCON GNL	Ver	Lipigas S.A.	295/2016
Energía	Quintero	Generación Eléctrica de Respaldo para Terminal GNL Quintero	Ver	GNL Quintero S.A.	80/2012
Energía	Concón	Ampliación de Proyecto Respaldo Eléctrico Colmito	Ver	Termoeléctrica Colmito Limitada	734/2008
Energía	Puchuncaví	Central Termoeléctrica Campiche	Ver	Empresa Electrica Campiche S.A.	275/2010
Energía	Quintero	Central Termoeléctrica Quintero	Ver	Enel Generación Chile S.A	922/2008
Energía	Puchuncaví	Ajuste de la Disposición General de las Instalaciones de la Central Nueva Ventanas	Ver	Empresa Eléctrica Ventanas S.A.	307/2007
Energía	Concón	Central Combinada ERA	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	318/2007
Energía	Puchuncaví	Cambio de Combustible de la Central Termoeléctrica Nueva Ventanas	Ver	Empresa Eléctrica Ventanas S.A.	1632/2006
Energía	Concón	Respaldo Eléctrico Colmito	Ver	Termoeléctrica Colmito Limitada	328/2006
Energía	Puchuncaví	Central Termoeléctrica Nueva Ventanas (LFC)	Ver	Empresa Eléctrica Ventanas S.A.	1124/2006
Infraestructura Portuaria	Puchuncaví	Ampliación, Mejoramiento y Modernización del Sistema de Embarque de Concentrados de Cobre en Puerto Ventanas	Ver	Puerto Ventanas S.A.	249/2014
Infraestructura Portuaria	Puchuncaví	Proyecto Sitio 6	Ver	Puerto Ventanas S.A.	229/2004
Infraestructura Portuaria	Puchuncaví-Quintero	Aumento de Capacidad Fase 2 del Terminal GNLQ	Ver	GNL Quintero S.A.	140/2016
Infraestructura Portuaria	Puchuncaví-Quintero	Terminal Multipropósito Oxiquim, Bahía de Quintero	Ver	Oxiquim S.A.	16/2017
Infraestructura Portuaria	Quintero	Modificación Proyecto TT/MM Shell Quintero, Tercera y Cuarta Línea Submarina	Ver	Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A...	272/2008
Infraestructura Portuaria	Quintero	MODIFICACIÓN DEL MUELLE DEL TERMINAL MARÍTIMO DE GAS NATURAL LICUADO	Ver	GNL Quintero S.A.	141/2007
Infraestructura Portuaria	Puchuncaví-Quintero	Terminal de Gas Natural Licuado (GNL) en Quintero	Ver	GNL Quintero S.A.	323/2005
Infraestructura Portuaria	Puchuncaví-Quintero	Descarga Almacenamiento y Regasificación de Gas Natural Licuado (GNL)	Ver	OXIQUIM S.A.	71/2007
Infraestructura Portuaria	Quintero	TT/MM SHELL QUINTERO	Ver	Empresa Nacional de Energía Enex S.A.	239/2004
Infraestructura Portuaria	Puchuncaví	DIA Ampliación Terminal Marítimo de Quintero	Ver	OXIQUIM S.A.	686/2009
Infraestructura Portuaria	Quintero	Terminal Marítimo de Quintero	Ver	Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A...	21/2002
Infraestructura Portuaria	Quintero	Aumento de la Capacidad de Almacenamiento de Petróleo Crudo en Terminal Marítimo de Quintero	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	61/2001

Rubro	Comuna	Proyecto	Link SEIA	Titular	RCA
Instalaciones fabriles varias	Puchuncaví	Planta Industrial de Molienda de Cemento, Ventanas, V Región	Ver	MELON S.A.	87/2007
Instalaciones fabriles varias	Puchuncaví	TRASLADO PLANTA DE MOLIENDA Y MEZCLA DE SUSTANCIAS GRANULARES	Ver	GONZALO HEVIA GUERRA	274/2005
Instalaciones fabriles varias	Puchuncaví	Proyecto Planta de Resinas Sintéticas	Ver	OXIQUIM S.A.	609/1999
Instalaciones fabriles varias	Puchuncaví-Quintero	Ampliación Terminal Marítimo Quintero Oxiquim S.A.	Ver	Oxiquim S.A.	24/2013
Instalaciones fabriles varias	Concón	INSTALACIÓN NUEVAS CALDERAS ÁREA DE SUMINISTROS	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	42/2007
Instalaciones fabriles varias	Quintero	AMPLIACIÓN CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE PLANTA STYROPOR	Ver	Styropek Chile SpA	764/2006
Instalaciones fabriles varias	Concón	Fabricación, Envasado y Suministro de Hidrógeno y Anhidrido Carbónico	Ver	Linde Gas Chile S.A.	215/2005
Instalaciones fabriles varias	Puchuncaví	PLANTA DE MOLIENDA DE CEMENTO, PUERTO VENTANAS	Ver	Materiales de Construcciòn Ventanas S.A.	220/2005
Instalaciones fabriles varias	Concón	Reemplazo de Caldera de Vapor en Terminal Quintero	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	55/2004
Instalaciones fabriles varias	Concón	Instalación de la Nueva Unidad de Recuperación de Azufre de Gases de Proceso de RPC	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	5/2002
Instalaciones fabriles varias	Concón	Planta de Desulfuración de Gasolinas de Cracking Catalítico	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	30/2002
Instalaciones fabriles varias	Quintero	Traslado Operaciones Las Salinas Fase I Planta de Lubricantes Quintero	Ver	Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A...	299/1999
Instalaciones fabriles varias	Concón	Ampliación Planta de Producción de Styropor	Ver	Styropek Chile SpA	184/1998
Instalaciones fabriles varias	Quintero	Conversión a Gas Natural de los Procesos de Fundición Refineria de Ventanas de ENAMI	Ver	CODELCO DIVISION VENTANAS	48/1998
Oleoducto y gasoducto	Quintero	Oleoducto de Conexión ENEX-SONACOL	Ver	Sociedad Nacional de Oleoductos S.A.	17/2019
Oleoducto y gasoducto	Quintero	Oleoducto de Central Termoeléctrica Quintero	Ver	Enel Generación Chile S.A	
Oleoducto y gasoducto	Puchuncaví-Quintero	OLEODUCTO QUINTERO - VENTANAS	Ver	Empresa Nacional de Energía Enex S.A.	934/2006
Oleoducto y gasoducto	Quintero	Oleoducto RPC - Planta Lubricantes COPEC Quintero	Ver	Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A...	79/2003
Oleoducto y gasoducto	Quintero	Nueva Línea de Combustible Terminal Marítimo Bahía de Quintero	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	91/2002
Oleoducto y gasoducto	Quintero	Red de Ductos Quintero Concón	Ver	Sonacol S.A.	50/99
Oleoducto y gasoducto	Quillota-Puchuncaví-Quintero	Gasoducto Quintero - Quillota	Ver	ELECTROGAS S.A.	1500/2006
Oleoducto y gasoducto	Concón	Cañería Transportadora de Gas Licuado entre la Refinería de Petróleo Con-Con y Planta Abastible Con-Con	Ver	Abastecedora de Combustibles S.A.	70/1998
Producción y almacenamiento sustancias	Concón	Almacenamiento de Sustancias Peligrosas	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	379/2017
Producción y almacenamiento sustancias	Puchuncaví	Tratamiento de Gases Secundarios del Convertidor Teniente	Ver	CODELCO DIVISION VENTANAS	294/2016
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	AMPLIACIÓN TERMINAL DE PRODUCTOS IMPORTADOS QUINTERO	Ver	Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A...	250/2014
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	Ampliación Terminal Proyecto TK-5	Ver	gasmar s.a.	34/2013
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	Centro de almacenamiento para residuos peligrosos y recuperación de tambores y contenedores IBC.	Ver	Stericycle Minería SpA	72/2011

Rubro	Comuna	Proyecto	Link SEIA	Titular	RCA
Producción y almacenamiento sustancias	Puchuncaví	Modificación Patio de Carga de Camiones con GNL	Ver	GNL Quintero S.A.	45/2010
Producción y almacenamiento sustancias	Viña del Mar-San Antonio-Puchuncaví-Casablanca-Valparaíso-Quintero-Concón	Transporte de barros de limpieza de refinería	Ver	CODELCO DIVISION VENTANAS	25/2010
Producción y almacenamiento sustancias	Puchuncaví	AMPLIACION CAPACIDAD DE ACOPIO CONCENTRADOS DE COBRE EN PUERTO VENTANAS	Ver	Puerto Ventanas S.A.	09/2010
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	Proyecto Aumento de Capacidad de Producción Planta Dispersiones - Fábrica Concón	Ver	BASF Chile S.A.	1367/2009
Producción y almacenamiento sustancias	Puchuncaví	Patio de Carga de Camiones con GNL	Ver	GNL Quintero S.A.	1291/2009
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	Estanque de Almacenamiento de Productos Limpios T-5024 Terminal Quintero	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	155/2009
Producción y almacenamiento sustancias	Concón	Modificación Proyecto Planta de Combustibles ConCon	Ver	Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A...	1536/2008
Producción y almacenamiento sustancias	Puchuncaví	PROYECTO OPTIMIZACIÓN DE CELDAS ELECTROLÍTICAS	Ver	CODELCO DIVISION VENTANAS	462/2008
Producción y almacenamiento sustancias	Puchuncaví	Ampliación de Capacidad de Almacenamiento Terminal Marítimo Quintero OXIQUIM S.A	Ver	OXIQUIM S.A.	338/2007
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	DIA Construccion Etapa II TPI Bunkers	Ver	Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A...	339/2007
Producción y almacenamiento sustancias	Puchuncaví	QUINTO HORNO DESELENIZACION PLANTA METALES NOBLES VENTANAS	Ver	CODELCO DIVISION VENTANAS	157/2007
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	Estanques de Almacenamiento de Crudo T-5101 y T-5107, Terminal Quintero	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	4/2006
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	Ampliación Capacidad Terminal Puerto Ventanas	Ver	PANIMEX QUIMICA S A	311/2005
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	Terminal de Productos Importados	Ver	Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A...	304/2005
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	Proyecto Cuarto Estanque de LPG	Ver	gasmar s.a.	239/2005
Producción y almacenamiento sustancias	Concón	Instalacion de Estanque para Gasolina-DIPE en RPC S.A.	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	65/2004
Producción y almacenamiento sustancias	Concón	Complejo Industrial para Aumentar la Capacidad de la Refinería de Concón para producir Diesel y Gasolina	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	159/2003
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	Aumento de Capacidad de Almacenamiento de Diesel en Terminal Quintero	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	223/2002
Producción y almacenamiento sustancias	Concón	Aumento de la Capacidad de Almacenamiento de Productos en RPC S.A.	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	09/2003
Producción y almacenamiento sustancias	Concón	Planta Productora de Gases del Aire INDURA S.A.	Ver	INDURA S.A. Industria y Comercio	188/2002

ESTIMACIÓN DE COVs, COPs, BETX U OTROS CON POTENCIAL EFECTO SOBRE LA SALUD HUMANA

Rubro	Comuna	Proyecto	Link SEIA	Titular	RCA
Producción y almacenamiento sustancias	Puchuncaví	Construcción Depósitos de Graneles Líquidos	Ver	Terquim S.A.	111/2002
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	Transporte Almacenamiento y Dosificación a Granel de Diciclopentadieno	Ver	Basf Planta Concón	673/2001
Producción y almacenamiento sustancias	Concón	Planta de Combustibles - Concón	Ver	Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A...	378/2001
Producción y almacenamiento sustancias	Puchuncaví	Proyecto Bodega de Concentrados de Cobre en Puerto Ventanas	Ver	Puerto de Ventanas S.A.	263/2000
Producción y almacenamiento sustancias	Concón	Ampliación Planta Concón Abastecedora de Combustibles S.A.	Ver	Abastecedora de Combustibles S.A.	199/1999
Producción y almacenamiento sustancias	Quintero	Proyecto de Instalación Nuevos Estanques de Almacenamiento de Fenol	Ver	OXIQUIM S.A.	142/1998
Producción y almacenamiento sustancias	Puchuncaví	Terminal de Asfaltos y Combustibles Cordex	Ver	Empresa Nacional de Energía Enex S.A.	01/1999
Producción y almacenamiento sustancias	Concón	Instalación de Estanque de Pentano de 75 m3 Basf Planta Con-Con	Ver	Styropek Chile SpA	47/1998
Producción y almacenamiento sustancias	Puchuncaví	Ampliación del Terminal Marítimo Oxiquim S.A.	Ver	OXIQUIM S.A.	51/1998
Producción y almacenamiento sustancias	Concón	Planta de Produccion de DI-ISO-PROPIL-ETER	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	19/1997
Saneamiento	Puchuncaví	Regularización y Optimización Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Marbella	Ver	SERVICIOS SANITARIOS MARBELLA S.A.	175/2015
Saneamiento	Quintero	Planta de Conversión de Aceites Residuales a Aditivo	Ver	Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A...	228/2013
Saneamiento	Puchuncaví	Plan de Cierre y Sellado del Centro de Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos. Comuna de Puchuncaví	Ver	Ilustre Municipalidad de Puchuncaví	91/2012
Saneamiento	Concón	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RILES, PLANTA LIPIGAS, CONCÓN	Ver	Lipigas S.A.	155/2011
Saneamiento	Puchuncaví	Manejo y Disposición de RISES de combustión del Complejo Termoeléctrico Ventanas	Ver	AES GENER S.A	57/2011
Saneamiento	Quintero	Regularización del Sistema de Recirculación de Aguas de Proceso	Ver	Inversiones Bosques del Mauco S.A.	1290/2009
Saneamiento	Puchuncaví	Proceso de Neutralización del efluente ácido de la Planta de Acido	Ver	CODELCO DIVISION VENTANAS	1369/2009
Saneamiento	Quilpué-San Antonio-Valparaíso-Quintero	ESTERILIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS SÓLIDOS NACIONALES E INTERNACIONALES	Ver	SUPPLY MARITIME SERVICES LTDA.	176/2007
Saneamiento	Quintero	Modificación a la Disposición Final de RILes	Ver	BASF Chile S.A. - Planta Concón	659/2006
Saneamiento	Puchuncaví	Planta Piloto Tratamiento de Polvos de Electrofiltros Fundición	Ver	CODELCO DIVISION VENTANAS	105/2005
Saneamiento	Quintero	MEJORAMIENTO SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RILES DEL TERMINAL QUINTERO	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	53/2005
Saneamiento	Concón	Modificación Planta de Compostaje Luz Verde	Ver	CONSTRUCTORA CAM Y ASOCIADOS	42/2005
Saneamiento	Concón	Punto de Descarga Alternativo para Aguas de Refrigeración en caso de Emergencias	Ver	ENAP REFINERIAS S.A	204/2004
Saneamiento	Puchuncaví	PROCESAMIENTO DE SALES METALICAS	Ver	Minera Montecarmelo Sociedad Anonima	230/2004
Saneamiento	Puchuncaví	Planta de Tratamiento de RILES de Fundición y Refinería Ventanas	Ver	CODELCO DIVISION VENTANAS	161/2004

Rubro	Comuna	Proyecto	Link SEIA	Titular	RCA
Saneamiento	Puchuncaví	Tratamiento de Polvos de Fundición	Ver	DOMVILE Y ASOCIADOS LTDA	87/2003
Saneamiento	Concón	Unidad de Reducción de Fenoles en Aguas de Proceso en RPC S.A.	Ver	ENAP Refinerías S.A.	809/2001
Saneamiento	Concón	Sistema de Recolección Tratamiento Preliminar y Disposición de Aguas Servidas de Concón Oriente	Ver	ESVAL S.A.	515/2001
Saneamiento	Puchuncaví	Ampliación de Depósito de Cenizas de Carbón de Planta Termoeléctrica Las Ventanas	Ver	AES GENER S.A	888/01
Saneamiento	Concón	Obras Complementarias Sector Higuerillas	Ver	ESVAL S.A.	450/2000
Saneamiento	Quintero	Proyecto Habilitación Sistema de Tratamiento de Aguas Industriales	Ver	Pesquera Quintero S.A.	07/2000
Proyectos mineros	Quintero	Proyecto Habilitación y Recuperación de Suelo Parcela Médanos Ex Hacienda Normandie	Ver	Ahorros Inversiones y Rentas S.A. (AIRSA)	8/2015
Proyectos mineros	Puchuncaví	Planta de Flotación Los Maitenes	Ver	Compañía Minera Tocopilla S.A.	5/1997

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO 6. FACTORES Y PARÁMETROS DE CÁLCULO PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES EN P´ROCESOS PRODUCTIVOS Y ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS

Los resultados se presentan en el **Anexo Digital 6-A-B-C-D** en archivo *Anexo Digital 1-7 Informe MP-226-2020 [24.12.2020].xls*

ANEXO 7. EFICIENCIAS DE REMOCIÓN PARA TÉCNICAS DE ABATIMIENTO EN PROCESOS PRODUCTIVOS

Los resultados se presentan en el **Anexo Digital 7** en archivo *Anexo Digital 1-7 Informe MP-226-2020 [24.12.2020].xls*

ANEXO 8. FORMULARIO DE DECLARACIÓN DE EMISIONES Y METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN APLICADA

Los resultados se presentan en el **Anexo Digital 8** en archivo *Anexo Digital 8 Informe MP-226-2020 [24.12.2020].xls.*

ANEXO 9. LISTA DE PARTICIPANTES EN LA APLICACIÓN DEL FORMULARIO DE DECLARACIÓN DE EMISIONES Y OBSERVACIONES Y/O COMENTARIOS RECIBIDOS

Los resultados se presentan en el **Anexo Digital 9** en archivo *Anexo Digital 9 Informe MP-226-2020 [24.12.2020].xls.*