000085

Informe Número

1598866

Original

# Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Revisión de la Norma de Emisión de Compuestos TRS y Generadores de Olor, Asociados a la Fabricación de Pulpa Kraft

**ID Licitación: 608897-97-LE22**

**Estudio solicitado por Subsecretaría del Medio Ambiente**

**INFORME FINAL – Revisión de la Norma de Emisión de Compuestos TRS y Generadores de Olor, Asociados a la Fabricación de Pulpa Kraft**

**Santiago, mayo de 2023**

**Título del Proyecto**

Generación de Antecedentes Técnicos y Económicos para la Revisión de la Norma de Emisión de Compuestos TRS y Generadores de Olor, Asociados a la Fabricación de Pulpa Kraft

**Cuerpo del informe**

273 hojas (incluye portada)

**Autores:**

Jefe de proyecto: Fabio Carrera (UV)

Asesores expertos: Luis Cifuentes

Equipo operativo: José Miguel Valdés, Camila Piñones, Alondra Gómez, Alejandro Bañados, Viviana Cerda Gho.

DICTUC S.A.

Vicuña Mackenna Nº 4860, Macul – Santiago

**Fecha del informe**

31/mayo/2023

**Información Contractual**

Correlativo Contrato:

OC N°: 608897-307-SE22

**Datos Mandante**

Razón Social: Subsecretaría del Medio Ambiente

RUT: 61.979.930-5

Dirección: San Martín 73, Santiago

**Contraparte técnica**

Nombre: Jessica Salas/ Danae Orellana

Cargo: Profesionales Ministerio del Medio Ambiente

**Resumen**

El presente proyecto tiene como objetivo levantar antecedentes técnicos y económicos para fundamentar una propuesta regulatoria de la revisión del DS37/2013 del MMA norma de emisión de compuestos TRS, generadores de olor asociados a la fabricación de pulpa Kraft.

Sr. Luis Cifuentes

Director GreenLab

DICTUC S.A.

Sr. Felipe Bahamondes

Gerente General

DICTUC S.A.

# Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos ..... I

Lista de Tablas ..... VI

Lista de Figuras ..... X

Acrónimos y Abreviaturas ..... XIV

**1. Objetivos del estudio ..... 1**

1.1 Objetivo general ..... 1

1.2 Objetivos específicos ..... 1

1.3 Alcance del presente informe ..... 6

**2. Antecedentes del sector ..... 10**

2.1 Antecedentes generales ..... 10

2.2 Descripción del proceso productivo de la pulpa Kraft o al sulfato ..... 11

*2.2.1 Línea de Fibra ..... 12*

*2.2.2 Sistema de recuperación ..... 15*

*2.2.3 Ciclo de cal ..... 17*

*2.2.4 Venteos ..... 18*

*2.2.5 Tratamiento de aguas residuales ..... 18*

2.3 Caracterización Compuestos TRS ..... 21

2.4 Plantas de Celulosa existentes en Chile ..... 22

*2.4.1 Descripción de los regulados ..... 23*

2.5 Análisis de denuncias ..... 24

2.6 Conflictos socioambientales ..... 29

**3. Evaluación del nivel de cumplimiento de la normativa vigente por parte de los regulados ..... 31**

3.1 Exigencias de la normativa y fuentes de información ..... 31

*3.1.1 Fuentes de información disponible ..... 31*

*3.1.2 Resumen DS37/2013 del MMA ..... 33*

3.2 Análisis del nivel de cumplimiento ..... 35

*3.2.1 Análisis general ... 35*

*3.2.2 Caldera recuperadora ... 40*

*3.2.1 Horno de cal ... 42*

*3.2.2 Caldera de poder e incinerador dedicados ... 44*

*3.2.3 Caldera de poder e incinerador de respaldo ... 45*

*3.2.4 Estanque disolvedor de licor verde ... 48*

3.3 Análisis de venteos ... 49

*3.3.1 Frecuencia y duración de venteos ... 49*

*3.3.2 Distribución temporal de venteos ... 58*

*3.3.3 Puntos de venteos ... 63*

*3.3.4 Causas de venteos ... 67*

3.4 Resumen del análisis de cumplimiento normativo ... 69

3.5 Proyectos ingresados al SEIA y su evaluación de impacto odorante ... 71

*3.5.1 Proyectos ingresados al SEIA post publicación del DS37/2013 del MMA y su evaluación y/o exigencias en materia de olores ... 76*

*3.5.2 Consideración de TRS y otras emisiones ... 82*

3.6 Solicitudes de Pertinencias ingresadas al SEIA ... 83

*3.6.1 Solicitudes de Pertinencias ingresadas post publicación del DS37/2013 del MMA . 86*

3.7 Costos de implementación del DS37/2013 del MMA ... 92

*3.7.1 Inversión pactada de proyectos ingresados al SEIA ... 92*

*3.7.2 Inversión pactada en solicitudes de pertinencia ingresadas al SEIA ... 95*

**4. Normativa internacional asociada a TRS y/u olores provenientes del sector ... 96**

4.1 Normativa Internacional enfocada hacia los olores ... 96

4.2 Normativa internacional enfocada a la regulación de compuestos TRS ... 102

4.3 Control y gestión de olores de plantas de celulosa ubicadas en países competencia de Chile 107

**5. Mejores Técnicas Disponibles (MTD) utilizadas en el sector a nivel nacional e internacional, ya sea para gases TRS y/u olores ... 111**

5.1 Experiencias MTD a nivel Internacional ... 116

5.2 MTD implementadas por los regulados ... 121

5.3 Brechas tecnológicas a nivel nacional y posibles mejoras ..... 122

*5.3.1 Línea de Fibra (A1) ..... 122*

*5.3.2 Sistema de Recuperación química y energética (A2) ..... 123*

*5.3.3 Ciclo de cal (A3) ..... 124*

*5.3.4 Venteos (A4) ..... 125*

*5.3.5 Tratamiento de aguas residuales (A5) ..... 125*

5.4 MTD recomendadas ..... 126

5.5 Determinación de los tiempos asociados a la implementación de las MTD ..... 127

*5.5.1 Metodología para la determinación de los tiempos asociados a la implementación de cada MTD recomendada ..... 127*

*5.5.2 Tiempos asociados a implementación de las MTD Recomendadas ..... 129*

5.6 Factibilidad técnico-económica de las MTD recomendadas ..... 131

**6. Inventario de emisiones ..... 139**

6.1 Metodología para la realización de inventario de emisiones ..... 139

*6.1.1 Factores de emisión TRS ..... 141*

*6.1.2 Factores de emisión de olores ..... 144*

6.2 Análisis distancia-receptores ..... 146

6.3 Inventario y proyección de emisiones ..... 149

*6.3.1 Emisiones inventariadas año base ..... 149*

*6.3.2 Proyección de inventario a 10 años ..... 152*

**7. Propuesta exigencias Norma TRS/Olores ..... 154**

7.1 Límite de emisiones de gases TRS ..... 154

7.2 Límites de emisión de olor ..... 157

7.3 Tratamiento de venteos ..... 158

7.4 Prácticas operacionales ..... 159

**8. Consolidación de información sobre propuesta de exigencias de olor para anteproyecto de norma ..... 163**

8.1 Análisis de escenarios regulatorios ..... 164

*8.1.1 Escenario 1 ..... 165*

*8.1.1 Escenario 2 ..... 167*

*8.1.2 Escenario 3* ..... *170*

8.2 Análisis de convergencia entre la propuesta de norma y otros instrumentos regulatorios o voluntarios ..... 172

*8.2.1 Planes de prevención y/o descontaminación atmosférica (PPDA)* ..... *172*

*8.2.2 Convenio de Cooperación Ambiental CMPC S.A, Intendencia Región del Biobío, CONAMA, Seremi de Salud e I. Municipalidad de Nacimiento* ..... *172*

*8.2.3 RCA asociadas a los regulados* ..... *173*

*8.2.4 Impuesto verde* ..... *178*

**9. Evaluación del cumplimiento de escenarios de medidas y propuestas regulatorias ..... 180**

9.1 Proyección de emisiones y evaluación de nivel de cumplimiento ..... 180

9.2 Consolidación de base de datos y análisis comparativo ..... 184

9.3 Determinación de factibilidad técnica para cumplir con las exigencias normativas.. 189

***Esc 2*** *192*

**10. Identificación y cuantificación de costos y cobeneficios asociados a la propuesta regulatoria. ..... 193**

10.1 Eficiencia y costos unitarios de MTD ..... 193

10.2 Costos de MTD por establecimiento y medida ..... 199

10.3 Costos unitarios y agregados de métodos de medición y muestreo ..... 202

10.4 Costos de fiscalización y otros costos para el Estado ..... 205

**11. Evaluación de la costo-efectividad de la propuesta normativa ..... 206**

11.1 Población beneficiada ..... 206

*11.1.1 Cuantificación de beneficiarios* ..... *206*

*11.1.2 Descripción cualitativa de los beneficiarios* ..... *208*

11.2 Identificación, cuantificación y valorización de beneficios y co-beneficios ..... 211

*11.2.1 Identificación de beneficios* ..... *211*

*11.2.2 Elección de beneficios a cuantificar y valorizar* ..... *215*

*11.2.3 Cuantificación de beneficios en salud de las personas* ..... *215*

*11.2.4 Cuantificación de beneficios en calidad de vida de la población* ..... *219*

*11.2.5 Identificación de co-beneficios* ..... *225*

11.3 Análisis costo eficiencia de las medidas ..... 225

*11.3.1 Costo-efectividad de medidas para reducción de TRS ..... 226*

*11.3.2 Costo-efectividad de medidas para reducción de olores ..... 227*

11.4 Efectos sobre empresas ..... 227

11.5 Análisis de costos y beneficios ..... 229

*11.5.1 Comparación costos y beneficios ..... 229*

*11.5.2 Temporalidad de los costos y beneficios ..... 230*

*11.5.3 Análisis de sensibilidad e incertidumbre ..... 231*

**12. Conclusiones ..... 233**

**13. Bibliografía ..... 239**

# Lista de Tablas

Tabla 1.1 Detalle de cumplimiento de contenidos solicitados por bases técnicas ..... 6

Tabla 2.1 Principales características de una planta de tratamiento de RILes asociado al sector de pulpa Kraft..... 19

Tabla 2.2 Propiedades compuestos TRS ..... 21

Tabla 2.3 Plantas de celulosa Kraft en Chile ..... 22

Tabla 2.4 Denuncias y venteos de los regulados por año, periodo 2019 a 2021 ..... 27

Tabla 2.5 Resumen de conflicto socioambiental asociado a planta PCK-05 ..... 29

Tabla 2.6 Resumen de conflicto socioambiental asociado a planta PCK-08 ..... 30

Tabla 3.1 Código identificador de informes de fiscalización ..... 32

Tabla 3.2 Fechas de entrevistas y visitas técnicas ejecutadas..... 32

Tabla 3.3 Límites máximos permisibles de emisión de compuestos TRS medido como $H_2S$ según DS37/2013..... 33

Tabla 3.4 Sistemas de gases TRS y Sistemas de medición por planta ..... 39

Tabla 3.5 Calderas recuperadoras operativas en el periodo 2019 a 2021 ..... 40

Tabla 3.6 Hornos de cal operativos en el periodo 2019 a 2021 ..... 42

Tabla 3.7 Calderas de poder e incineradores dedicados operativos en el periodo 2019 a 2021 44

Tabla 3.8 Calderas de poder e incineradores de respaldo operativos en el periodo 2019 a 2021 ..... 46

Tabla 3.9 Estanques disolvedores de licor verde, reportados en el periodo 2019 a 2021 ..... 49

Tabla 3.10 Meses sin eventos, número de venteos y duración promedio mensual [min/mes] por planta, período 2019-2021 ..... 62

Tabla 3.11 Puntos de venteos informados. ..... 63

Tabla 3.12 Resumen del análisis de cumplimiento por unidad ..... 69

Tabla 3.13 Inversión [MUSD] aprobada en proyectos según macro-área y año..... 74

Tabla 3.14 Proyectos ingresados favorablemente luego de entrada en vigencia el DS37/2013 del MMA ..... 76

Tabla 3.15 Consideración de los olores en los proyectos ingresados al SEIA post publicación del DS37/2013 del MMA..... 78

Tabla 3.16 Fuentes y emisiones consideradas en el proyecto DRIS planta PCK-02/Viñales. ..... 81

Tabla 3.17 Resumen de concentraciones en receptores discretos-DRIS ..... 81

Tabla 3.18 Emisiones celdas DRIS situación actual y proyectada ..... 82

Tabla 3.19 Resumen de concentraciones en receptores discretos-DRIS PCK-03 ..... 82

Tabla 3.20 Variación de emisiones de TRS, $SO_x$ y $NO_x$ de proyectos ingresados al SEIA [ton/día] ..... 83

Tabla 3.21 Proyectos ingresados como solicitud de pertinencia en la categoría SRQT post publicación DS37/2013 del MMA ..... 88

Tabla 3.22 Proyectos ingresados como solicitud de pertinencia en la categoría SM post publicación DS37/2013 del MMA ..... 91

Tabla 3.23 Inversión asociada a las medidas incorporadas por los proyectos ingresados al SEIA ..... 93

Tabla 3.24 Inversión asociada a las solicitudes de pertinencia ingresadas al SEIA ..... 95

Tabla 4.1 Normativas internacionales de inmisión de olor ..... 99

Tabla 4.2 Normativas internacionales que regulan compuestos TRS ..... 103

Tabla 4.3 Medidas de control y gestión de olores en plantas de países competencia de Chile 109

Tabla 5.1 Principales áreas y unidades emisoras de Compuestos TRS y/u Olores en una planta de celulosa Kraft ..... 113

Tabla 5.2 MTD identificadas internacionalmente ..... 118

Tabla 5.3 Identificación de MTD Implementadas por los Regulados y la unidad en donde fueron aplicadas. ..... 121

Tabla 5.4 MTD recomendadas ..... 126

Tabla 5.5 Clasificación de MTD según escala de modificación de los procesos de las plantas .. 129

Tabla 5.6 Tiempos de implementación de las MTD recomendadas ..... 130

Tabla 5.7 Factibilidad técnica y económica de las MTD recomendadas ..... 132

Tabla 6.1 Niveles a utilizar según fuentes de emisión ..... 141

Tabla 6.2 Caudales según fuente de emisión Nivel 1 ..... 142

Tabla 6.3 Tasa de emisión TRS [kg/min] estimada ..... 142

Tabla 6.4 Tasa de emisión descontrolada venteo [kg TRS/min] estimada ..... 144

Tabla 6.5 Factores de emisión de TRS Nivel 3 ..... 144

Tabla 6.6 Factor de emisión [$OU_E$/s/kADt/año] de olor para fuentes de tratamiento de RILes 145

Tabla 6.7 Localidades receptoras por planta ..... 146

Tabla 6.8 Estimación de emisiones TRS [ton/año] según establecimiento ..... 149

Tabla 6.9 Distribución de emisiones TRS según tipo de emisiones ..... 150

Tabla 6.10 Estimación de emisiones de Olores [$OU_E$/s] en planta de RILes ..... 151

Tabla 7.1 Límites máximos permisibles de emisión de compuestos TRS según DS37/2013 y propuesta normativa ..... 156

Tabla 7.2 Límite de emisión de olor para fuentes emisoras existentes con alguna MTD implementada. ..... 158

Tabla 7.3 Prácticas operacionales propuestas – Equipos de combustión de TRS ..... 159

Tabla 7.4 Condiciones de operación de áreas relevantes y equipos de mitigación. ..... 160

Tabla 7.5 Prácticas operacionales propuestas – Equipos de abatimiento de emisiones odorantes ..... 160

Tabla 7.6 Prácticas operacionales propuestas – Fuentes de emisión de olor ..... 161

Tabla 7.7 Prácticas operacionales propuestas – Plan de contingencias ..... 161

Tabla 7.8 Prácticas operacionales propuestas – Control de venteos ..... 162

Tabla 8.1 Límites máximos permisibles de emisión de compuestos TRS según propuesta normativa ..... 163

Tabla 8.2 Resumen prácticas operacionales propuestas ..... 164

Tabla 8.3 Escenarios regulatorios evaluados ..... 165

Tabla 8.4 Esc 1 MTD implementadas en hornos de cal por los regulados ..... 166

Tabla 8.5 Aspectos relevantes del escenario 1. ..... 167

Tabla 8.6 Esc 2 – MTD implementada por los regulados asociadas al control de olores ..... 168

Tabla 8.7 Estimación de requerimientos de sistema de tratamiento por cada planta ..... 168

Tabla 8.8 Aspectos relevantes del escenario 2. ..... 169

Tabla 8.9 Aspectos relevantes del escenario 3. ..... 170

Tabla 9.1 Reducciones de TRS [ton/año] 2030 para medidas con reducciones, por escenario tecnología ..... 183

Tabla 9.2 Emisiones olores [$OU_E$/s] 2030 para medidas con reducciones, por escenario tecnología ..... 184

Tabla 9.3 Campos de información de BD de emisiones de TRS ..... 185

Tabla 9.4 Campos de información de BD de emisiones de olores ..... 185

Tabla 9.5 Escala de variabilidad del desempeño esperado según la factibilidad ..... 189

Tabla 9.6 Factibilidad técnica de cumplimiento de las exigencias normativas ..... 190

Tabla 10.1 Eficiencias por MTD recomendadas ..... 194

Tabla 10.2 Costos asociados a MTD recomendadas ..... 197

Tabla 10.3 Costo total [UF/año] por planta y medida para el año 2030 ..... 200

Tabla 10.4 Costo total [UF/año] por planta y escenario regulatorio para el año 2030 ..... 200

Tabla 10.5 Costos unitarios asociados a instrumentos de medición y muestreo ..... 202

Tabla 10.6 Costos de escenarios regulatorio asociados a instrumentos de medición y muestreo ..... 204

Tabla 11.1 Población y viviendas en radio de 10km ..... 207

Tabla 11.2 Estimación de población y viviendas beneficiadas dentro de isodora p98h de 3[$OU_E$]. ..... 208

Tabla 11.3 Descripción de población en situación de pobreza por ingresos ..... 209

Tabla 11.4 Descripción de población en situación de pobreza multidimensional ..... 209

Tabla 11.5 Descripción de hogares con jefatura de hogar femenina ..... 210

Tabla 11.6 Descripción de población de adultos mayores (65+ años) ..... 210

Tabla 11.7 Descripción de población perteneciente a etnias ..... 211

Tabla 11.8 Identificación y descripción de impactos en sistemas vivos ..... 211

Tabla 11.9 Identificación y descripción de impactos a sistemas carentes de vida ..... 212

Tabla 11.10 Atenciones de urgencia por bronquitis/bronquiolitis aguda 2019 ..... 218

Tabla 11.11 Cuantificación y valorización de casos evitados en Esc. 2, para el año 2030 ..... 219

Tabla 11.12 Valorización de beneficios [UF/año] según disposición a pago para el año 2030, por medida. ..... 224

Tabla 11.13 Valorización de beneficios [UF/año] según disposición a pago para el año 2030, por escenario. ..... 224

Tabla 11.14 Costo efectividad [kg TRS/UF] de medidas para reducción de TRS por venteos ..... 226

Tabla 11.15 Costo efectividad [kg TRS/UF] de medidas para reducción de TRS en HC ..... 226

Tabla 11.16 Costo efectividad [$OU_E$/s/UF] de medidas para reducción de olores ..... 227

Tabla 11.17 Exportaciones FOB en [UF] entre años 2017 a 2022 ..... 228

Tabla 11.18 Costos anualizados como fracción del promedio de exportaciones de celulosa química ..... 229

Tabla 11.19 Costos y beneficios [UF] para el año 2030, Escenario 3 ..... 230

Tabla 11.20 Comparación de beneficios y costos [UF] para el año 2030 ..... 230

Tabla 12.1 Márgenes de sobrecumplimiento por unidad regulada ..... 233

## Lista de Figuras

Figura 2.1 Diagrama de las principales áreas que componen el proceso de producción de pulpa Kraft ..... 11

Figura 2.2 Diagrama general proceso de pulpa Kraft ..... 12

Figura 2.3 Diagrama de flujos etapas de cocción, lavado y deslignificación con oxígeno ..... 13

Figura 2.4 Diagrama de bloques de etapa de blanqueo ..... 14

Figura 2.5 Diagrama de flujo de secado y embalado ..... 14

Figura 2.6 Diagrama de flujos de caldera de poder/biomasa (Mixta) ..... 15

Figura 2.7 Diagrama de turbogenerador ..... 16

Figura 2.8 Diagrama de flujos de evaporador multiefectos ..... 16

Figura 2.9 Diagrama de flujo de caldera recuperadora ..... 17

Figura 2.10 Ciclo de cal ..... 18

Figura 2.11 Diagrama general de una planta de tratamiento de RILes ..... 20

Figura 2.12 Distribución de la capacidad productiva [ton/año] ..... 23

Figura 2.13 Cantidad de denuncias anuales por olores molestos ingresadas por titular, periodo 2013 a 2022 ..... 25

Figura 2.14 Acumulado de denuncias por olores molestos ingresadas por cada planta, periodo 2013 a 2022 ..... 25

Figura 2.15 Denuncias por olores molestos ingresadas por cada planta, periodo 2013 a 2022.. 26

Figura 2.16 Estado de las denuncias por olores molestos, periodo 2013 a 2022 ..... 26

Figura 2.17 Cruce de información de las denuncias y venteos de los regulados, periodo 2019 a 2021 ..... 27

Figura 3.1 *Boxplot* del P98 de emisión de $H_2S$ por tipo de fuente y establecimiento ..... 38

Figura 3.2 P98 de los valores promedios horarios de emisión de $H_2S$ – Caldera recuperadora, periodo 2019 a 2021 ..... 41

Figura 3.3 P98 de los valores promedios horarios de emisión de $H_2S$ – Horno de cal, periodo 2019 a 2021 ..... 43

Figura 3.4 P98 de los valores promedio diarios de emisión de $H_2S$– Caldera de poder (a) e Incinerador (b) dedicados, periodo 2019 a 2021 ..... 45

Figura 3.5 *Boxplot* de minutos consecutivos con T° inferior a 650°C – Incinerador y caldera de poder de respaldo, periodo 2019 a 2021 ..... 47

Figura 3.6 Minutos consecutivos con T° inferior a 650°C – Incinerador y caldera de poder de respaldo, periodo 2019 a 2021 ..... 48

Figura 3.7 Distribución de la frecuencia (a) y duración (b) de venteos por planta, periodo 2019 a 2021 según tipo de gas ..... 50

Figura 3.8 Distribución de la frecuencia (a) y duración (b) de venteos por planta, periodo 2019 a 2021 ..... 51

Figura 3.9 Distribución de la frecuencia (a) y duración (b) de venteos por planta, periodo 2019 a 2021 – Gases DNCG ..... 51

Figura 3.10 Distribución de la frecuencia (a) y duración (b) de venteos por planta, periodo 2019 a 2021 – Gases CNCG ..... 52

Figura 3.11 Distribución de la duración promedio de eventos de venteo (min/evento) por planta y tipo de TRS, periodo 2019 a 2021 ..... 53

Figura 3.12 Distribución del número de venteos mensuales por planta, periodo 2019 a 2021 .. 55

Figura 3.13 Distribución de la duración de venteos mensuales por planta, periodo 2019 a 2021 ..... 56

Figura 3.14 Frecuencia de venteos por planta y año, periodo 2019 a 2021 ..... 57

Figura 3.15 Duración de venteos mensuales por planta y año, periodo 2019 a 2021 ..... 57

Figura 3.16 Número y duración de eventos de venteo y duración de venteo por mes, periodo 2019 a 2021 ..... 59

Figura 3.17 Duración de eventos de venteo (min) por año y mes, periodo 2019 a 2021 ..... 60

Figura 3.18 Frecuencia de eventos de venteo por año y mes, periodo 2019 a 2021 ..... 61

Figura 3.19 Frecuencia de uso de puntos de venteo por planta y tipo de gas, periodo 2019 a 2021 ..... 66

Figura 3.20 Frecuencia de uso de puntos de venteo por planta y tipo de gas, periodo 2019 a 2021 ..... 66

Figura 3.21 Causas reportadas de venteos, periodo 2019 a 2021 ..... 67

Figura 3.22 Causas de venteo por planta, periodo 2019 a 2021 ..... 68

Figura 3.23 Cantidad de proyectos presentados por año por cada planta de celulosa Kraft regulada ..... 71

Figura 3.24 Inversiones históricas [MUSD] de proyectos aprobados por el SEA ..... 72

Figura 3.25 Inversión [MUSD] realizada por los regulados en el periodo 1995-2021..... 73

Figura 3.26 Tipo de medidas de control de compuestos TRS y/u olores incluidas en los proyectos ingresados al SEIA ..... 75

Figura 3.27 Cantidad de solicitudes de pertinencia ingresadas dentro del periodo 2010-2022 . 84

Figura 3.28 Estado de las solicitudes de pertinencia ingresadas dentro del periodo 2010-2022 85

Figura 3.29 Pertinencia de ingreso al SEIA de los proyectos evaluados..... 85

Figura 3.30 Categorías de las solicitudes de pertinencia ingresadas post publicación del DS37/2013 del MMA..... 86

Figura 3.31 Cantidad de solicitudes de pertinencia ingresadas pertenecientes a la categoría SRQT ..... 87

Figura 3.32 Cantidad de solicitudes de pertinencia ingresadas pertenecientes a la categoría SM ..... 90

Figura 4.1 Sectores regulados por las normativas identificadas ..... 98

Figura 4.2 Comparación de los límites establecidos en regulaciones internacionales versus los límites establecidos en el DS37/2013 del MMA ..... 102

Figura 5.1 Principales fuentes de generación/emisión de gases NCG en la industria de celulosa Kraft..... 112

Figura 5.2 Aplicabilidad de tecnologías de abatimiento de olores y/o compuestos odorantes 117

Figura 5.3 Brechas tecnológicas Línea de Fibra ..... 123

Figura 5.4 Brechas tecnológicas Sistema de recuperación química y energética ..... 124

Figura 5.5 Brechas tecnológicas Ciclo de Cal ..... 124

Figura 5.6 Brechas tecnológicas Venteos ..... 125

Figura 5.7 Brechas tecnológicas Tratamiento de agua residuales ..... 125

Figura 5.8 Metodología de determinación de tiempos de implementación de las MTD recomendadas ..... 128

Figura 6.1 Árbol de decisiones para selección de factores de emisión a utilizar en cada fuente ..... 140

Figura 6.2 Distribución de emisiones TRS por establecimiento ..... 150

Figura 6.3 Proyección de emisiones TRS (t/a) por planta y fuente – Escenario base ..... 152

Figura 6.4 Proyección de emisiones odorantes por planta – Escenario base ..... 153

Figura 7.1 Comparación de los límites establecidos en regulaciones internacionales versus los límites propuestos. ..... 157

Figura 7.2 Esquema de monitoreo de gases TRS en sistemas de recolección de gases..... 162

Figura 9.1 Proyección de la producción [kADt/año] por establecimiento ..... 181

Figura 9.2 Visión general de modelo para estimación de inventario de olores y TRS ..... 182

Figura 9.3 Reducción de emisiones TRS [ton/año] con respecto a línea base por región y escenarios ..... 187

Figura 9.4 Reducción de emisión de olores [$OU_E$/s] por medida con respecto a línea base por región y escenarios ..... 188

Figura 10.1 Distribución de los costos anuales de cada medida y escenario de costos..... 201

Figura 11.1 Ejemplo de atenciones a urgencia por causa J20-21 y duración total diaria de venteo ..... 216

Figura 11.2 Riesgo relativo asociado a venteos de gases ..... 217

Figura 11.3 Esquema de impacto de olores..... 221

Figura 11.4 Estimación de factor emisión concentración (FEC) en función de la distancia ..... 222

Figura 11.5 Producción de celulosa en Chile, 1955 a 2021 ..... 228

Figura 11.6 Sensibilidad de beneficios y costos (UF) por medida para el año 2030 ..... 232

# Acrónimos y Abreviaturas

## Instituciones

| | |
|---|---|
| SEA: | Servicio de Evaluación Ambiental. |
| MINSAL: | Ministerio de Salud. |
| MMA: | Ministerio del Medio Ambiente. |
| OCDE: | Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. |
| OMS: | Organización Mundial de la Salud. |
| PNUMA: | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. |
| SMA: | Superintendencia de Medio Ambiente. |
| US - EPA: | Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. |

## Plantas de celulosa

| | |
|---|---|
| PCK-00: | Planta de celulosa Kraft-Número identificador (entre 01 y 08). |
| AR: | Planta Arauco |
| CN: | Planta Constitución |
| LC: | Planta Licancel |
| LJ: | Planta Laja |
| NA: | Planta Nueva Aldea |
| PC: | Planta Pacífico |
| SF: | Planta Santa Fe |
| VL: | Planta Valdivia |

## Tipo de TRS

| | |
|---|---|
| CNGC: | Gases concentrados no condensables. |
| DNCG: | Gases diluidos no condensables. |

## Tipo de fuente

| | |
|---|---|
| CP: | Caldera de poder. |
| CB: | Caldera de biomasa. |
| CR: | Caldera recuperadora. |
| ED: | Estanque disolvedor de licor verde. |
| HC: | Horno de cal. |
| Inc: | Incinerador. |

## Monedas

| | |
|---|---|
| CLP: | Pesos de Chile. |
| UF: | Unidad de Fomento Chilena. |
| USD: | Dólares de Estados Unidos. |
| MUSD: | Millones de Dólares de Estados Unidos. |
| EUR: | Euro. |

## Abreviaturas

| | |
|---|---|
| A: | Adquisición. |
| ACB: | Análisis Costo Beneficio. |
| ADt: | Air Dry ton, un ADt equivale a una tonelada métrica de celulosa, la que contiene como máximo un 10% de humedad. |
| AGIES: | Análisis General del Impacto Económico y Social. |
| BAT: | Mejores Tecnologías Disponibles, por sus siglas en inglés "*Best Available Techniques".* |
| BEKP: | Celulosa Blanqueada de fibra corta en base a eucalipto. |
| BSKP: | Celulosa Blanqueada de fibra larga que se produce en base a pino. |
| COI: | Costo de Enfermedad, por sus siglas en inglés "*Cost of illness*". |
| DIA: | Declaración de Impacto Ambiental. |
| DRIS: | Depósito de Residuos Industriales Sólidos. |
| EA: | Evaluación Ambiental. |
| EIA: | Estudio de Impacto Ambiental. |
| EIO: | Estudio de Impacto Odorante. |
| EPI: | Estudio de Proyecto de Ingeniería. |
| ERO: | Eficiencia de Remoción Odorante |
| FE: | Factor de Emisión. |
| FEC: | Factor Emisión-Concentración. |
| GEI: | Gases de Efecto Invernadero. |
| I: | Instalación. |
| IED: | Industrial Emissions Directive. |
| MP: | Material Particulado. |
| NPCA: | Norma Primaria de Calidad Ambiental. |
| P98: | Percentil 98. |
| PM: | Puesta en Marcha. |
| PPB: | Partes por billón. |
| PPBV: | Partes por billón volumétricas. |
| PPDA: | Plan de Prevención y Descontaminación Ambiental. |
| PPM: | Partes por millón |
| RCA: | Resolución de Evaluación Ambiental. |

| | |
|---|---|
| SEIA: | Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. |
| SEN: | Sistema Eléctrico Nacional. |
| SIC: | Sistema Interconectado Central. |
| SNIFA: | Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental. |
| TIR: | Tasa Interna de Retorno. |
| TRS: | Corresponde a la sigla inglesa de "*Total Reduced Sulphur*" o "*Azufre total reducido*". |
| UKP: | Celulosa de fibra larga no blanqueada en base a pino. |
| VAN: | Valor Actual Neto. |
| VVE: | Valor de la Vida Estadística. |
| WTP: | Disposición a Pagar, por sus siglas en inglés "*Willingness to Pay*". |

## Prefijos

| | |
|---|---|
| T: | Tera ($10^{12}$). |
| G: | Giga ($10^{9}$). |
| M: | Mega ($10^{6}$). |
| k: | Kilo ($10^{3}$). |
| m: | Mili ($10^{-3}$). |
| µ: | Micro ($10^{-6}$). |
| n: | Nano ($10^{-9}$). |
| $OU_E$: | Unidad de olor europeas. |
| Ton: | Tonelada. |

# 1. Objetivos del estudio

De acuerdo con las bases técnicas de la licitación, los objetivos son:

## 1.1 Objetivo general

Levantar los antecedentes técnicos y económicos para fundamentar una propuesta regulatoria de la revisión del DS37/2013 forma de emisión de compuestos TRS, generadores de olor, asociados a la fabricación de pulpa Kraft, en adelante DS37/2013.

## 1.2 Objetivos específicos

**Objetivo Específico 1: Evaluar el nivel de cumplimiento de la normativa vigente por parte de los regulados**; a través de:

a. Realizar un análisis por exigencia de la regulación existente DS37/2013 y evaluar el cumplimiento de cada una de las plantas de celulosa reguladas, analizar aquellos casos en que ocurra incumplimiento evaluando posibles casusas a través de información sistematizada.

b. Incluir un análisis sobre la frecuencia de venteos reportados por las plantas de celulosa, tanto de las causas, duración, periodos y contextos en que fueron realizados.

c. Análisis de proyectos que han ingresado al SEIA y su evaluación de impacto odorante junto con exigencias establecidos en la RCA en materia de olores.

d. Según análisis de cumplimiento incorporar costos de implementación de la norma vigente, así como una evaluación cualitativa del cumplimiento o no, identificar razones de los posibles no cumplimientos normativos y proponer mejoras en torno a aquello.

**Objetivo Específico 2: Analizar la normativa internacional asociada a olores provenientes del sector, tanto de TRS como de olores**; a través de:

a. Realizar un levantamiento y análisis bibliográfico de la normativa internacional de gases (TRS) y olores, provenientes de las emisiones de este sector industrial.

b. Analizar el control y gestión de olores (incluye normativa de olores si hubiera) de plantas de celulosa ubicadas en los países que son competencia de Chile en este sector productivo.

**Objetivo Específico 3: Levantar antecedentes técnicos de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) utilizadas en el sector a nivel nacional e internacional, ya sea para gases odoríficos y/u olores; a través de**:

a. Catastrar, identificar y caracterizar las MTD que han implementado los regulados, para las distintas áreas de producción y/o a cada unidad emisoras de olor (por ejemplo, horno de cal) y/ de acuerdo al tipo de fuente (puntuales, difusas o fugitivas) por planta. Identificar

sus porcentajes de eficiencia, vida útil y reportar su fuente de información e identificar las tecnologías y prácticas operacionales, más comunes utilizadas en el sector.

b. Búsqueda bibliográfica de experiencias MTD a nivel internacional, revisando guías internacionales y artículos académicos nacionales e internacionales, sistematizando la información recopilada para comparar los resultados de la actividad 3.b.

c. Proponer una metodología y determinar los tiempos asociados a la puesta en marcha e implementación de cada MTD, esta información puede ser obtenida a través de evaluación de proyectos en SEIA, o entrevistas con regulados, o con empresas de tecnologías, etc.

d. Realizar un análisis con los resultados de la actividad 3.a y 3.b para identificas las brechas tecnológicas a nivel nacional y cuáles son las posibles mejoras en todas las áreas y/o unidades emisoras de olor, identificando las MTD.

e. Recomendar medidas MTD que debieran ser implementadas por el sector, incluyendo criterio de factibilidad de implementación dada las características de las plantas y los costos de inversión, operación y mantención de la implementación de ellas, además de su vida útil.

**Objetivo Específico 4: Elaborar un inventario de emisiones o con escenario actual y proyectado para las fuentes emisoras reguladas, de TRS y/o de Olores;** a través de:

a. Proponer una metodología para la realización de un inventario de emisiones que considere estimación de emisiones por planta emisora de TRS y/o olores por cada área de producción y/o cada unidad emisora de olor que incluya identificar y describir con diagramas de flujo las áreas de producción y/o cada unidad emisora de olor y los vahos producidos en cada una de estas, caracterizándolos, determinando si existe interacción entre fuentes puntuales y difusas entre áreas productivas y analice la implicancia de aquello. Se requerirá fundamentar esta metodología con evidencia estudiada y reconocida internacionalmente. En la entrega del producto deberán quedar explícitos lo supuestos utilizados por el consultor.

b. Levantar bibliográficamente Factores de Emisión del sector, para definir alcances de futuros estudios y niveles de actividad.

c. Realizar un análisis por planta sobre la distancia de los receptores y ubicación respecto de las condiciones meteorológicas y otras.

d. Proponer una metodología y cuantificar las emisiones tanto de línea base como de las exigencias propuestas en la revisión de norma, para TRS y/o de Olores.

e. Desarrollar proyección de inventario de emisiones al menos 10 años.

**Objetivo Específico 5: Proponer recomendaciones para la revisión del DS37/2013;** a través de:

a. Realizar un análisis de la información recabada en el informe que contenga recomendaciones para la fundamentación de la propuesta normativa respecto a los siguientes puntos:
    - Propuesta de ajuste de valores TRS del decreto DS37/2013 del Ministerio del Medio Ambiente.
    - Propuesta de contaminante a regular; sustancias odoríficas TRS y/o olores.
    - Análisis sobre inclusión de nuevas sustancias odoríficas y/o límites de olor en las fuentes de olor no consideradas en el DS37/2013.
    - Propuesta de prácticas operacionales a aplicar en el sector.

**Objetivo Específico 6: Consolidar información sobre propuesta de exigencias de olor para anteproyecto de norma;** a través de:

a. Analizar críticamente los escenarios regulatorios entregados por la contraparte técnica. Sobre estos escenarios, consolidar información identificando:
    - Número de plantas que les aplica la exigencia
    - Porcentaje de eficiencia de reducción de olor de la exigencia y eficiencia de reducción de otros contaminantes que puedan generar cobeneficios
    - Cualquier otra información que el consultor sugiera como relevante
b. Analizar la convergencia entre la propuesta de norma y otros instrumentos regulatorios o voluntarios vigentes y proyectados, como planes de prevención y descontaminación, normas de emisión, resoluciones de calificación ambiental y cualquier iniciativa que esté disminuyendo olores en las fuentes reguladas. Identificar que pudieran converger, para determinar qué costos y cobeneficios son atribuibles a la norma propuesta.

**Objetivo Específico 7: Evaluar el cumplimiento para distintos escenarios de medidas y de propuesta regulatoria de acuerdo con las emisiones proyectadas de escenarios de regulación propuestos por el MMA y un escenario sin medidas (línea base) para emisiones de olor en celulosas;** a través de:

a. A partir de la base de datos de plantas reguladas en el territorio nacional y de la propuesta regulatoria, evaluar el cumplimiento de las emisiones y sus reducciones en al menos tres escenarios. En la propuesta metodológica el consultor deberá describir la metodología para la proyección de emisiones.
b. Una vez realizada la actividad 7.a la consultoría, deberá sistematizar en base de datos y realizar un análisis de la información, presentando resultados comparativos entre regiones, plantas, zonas con conflicto de olor, etc. La selección de data a presentar en el análisis será previamente acordada con la contraparte técnica.

c. Determinar la factibilidad técnica de cumplir con las exigencias normativas luego de aplicar las MTD (factibilidad alta, media o baja).

**Objetivo Específico 8: Identificar y cuantificar costos y cobeneficios económicos asociados a la propuesta regulatoria, evaluando la costo-efectividad de la propuesta normativa y proponer mejoras en base a evidencia cuantificable;** a través de:

a. Reportar porcentajes de eficiencia relacionados a cada MDT tanto para olor como para otros compuestos, además de los costos de inversión, operación y mantención explicitando fuente de información y año. La información de costos debe anteponer fuentes de información nacional (entrevistas a fuentes emisoras y cotizaciones a proveedores de tecnologías), por sobre información bibliográfica de carácter internacional, aunque esta última no es excluyente.

b. Para las MTD identificadas en Objetivo 4, se deberá recabar, cuantificar y analizar los costos para las plantas que aplique la norma, los cuales deberán ser evaluados en $/ton/año u otra unidad debidamente justificada y consensuada con la contraparte técnica. Idealmente se deberán construir curvas de costos para cada MTD, que reflejen economías de escala, mediante técnicas de regresión que consideren al menos 8 datos por MTD. En caso de no ser posible justificar y entregar costos desagregados en al menos los siguientes campos, considerando costos de instalación u otro relevante:

    - Rango inferior costo de inversión (valor original)
    - Rango superior costo de inversión (valor original)
    - Costo de inversión promedio (promedio simple de valores originales)
    - Unidad de medida valor original coto de inversión
    - Rango inferior costo de operación y mantenimiento (valor original)
    - Rango superior costo de operación y mantenimiento (valor original)
    - Costo operación y mantenimiento promedio (promedio simple de valores originales)
    - Unidad de medida del valor original del costo de operación y mantenimiento
    - Año de referencia del valor original moneda de valor original. Los costos deben además presentarse ajustados por la inflación y paridad de poder de compra, a modo de presentar los costos locales.

c. En base al objetivo 7, actividad 7.a, cuantificar los costos totales medios para cada planta del sector regulado para los tres escenarios regulatorios definidos por la contraparte. Considerar la convergencia de otros instrumentos regulatorios señalados en objetivo 6, actividad 6.b (para evitar doble conteo de costos) y explicitar cada supuesto empleado. La estimación de costos medios deberá considerar las MTS complementarias y comentar

su disponibilidad en el mercado nacional. Para la estimación, equipo consultor deberá basarse en costos nacionales y solo secundariamente en costos internacionales.

d. Reportar costos unitarios y agregados sobre métodos de medición y muestreo sugeridos por la contraparte técnica con cotizaciones a laboratorios nacionales y en consideración de variabilidad de costos por zona geográfica. Por ejemplo, costo unitario por olfatometría dinámica (unidad monetaria, fuente de información y año cotización), costo agregado de acuerdo con número de olfatometrías dinámicas exigidas por normativa propuesta y costos regionales o de traslado y transporte de muestras al laboratorio validado más cercano a la fuente emisora.

e. Cuantificar los costos para el Estado en materia de monitoreo y fiscalización de la norma expresado en horas de trabajo, presupuesto a designar y materialización de sistemas digitales para la recepción y análisis de información de auto reporte, como apoyo a la fiscalización. Explicitar todos los supuestos empleados en la estimación de costos de monitoreo y fiscalización.

**Objetivo Específico 9: Evaluar la costo-efectividad de la propuesta normativa y proponer mejoras en base a evidencia cuantificable, identificar y cuantificar costos y cobeneficios económicos asociados a la propuesta regulatoria;** a través de:

a. Realizar un análisis de costo-eficiencia. Determinar la costo-efectividad de cada MTD en términos de unidad monetaria (USD) por unidad de olor reducida. En base al análisis identificar brechas y proponer mejoras al diseño normativo con alternativas más costo-efectivas, analizando el ahorro por mejoras al diseño regulatorio.

b. Realizar un análisis económico respecto a cómo afecta la propuesta de norma con y sin mejoras al diseño regulatorio a empresas pequeñas, medianas y grandes, con énfasis en aquellas empresas de menor tamaño (EMT). Esta actividad implica caracterizar las empresas según los niveles de utilidad, su actividad, ventas anuales por rubro, y lo relacionado a gastos o inversiones mínimas que ellas requerirían para cumplir una regulación para el control y prevención de olores, si fuera el caso.

c. Identificar y cuantificar cobeneficios por mejora en la reducción de olores, para la salud de la población, donde en base a información internacional, y complementariamente se propongan funciones concentración respuestas y coeficientes de riesgo unitarios para efectos de la contaminación atmosférica (H2S) en la salud de las personas, y otros, tales como imagen empresa/ rubro e imagen país. El consultor debe proponer la metodología a utilizar, justificarla, explicitarla y comentar los resultados esperados de esta.

d. Una vez desarrollada la actividad 9.c, la consultoría deberá indicar la cantidad de población beneficiada (en número de personas) u hogares, justificando la metodología empleada para el análisis y presentando las conversiones pertinentes. La selección de data a presentar en el análisis será previamente acordada con la contraparte técnica.

e. Realizar análisis de los costos y cobeneficios. Considerar un análisis temporal de la ocurrencia de costos, y cobeneficios, es decir, cuándo empieza y termina cada uno de los

costos. También considerar en este punto, las conclusiones que emanen del objetivo 6, actividad 6.b, referente a la convergencia de instrumentos regulatorios, para evitar doble conteo de costos. Además, considerar análisis de sensibilidad e incertidumbre asociada de costos. Explicitar cada uno de los supuestos utilizados.

**Objetivo Específico 10: Presentar resultados finales del Estudio;** a través de:

a. Exponer los resultados finales del estudio en al menos una actividad de difusión, que podrá ser presencial o telemática previo acuerdo con la contraparte técnica, dirigido a instituciones públicas, privadas y academia, organizadas por el Ministerio de Medio Ambiente. En caso de que se requiera presentaciones presenciales por parte de la subsecretaría del Medio ambiente, la consultoría costeará pasajes y estadía de los consultores. La Subsecretaría del Medio Ambiente se hará cargo de la disposición del Salón y Coffe break de los asistentes. Las fechas serán coordinadas con la contraparte técnica del estudio. El consultor deberá elaborar una presentación con los contenidos de la exposición, los cuales deberán contar con visto bueno de la contraparte técnica del MMA, estas actividades pueden ser realizadas de manera telemática al contexto del país.

## 1.3 Alcance del presente informe

El actual informe corresponde al informe final proyecto. En la Tabla 1.1 se presenta la sección donde se pueden encontrar los contenidos requeridos por las bases técnicas. Se destaca que los resultados presentados en el presente informe provienen de la mejor información disponible para el equipo consultor a la fecha del informe.

**Tabla 1.1 Detalle de cumplimiento de contenidos solicitados por bases técnicas**

| Contenido bases técnicas | | Sección del informe |
|---|---|---|
| **Objetivo** | **Actividad** | |
| 1. Evaluar el nivel de cumplimiento de la normativa vigente por parte de los regulados | a. Realizar un análisis por exigencia de la regulación existente DS37/2013 y evaluar el cumplimiento de cada una de las plantas de celulosa reguladas | **3.2, Anexo 1.1 y 1.2** |
| | b. Análisis sobre la frecuencia de venteos reportados por las plantas de celulosa. | **3.3** |
| | c. Análisis de proyectos que han ingresado al SEIA y su evaluación de impacto odorante junto con exigencias establecidos en RCA en materia de olores. | **3.5, 3.6 y 1.4** |
| | d. Según análisis de cumplimiento incorporar costos de implementación de la norma vigente, así como una evaluación cualitativa del cumplimiento o no. | **3.7** |
| 2. Analizar la normativa internacional asociada a olores provenientes del | a. Realizar un levantamiento y análisis bibliográfico de la normativa internacional de gases (TRS) y olores, provenientes de las emisiones de este sector industrial. | **4.1 y 4.2** |
| | b. Analizar el control y gestión de olores (incluye normativa de olores si hubiera) de plantas de celulosa ubicadas en los países que son competencia de Chile en este sector productivo. | **4.3** |

| Contenido bases técnicas | | Sección del informe |
|---|---|---|
| **Objetivo** | **Actividad** | |
| sector, tanto TRS como olores | | |
| 3.Levantar antecedentes técnicos de las mejores técnicas disponibles (MTD) utilizadas en el sector nivel nacional e internacional, ya sea para gases odoríficos y/o olores. | a. Catastrar, identificar y caracterizar las MTD que han implementado los regulados. | **5.2** |
| | b. Búsqueda bibliográfica de experiencias MTD a nivel internacional. | **5.1** |
| | c. Proponer una metodología y determinar los tiempos asociados a la puesta en marcha e implementación de cada MTD | **5.5** |
| | d. Identificar las brechas tecnológicas a nivel nacional y cuáles son las posibles mejoras en todas las áreas y/o unidades emisoras de olor, identificando las MTD. | **5.3** |
| | e. Recomendar medidas MTD que debieran ser implementadas por el sector, incluyendo criterio de factibilidad de implementación dada las características de las plantas. | **5.6** |
| 4. Elaborar un inventario de emisiones con escenario actual y proyectado para las fuentes emisoras reguladas, de TRS y/o de olores. | a. Proponer una metodología para la realización de un inventario de emisiones. | **6.1** |
| | b. Levantar bibliográficamente Factores de Emisión del sector, para definir alcances de futuros estudios y niveles de actividad. | **6.1** |
| | c. Realizar un análisis por planta sobre la distancia de los receptores y ubicación respecto de las condiciones meteorológicas y otras. | **6.3** |
| | d. Proponer una metodología y cuantificar las emisiones tanto de línea de base como de las exigencias propuestas en la revisión de norma, para TRS y/o de Olores. | **6.1** |
| | e. Desarrollar proyección de inventario de emisiones al menos 10 años. | **6.3** |
| 5. Proponer recomendaciones para la revisión del DS 37/2013 | a. Realizar un análisis de la información recabada en el informe. | **7** |
| 6. Consolidar información sobre propuesta de exigencias de olor para anteproyecto de norma | a. Analizar críticamente los escenarios regulatorios entregados por la contraparte técnica. | **8.1** |
| | b. Analizar la convergencia entre la propuesta de norma y otros instrumentos regulatorios o voluntarios vigentes y proyectados | **8.2** |
| 7. Evaluar el cumplimiento para distintos escenarios de medidas y de propuesta regulatoria de acuerdo a las | a. A partir de la base de datos de plantas reguladas en el territorio nacional y de la propuesta regulatoria, evaluar el cumplimiento de las emisiones y sus reducciones en al menos tres escenarios | **9.1** |
| | b. Una vez realizada la actividad 7.a la consultoría, deberá sistematizar en base de datos y realizar un análisis de la | **9.2** |

| Contenido bases técnicas | | Sección del informe |
|---|---|---|
| **Objetivo** | **Actividad** | |
| emisiones proyectadas de escenarios de regulación propuestos por el MMA y un escenario sin medidas (línea base) para emisiones de olor en celulosas | información, presentando resultados comparativos entre regiones, plantas, zonas con conflicto de olor, etc. | |
| | c. Determinar la factibilidad técnica de cumplir con las exigencias normativas luego de aplicar las MTD | **9.3** |
| 8. Identificar y cuantificar costos y cobeneficios económicos asociados a la propuesta regulatoria, evaluando la costo-efectividad de la propuesta normativa y proponer mejoras en base a evidencia cuantificable | a. Reportar porcentajes de eficiencia relacionados a cada MDT tanto para olor como para otros compuestos, además de los costos de inversión, operación y mantención explicitando fuente de información y año. | **10.1** |
| | b. Para las MTD identificadas en Objetivo 4, se deberá recabar, cuantificar y analizar los costos para las plantas que aplique la norma, los cuales deberán ser evaluados en $/ton/año u otra unidad debidamente justificada y consensuada con la contraparte técnica. | **10.2** |
| | c. En base al objetivo 7, actividad 7.a, cuantificar los costos totales medios para cada planta del sector regulado para los tres escenarios regulatorios definidos por la contraparte. Considerar la convergencia de otros instrumentos regulatorios señalados en objetivo 6, actividad 6.b (para evitar doble conteo de costos) y explicitar cada supuesto empleado | **10.2** |
| | d. Reportar costos unitarios y agregados sobre métodos de medición y muestreo sugeridos por la contraparte técnica con cotizaciones a laboratorios nacionales y en consideración de variabilidad de costos por zona geográfica. | **10.3** |
| | e. Cuantificar los costos para el Estado en materia de monitoreo y fiscalización de la norma expresado en horas de trabajo, presupuesto a designar y materialización de sistemas digitales para la recepción y análisis de información de auto reporte, como apoyo a la fiscalización. | **10.4** |
| 9. Evaluar la costo-efectividad de la propuesta normativa y proponer mejoras en base a evidencia cuantificable, identificar y cuantificar costos y cobeneficios económicos | a. Realizar un análisis de costo-eficiencia. Determinar la costo-efectividad de cada MTD en términos de unidad monetaria (USD) por unidad de olor reducida. | **11.3** |
| | b. Realizar un análisis económico respecto a cómo afecta la propuesta de norma con y sin mejoras al diseño regulatorio a empresas pequeñas, medianas y grandes, con énfasis en aquellas empresas de menor tamaño (EMT). | **11.4** |
| | c. Identificar y cuantificar co-beneficios por mejora en la reducción de olores, para la salud de la población, donde en base a información internacional, y complementariamente se | **11.2** |

| Contenido bases técnicas | | Sección del informe |
|---|---|---|
| **Objetivo** | **Actividad** | |
| asociados a la propuesta regulatoria | propongan funciones concentración respuestas y coeficientes de riesgo unitarios para efectos de la contaminación atmosférica ($H_2S$) en la salud de las personas | |
| | d. Una vez desarrollada la actividad 9.c, la consultoría deberá indicar la cantidad de población beneficiada (en número de personas) u hogares, justificando la metodología empleada para el análisis y presentando las conversiones pertinentes | **11.1** |
| | e. Realizar análisis de los costos y co-beneficios. Considerar un análisis temporal de la ocurrencia de costos, y co-beneficios, es decir, cuándo empieza y termina cada uno de los costos. | **11.5** |
| 10. Presentar resultados finales del Estudio | a. Exponer los resultados finales del estudio en al menos una actividad de difusión, que podrá ser presencial o telemática previo acuerdo con la contraparte técnica, dirigido a instituciones públicas, privadas y academia, organizadas por el Ministerio de Medio Ambiente. | **-** |

Fuente: Elaboración propia

# 2. Antecedentes del sector

En el presente capítulo se identifica la información relacionada al sector de producción de pulpa Kraft o al sulfato. Para ello se realizó un levantamiento de información bibliográfica de las actividades que comprenden su proceso, de aquellas potencialmente generadoras de compuestos TRS y/u olores y de las denuncias por la emisión de los anteriores, con el fin de establecer un contexto que sirva de introducción y apoyo para las secciones subsiguientes.

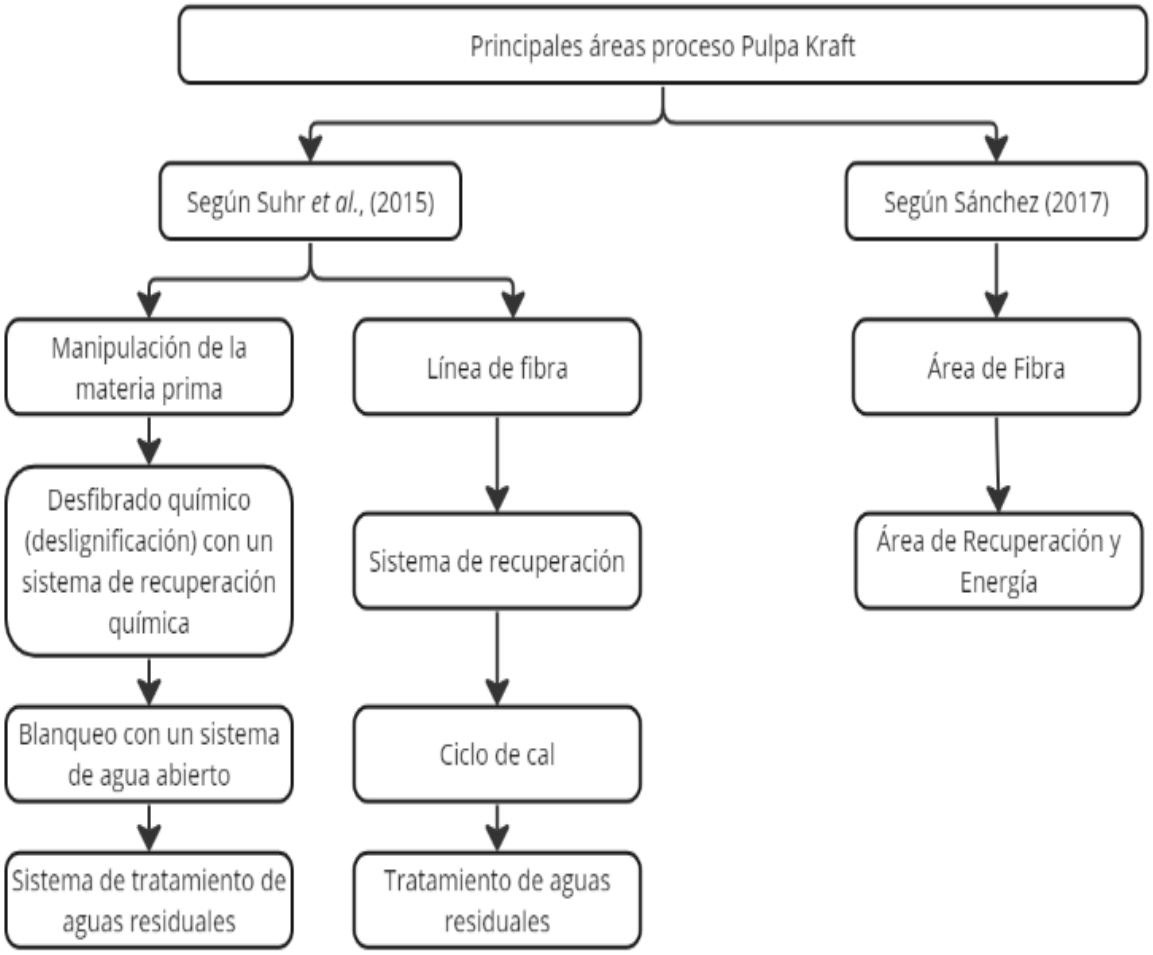
## 2.1 Antecedentes generales

El proceso Kraft o también denominado al sulfato, es el método de despulpado químico más aplicado a nivel mundial en la producción de pasta química (Suhr *et al.,* 2015), debido a las propiedades superiores respecto a otros procesos existentes dentro del sector. Estas ventajas guardan relación con la posibilidad de recuperación de los productos químicos utilizados y la generación de energía, otorgándole una mayor eficiencia teórica (Sánchez, 2017), mayor resistencia y blanqueabilidad a la pasta en comparación con el proceso de sulfito. Este proceso además presenta una baja exclusividad en cuanto a las especies de madera utilizadas como materia prima y utiliza ciclos cortos de cocción (Martín, 2012).

A modo general, en este proceso las fibras se liberan de la matriz de la madera, al eliminar la lignina y buena parte de la hemicelulosa, por medio de una solución química (NaOH y $Na_2S$) y de cocción alcalina a alta temperatura. En relación con estos productos químicos, se debe destacar específicamente que el hidróxido de sodio degrada la lignina y el sulfuro de sodio se encarga de acelerar las reacciones de deslignificación (Casey, 1990).

El proceso productivo se puede dividir (tal como se expone en la (Figura 2.1) en cuatro partes principales: i) Manipulación de la materia prima, ii) Desfibrado químico (deslignificación) con un sistema de recuperación química y energética casi completamente cerrado, iii) Blanqueo con un sistema de agua abierto y iv) Sistema de tratamiento de aguas residuales externas del proceso. Convencionalmente también se puede dividir en i) Línea de fibra, ii) Sistema de Recuperación, iii) Ciclo de cal y iv) Tratamiento externo de aguas residuales (Suhr *et al*., 2015). Sánchez (2017) en cambio, sólo subdivide en 2 áreas; i) Área de Fibra y ii) Recuperación y Energía. Pese a las distintas miradas expuestas, para análisis posteriores, se utilizará la definición indicada por Suhr *et al*., (2015), correspondiente a la segunda concepción cuyo diagrama general de proceso se presenta en etapas posteriores.

**Figura 2.1 Diagrama de las principales áreas que componen el proceso de producción de pulpa Kraft**

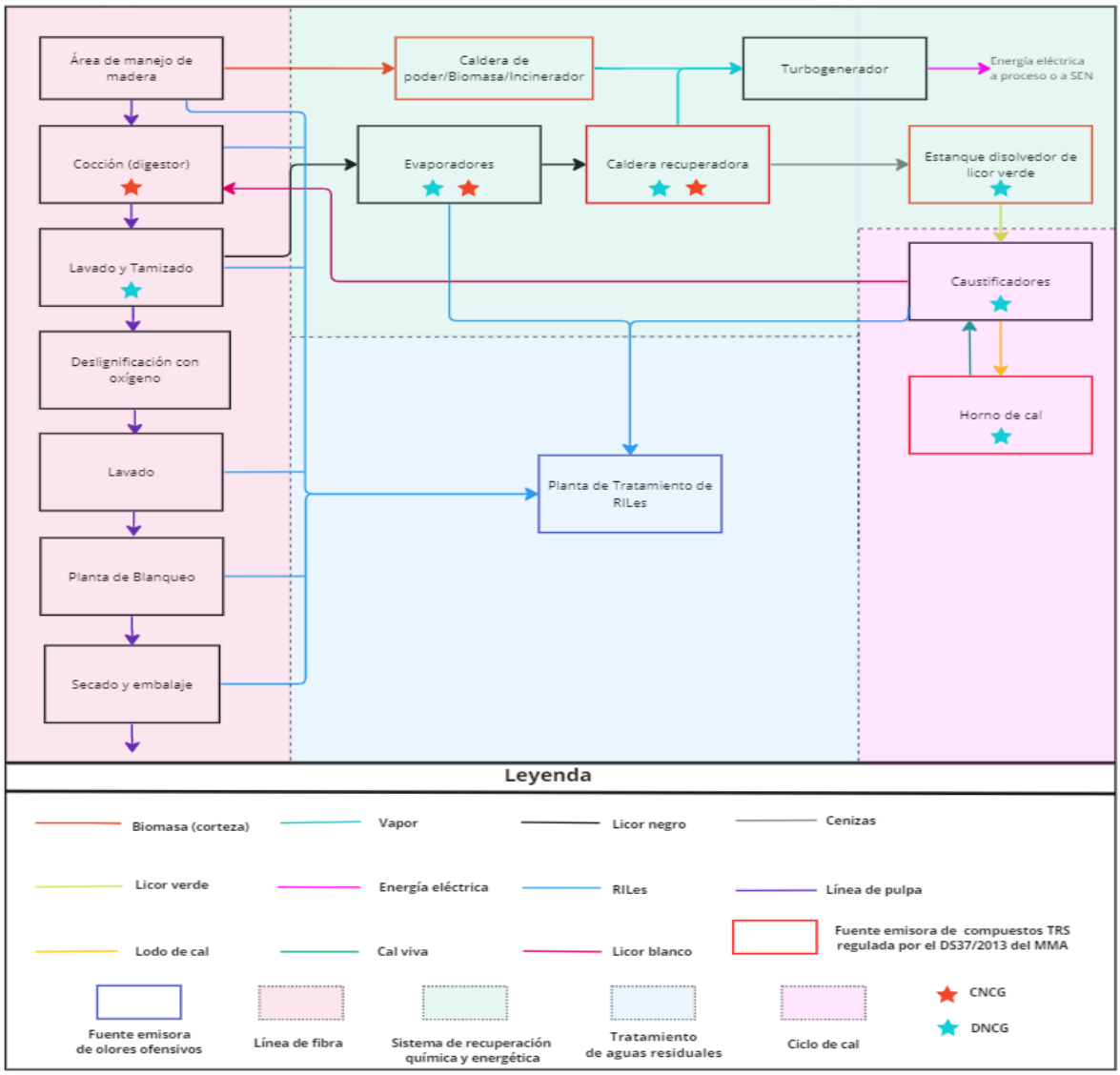



Fuente: Elaboración propia a partir de Suhr *et al.,* (2015); Sánchez (2017).

## 2.2 Descripción del proceso productivo de la pulpa Kraft o al sulfato

A continuación, se describirán las principales etapas que componen al proceso productivo según lo indicado por Suhr *et al*., (2015) y el estudio "*Análisis técnico-económico de revisión de la norma de emisión para olores molestos (compuestos sulfuro de hidrógeno y mercaptanos: gases TRS) asociados a la fabricación de pulpa sulfatada*" (DSS, 2009).

**Figura 2.2 Diagrama general proceso de pulpa Kraft**




Nota: RILes provenientes de las Etapas cocción, screening y lavado son emisiones temporales.

Fuente: Elaboración propia en base a Suhr *et al.,* (2015); DSS (2009)

### 2.2.1 Línea de Fibra

- **Área de manejo de madera**

En esta primera etapa la madera puede ser ingresada como troncos directamente del bosque o como astillas de subproductos provenientes de otro rubro, por lo que es necesario procesarla por medio de un descortezador y luego un chipeador. Una vez obtenidos los chips, estos deben clasificarse según su tamaño para ser ingresados al digestor o al proceso de cocción, debido a que mientras más uniforme sea su distribución, menor es el consumo de materia prima. Aquellos chips que no cumplan con los estándares establecidos serán enviados hacia la caldera de poder como combustible (Suhr *et al.*, 2015).

- **Cocción**

El objetivo de esta etapa es separar la lignina de las fibras de celulosa mediante la cocción de los chips con licor blanco (sulfuro de sodio $Na_2S$ e hidróxido de sodio NaOH), el cual disuelve la lignina y parte de la hemicelulosa contenida en la madera. Esta reacción se lleva a cabo en una fase de impregnación (deslignificación inicial) y otra de cocción a alta temperatura (deslignificación a granel), en digestores (véase Figura 2.2) por lotes o continuos (Suhr *et al*., 2015).

- **Lavado y Tamizado**

La pulpa obtenida del proceso de cocción consiste en una mezcla de fibras y licor negro el cual contiene una serie de productos químicos inorgánicos y una gran cantidad de sustancias orgánicas, los cuales son recuperados en un proceso de lavado de ''stock marrón'' (véase Figura 2.2) ejecutado a contracorriente, y luego, la pulpa se criba o tamiza para separar nudos, los cuales pueden volver a ser procesados (Suhr, *et al.,* 2015).

- **Deslignificación con Oxígeno**

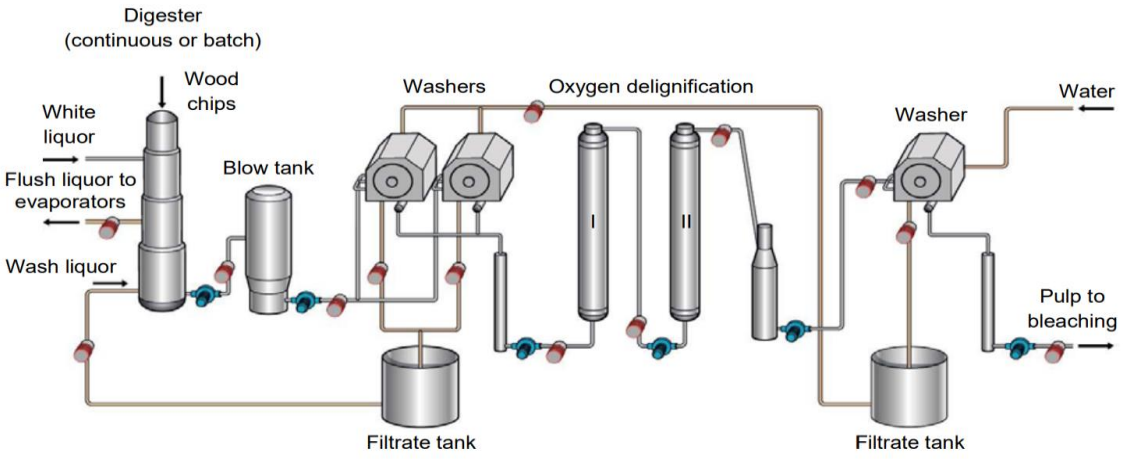
Luego de la cocción, la deslignificación puede continuarse mediante el uso de oxígeno, con o sin lavado intermedio (véase Figura 2.2), la cual tiene lugar en condiciones alcalinas utilizando licor blanco oxidado, donde el hidróxido de sodio es el principal químico alcalino y el sulfuro de sodio que se ha oxidado a tiosulfato ($Na_2S_2O_3$), agregándose sal de magnesio ($MgSO_4$) para preservar la fuerza de la pulpa (Suhr *et al*., 2015).

- **Lavado**

Una vez finalizada la deslignificación con oxígeno, se vuelve a realizar un lavado (véase Figura 2.2) enviándose a contracorriente al flujo de la pulpa, generalmente en dos etapas (Suhr *et al.,* 2015).

En la Figura 2.2 se exponen las etapas de cocción, lavado y deslignificación con oxígeno (de izquierda a derecha) en la que se logra apreciar que la deslignificación con oxígeno corresponde a una etapa intermedia a la fase de lavado.

**Figura 2.3 Diagrama de flujos etapas de cocción, lavado y deslignificación con oxígeno**

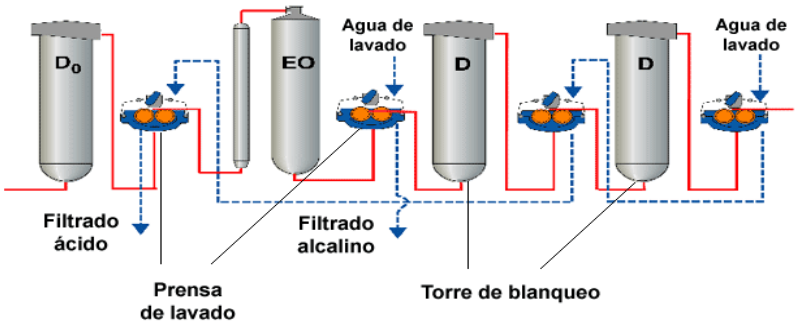



Fuente: Vaisala (2023)

- **Blanqueo**

Luego de la deslignificación y lavado, se realiza el blanqueo de la pulpa Kraft (véase Figura 2.4) que es llevado a cabo en varias etapas (secuencias separadas con diferentes productos químicos añadidos), generalmente de cuatro a cinco, aunque existen plantas que realizan el blanqueo en tres etapas. Para este proceso se añaden secuencialmente diferentes productos químicos como el dióxido de cloro ($ClO_2$), oxígeno ($O_2$) y el peróxido de hidrógeno ($H_2O_2$), eliminando la lignina restante. El objetivo de esta etapa es obtener ciertos criterios de calidad de la pulpa con respecto al brillo, su estabilidad, limpieza y resistencia (Suhr *et al*., 2015).

**Figura 2.4 Diagrama de bloques de etapa de blanqueo**

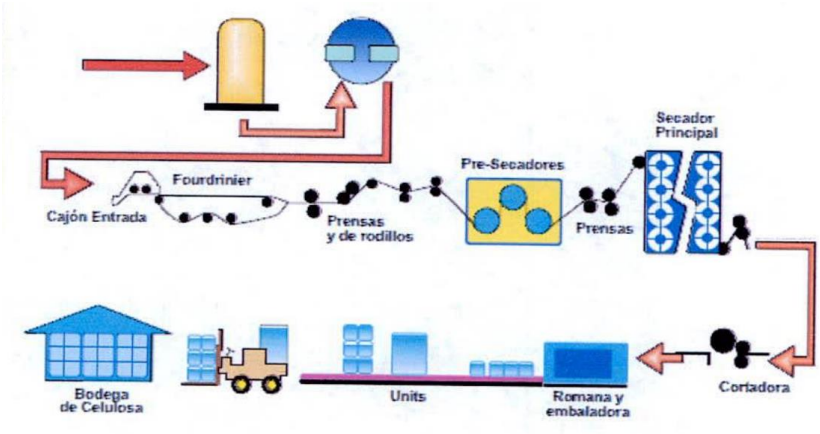



Fuente: Reyes (2006)

- **Secado y embalado**

Una vez finalizado el proceso de blanqueo, la pasta se considera prácticamente libre de lignina con lo que puede ser derivada al proceso de secado (véase Figura 2.5), en el cual se somete a un proceso físico consistente en retirar el agua utilizando medios mecánicos y térmicos. Luego de secada la hoja es dimensionada en la cortadora formando pliegos que se apilan en fardos, los que se prensan y embalan para guardarlos en las bodegas, aunque también puede enrollarse la hoja de celulosa sin usar la cortadora (Riffo, 2011).

**Figura 2.5 Diagrama de flujo de secado y embalado**



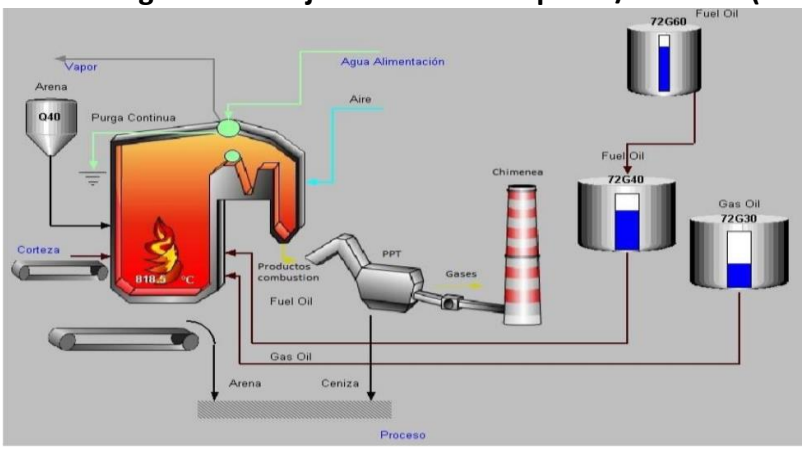

Fuente: Riffo (2011)

### 2.2.2 Sistema de recuperación

- **Caldera de poder/ biomasa e incinerador**

Estos tres equipos vienen siendo un respaldo para el proceso de generación de vapor hacia proceso o energía (interna o externa) y quema de compuestos TRS (dedicado o de respaldo). La caldera de poder (CP), la caldera de biomasa o mixta según Ramos & Sepúlveda (2013), se encuentra definida por el DS37/2013 del MMA como un *''equipo de combustión, preferentemente de biomasa forestal* -muchas veces se realiza la diferencia entre caldera de poder y biomasa en base al tipo de combustible utilizado-*, cuya función es proveer de vapor adicional para el proceso de fabricación de celulosa. Excepcionalmente puede utilizarse para combustión de TRS''.* En la Figura 2.6 se representa a este tipo de calderas.

**Figura 2.6 Diagrama de flujos de caldera de poder/biomasa (Mixta)**



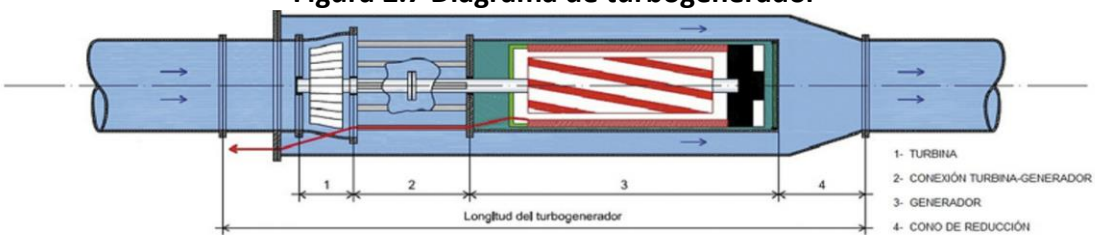

Fuente: Ramos & Sepúlveda (2013)

En cuanto al incinerador (Inc), este se puede considerar un equipo para la incineración de gases TRS dedicado, es decir, tiene como función única el quemado de dichos gases, o de respaldo, como opción eventual de quemado de gases cuando los equipos principales o dedicados se encuentran fuera de servicio. De acuerdo con el DS37/2013 del MMA, los incineradores son aquel *''equipo en el cual los TRS son quemados en condiciones mínimas de temperatura y tiempo de residencia (650°C y 0,5 segundos) que garantizan su oxidación a óxido de azufre''.*

- **Turbogeneradores**

Un turbogenerador (véase Figura 2.7) se encuentra definido como aquel generador de energía eléctrica accionado por una turbina, que es a su vez, una máquina que convierte la energía propia de un fluido de energía mecánica rotatoria por medio de un conjunto de álabes, que giran bajo la presión del fluido (Ríos, 2013). Tal como se ha mencionado anteriormente, en algunos equipos de combustión se genera como subproducto vapor, el cual, puede ser enviado a proceso o a estos turbogeneradores para la generación de energía eléctrica para el abastecimiento tanto interno como externo a la planta.

**Figura 2.7 Diagrama de turbogenerador**

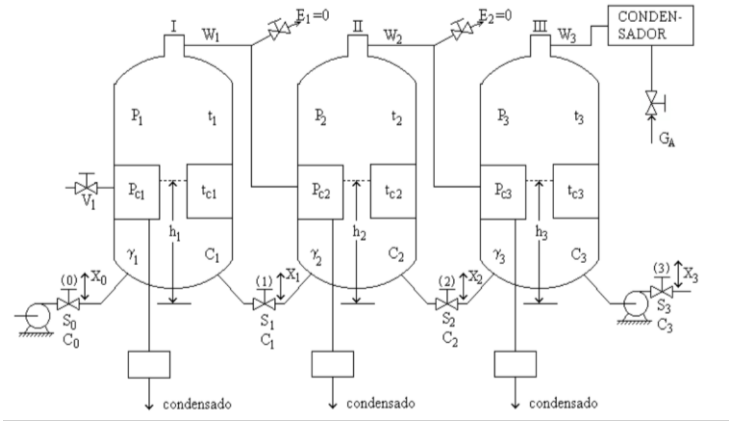



Fuente: Perga Ingenieros (2023)

- **Evaporadores**

El licor negro separado en la etapa de lavado de la pulpa contiene cerca de un 14-18% de sólidos disueltos, concentración que debe ser aumentada para que pueda quemarse en la caldera recuperadora, esto se consigue en la planta de evaporadores multiefectos (véase Figura 2.8) que produce un aumento en el contenido de hasta el 70-85% de sólidos secos (Suhr *et al.,* 2015).

**Figura 2.8 Diagrama de flujos de evaporador multiefectos**




Fuente: Acosta (1998)

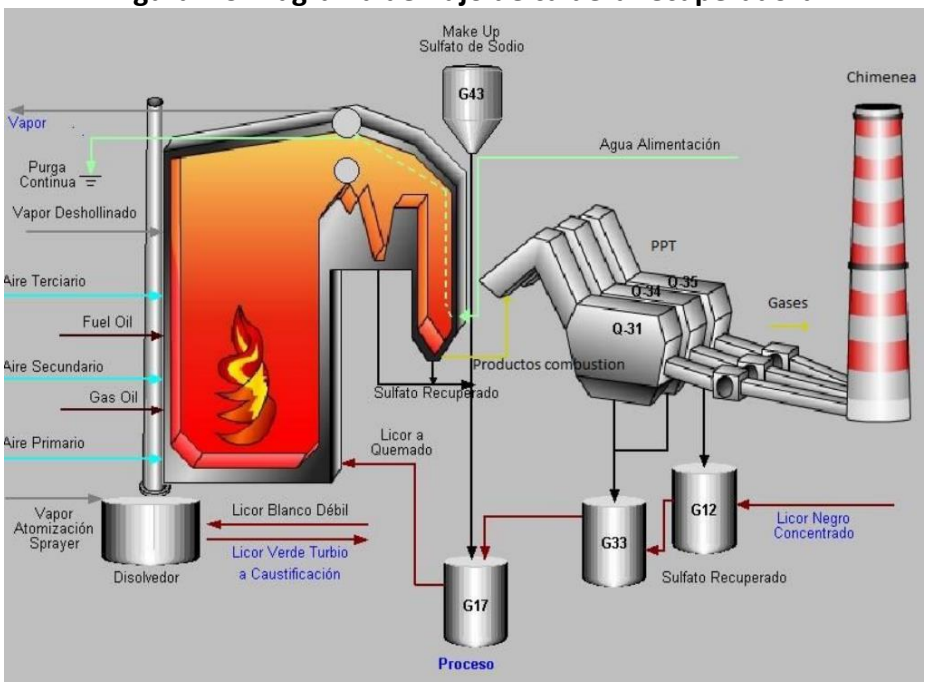
- **Caldera recuperadora**

La caldera recuperadora (véase Figura 2.9) posee dos funciones dentro del proceso, la recuperación química del licor negro, a través de la reducción de las sales de sodio que son drenadas como fundido al interior del hogar de la caldera, mezclándose con licor blanco débil para originar el licor verde (véase etapa siguiente) y vapor, mediante la transferencia de calor al agua a través del contacto entre los tubos que la contienen y los gases de combustión generando vapor de alta presión (Yáñez, 2017).

- **Estanque disolvedor de licor verde**

Aquí las cenizas y sales minerales provenientes de la caldera recuperadora son disueltas en agua o licor blanco diluido, generándose el licor verde el cual es destinado hacia la etapa de caustificación. De acuerdo con el DS37/2013 del MMA, este estanque se define como *''recipiente en el cual se reciben las cenizas fundidas que salen en la caldera recuperadora, obteniéndose el licor verde''.*

**Figura 2.9 Diagrama de flujo de caldera recuperadora**




Fuente: Ramos & Sepúlveda (2013)

### 2.2.3 Ciclo de cal

- **Caustificación**

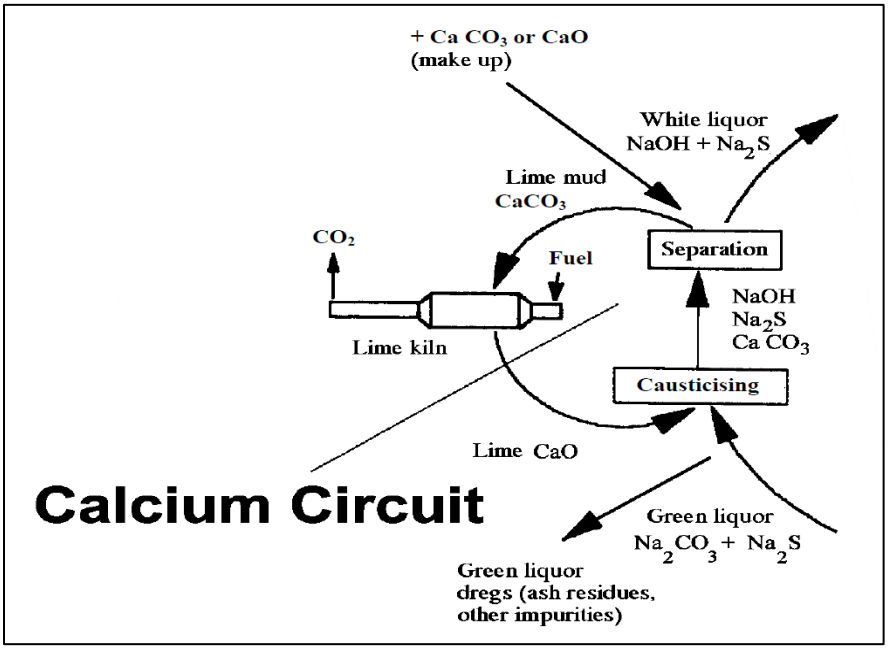
En este proceso al licor verde obtenido desde la etapa de recuperación se le añade cal viva (CaO) y luego de varias reacciones químicas y filtros, se genera licor blanco para ser reutilizado en el proceso de cocción y deslignificación, y cal apagada o caliza ($CaCO_3$) en forma de lodo, el cual es enviado hacia el horno de cal para reanudar el ciclo de cal (Suhr *et al.,* 2015).

- **Horno de cal**

Los lodos se queman para la producción de cal viva para ser reutilizada en el proceso anterior. También se utiliza como equipo incinerador de compuestos TRS (Suhr *et al.,* 2015). Este equipo trabaja a altas temperaturas, donde el lodo de cal húmedo se alimenta en el extremo alto del horno (pendiente de 2 a 4 [cm] por metro de longitud de horno) y la fase sólida se mueve en contracorriente respecto del flujo de gases calientes a medida que el horno gira (Riffo, 2011).

En la Figura 2.10 se representa el circuito de cal donde en la parte inferior se encuentra la etapa de caustificación (*causticising*) por donde ingresa el licor verde y en la parte izquierda se encuentra el horno de cal (*lime kiln*) donde entra el lodo de cal y sale cal viva la que vuelve a entrar a los caustificadores para así iniciar el nuevo ciclo.

**Figura 2.10 Ciclo de cal**




Fuente: Adaptada de Suhr *et al.*, (2015)

### 2.2.4 Venteos

De acuerdo con el DS37/2013 del MMA los venteos se definen como aquella *''descarga directa a la atmósfera de TRS ocasionada en situación de emergencia''*. Estos pueden ser de gases concentrados o diluidos (CNCG o DNCG, respectivamente) y se generan desde los sistemas de combustión de las plantas de pulpa Kraft. La configuración de estos sistemas depende de cada planta, de hecho, el Anexo 1.3, indica la configuración de todos los sistemas de combustión de las plantas a nivel nacional, identificando en algunos casos los puntos de venteo informados.

En general, estos sistemas de combustión cuentan con equipos dedicados, que según el DS37/2013 corresponde a cualquier unidad que se utilice en forma permanente para la combustión de TRS, como las calderas de poder, calderas recuperadoras, incineradores u hornos de cal. Y también pueden contar con equipos de respaldo, es decir, cualquier unidad que se utilice de manera ocasional, por motivos de contingencia, para la combustión de TRS. La Figura 2.2 identifica las unidades en las cuales se generan gases TRS, ya sea DNCG o CNCG, como los digestores, el área de caustificación y los evaporadores, y por lo tanto son unidades que están incorporadas en los sistemas de combustión de gases TRS como unidades generadoras.

### 2.2.5 Tratamiento de aguas residuales

Como se expuso en la Figura 2.2 a lo largo del proceso existen varias etapas generadoras de residuos industriales líquidos (RILes), por lo que las plantas cuentan con un sistema de tratamiento de dichos efluentes industriales, en el cual se disminuyen los niveles de contaminantes tales como materia orgánica (DQO y DBO), sólidos suspendidos, especies nitrogenadas, fósforo y clorato, por medio de diferentes operaciones unitarias (Brunaud, 2008),

siendo la principal externalidad ambiental de esta unidad la emisión de olores molestos. En la Tabla 2.1 se exponen los principales tratamientos y unidades pertenecientes a una planta típica de tratamiento de aguas residuales, asociada al sector de producción de pulpa Kraft. De esta se excluye el tratamiento terciario debido a que no es un tratamiento comúnmente registrado por las plantas existentes del sector.

**Tabla 2.1 Principales características de una planta de tratamiento de RILes asociado al sector de pulpa Kraft.**

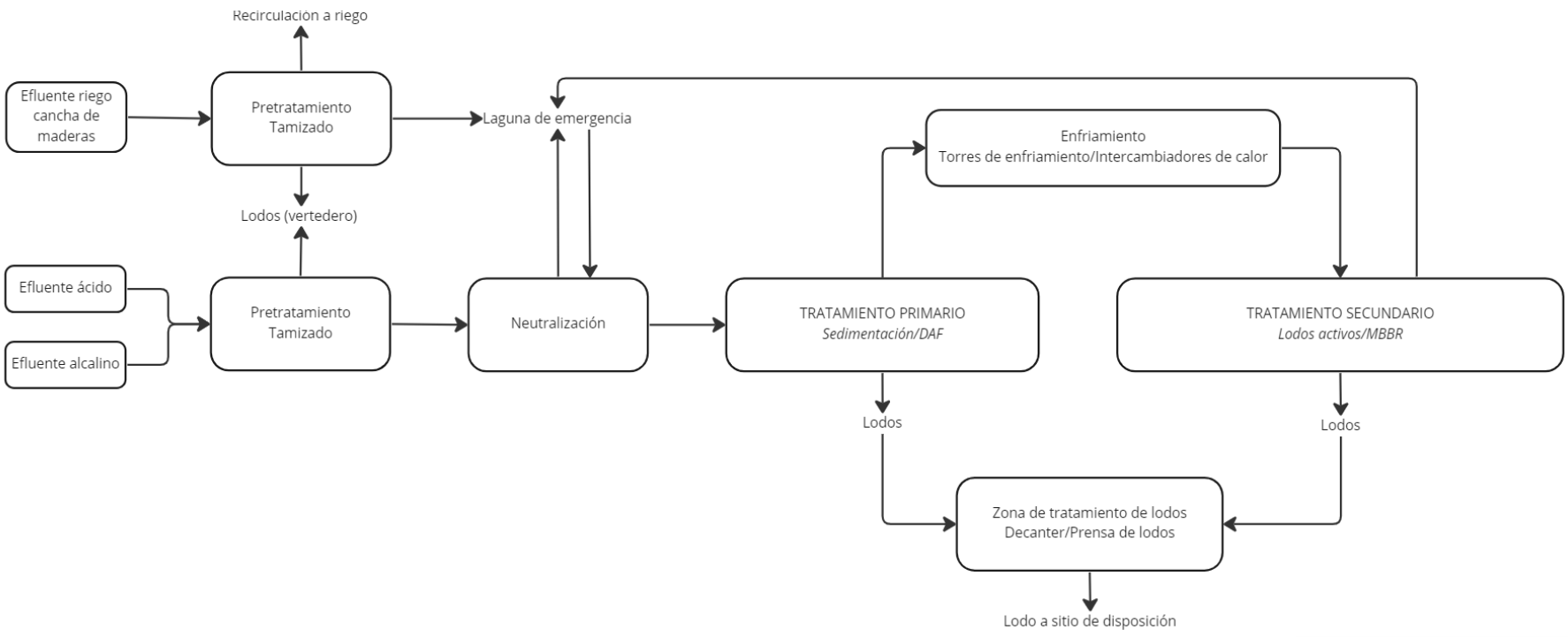
| Tratamiento | Descripción | Principales unidades |
|---|---|---|
| **Pretratamiento: Separación de sólidos** | Etapa destinada a la separación de sólidos gruesos y finos por medio de una barrera física. | Harnero de barras, Harnero rotatorio, cámara de rejas. |
| **Pretratamiento: Neutralización** | Es un proceso destinado a llevar al agua a un pH próximo a la neutralidad, o el pH de equilibrio (Dégremont, 1979; Bermeo *et al.,* 2017) | Cámara o estanque de neutralización. |
| **Tratamiento primario** | Remueve productos orgánicos e inorgánicos mediante procesos fisicoquímicos (Biblioteca del Congreso Nacional, 2018) | Clarificadores o sedimentadores. |
| **Tratamiento secundario** | Elimina materia orgánica, principalmente disuelta, mediante procesos biológicos (Biblioteca del Congreso Nacional, 2018) tanto aerobios como anaerobios (Bermeo *et al*., 2017). | Biorreactor de lodos activados, Biorreactor MBBR. |
| **Enfriamiento** | Proceso donde se lleva al efluente a temperaturas permitidas para el tratamiento en sistemas biológicos. | Torres de enfriamiento, intercambiadores de calor. |
| **Zona de tratamiento de lodos** | Los lodos son subproductos líquidos, sólidos o semisólidos generados durante los procesos mecánicos, biológicos y químicos de purificación de las aguas en las PTAR[1] (Amador *et al.,* 2015), los cuales deben ser tratados mediante procesos de secado, espesamiento, estabilización, desinfección, etc. | Prensa de lodos, Decanter. |

Nota1: PTAR: planta de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2.11 se expone un diagrama general donde se muestran los procesos típicos que integran una planta de tratamiento de aguas residuales mencionados anteriormente.

**Figura 2.11 Diagrama general de una planta de tratamiento de RILes**




Fuente: Elaboración propia.

## 2.3 Caracterización Compuestos TRS

El DS37/2013 del MMA define a los TRS como aquellos compuestos líquidos y gaseosos organosulfurados formados en la etapa de cocción de la madera en el proceso pulpa Kraft. Estos se corresponden principalmente cuatro compuestos: metil mercaptano, sulfuro de dimetilo, disulfuro de dimetilo y sulfuro de hidrógeno. A continuación, en la Tabla 2.2 se exponen las principales propiedades de los compuestos TRS.

**Tabla 2.2 Propiedades compuestos TRS**

| Propiedades/compuesto | Sulfuro de hidrógeno | Metil Mercaptano | Dimetil sulfuro | Disulfuro de dimetilo |
|---|---|---|---|---|
| **Áreas emisoras** | Línea de Fibra y Sistema de recuperación | Línea de Fibra y Sistema de recuperación | Línea de Fibra | Sistema de recuperación |
| **Fuente de emisión** | Proviene de la caldera recuperadora, horno de cal y de cualquier unidad que procese licor negro. | Se presenta en bajas concentraciones en licor negro, por lo tanto, se emitirá en cualquier etapa que lo procese, principalmente en la etapa de cocción. | Generado principalmente en la cocción y lavado de pulpa. | Generado en etapa de recuperación y de oxidación de licor negro. |
| **Formula** | $H_2S$ | $CH_3SH$ | $(CH_3)_2S$ | $(CH_3)_2S_2$ |
| **Sigla** | - | MM | DMS | DMDS |
| **Peso Molecular [g/mol]** | 34,1 | 48,1 | 62,1 | 94,2 |
| **Punto de Ebullición [°C]** | -60 | 6 | 38 | 109 |
| **Presión de vapor [atm]** | 17 a 21 [°C] | 2 a 20 [°C] | 0,5 a 20 [°C] | 0,04 a 25 [°C] |
| **Solubilidad en $H_2O$** | 2,6% a 25[°C] | 2,4% a 25[°C] | Ligeramente soluble | Insoluble |
| **Solubilidad en solventes** | Solución alcalina | Hidrocarburos, alcoholes, éter | Etanol, éter | Etanol, éter |
| **Dependencia de pH** | Si | Si | No | No |
| **Umbral de olor [ppbv]** | 0,5-5 | 0,3-3,0 | 1-15 | 1,20 |
| **Olor característico** | Huevo podrido | Ajo | Sulfuro de vegetales | Sulfuro de vegetales |
| **Condiciones de peligrosidad** | Altamente inflamable, corrosivo y explosivo al mezclarse con aire | Altamente inflamable y forma mezcla explosiva al mezclarse con aire húmedo y otras sustancias | Extremadamente inflamable y forma mezcla explosiva al mezclarse con aire húmedo | Inflamable |
| **Autoignición [°C]** | 260 | 364 | 206 | 300 |
| **Límite de explosión** | 4 a 46% en volumen | 3,9 a 21,8% en volumen | 2,2 a 19,7% en volumen | 1,1 a 16% en volumen |
| **Nivel de toxicidad asociado (inhalación)** | Altamente tóxico (puede ser fatal) | Muy tóxico (puede ser fatal) | Dañino. | Altamente tóxico (puede ser fatal). |
| **Nivel de toxicidad asociada (contacto con la piel)** | Causa quemaduras | Irrita | Irrita | Irrita |

Fuente: Adaptada de Petre (2007); DSS (2009)

Si bien, los compuestos TRS se componen de varios compuestos, la medición se realiza en base al sulfuro de hidrógeno, debido a la metodología de medición aplicada correspondiente a los

métodos de determinación de las emisiones totales de azufre reducido procedentes de fuentes estacionarias (técnica Impinger) o 16a y determinación de las emisiones totales reducidas de azufre procedentes de fuentes estacionarias (16b) de la Agencia Ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA), las cuales expresan las mediciones en mg$H_2S$/kgSS, por otro lado, dicho de una forma más simplificada, todos los TRS se reducen hasta $H_2S$, cuantificándose el sulfuro de hidrógeno resultante de dicha reducción, lo cual permite la simplificación de la medición de un solo compuesto, en vez de medir las emisiones de cada uno por separado, además, la medición de TRS como $H_2S$ en base seca corregido al 8% de oxígeno se realiza para estandarizar la medición y hacerla comparable entre diferentes industrias y procesos.

## 2.4 Plantas de Celulosa existentes en Chile

Actualmente en Chile, se encuentran operando 8 plantas de celulosa Kraft pertenecientes a las empresas Celulosa Arauco y Constitución S.A y a CMPC Pulp SpA, distribuidas desde la región del Maule a la región de Los Ríos. En la Tabla 2.3 y Figura 2.12 se exponen los antecedentes generales de las plantas de celulosa Kraft en Chile, donde se identifica a la planta de Santa Fe, como la planta de mayor capacidad de producción a nivel nacional. Mientras que la región con mayor presencia de estas instalaciones corresponde a la región del Bío-Bío, concentrándose la mayor capacidad productiva a nivel nacional.

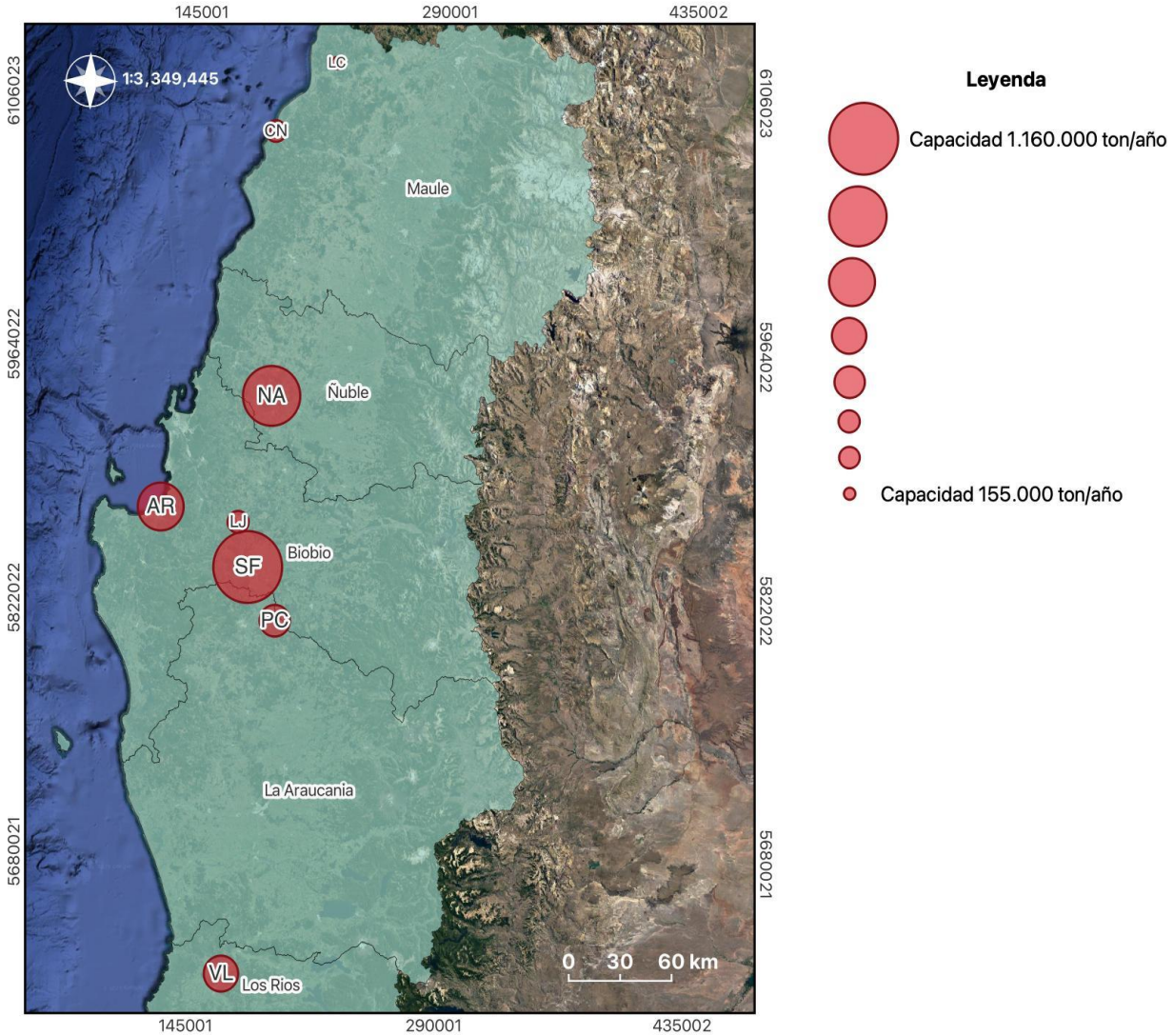
**Tabla 2.3 Plantas de celulosa Kraft en Chile**

| Titular | Nombre Instalación | Año inicio funcionamiento | Región/Comuna | Tipo de celulosa[1] | Capacidad [ADt/año] | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Celulosa Arauco y Constitución S.A. | Licancel | 1999[2] | Región del Maule/Licantén | UKP | 154.000 | (Arauco, 2020) |
| | Constitución | 1976 | Región del Maule/Constitución | UKP | 355.000 | (Arauco, 2015) |
| | Nueva Aldea | 2006 | Región del Ñuble/Nueva Aldea | BSKP/BEKP | 1.027.000 | |
| | Arauco | 1987[3] | Región del Biobío/Arauco | Línea 1 BSKP/BEKP<br>Línea 2 BSKP | 800.000 | |
| | Valdivia | 2004 | Región de los Ríos/Valdivia | BSKP/BEKP | 550.000 | (Arauco, 2022) |
| CMPC Pulp S.A. | Laja | 1959 | Región del Biobío/Laja | BSKP/UKP | 330.000 | (CMPC, 2015a) |
| | Santa Fe | 1991 | Región del Biobío/Nacimiento | Línea 1 BEKP<br>Línea 2 BEKP | 1.160.000 | (CMPC, 2015c) |
| | Pacífico | 1992 | Región de la Araucanía/Collipulli | BSKP | 500.000 | (CMPC Pacífico, 2015b) |

Nota 1: BSKP; Celulosa Blanqueada de fibra larga que se produce en base a pino. UKP; Celulosa de fibra larga no blanqueada en base a pino. BEKP; Celulosa Blanqueada de fibra corta en base a eucalipto.
Nota 2: Año de inicio de funcionamiento de Planta Licancel corresponde a la fecha en que es adquirida por Celulosa Arauco y Constitución S.A.
Nota 3: Año de inicio de funcionamiento de Planta Arauco corresponde a la aprobación del proyecto de construcción de la L2.

Fuente: Adaptada de DSS (2009)

**Figura 2.12 Distribución de la capacidad productiva [ton/año]**




Nota: Siglas de plantas consisten en LC (Licancel), CN (Constitución), NA (Nueva Aldea), AR (Arauco), LJ (Laja), SF (Santa Fe), VL (Valdivia), PC (Pacífico).

Fuente: Elaboración propia

### 2.4.1 Descripción de los regulados

#### 2.4.1.1 Celulosa Arauco y Constitución S.A.

Mejor conocida como Arauco, Celulosa Arauco y Constitución S.A. (CELCO S.A.) es una sociedad anónima cerrada perteneciente en un 99,98% a Empresas COPEC S.A. y nace en septiembre de 1979 a partir de la consolidación de las compañías Celulosa Arauco S.A. y Celulosa Constitución S.A. A nivel nacional cuenta con cinco plantas de celulosa he internacionalmente presenta operaciones en Argentina con una planta y en Uruguay por medio de un joint operation entre ARAUCO y Stora Enso.

Actualmente, de acuerdo con el Reporte de Sustentabilidad del año 2021 (Arauco, 2021), la empresa produce 5 tipos de celulosas, cada una especializada en determinados usos y propiedades y presenta una participación en el mercado de la celulosa mayormente asociada al tipo de celulosa de pino cruda con un 15,7%, así como también con la pulpa textil con un 5.3% de participación, siendo seguidas por las celulosas de pino y eucalipto blanqueada con un 4,8% y 4,1% respectivamente.

#### 2.4.1.2 CMPC Pulp SpA.

CMPC Pulp SpA., es una empresa dedicada a la producción y comercialización de productos de maderas, celulosa, productos de embalaje, papeles productos Tissue y de cuidado personal, fundada en 1920 como ''La Papelera'' produciendo en ese entonces papel y cartón en la comuna de Puente Alto, comenzando el negocio de la celulosa en el año 1959 con el inicio de operación de la Planta Laja, la cual es la primera productora de celulosa en la región del Biobío.

Actualmente se encuentra en 11 países con 44 plantas, dentro de los cuales se encuentran México (5 plantas), Perú (4 plantas), Brasil (5 plantas), Argentina (3 plantas) y Chile (23 plantas, de las cuales 3 corresponden a producción de celulosa kraft). A nivel nacional, la capacidad de producción de celulosa corresponde a 2.381 [Mt], cifra no menor considerando que Brasil cuenta con una capacidad de 2.010 [Mt]. Sumado a lo anterior, CMPC Chile también cuenta con una capacidad de 1.530 [$Mm^3$] de maderas y 10.442 [$Mm^3$] de Bosques, superando también en este ítem a países como Brasil y Argentina.

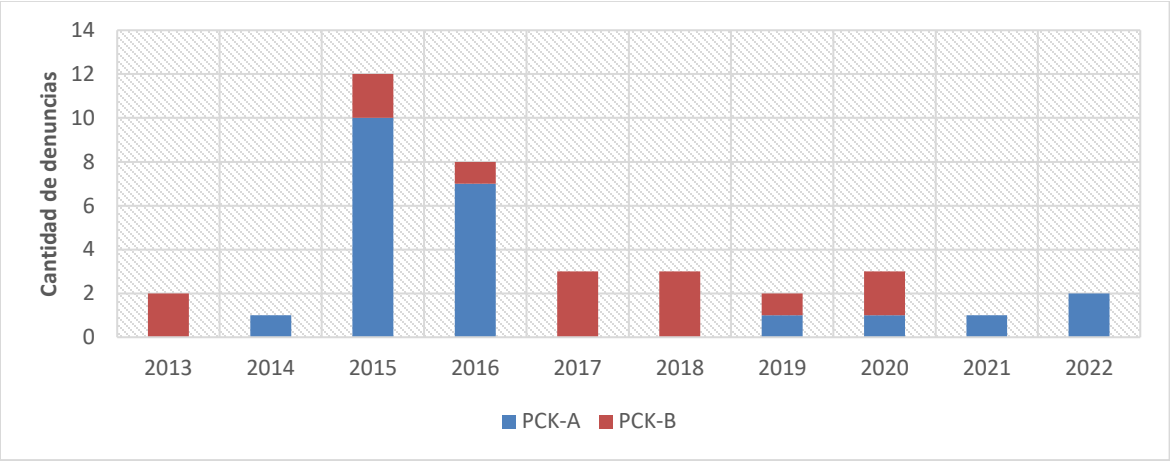
Por otro lado, con el objetivo de resguardar la confidencialidad de la información sobre los titulares y las plantas afectas a la regulación del DS37/2013 del MMA, estos se denominarán de acuerdo con los siguientes códigos. Para regulados, se utilizarán los códigos PCK-A y PCK-B, mientras que para plantas se utilizarán los códigos PCK-01, PCK-02, PCK-03, PCK-04, PCK-05, PCK-06, PCK-07, PCK-08.

## 2.5 Análisis de denuncias

Según los registros de denuncias reportadas en la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), entre los años 2013 a 2022, se han registrado un total de 37 denuncias relacionadas con olores molestos hacia los regulados y sus respectivas plantas. En este contexto, el titular PCK-A, ha acumulado un total de 23 denuncias a lo largo del periodo 2013-2022 luego de publicado el DS37/2013 del MMA, donde el mayor registro se alcanzó en el año 2015 con 10 denuncias, siendo secundado por el año 2016 con 7 denuncias.

El segundo titular, PCK-B en cambio, posee una cantidad inferior al anterior, con 14 denuncias dentro del mismo periodo evaluado, siendo los años 2017 y 2018 los años con mayor número de denuncias acumuladas (3 denuncias por año). El detalle de las denuncias por titular se encuentra disponible en la Figura 2.13, donde se identifican a los años 2015 y 2016 como el periodo de mayor ingreso de denuncias por olores molestos.

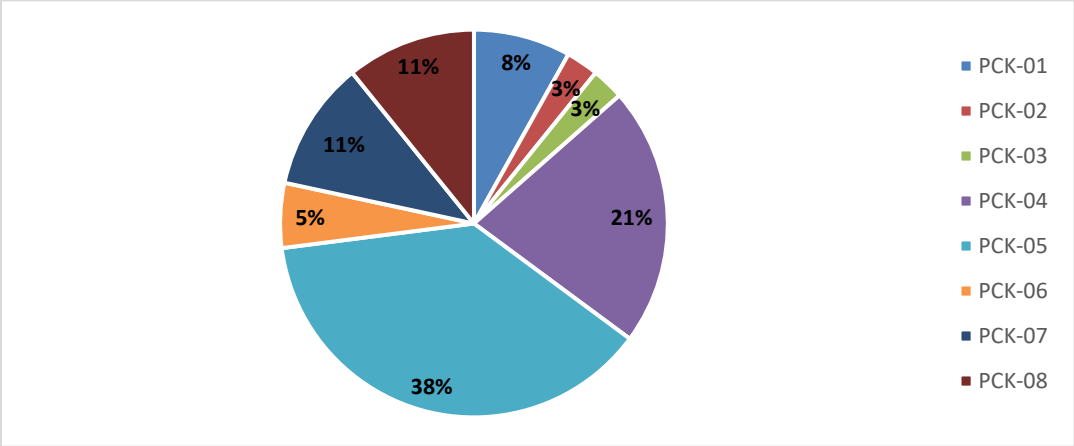
**Figura 2.13 Cantidad de denuncias anuales por olores molestos ingresadas por titular, periodo 2013 a 2022**




Fuente: Elaboración propia a partir de denuncias ingresadas a la SMA.

La situación de denuncias por cada planta se presenta en la Figura 2.14. Según esto, las plantas PCK-05 y PCK-04 lideran el ranking con 14 (38%) y 8 (21%) denuncias respectivamente, siendo PCK-02 y PCK-03 aquellas que finalizan en el último puesto del ranking con una (3%) denuncia cada una.

**Figura 2.14 Acumulado de denuncias por olores molestos ingresadas por cada planta, periodo 2013 a 2022**

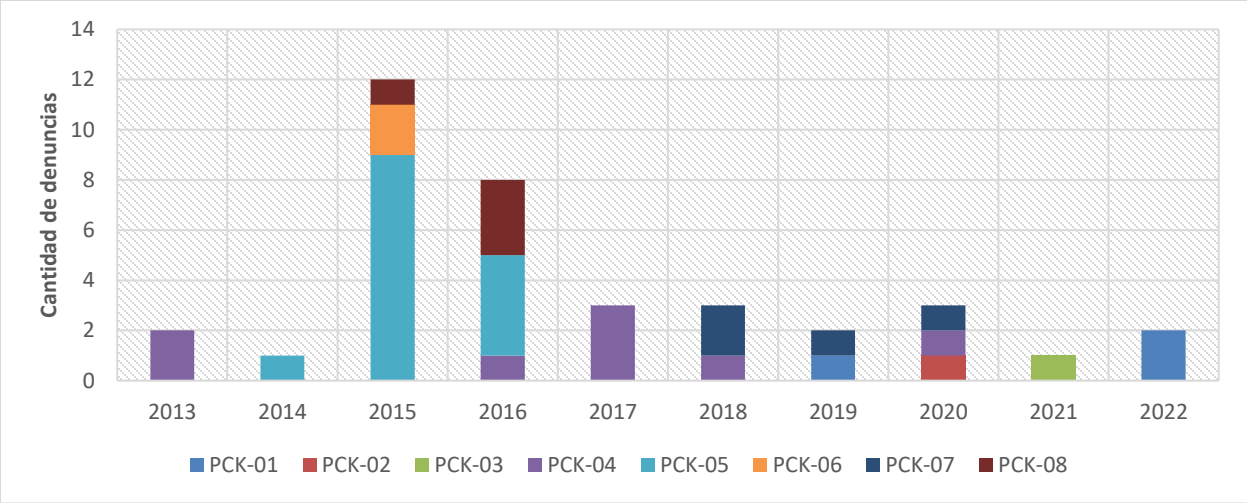



Fuente: Elaboración propia a partir de denuncias ingresadas a la SMA.

Si se analiza a detalle los años con mayor reporte de denuncias por olores molestos, identificados como los años 2015 y 2016, se puede determinar que, en ambos años, la planta PCK-05 fue la responsable de la mayor parte de las quejas ingresadas, con 9 y 4 denuncias respectivamente. Según el reporte de sanciones, en el año 2016 se inició un procedimiento sancionatorio en dicha planta, el cual se finalizó con un programa de cumplimiento (PDR). Por lo tanto, desde dicho periodo no se registraron nuevas denuncias hacia la planta PCK-05, caso diferente a la planta PCK-04, donde se realizaron denuncias entre los años 2016 a 2020. Ya en los últimos años, se han

registrado denuncias por las plantas PCK-03 y PCK-01, considerando los años 2021 y 2022 respectivamente, pero el total de denuncias por año se ha mantenido bajo, con un máximo de 3 denuncias anuales.

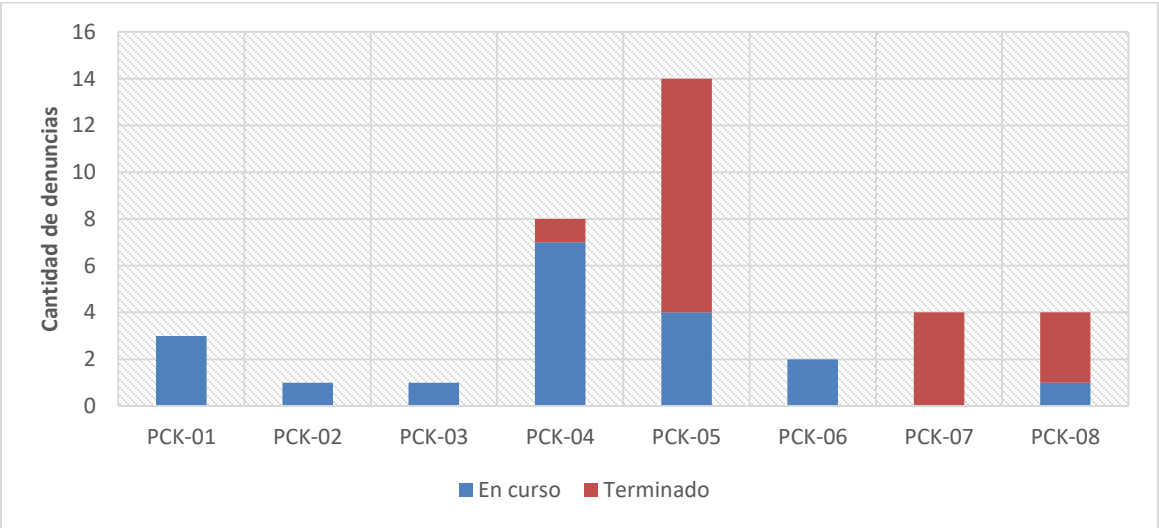
**Figura 2.15 Denuncias por olores molestos ingresadas por cada planta, periodo 2013 a 2022**




Fuente: Elaboración propia a partir de denuncias ingresadas a la SMA.

Las denuncias presentadas anteriormente, independiente del año en el cual fueron ingresadas, pueden estar en estado finalizado (terminadas) o en curso. Si se analiza por planta (ver Figura 2.16), sólo la planta PCK-07 presenta todas sus denuncias en estado finalizado (presentadas entre los años 2018 a 2020), mientras que las plantas PCK-01, PCK-02, PCK-03 y PCK-06 presentan todas sus denuncias en curso. La planta PCK-05 en cambio, presenta 10 de sus 14 denuncias en estado finalizado, las cuales fueron ingresadas principalmente entre los años 2014 a 2016.

**Figura 2.16 Estado de las denuncias por olores molestos, periodo 2013 a 2022**




Fuente: Elaboración propia a partir de denuncias ingresadas a la SMA.

Con respecto a las sanciones generadas a partir de las denuncias por olores molestos ingresadas en el periodo analizado (2013 a 2022), se identificaron dos sanciones correspondientes a los expedientes D-008-2016 y D-060-2020.

Si se analiza esta con información junto con los reportes de venteos indicados en la sección 3.3, donde se recopilaron los antecedentes de venteos de los años 2019 a 2021, se obtiene lo indicado en la Tabla 2.4 y Figura 2.17, donde en negrita se indican resaltados aquellos valores más altos en su respectiva categoría. En estas se logra identificar que no necesariamente, la instalación con más denuncias en un cierto año es aquella con mayor número de venteos (indicado como frecuencia) o duración de estos en el mismo año, exceptuando sólo algunos casos donde duración y denuncias si presentaron cierta correlación (años 2020 y 2021), pese a ello, no existe la cantidad de datos suficiente para realizar conclusiones definitivas considerando la poca cantidad de años analizados.

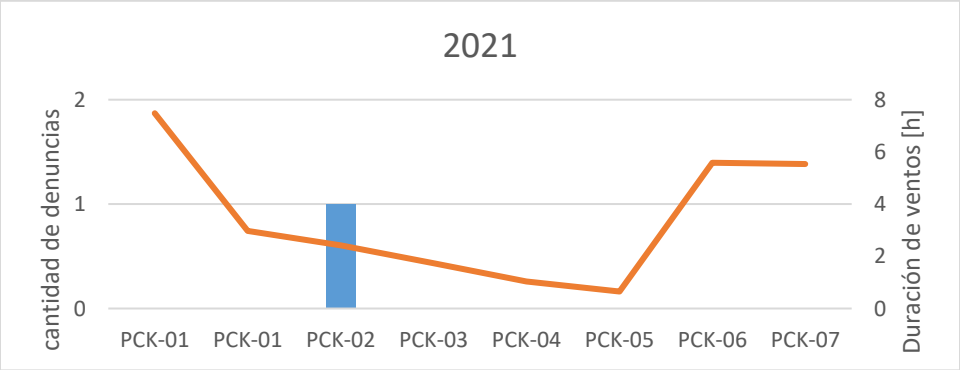
**Tabla 2.4 Denuncias y venteos de los regulados por año, periodo 2019 a 2021**

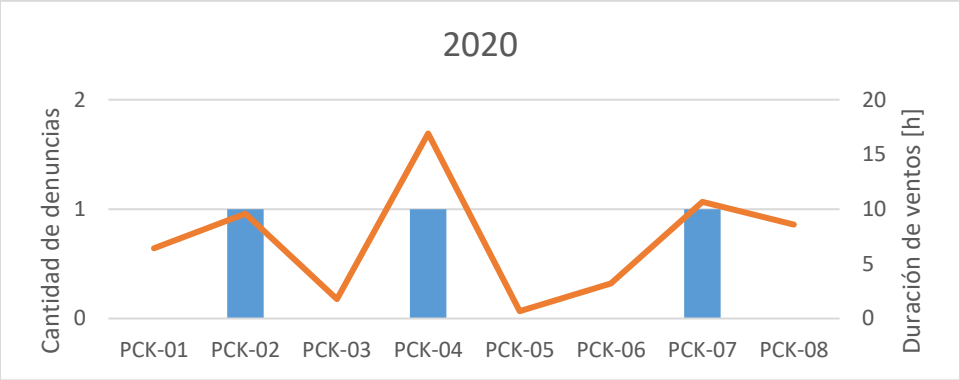
| Año | Ítem | PCK-01 | PCK-02 | PCK-03 | PCK-04 | PCK-05 | PCK-06 | PCK-07 | PCK-08 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2019 | N° denuncias | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | Frecuencia de venteo [1] | 33 | **51** | 50 | 15 | 7 | 0 | 18 | 16 |
| | Duración de venteos [h] | 4,21 | 7,02 | 1,24 | **28,47** | 0,58 | 0 | 18,17 | 4,34 |
| | % duración de CNCG | 4,1% | 17,5% | **37,9%** | 0,8% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0% |
| 2020 | N° denuncias | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | Frecuencia de venteo [1] | 66 | **64** | 38 | 14 | 5 | 5 | 16 | 26 |
| | Duración de venteos [h] | 6,43 | 9,59 | 1,78 | **16,91** | 0,67 | 3,2 | 10,67 | 8,58 |
| | % duración de CNCG | 1,2% | 1,4% | 7,2% | 0,0% | 0,0% | **94,5%** | 1,4% | 8,2% |
| 2021 | N° denuncias | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Frecuencia de venteo [1] | **58** | 20 | 33 | 5 | 7 | 11 | 8 | 8 |
| | Duración de venteos [h] | **7,48** | 2,97 | 2,42 | 1,73 | 1,03 | 0,65 | 5,58 | 5,53 |
| | % duración de CNCG | 0,9% | 6,4% | **30,2%** | 0% | 0% | 7% | 0% | 1% |

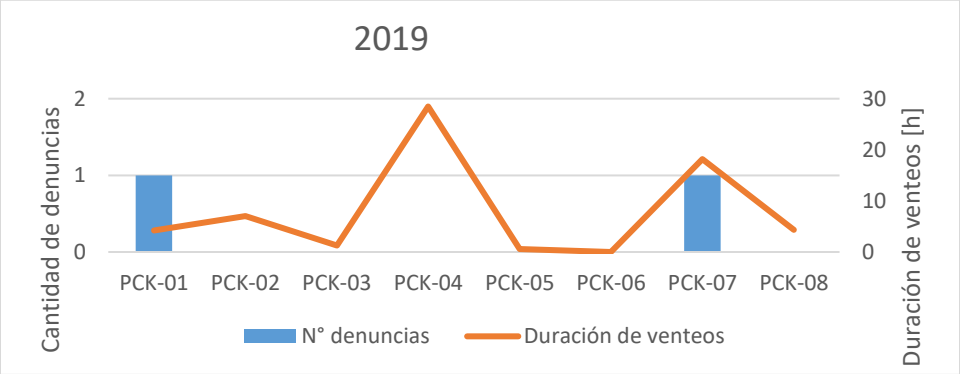
(1) Frecuencia de venteos corresponde al número o cantidad de venteos en el año analizado, según el registro de venteos indicado por cada regulado.
Nota: En negrita se encuentran resaltados aquellos valores más altos en su respectiva categoría.

Fuente: Elaboración propia en base a reportes disponibles en la plataforma SNIFA de la SMA.

**Figura 2.17 Cruce de información de las denuncias y venteos de los regulados, periodo 2019 a 2021**






Fuente: Elaboración propia en base a reportes disponibles en la plataforma SNIFA de la SMA.

Lo anterior se debe a que existen múltiples factores que pueden interferir en la dispersión de gases, y por tanto, a la generación de denuncias por parte de las comunidades, además puede existir cierto desface entre la generación de venteos y el ingreso de denuncias, por lo tanto, no se podrían relacionar los venteos y las denuncias de los años calendario. Sin embargo, la Tabla 3.10 resume la información indicada anteriormente para todo el periodo de análisis sin diferenciación del año de estudio. Desde dicho análisis se puede identificar que parte del grupo de plantas con venteos frecuentes (PCK-01 y PCK-02) presentan denuncias por olores molestos en el periodo de estudio, mientras que las plantas con venteos poco frecuentes (PCK-05 y PCK-06) no presentaron denuncias. Sin embargo, tal como se indicó anteriormente, para realizar conclusiones definitivas es necesario analizar periodos temporales más extensos a los presentados.

## 2.6 Conflictos socioambientales

Adicional al análisis de denuncias presentado en la sección anterior, se realizó una revisión del mapa de conflictos socioambientales del Instituto Nacional de Derechos Humanos (INDH, 2022), donde se especifica que existen cinco conflictos identificados asociados al sector forestal, tres de ellos se encuentran en estado activo[1], uno latente[2] y otro cerrado[3], y sólo dos involucran emisiones de compuestos TRS y/u olores, pertenecientes a planta PCK-05 (detallado en la Tabla 2.5) y PCK-08 (detallado en la Tabla 2.6).

Según la descripción del conflicto socioambiental de la planta PCK-05 desde el año 2014 se presentan reclamos de vecinos por malos olores y en concordancia con el registro de denuncias (ver Figura 2.13), estas perduraron hasta el año 2016, donde se aceptó un Plan de Cumplimiento (PDC). A pesar de esto, dicho conflicto según el Instituto Nacional de Derechos Humanos (INDH), sigue en estado Activo.

**Tabla 2.5 Resumen de conflicto socioambiental asociado a planta PCK-05**

| CONFLICTOS SOCIOAMBIENTALES ASOCIADOS A PLANTA PCK-05 | |
|---|---|
| **Nombre de conflicto** | Planta de celulosa PCK-05 |
| **Estado de conflicto** | Activo |
| **Resumen** | |
| **2014**: La SMA encargó un proceso sumatorio en contra de la planta luego de reclamos de comunidades cercanas de Quillón y Ránquil por malos olores emanados de las instalaciones.<br><br>**2015**: Ocurre un nuevo episodio de malos olores, el cual fue calificado por la planta como ''acotado'' debido a la solución dada durante la jornada.<br><br>**Fiscalizaciones 2013 y 2015:** se detectan incumplimientos ambientales asociados al manejo y control de residuos líquidos y manejo de emisiones atmosféricas. Entre las infracciones imputadas se encuentran: deficiencias de sistemas de control y contingencias, específicamente, los sensores de presión y de caudal asociados a fallas en el sistema de conducción y descarga de efluentes; construcción de la cámara de carga en el coronamiento del sistema de dunas y el ducto del emisario se encuentra semienterrado, siendo ambos visibles desde la playa; emisiones a la atmosfera de gases TRS y de dióxido de cloro gaseoso sin el tratamiento establecido en su RCA; venteos de gases TRS en condiciones que debido a su habitualidad no son de emergencia; acopio de residuos no autorizados en superficie del depósito de residuos industriales sólidos del titular y la inexistencia de un cerco vegetal que sirva de apantallamiento del mismo DRIS.<br><br>**2016, septiembre**: La empresa vuelve a enfrentar reclamos por parte de vecinos, por la aprobación de un plan de cumplimiento por US$9 millones en inversiones ambientales, los cuales solicitaron no acoger dicho Plan. Empresa se defiende.<br><br>**2016, diciembre**: Se aprueba el Plan de Cumplimiento (PDC), se suspende el proceso sancionatorio, debido a que el programa de cumplimiento ''se hace cargo de todos los efectos negativos de las infracciones constatadas'' con metas y plazos claros, | |

[1] Según el INDH, Activo: el conflicto socioambiental está iniciado, se tienen medios de verificación que dan cuenta de nuevos hitos ocurridos en el último año y no existen antecedentes sobre su cierre.

[2] Según el INDH, Latente: el conflicto socioambiental está iniciado, los últimos medios de verificación con que se cuenta tienen una antigüedad mayor a un año y no existen antecedentes que permitan asumir su cierre.

[3] Según el INDH, Cerrado: existe un acuerdo entre las partes en disputa o una resolución institucional que pone fin al conflicto socioambiental.

| CONFLICTOS SOCIOAMBIENTALES ASOCIADOS A PLANTA PCK-05 | |
|---|---|
| tampoco se pudo comprobar el daño efectivo a la salud de las personas y que las denuncias por ruidos molestos dieron origen a una nueva investigación. | |
| **Ámbito de derechos humanos** | Derechos humanos involucrados |
| **Salud** | - |
| **Medio Ambiente** | Derecho a un medio ambiente libre de contaminación |
| | Derechos humanos y residuos tóxicos |
| **Participación Ciudadana** | Derecho a participar en la dirección de los asuntos públicos |

Nota: Nombre del conflicto modificado por confidencialidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de INDH (2022).

Por otro lado, el conflicto activo descrito en la planta PCK-08 (véase Tabla 2.6), si bien, guarda relación con contaminación de aguas, ha reportado denuncias por olores molestos las cuales se han asociado al sistema de monitoreo de gases.

**Tabla 2.6 Resumen de conflicto socioambiental asociado a planta PCK-08**

| CONFLICTOS SOCIOAMBIENTALES ASOCIADOS A PLANTA PCK-08 | |
|---|---|
| **Nombre de conflicto** | Planta de celulosa PCK-08 |
| **Estado de conflicto** | Activo |
| **Resumen** | |
| 2004: La empresa inicia sus faenas infringiendo la RCA del proyecto. En marzo, los residuos industriales comienzan a ser vertidos a río con tratamiento terciario (la DIRECTEMAR no dio permiso de salida al mar), luego de un mes, los ciudadanos de las comunas cercanas se manifestaron contra los olores. Las autoridades reaccionaron con acciones de fiscalización donde se determinó que los problemas no se reducían solo a los malos olores, sino que la planta no poseía sistema de control, abatimiento y monitoreo de gases. | |
| **Ámbito de derechos humanos** | **Derechos humanos involucrados** |
| **Salud** | Derecho a la prevención y al tratamiento de enfermedades |
| | Derecho a disfrutar la salud física y mental |
| **Medio Ambiente** | Derecho a un medio ambiental libre de contaminación |
| | Derechos humanos y residuos tóxicos |
| | Agua |
| | Derecho a la biodiversidad |
| | Derecho inherente de todos los pueblos a disfrutar y utilizar plena y libremente sus riquezas y recursos naturales |

Nota: Nombre del conflicto modificado por confidencialidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de INDH (2022).

# 3. Evaluación del nivel de cumplimiento de la normativa vigente por parte de los regulados

En la presente sección se realiza el análisis del cumplimiento de la normativa de las fuentes afectas a la normativa actual (DS 37/2013 del MMA). Esto incluye, por una parte, un análisis del cumplimiento actual de los establecimientos existentes en emisiones de TRS (sección 3.2), seguido por un análisis de la frecuencia de los venteos (sección 3.3).

## 3.1 Exigencias de la normativa y fuentes de información

### 3.1.1 Fuentes de información disponible

La publicación del DS37/2013 del MMA, no sólo tiene un impacto en el control de emisiones de TRS por parte de los establecimientos afectos, sino que también permitió generar y hacer disponible información descriptiva de la situación actual de las plantas, sus niveles de cumplimiento y fiscalizaciones. Esta información se genera principalmente en los informes mensuales y anuales descritos en los artículos 11° y 12° del DS37/2013 del MMA. Estos informes son la información base utilizada por la SMA para la fiscalización del cumplimiento de la normativa, generando sus propios informes de fiscalización, donde entre otras actividades se analizan de forma independiente los antecedentes provistos por los establecimientos afectos.

Del análisis de la información disponible, se observa que para algunos datos mensuales/anuales existen diferencias (entre 10% y 30%) entre los valores reportados por los titulares en sus informes mensuales y anuales, con los valores reportados en los informes de fiscalización. Cabe destacar, que independiente de las diferencias observadas los límites establecidos por la norma no son superados. Dado que los informes de fiscalización son los reportes revisados y aprobados por la autoridad y estos se consideran para analizar el cumplimiento de la norma, se privilegian los valores reportados en estos informes por sobre los reportes de los titulares.

En este contexto, la Tabla 3.1 indica los códigos de los reportes de fiscalización utilizados como fuente de información del presente informe. Cada reporte de fiscalización mantiene un mismo código, que consiste en las siglas DFZ seguidas del año de entrega del informe, código identificador, región y tipo de norma. En general, en el año 2015 no existen reportes de fiscalizaciones disponibles, sin embargo, en dichos años existe disponible el reporte generado por el titular, excepto en la planta PCK-03, donde no existen informes disponibles en los años 2014 y 2015, lo que puede deberse a las dificultades propias de entrada en vigencia del Decreto Supremo N°37 en el año 2013. Sin embargo, en la mayoría de las plantas para dicho año existen informes de validación del Sistema de Monitoreo Continuo de Emisiones (CEMS), por lo que podría deberse a que dicho año se priorizó la regulación de dicho sistema. Esto ocurre específicamente con PCK-02, PCK-03, PCK-04, PCK-06 y PCK-08.

Se destaca que cada uno de estos informes de fiscalización está acompañado por los anexos con la información base (reporte de titulares) utilizada para las conclusiones presentadas en sus

reportes. Toda esta información es de acceso público por medio de la plataforma SNIFA de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA)[4].

**Tabla 3.1 Código identificador de informes de fiscalización**

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Código informes disponibles** | DFZ-2014-429-VII-NE-EI | DFZ-2015-263-VIII-NE-EI | DFZ-2017-229-VII-NE-EI | DFZ-2018-2027-VII-NE | DFZ-2019-1911-VII-NE | DFZ-2020-2489-VII-NE | DFZ-2021-1494-VII-NE | DFZ-2022-1226-VII-NE |
| | DFZ-2015-263-VIII-NE-EI | DFZ-2015-264-VIII-NE-EI | DFZ-2017-228-VII-NE-EI | DFZ-2018-2170-VII-NE | DFZ-2018-2170-VII-NE | DFZ-2020-1303-VII-NE | DFZ-2021-1263-VII-NE | DFZ-2022-1224-VII-NE |
| | DFZ-2014-428-VIII-NE-EI | - | DFZ-2017-230-VIII-NE-EI | DFZ-2018-2193-VIII-NE | DFZ-2019-1912-XVI-NE | DFZ-2020-2486-XVI-NE | DFZ-2021-1495-XVI-NE | DFZ-2022-1227-XVI-NE |
| | DFZ-2014-472-VIII-NE-EI | - | DFZ-2017-225-VIII-NE-EI | DFZ-2018-1529-VIII-NE | DFZ-2019-1909-VIII-NE | DFZ-2020-2491-VIII-NE | DFZ-2021-1493-VIII-NE | DFZ-2022-1225-VIII-NE |
| | DFZ-2014-483-VIII-NE-EI | - | DFZ-2017-223-VIII-NE-EI | DFZ-2018-1895-VIII-NE | DFZ-2019-1906-VIII-NE | DFZ-2020-1300-VIII-NE | DFZ-2021-1259-VIII-NE | DFZ-2022-1222-VIII-NE |
| | DFZ-2014-481-XIV-NE-EI | - | DFZ-2017-227-VIII-NE-EI | DFZ-2017-227-VIII-NE-EI | DFZ-2019-1908-VIII-NE | DFZ-2020-1302-VIII-NE | DFZ-2021-1262-VIII-NE | DFZ-2022-1223-VIII-NE |
| | DFZ-2014-480-IX-NE-EI | - | DFZ-2017-231-XIV-NE-EI | DFZ-2018-2242-XIV-NE | DFZ-2019-1913-XIV-NE | DFZ-2020-2487-XIV-NE | DFZ-2021-1496-XIV-NE | DFZ-2022-1228-XIV-NE |
| | - | - | DFZ-2017-224-VIII-NE-EI | DFZ-2018-2239-IX-NE | DFZ-2019-1907-IX-NE | DFZ-2020-1301-IX-NE | DFZ-2021-1261-IX-NE | DFZ-2022-1234-IX-NE |

Fuente: Elaboración propia a partir de reportes disponibles en la plataforma SNIFA de la SMA.

La información levantada fue sistematizada en bases de datos, las cuales se adjuntan de manera digital al presente informe (ver Apéndice 1). De la misma forma se generó un visualizador online[5] con diferentes visualizaciones de la base de datos consolidada. Desde donde se espera que se puedan hacer análisis adicionales a los presentados en el presente informe utilizando la base de datos y el visualizador preparado.

La información pública generada por el DS37/2013 del MMA es complementada por información primaria levantada directamente desde entrevistas y visitas técnicas ejecutadas por el equipo consultor durante el desarrollo de la consultoría. En estas reuniones se verificaron datos obtenidos desde los reportes de los titulares e informes de la SMA, junto con complementar la información con antecedentes de producción, de control de olores, y aspectos económicos de la implementación de la norma.

No fueron visitadas todas las plantas, sino que, en conjunto con la contraparte se seleccionaron plantas que fueran representativas de la diversidad de la realidad chilena.

**Tabla 3.2 Fechas de entrevistas y visitas técnicas ejecutadas**

| Titular | Fecha entrevista | Fecha visita técnica |
|---|---|---|
| **PCK-A** | 13-12-2022 | 17-03-2023 |
| **PCK-B** | 16-12-2022 | 16-03-2023 |

Fuente: Elaboración propia

[4] snifa.sma.gob.cl

[5] https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1, en ella se pueden recrear y observar el detalle de todas las figuras presentadas en la presente sección. Se recomienda descargar una versión local para facilitar el análisis, aunque también puede utilizarse el visualizador online.

### 3.1.2 Resumen DS37/2013 del MMA

El DS37/2013 del MMA tiene por objeto la prevención y regulación de las emisiones de olores molestos a través del control de la emisión de compuestos TRS, provenientes de la fabricación de celulosa mediante el proceso Kraft o al sulfato, los cuales se asocian principalmente a los compuestos mencionados en la sección 2.2.5 del presente informe.

Los límites máximos de emisión de TRS permisibles establecidos en el presente decreto, son aquellos que se encuentran expresados en la Tabla 3.3, que corresponden a los indicados en el artículo 3° de la norma indicada.

**Tabla 3.3 Límites máximos permisibles de emisión de compuestos TRS medido como $H_2S$ según DS37/2013**

| Equipo | Límite de concentración de Sulfuro de Hidrógeno ($H_2S$) | Requerimientos de medición |
|---|---|---|
| Caldera recuperadora | 5 [ppmv][1] | El sistema de medición de las emisiones TRS deberá ser continuo, medido en el ducto final de cada fuente antes de su descarga a la atmósfera. |
| Horno de cal de establecimientos existentes | 15 [ppmv][1] | |
| Horno de cal de establecimientos nuevos | 10 [ppmv][1] | |
| Incinerador dedicado[2] | 20 [ppmv][1] | |
| Caldera de poder dedicado[2] | 20 [ppmv][1] | |
| Estanque disolvedor de licor verde | 16,8 [mg/kg] de sólidos secos | Cuando tenga emisiones directas a la atmósfera, la medición de las emisiones TRS deberá ser en forma discreta, utilizando el método 16 a o 16 b de la USEPA: Determinación de Emisiones de Azufre Reducido Total de Fuentes Estacionarias. |

Nota 1: Los valores de concentración deberán ser corregidos al 8% de oxígeno en base seca y expresados en condiciones de presión y temperatura de 1 [atm] y 25[°C].
Nota 2: Según el DS37/2013 un equipo dedicado es cualquier unidad que se utilice en forma permanente para la combustión de TRS.

Fuente: Adaptado desde DS37/2013 MMA, 2013.

Así, las condiciones de superación se encuentran diferenciadas según equipo regulado:

- Caldera recuperadora y horno de cal (artículo 4°): Se establece que se considerará sobrepasada la norma cuando el percentil 98 (P98) de los valores promedios horarios, registrados durante un periodo mensual en alguno de los equipos mencionados, sea mayor a lo indicado en la Tabla 3.3.
- Incinerador y la caldera de poder (artículo 5°):
    - En caso de que sean <u>equipos dedicados a la combustión</u> de TRS, la norma será considerada sobrepasada cuando el P98 de los valores promedios diarios, registrados durante un período anual en alguno de los equipos sea mayor a lo indicado en la Tabla 3.3,

- Si se trata de equipos utilizados como respaldo, se considerará que habrán superado la norma si la temperatura de régimen es menor a 650 [°C] y el tiempo de ocurrencia supera los 5 [min] de forma continuada.

- Estanque disolvedor de licor verde (artículo 6°): para aquellos establecimientos existentes que no presenten un sistema de captación de sus gases, el incumplimiento vendrá dado cuando la superación de los registros de la medición discreta cada 3 meses sea mayor a lo expuesto en la Tabla 3.3.
    - En el mismo artículo se estípula que a los 4 años desde la publicación, estos equipos deberán contar con un sistema de captura de estos gases. Esto en la práctica implica que actualmente ningún establecimiento este afecto al límite para estaques disolvedores, dado que todos cuentan con sistema de captación de gases.

Respecto de los sistemas de recolección y tratamiento de TRS en su título cuarto indica la obligatoriedad de que los regulados existentes y nuevos a la fecha de publicación, incorporen en sus procesos estos sistemas para TRS concentrados y diluidos (artículo 9°), definiendo un plazo de implementación de 5 años desde la publicación del decreto (artículo 8°).

Finalmente, en el caso de los venteos, la norma indica que estos deberán informarse a la autoridad respectiva en un plazo máximo de 24 horas indicando causa y tiempo de duración. La norma indica explícitamente: "*los venteos de TRS (concentrados y diluidos) estarán limitados por el funcionamiento del equipo de combustión, el que debe operar con un porcentaje igual o superior al 98% del tiempo de funcionamiento en base mensual. Para efectos del cálculo del porcentaje de funcionamiento de los equipos de combustión de TRS, se considerarán los periodos en que la planta se encuentre en funcionamiento, descontadas las partidas y paradas, las que serán reportadas en el informe mensual*" (artículo 10°). El artículo 11° por su parte indica que los regulados deberán mensualmente elaborar un informe a la autoridad fiscalizadora, además de declarar anualmente en el mes de enero sus emisiones de TRS pertenecientes al año calendario anterior.

## 3.2 Análisis del nivel de cumplimiento

De acuerdo con los informes de fiscalización considerados (ver sección 3.1.1), las exigencias del DS37/2013 del MMA han sido cumplidas por los establecimientos afectos, excepto la exigencia del artículo 5°, relacionada con la temperatura de operación de los equipos de respaldo[6], donde existieron incumplimientos sólo para el año 2019 (ver sección 3.2.3). De esta forma, los informes anuales enviados por la SMA al MMA, en conformidad del artículo 12°, han dado cuenta de las inspecciones y seguimiento realizado en el margen de la normativa por todos los establecimientos.

Aun así, los niveles de cumplimiento varían entre las diferentes plantas y los diferentes tipos de fuentes. Por lo que, para contar con un análisis general de la situación actual de las fuentes, se inicia con un análisis de los valores fiscalizados en los últimos tres años calendario completos (2019 a 2021) para luego, continuar con un análisis por fuente regulada.

Para seleccionar este horizonte de análisis (2019 a 2021) se consideran como criterio principal la representatividad, es decir, que el periodo represente las actuales practicas operacionales del país, y la variabilidad, para que los datos representen diferentes estados de operación posibles de las fuentes reguladas. Mientras, en general el primer criterio exige información de años recientes (que pueden ser poco completas), el segundo criterio apunta a series largas de datos (que pueden ser poco representativas). Finalmente, la Resolución Exenta N°1291 que aprueba la Guía para el Reporte y la Evaluación del Cumplimiento Normativo del DS37/2013 MMA, fue promulgada y publicada recién en el año 2018. En vista de lo anterior, a juicio del equipo consultor se consideró que los últimos tres años calendarios completos al inicio del estudio representan un horizonte que equilibra ambos criterios. De esta forma, se ha sistematizado la recopilación de información en los reportes de fiscalización, por lo que se pueden realizar análisis comparables.

### 3.2.1 Análisis general

En la Figura 3.1 se presenta la dispersión de los P98 horarios a nivel mensuales o anuales de emisiones según tipo de fuente (caldera recuperadora (CR), caldera de poder (CP), horno de Cal (HC) e incinerador (Inc)) para cada uno de los establecimientos. Se destaca que para aquellas plantas con más de una fuente de un tipo (por ejemplo, CR1 y CR2) se presenta el promedio de sus P98.

[6] Según el DS37/2013 un equipo de respaldo es cualquier unidad que se utilice de manera ocasional, por motivos de contingencia, para la combustión de TRS.

Según el DS37/2013 del MMA los valores límite para estas fuentes son los indicados en la Tabla 3.3, que define el límite de 5 [ppmv] para calderas recuperadoras (CR), 15 [ppmv] para hornos de cal (HC), y 20 [ppmv] para caldera de poder (CP) o incineradores (Inc), ambos dedicados[7].

De la Figura 3.1 se pueden observar la amplitud de los P98 reportados. En líneas generales se aprecia que los menores rangos de variación se observan en las calderas de poder (CP) y en las calderas recuperadoras (CR). Ambos tipos de fuente suelen presentar P98 menor a los 2 [ppmv]. La excepción son las calderas recuperadoras (CR) de las plantas de PCK-02 y PCK-03, cuyos valores suelen ubicarse en el rango de 3-4 [ppmv]. Según la descripción de las fuentes emisoras del Anexo 1.1 las calderas recuperadoras de PCK-02 y PCK-03 son de los años 1992 y 1970, respectivamente, siendo algunas de las más antiguas a nivel nacional, donde también se incluye la caldera recuperadora de la PCK-06 y PCK-07 las cuales fueron construidas en el año 1990 (una de las 2 calderas recuperadoras de PCK-07). Sin embargo, según los datos analizados, la caldera de la planta PCK-06, no suele presentar niveles límite o datos atípicos de emisiones de TRS, esta diferencia puede deberse a una serie de mejoras que han sido realizadas en las calderas recuperadoras según indicó el titular en las entrevistas levantadas durante el desarrollo del presente proyecto. Adicionalmente, según la revisión de proyectos ingresados al SEIA (ver sección 3.5) en las plantas PCK-04, PCK-05 y PCK-08, se han incorporado una serie de mejoras relacionadas con las calderas recuperadoras, específicamente en proyectos ingresados al Servicio de Evaluación Ambiental en los años 1998, 2005 y 2009.

Respecto a las calderas recuperadoras es destacable también la existencia frecuente de valores que se escapan de los valores medios, situación que es especialmente observable en las plantas de PCK-04 y PCK-07. Aun así, se mantienen por debajo del límite exigido por el DS37/2013 del MMA, el cual para estos equipos es el más exigente (5 [ppmv]). Para mayor detalle del comportamiento de las calderas recuperadoras en el periodo de estudio, se presenta un análisis por año y planta, en la sección 3.2.2.

En el caso de las calderas de poder (CP) e incineradores (Inc), se observa que sólo algunos establecimientos cuentan con reporte. Lo anterior se explica, con que sólo estos establecimientos (PCK-01 y PCK-04 en el caso de calderas de poder, y PCK-01, PCK-06 y PCKA-07 en el caso de incineradores) declaran estos equipos como "*equipos dedicados*" durante el período de estudio. Se observa que, a pesar de contar con el mismo valor límite (20 [ppmv]), los P98 diarios anuales de las emisiones de los incineradores tienden a ser más altas que los de las calderas de poder. Aun así, estos valores cuentan con un amplio margen de cumplimiento.

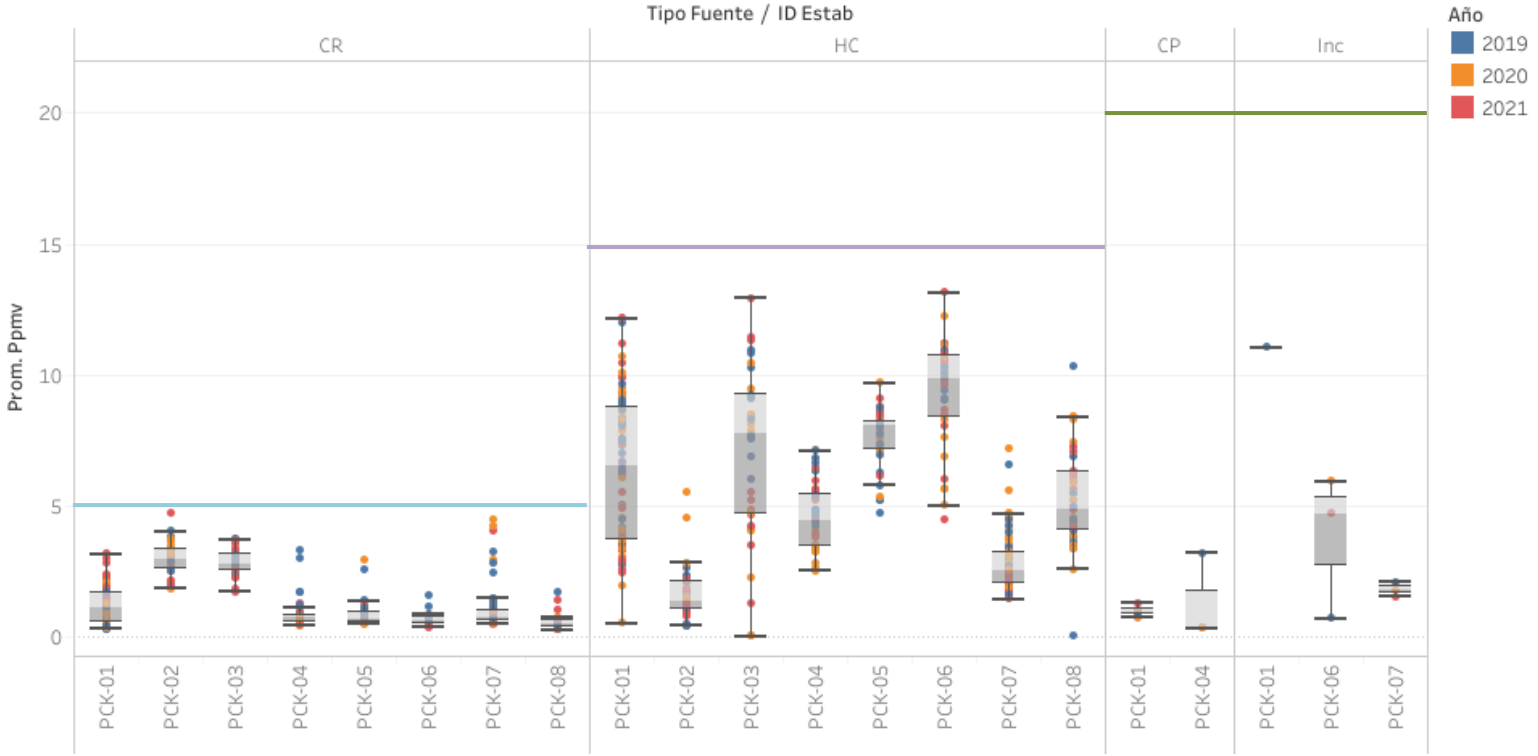
Por último, los hornos de cal (HC), cuyo límite de emisión en el DS37/2013 es de 15 [ppmv], son los equipos que tienden a presentar mayores P98 de emisión. Al comparar con los valores de las calderas recuperadoras, las cuales tienen la misma métrica (P98 horario mensual), se observa

[7] Según el DS37/2013 un equipo dedicado es cualquier unidad que se utilice en forma permanente para la combustión de TRS.

que en promedio tienen emisiones 4 veces mayor. Sin embargo, también tienen la mayor desviación respecto de la media, lo que se traduce en un amplio rango de valores de P98 observados. Se destaca el caso de la Planta PCK-02, donde el HC sistemáticamente alcanza valores cercanos a 2 [ppmv], incluso inferiores a las mediciones de su CR. A diferencia de la caldera recuperadora, en los hornos de cal, no existe una correlación entre el nivel de emisiones TRS y el año de fabricación de los equipos, por ejemplo, según lo indicado en el Anexo 1.1, los hornos de cal operativos más antiguos corresponden a los de las plantas PCK-01 (horno de cal 1, en el año 1969) y PCK-02 (del año 1971). Además, según la revisión de proyectos ingresados en SEIA (ver sección 3.5) sólo algunas plantas han ingresado proyectos que incluyan medidas relacionadas con la reducción de emisiones desde el horno de cal, como PCK-06 y PCK-08, con proyectos ingresados en los años 1996 y 2001, respectivamente. Esta criticidad presentada por estos equipos se confirma en las entrevistas realizadas, donde un titular indicó que con el equipo que tienen más complicaciones en su operación era efectivamente el horno de cal (HC). Aun así, es relevante destacar que existe amplios niveles de holgura respecto de los límites establecidos en la norma. Con el objetivo de caracterizar de mejor forma el nivel de cumplimiento de la actual norma, se propone un análisis complementario al anterior se puede realizar observando el margen de sobrecumplimiento (ver Anexo 1.2).

Adicional a las exigencias de los artículo 3, 4 y 5° del DS37/2013 que definen los límite de emisión de TRS, revisados anteriormente, existe el artículo 8° que indica: "*Sistema de recolección y tratamiento de TRS para establecimientos existentes: Los establecimientos regulados existentes que no cuenten con un sistema completo de recolección y tratamiento de TRS (concentrados y diluidos), para cada uno de sus procesos de producción de celulosa al sulfato, deberán implementarlo en un periodo de 5 años a partir de la entrada en vigencia del presente decreto e incorporar un sistema de medición de tipo continuo para medir TRS, de acuerdo a lo señalado en los artículos 3 y 4°*". Si bien, los reportes del SMA no tienen una revisión explícita de las exigencias del artículo 8°, se puede determinar que existen sistemas de recolección y tratamiento de TRS, para cada planta regulada, los cuales, de hecho, son indicados en el Anexo 1.3. En este contexto, la Tabla 3.4, resume la disponibilidad de sistemas de quemado de gases TRS por planta y además, la existencia de los sistemas de medición continua.

**Figura 3.1 *Boxplot* del P98 de emisión de $H_2S$ por tipo de fuente y establecimiento**




Nota: Siglas de tipo de fuente consisten en CR (caldera recuperadora), HC (horno de cal), CP (caldera de poder), INC (incinerador).

Los límites de emisión definidos por el DS37/2013 se identifican por colores **verde** para CP e INC (límite de 20 [ppmv]), **morado** para HC (límite de 15 [ppmv]) y celeste para CR (límite de 5 [ppmv]).

Para CR y HC se indican los P98 de los valores promedios horarios, registrados durante un periodo mensual. Mientras que para CP e Inc dedicados se indican los P98 de los valores promedios diarios, registrados durante un período anual .

Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

Los valores de concentración se encuentran corregidos al 8% de oxígeno en base seca y expresados en condiciones de presión y temperatura de 1 [atm] y 25 [°C]

Fuente: Elaboración propia en base a informes de fiscalización de SMA.

**Tabla 3.4 Sistemas de gases TRS y Sistemas de medición por planta**

| ID planta | N° | Línea | DNCG/CNCG | Equipo dedicado | Equipo respaldo | Sistema de medición continua |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PCK-01 | Sistema de combustión 1 | Línea 1 | CNCG | Caldera de poder 1/ Caldera recuperadora 2 | Incinerador/ Caldera de poder 2 | Método de medición CEMS para equipos dedicados (y horno de cal) |
| | Sistema de combustión 2 | Línea 2 | CNCG | Caldera de poder 2/ Caldera recuperadora 2 | Horno de cal 2/ Incinerador | |
| | Sistema de combustión 3 | Línea 2 | CNCG | Caldera de poder 2/Caldera recuperadora 2 | Incinerador | |
| | Sistema de combustión 4 | Línea 1 | DNCG | Caldera recuperadora 1 | - | |
| | Sistema de combustión 5 | Línea 2 | DNCG | Caldera recuperadora 2 | - | |
| PCK-02 | - | - | CNCG | Horno de cal | Incinerador | Método de medición CEMS para equipos dedicados |
| | - | - | DNCG | Caldera recuperadora | - | |
| PCK-03 | - | - | CNCG | Horno de cal | Incinerador | Método de medición CEMS para equipos dedicados |
| | - | - | DNCG | Caldera recuperadora | - | |
| PCK-04 | Sistema de combustión 1 | - | CNCG | Caldera de poder 3/ Caldera recuperadora 6 | Incinerador 2/Incinerador 1 | Método de medición CEMS para equipos dedicados |
| | Sistema de combustión 2 | - | DNCG | Caldera recuperadora 6 | - | |
| | Sistema de combustión 3 | - | DNCG | Horno de cal | Caldera recuperadora 6 | |
| PCK-05 | - | - | CNCG | Caldera recuperadora | Incinerador 1 y 2 | Método de medición CEMS para equipos dedicados (y horno de cal) |
| | - | - | DNCG | Caldera recuperadora | - | |
| PCK-06 | - | - | CNCG | Incinerador | Horno de cal/ Incinerador | Método de medición CEMS para equipos dedicados (y horno de cal) |
| | - | - | DNCG | Caldera recuperadora | - | |
| PCK-07 | Sistema de combustión 1 | - | CNCG | Incinerador 1 | Caldera de poder 1/ Horno de cal/Incinerador 2 | Método de medición CEMS para equipos dedicados |
| | Sistema de combustión 2 | - | CNCG | Caldera recuperadora 2 | Incinerador 1/Incinerador 2 | |
| | Sistema de combustión 3 | - | DNCG | Caldera recuperadora 1 | Caldera de poder 1/ Caldera recuperadora | |
| | Sistema de combustión 4 | - | DNCG | Incinerador 1 | Caldera de poder 1 | |
| | Sistema de combustión 5 | - | DNCG | Caldera recuperadora 2 | Incinerador 1/ Caldera de poder 1 | |
| | Sistema de combustión 6 | - | DNCG | Horno de cal | Incinerador 3 | |
| PCK-08 | - | - | CNCG | Caldera recuperadora | Caldera de poder/ Incinerador | Método de medición CEMS para equipos dedicados (y horno de cal) |
| | - | - | DNCG | Caldera recuperadora | - | |

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del SMA

### 3.2.2 Caldera recuperadora

Según la información recopilada en los reportes de la SMA, al año 2021 existen 10 calderas recuperadoras operativas, las cuales se indican en la Tabla 3.5, estas fueron fabricadas entre los años 1970 a 2005, siendo la más antigua la caldera recuperadora de la planta PCK-02 y las más actual la de la planta PCK-04. Además, se puede indicar que la mayoría de estas calderas recuperadoras son utilizadas para el quemado de gases diluidos (DNCG), excepto en las plantas PCK-04, PCK-05, PCK-07 (CR2) y PCK-08, donde se utiliza como equipo dedicado para la quema de gases CNCG y DNCG en los sistemas de quema de gases (ver Anexo 1.3.7).

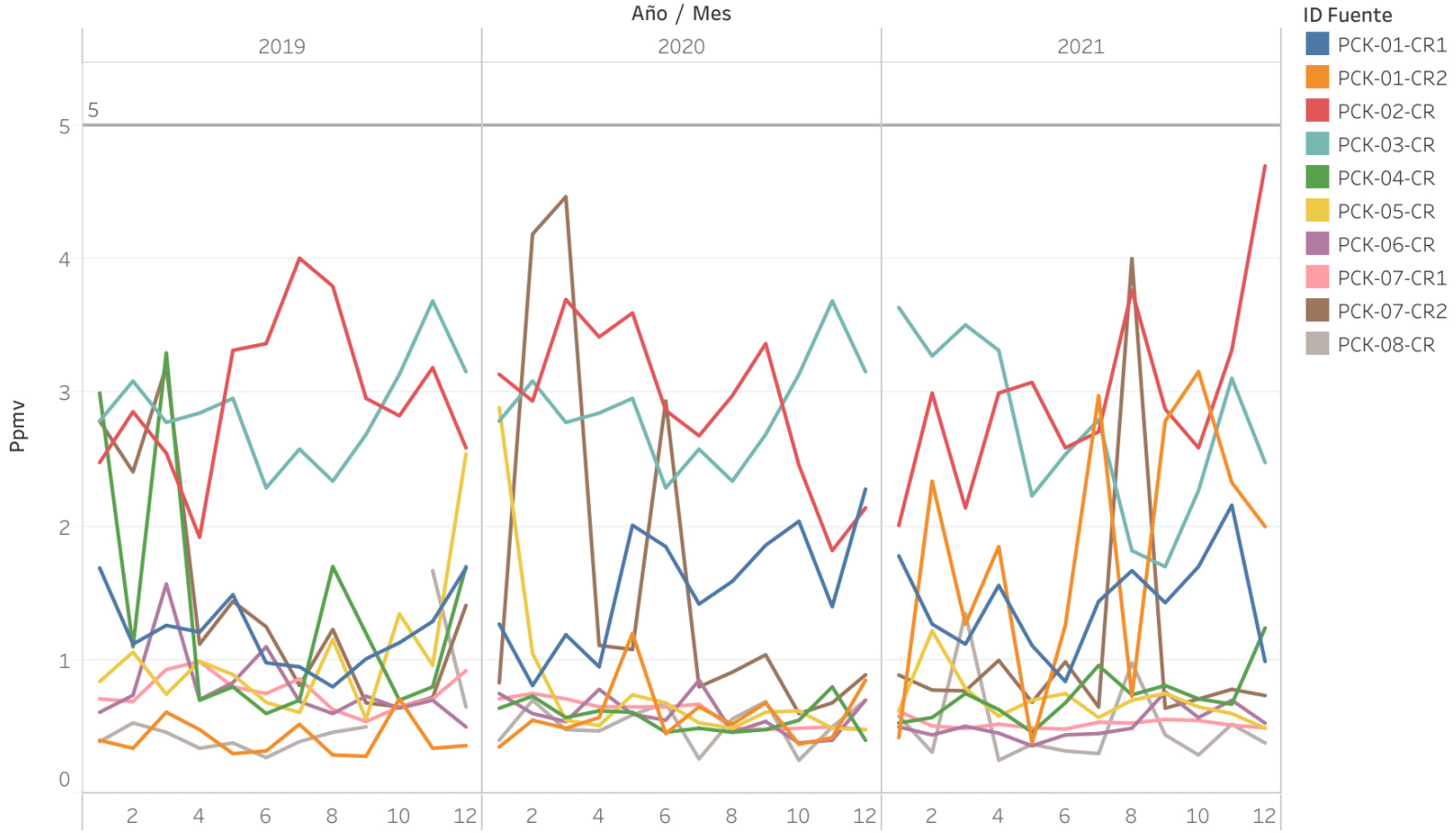
**Tabla 3.5 Calderas recuperadoras operativas en el periodo 2019 a 2021**

| ID | Planta | Año fabricación | Modelo o Marca | Quemado | Configuración |
|---|---|---|---|---|---|
| **PCK-01-CR1** | PCK-01 | 1972 | Acuotubular con sobrecalentador | DNCG | Dedicado |
| **PCK-01-CR2** | | 1989 | | DNCG | Dedicado |
| **PCK-02-CR** | PCK-02 | 1970 | Acuotubular de 2 domos | DNCG | Dedicado |
| **PCK-03-CR** | PCK-03 | 1992 | CBC-Brasil | DNCG | Dedicado |
| **PCK-04-CR** | PCK-04 | 2011 | Andritz Oy | DNCG/CNCG | Dedicado para CNCG y DNCG/Respaldo para DNCG |
| **PCK-05-CR** | PCK-05 | 2005 | Acuotubular Recox Boiler Kvaerner | DNCG/CNCG | Dedicado para CNCG y DNCG |
| **PCK-06-CR** | PCK-06 | 1990 | A. AHLSTROM Acuotubular | DNCG | Dedicado |
| **PCK-07-CR1** | PCK-07 | 1990 | CBC Mitsubichi | DNCG | Dedicado |
| **PCK-07-CR2** | | 1990 | Andritz | DNCG/CNCG | Dedicado para CNCG y DNCG/Respaldo para DNCG |
| **PCK-08-CR2** | PCK-08 | 2003 | Aker Kvaerner RecoxTM Boiler | CNCG/DNCG | Dedicado para CNCG y DNCG |

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del SMA

Por otro lado, la Figura 3.2 indica el nivel de emisiones de las calderas recuperadoras (indicado como percentil 98 de emisión $H_2S$ al 8% de oxígeno en base seca) para el periodo 2019 a 2021. Según esto y tal como se indicó en la sección anterior, en ninguna planta se superó el nivel de cumplimiento, indicado por el artículo 3° del DS37/2013 de 5 [ppmv]. Las calderas que operan con un nivel más alto de emisiones corresponden a los equipos de PCK-03 y PCK-02, seguido por la caldera recuperadora 1 (CR1) de PCK-01. A su vez, la caldera recuperadora 2 (CR2) de PCK-07 se destaca por presentar *peaks* de emisiones en el periodo estudiado (los cual explica los datos atípicos indicados en la sección anterior, Figura 3.1) de hecho, dicha caldera conserva emisiones promedio por encima de la caldera recuperadora 1 de la misma planta (CR1), lo que se podría explicar por la configuración de estas, pues la caldera recuperadora 1 está dedicada a la quema de gases diluidos (DNCG), mientras que la caldera recuperadora 2 (CR2) está dedicada a la quema de gases diluidos y concentrados (DNCG y CNCG), sin embargo, existen múltiples parámetros operacionales que pueden interferir de manera sinérgica en los resultados indicados (como porcentaje de licor negro, temperaturas de combustión, porcentaje de aire, entre otros). Además de lo anterior, se destaca que el punto más alto de emisiones en el periodo de estudio pertenece al dato de diciembre del 2021 de la caldera recuperadora de PCK-02, que alcanzó los 4,7 [ppmv], con el cual sólo queda un margen de 6% con respecto al límite normativo (ver Anexo 1.2).

**Figura 3.2 P98 de los valores promedios horarios de emisión de $H_2S$ – Caldera recuperadora, periodo 2019 a 2021**




Nota: Siglas de equipos consisten en CR (caldera recuperadora).
Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1
Los valores de concentración se encuentran corregidos al 8% de oxígeno en base seca y expresados en condiciones de presión y temperatura de 1 [atm] y 25 [°C].

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del SMA

### 3.2.1 Horno de cal

Según los reportes de fiscalización, se identificaron 10 hornos de cal operativos en el periodo 2019 a 2021 (ver Tabla 3.6). La mayoría de estos equipos, son utilizados en la quema de gases TRS concentrados (CNCG), y sólo dos son indicados como equipos dedicados a la quema de gases DNCG, que corresponden a los hornos de cal de las plantas PCK-04 y PCK-07. Se destaca que existen 3 hornos de cal que no son utilizados como equipo de respaldo o dedicado de los sistemas de combustión de gases TRS (ver Anexo 1.3), los cuales pertenecen a las plantas PCK-01 (HC1), PCK-05 y PCK-08, es decir, no participan en los sistemas de combustión de gases TRS, sino que solamente cumplen su función en la recuperación de licor blanco en el ciclo de cal. El equipo más antiguo corresponde al horno de cal 1 de PCK-01, fabricado en el 1969 y el más moderno fue fabricado en el año 2018 en la planta PCK-04.

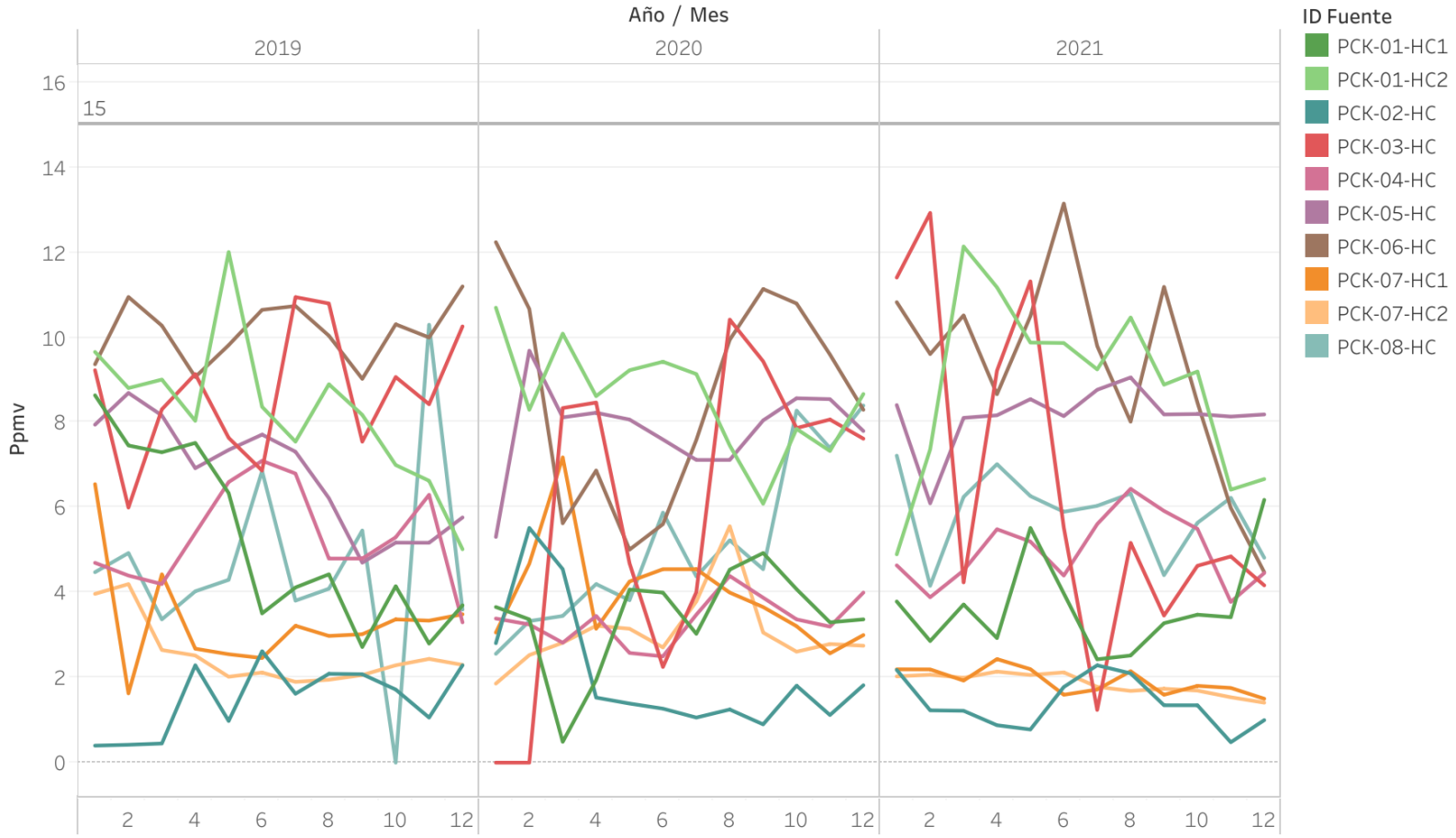
**Tabla 3.6 Hornos de cal operativos en el periodo 2019 a 2021**

| ID | Planta | Año fabricación | Modelo o Marca | Quemado | Configuración |
|---|---|---|---|---|---|
| **PCK-01-HC1** | PCK-01 | 1969 | Horno Rotatorio | - | - |
| **PCK-01-HC2** | | 1989 | Horno Rotatorio | CNCG | Respaldo |
| **PCK-02-HC** | PCK-02 | 1971 | Rotatorio | CNCG | Dedicado |
| **PCK-03-HC** | PCK-03 | 1992 | F.L Smith | CNCG | Dedicado |
| **PCK-04-HC** | PCK-04 | 2018 | Valmet | DNCG | Dedicado |
| **PCK-05-HC** | PCK-05 | 2004 | Rotatorio Andritz | - | - |
| **PCK-06-HC** | PCK-06 | 1990 | 3.6x105 m, c/enfriados UNAX | CNCG | Respaldo |
| **PCK-07-HC1** | PCK-07 | 1990 | Alhstrom Allis Chalmers | CNCG | Respaldo |
| **PCK-07-HC2** | | 2006 | Andritz | DNCG | Dedicado |
| **PCK-08-HC** | PCK-08 | 2003 | Andritz Lime kiln, 115 m de largo | - | - |

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del SMA

Tal como se visualiza en la sección 3.2.1, en la Figura 3.3 no se identificaron incumplimientos al límite de emisiones definido por el DS37/2013 en el artículo 3°, el cual corresponde a 15 [ppmv] para equipos existentes. Además, se identifican como las principales fuentes generadoras a los hornos de cal de las plantas PCK-01 (HC 2) PCK-03 y PCK-06. A esta última, corresponde el valor máximo alcanzado durante el periodo de estudio, que corresponde a 13,5 [ppmv] en el mes de junio de 2021, el cual deja un margen de cumplimiento de 12% con respecto al límite (ver Anexo 1.2).

**Figura 3.3 P98 de los valores promedios horarios de emisión de $H_2S$ – Horno de cal, periodo 2019 a 2021**




Nota: Siglas de equipos consisten en HC (horno de cal).
Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1
Los valores de concentración se encuentran corregidos al 8% de oxígeno en base seca y expresados en condiciones de presión y temperatura de 1 [atm] y 25 [°C].

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del SMA

### 3.2.2 Caldera de poder e incinerador dedicados

Entre los años 2019 a 2021, se reportó la operación de 3 calderas de poder y 3 incineradores (ver Tabla 3.7). Según esto, las calderas de poder han sido fabricadas entre los años 1969 a 2009, mientras que los incineradores entre los años 1996 a 2009. Para este caso en particular, sólo existen fuentes reguladas para las plantas PCK-01, PCK-04 y PCK-07.

**Tabla 3.7 Calderas de poder e incineradores dedicados operativos en el periodo 2019 a 2021**

| ID | Planta | Año fabricación | Modelo o Marca | Quemado |
|---|---|---|---|---|
| **PCK-01-CP1** | PCK-01 | 1969 | Acuotubular con sobrecalentador | CNCG |
| **PCK-01-CP2** | | 1989 | Acuotubular con sobrecalentador | CNCG |
| **PCK-01-Inc[2]** | | 2009 | Igniotubular | CNCG |
| **PCK-04-CP** | PCK-04 | 1996[1] | Kvaerner Pulping-Metso | CNCG |
| **PCK-06-Inc** | PCK-06 | 2009 | A.H. Lundberg Acuotubular | CNCG |
| **PCK-07-Inc1[3]** | PCK-07 | 2009 | Lundberg | Dedicado para DNCG y CNCG |

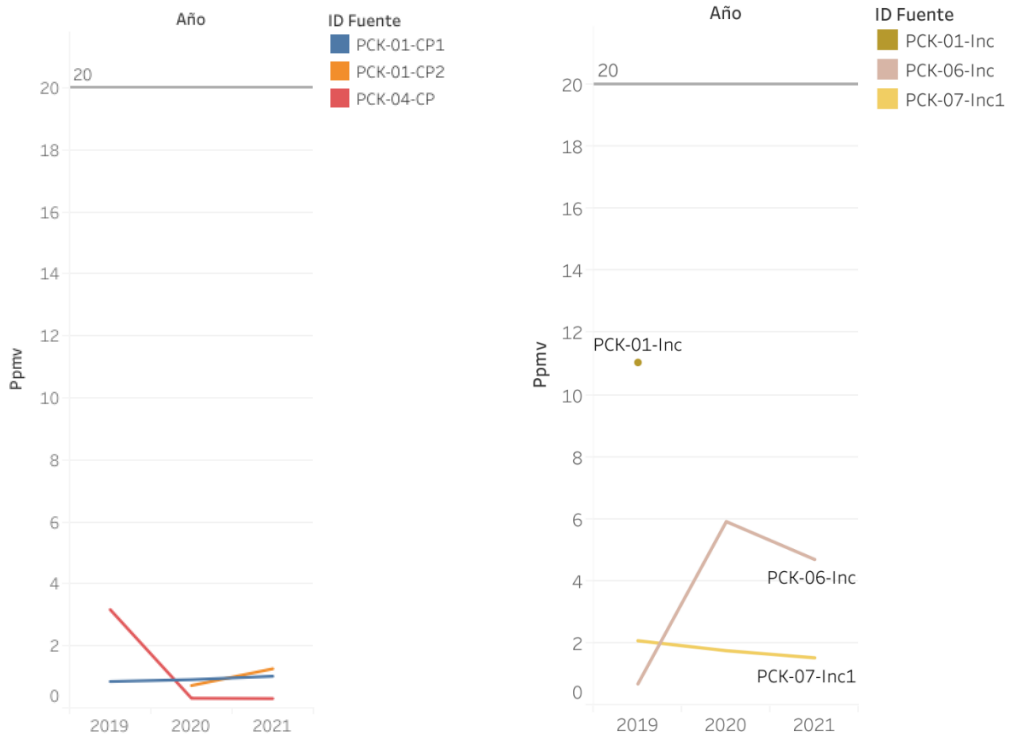
Nota 1: La Caldera de poder de PCK-04, fue diseñada en 1996 pero modificada a biomasa en 2012.
Nota 2: El incinerador de PCK-01 es respaldo para la línea 2 y línea 1 desde el año 2020, pero anteriormente fue equipo dedicado (ver Anexo 1.1).
Nota 3: El incinerador de PCK-07 es dedicado para línea 1 y respaldo para línea 2 (ver Anexo 1.1).

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del SMA

Según el DS37/2013, en su artículo 3°, se aplica un límite de emisión de 20 [ppmv] para el percentil 98 de los datos promedios diarios en un periodo anual, en las calderas de poder e incineradores dedicados. Sin embargo, en el periodo de estudio han existido cambios en la configuración de los sistemas de quemado de los regulados, generando variaciones en los equipos reportados bajo este artículo. Por ejemplo, la caldera de poder 2 de PCK-01 (PCK-01-CP2) se declaró caldera de respaldo entre 2015 y 2019, pero pasó a ser dedicado para línea 2 en año 2020, por lo tanto, sólo se declara desde el año 2020 (ver Figura 3.4). Caso similar al incinerador de PCK-01 (PCK-01-Inc), el cual pasó a ser equipo de respaldo en el año 2020, por lo tanto, sólo existe un dato de emisiones para el año 2019.

Tal como se mencionó anteriormente, en el periodo de estudio no existen incumplimientos del límite definido para calderas de poder o incineradores por el DS37/2013. Además, dichos equipos son los que indican un mayor sobrecumplimiento con márgenes que varían entre 84 a 98% para calderas y 45 a 97% para incineradores (ver 1.2).

**Figura 3.4 P98 de los valores promedio diarios de emisión de $H_2S$– Caldera de poder (a) e Incinerador (b) dedicados, periodo 2019 a 2021**




(a) Caldera de poder (b) Incinerador

Nota: Siglas de equipos consisten en CP (caldera de poder), INC (incinerador).
Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1
Los valores de concentración se encuentran corregidos al 8% de oxígeno en base seca y expresados en condiciones de presión y temperatura de 1 [atm] y 25 [°C].

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del SMA

### 3.2.3 Caldera de poder e incinerador de respaldo

El artículo 5°, del DS37/2013, en la sección b) indica; "*Para aquellos equipos Incinerador y Caldera de Poder utilizados de respaldo para combustionar los gases provenientes de un sistema de recolección y tratamiento de que contengan TRS, estos deberán operar a una temperatura de régimen igual o superior a 650°C(…) En el caso que existiesen eventos en que durante su operación dicha temperatura disminuyera bajo los 650°C, tales eventos no podrán durar más de 5 minutos en forma continuada; superando este tiempo se considerará una infracción a la norma*". Por lo tanto, la Tabla 3.8 indica las calderas de poder e incineradores de respaldo, que se reportaron como operativos en los reportes del SMA en el periodo de estudio. Se debe destacar que, en algunos casos, los reportes de tiempo consecutivo con temperaturas inferiores a 650°C, no diferencian los equipos informados, por ejemplo, en la planta PCK-03 sólo se reporta el incinerador, sin identificar cual equipo está siendo informado (Inc1 o 2). Esto se repite para la planta PCK-02.

**Tabla 3.8 Calderas de poder e incineradores de respaldo operativos en el periodo 2019 a 2021**

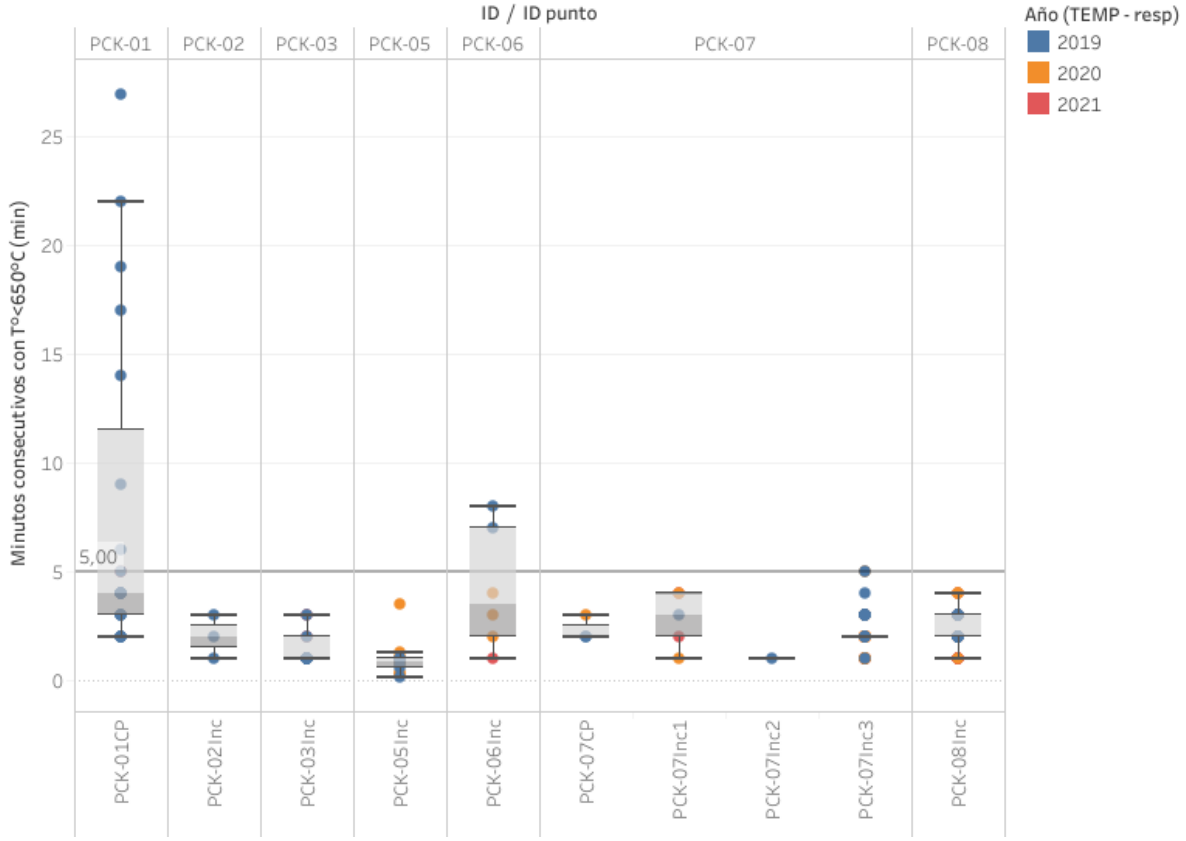
| Fuente regulada | Planta | Año de fabricación | Modelo | Quemado |
|---|---|---|---|---|
| PCK-01-CP2[2] | PCK-01 | 1989 | Acuotubular con sobrecalentador | CNCG |
| PCK-01-Inc[3] | | 2009 | Igniotubular | CNCG |
| PCK-02-Inc1 | PCK-02 | 2006 | Enviroburners Oy | CNCG |
| PCK-02-Inc2 | | 2013 | Metso | CNCG |
| PCK-03-Inc1[1] | PCK-03 | 2013 | Jetherm | CNCG |
| PCK-03-Inc2 | | 1992 | Modo-CHEMETICS | CNCG |
| PCK-04-Inc1 | PCK-04 | 2005 | H. Lundberg | CNCG |
| PCK-04-Inc2 | | 2013 | Enviroburners | CNCG |
| PCK-05-Inc1 | PCK-05 | 2006 | Jetherm BK 6 GN METSO | CNCG |
| PCK-05-Inc2 | | 2014 | TL-1500 SP | CNCG |
| PCK-06-Inc2 | PCK-06 | 2001 | JETTHERM BK-06 | CNCG |
| PCK-07-Inc1 | PCK-07 | 2009 | Lundberg | Respaldo para CNCG y DNCG |
| PCK-07-Inc2 | | 2006 | ENVIROBURNERS | CNCG |
| PCK-07-Inc3 | | 2018 | ENVIROBURNERS | DNCG |
| PCK-07-CP1 | | 1996 | Tampella Power Inc. | Respaldo para CNCG y DNCG |
| PCK-08-CP | PCK-08 | 2003 | Aker Kvaerner HYBEX ® Boiler | CNCG |
| PCK-08-Inc | | 2003 | Kvaerner FLARE TL-1500 SP | CNCG |

Nota 1: Incinerador 1 de PCK-03, se reporta desde el año 2020.
Nota 2: Caldera de poder 2 de PCK-01 es de Respaldo para línea 1 y dedicada para línea 2, desde el año 2020
Nota 3: Incinerador de PCK-01 es de Respaldo para línea 1 y línea 2, desde 2020

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del SMA

En la Figura 3.5 se indica la dispersión de los datos reportados anualmente, en donde se representa la duración en minutos de cada evento, es decir, el tiempo consecutivo reportado durante el cual el equipo de respaldo operó a temperaturas inferiores a 650°C. En esta gráfica, no se incluyen los equipos con tiempo igual a cero, por lo tanto, se deja fuera al incinerador de PCK-01 (PCK-01-Inc), la caldera de poder de PCK-08 (PCK-08-CP), el incinerador de PCK-05 (PCK-05-Inc) y el incinerador 1 de PCK-04 (PCK-04-Inc), los cuales no operaron en temperaturas menores a 650°C durante el periodo de análisis. Según esto, existieron algunos incumplimientos en el año 2019, dado por las plantas PCK-01 y PCK-06, en su caldera de poder e incinerador de respaldo, respectivamente. En general, se puede observar que existen rangos similares para los incineradores, excepto para PCK-06, el cual presenta una mayor dispersión dado el evento de incumplimiento del año 2019. Además, se observa que el mayor rango está dado por la caldera de poder de PCK-01 (PCK-01-CP2) la cual también presentó incumplimientos en el año 2019.

**Figura 3.5 *Boxplot* de minutos consecutivos con T° inferior a 650°C – Incinerador y caldera de poder de respaldo, periodo 2019 a 2021**



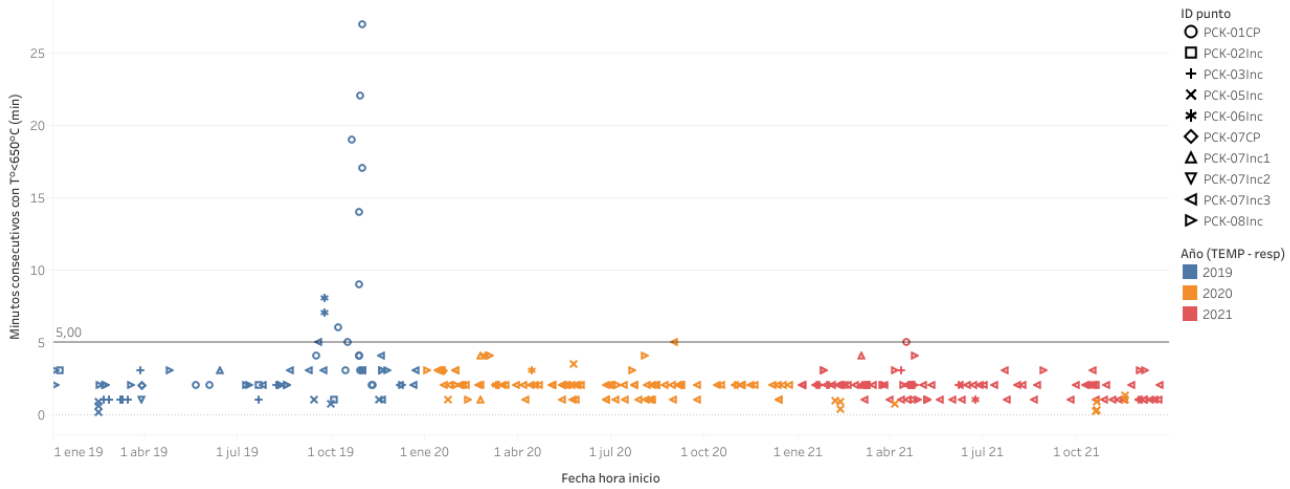

Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del SMA

De esta forma, la Figura 3.6 indica los minutos consecutivos de operación con temperatura menor a 650°C, reportados entre los años 2019 a 2021. Según la Figura 3.6 y tal como se indicó desde la figura anterior, en el periodo de estudio existieron infracciones durante el año 2019, dicho año existieron 7 eventos de incumplimiento en PCK-01, 5 de estos ocurrieron en el mes de octubre y 2 en noviembre. El informe de fiscalización de dicho año, indica que se emitió requerimiento de información al titular mediante resolución el 16 de junio de 2020, desde lo cual se pudo identificar que la causa de los eventos de octubre fue por "*la disminución en la temperatura del hogar que se produce probablemente debido a un taco en alimentación de corteza y con ello una disminución de flujo de corteza a la caldera, lo que conllevó además a una baja de generación de vapor*". Por su parte, en el mes de noviembre 2019, ocurrieron 2 eventos ante lo cual la planta informa una causa similar a la indicada anteriormente. A partir del 19 de noviembre de 2019, se implementó una medida adicional, complementando aquellas existentes, a través de una lógica automática de control de temperatura de quemado de gases en caldera de poder 2. Por lo cual años posteriores, no se registraron eventos de incumplimiento.

El mismo año, se reportaron 2 infracciones por parte de la planta PCK-06. Estos eventos ocurrieron el día 25 de septiembre de 2019 a las 00:37 horas con una duración de 7 minutos y a las 00:50 horas con una duración de 8 minutos. Con respecto a esto el titular justificó que "*durante la madrugada del 25 de septiembre de 2019, las Planta estaba en proceso de puesta en marcha, no había presencia de CNCG en el sistema, ya que aún no se encontraban en operación las áreas generadoras de gases (Evaporadores y digestor*)". Ante lo cual en el informe de fiscalización concluye que el incinerador de respaldo da cumplimiento a lo establecido en el artículo 5°, letra b) del DS37/2013 MMA. También se presentaron algunos datos al límite de la norma (de 5 minutos consecutivos con temperaturas inferiores a 650°C), por parte de las plantas PCK-01 y PCK-07.

**Figura 3.6 Minutos consecutivos con T° inferior a 650°C – Incinerador y caldera de poder de respaldo, periodo 2019 a 2021**




Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del SMA

### 3.2.4 Estanque disolvedor de licor verde

Para el caso del Estanque Disolvedor de Licor Verde (EDLV) el DS37/2013 del MMA en su artículo 3° establece un límite de concentración de sulfuro de hidrógeno de 16,8 [mg/kg] de sólidos secos, al mismo tiempo, en el artículo 6° establece condiciones de superación sólo a aquellos establecimientos que aún a la fecha no tuvieran sistemas de captación de los gases emitidos por este equipo, a su vez define la obligación para los establecimientos nuevos de captar dichas emisiones una vez entrado en vigencia el decreto.

Mencionado lo anterior, de acuerdo con los reportes disponibles de la SMA durante el periodo evaluado (2019 a 2021) ningún regulado declaró al EDLV como parte de sus fuentes emisoras de TRS debido a que, ya a la fecha contaban con el sistema de captación, descartándose como fuente emisora (ver Tabla 3.9).

**Tabla 3.9 Estanques disolvedores de licor verde, reportados en el periodo 2019 a 2021**

| Fuente regulada | Planta | Año de fabricación | Modelo | Comentarios |
|---|---|---|---|---|
| EDLV | PCK-01 | - | - | No hay información reportada en el periodo de estudio. |
| | PCK-02 | - | Estanque cilíndrico | Este cuenta con captación de emisiones desde 2017. |
| | PCK-031 | 1992 | CBC-Brasil | Reportado entre los años 2016 a 2018, ya que se desarrolló sistema de captación de gases |
| | PCK-04 | - | - | No hay información reportada en el periodo de estudio. |
| | PCK-05 | - | - | No hay información reportada en el periodo de estudio. Según información recopilada en la visita técnica, este equipo fue diseñado con captura de gases. |
| | PCK-06 | - | - | No hay información reportada en el periodo de estudio. |
| | PCK-07 | - | - | No hay información reportada en el periodo de estudio. Según información recopilada en la visita técnica, este equipo fue diseñado con captura de gases. |
| | PCK-08 | - | - | No hay información reportada en el periodo de estudio. |

Fuente: Elaboración propia en base a reportes del SMA

## 3.3 Análisis de venteos

### 3.3.1 Frecuencia y duración de venteos

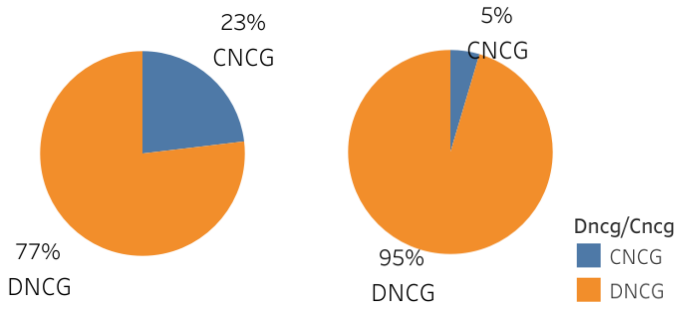
Tal como se mencionó en la sección 3.2, a la fecha se ha cumplido con creces las exigencias descritas en el DS37/2013 del MMA. Esto incluye las exigencias de venteos estipulada en el artículo 10°. Este artículo, en conjunto con las exigencias de reporte incluidas en el artículo 11°, han permitido generar valiosa información respecto de los eventos de venteos en los establecimientos.

Para realizar el análisis sobre la frecuencia de los venteos[8], se consideran los últimos tres años de información. Lo anterior se basa en el criterio de representatividad que se presentó anteriormente (ver sección 3.2). A juicio del equipo consultor, los últimos tres años calendario completo es un periodo que representa el estado actual de los establecimientos regulados mientras al mismo tiempo es suficientemente largo para dar cuenta de los múltiples estados de operación de los establecimientos. Para este caso, a diferencia del análisis realizado en emisiones TRS, se utiliza como fuente de información los reportes mensuales entregados por parte de los regulados. Esto dado que, dichos reportes mensuales entregan información importante como las descripciones de causas y puntos de venteos identificados, la cual es información sintetizada en los reportes anuales de fiscalización.

[8] Frecuencia de venteos corresponde a la cantidad o número de veces que ocurren los episodios de venteo de gases a lo largo del periodo de evaluación (2019 a 2021), sean estos DNCG o CNCG.

En el periodo 2019 al 2021, se contabiliza un total de 584 eventos de venteo con una duración total de 8.960 [min], equivalente a 149 [hr], en base a la información reportada por los titulares en sus informes mensuales y anuales entregados y fiscalizados por la SMA. Según lo indicado por la Figura 3.7 la mayor parte de estos venteos corresponde a gases diluidos (DNCG), los cuales corresponde al 77% de la frecuencia y 95% de la duración total de venteos en el periodo de estudio.

**Figura 3.7 Distribución de la frecuencia (a) y duración (b) de venteos por planta, periodo 2019 a 2021 según tipo de gas**




(a) Conteo de venteos (b) Duración de venteos

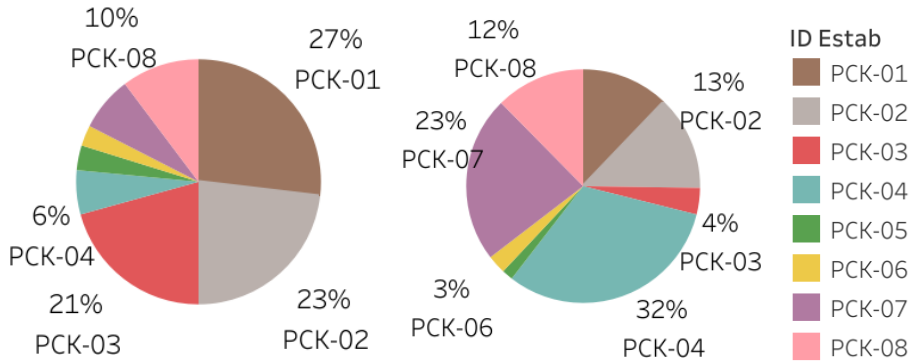
Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1
Frecuencia de venteos corresponde a la cantidad o número de veces que ocurren los episodios de venteo de gases

Fuente: Elaboración propia en base a datos de reportes de SMA

En términos generales, se puede identificar a PCK-01 como la planta con mayor número de venteos, con el 27% de los venteos totales en el periodo de análisis, lo cual equivale a 157 venteos. Le sigue la planta PCK-02 con 135 venteos (23%) y PCK-03 con 121 venteos (21%), de esta forma sólo estas 3 plantas representan cerca del 70% de la frecuencia de venteos.

Sin embargo, si se analiza la duración total de dichos venteos, se destacan las plantas PCK-04, la cual alcanzó un tiempo total de 2.828 [min] (32%) y PCK-07 con 2.065 [min] (ver Figura 3.8). Dichas plantas sólo alcanzan un 6% y 7% de la frecuencia de venteos, respectivamente, lo cual indica sus venteos alcanzan una mayor duración unitaria. De esta forma, el número de venteos no es directamente proporcional a la duración total de estos. Por ejemplo, si bien estas tres plantas (PCK-01, PCK-02 y PCK-03) representan más del 70% de los eventos de venteo, en conjunto sólo representan un poco más del 28% del tiempo de venteo observado en el periodo entre 2019 y 2021.

**Figura 3.8 Distribución de la frecuencia (a) y duración (b) de venteos por planta, periodo 2019 a 2021**



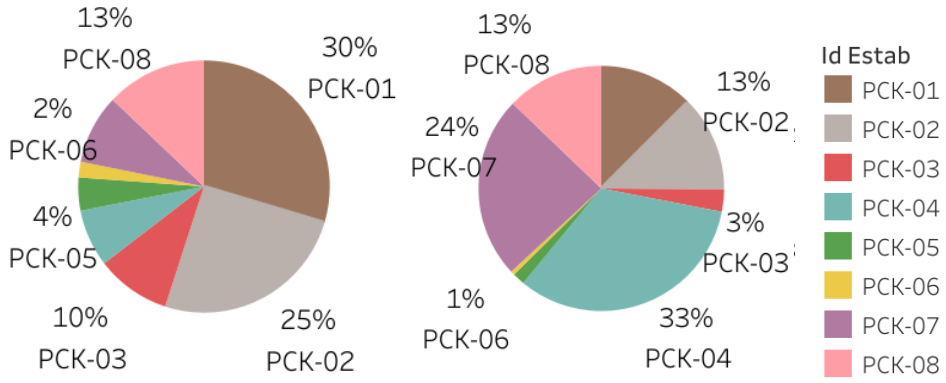

(a)Número de venteos (b) Duración de venteos

Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1
Frecuencia de venteos corresponde a la cantidad o número de veces que ocurren los episodios de venteo de gases

Fuente: Elaboración propia en base a datos de reportes de SMA

En cambio, si se analiza dicha distribución por tipo de gas, como se indica en la Figura 3.9 para gases DNCG, se observa que se conserva la distribución general de los venteos en los regulados, destacando las plantas PCK-01 y PCK-02 en frecuencia y duración. Sin embargo, si sólo se analiza la distribución de venteos en gases CNCG se aprecia que sobresale la planta PCK-03 con un 58% de la frecuencia y PCK-06 con un 45% de la duración.

**Figura 3.9 Distribución de la frecuencia (a) y duración (b) de venteos por planta, periodo 2019 a 2021 – Gases DNCG**

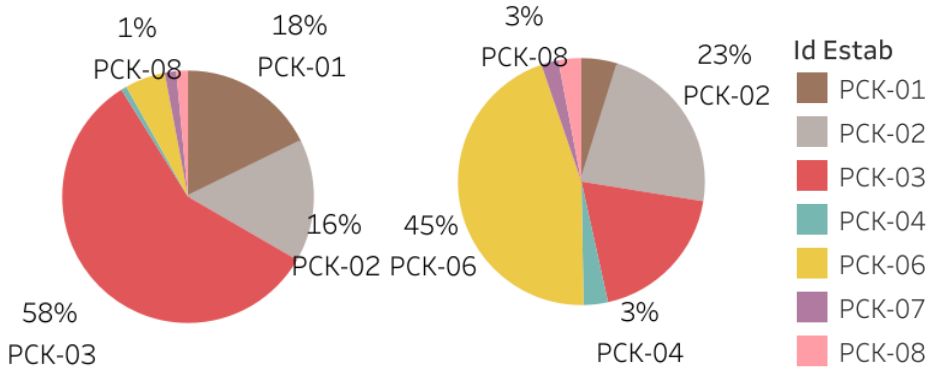



(a) Conteo de venteos (b) Duración de venteos

Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1
Frecuencia de venteos corresponde a la cantidad o número de veces que ocurren los episodios de venteo de gases

Fuente: Elaboración propia en base a datos de reportes de SMA

**Figura 3.10 Distribución de la frecuencia (a) y duración (b) de venteos por planta, periodo 2019 a 2021 – Gases CNCG**



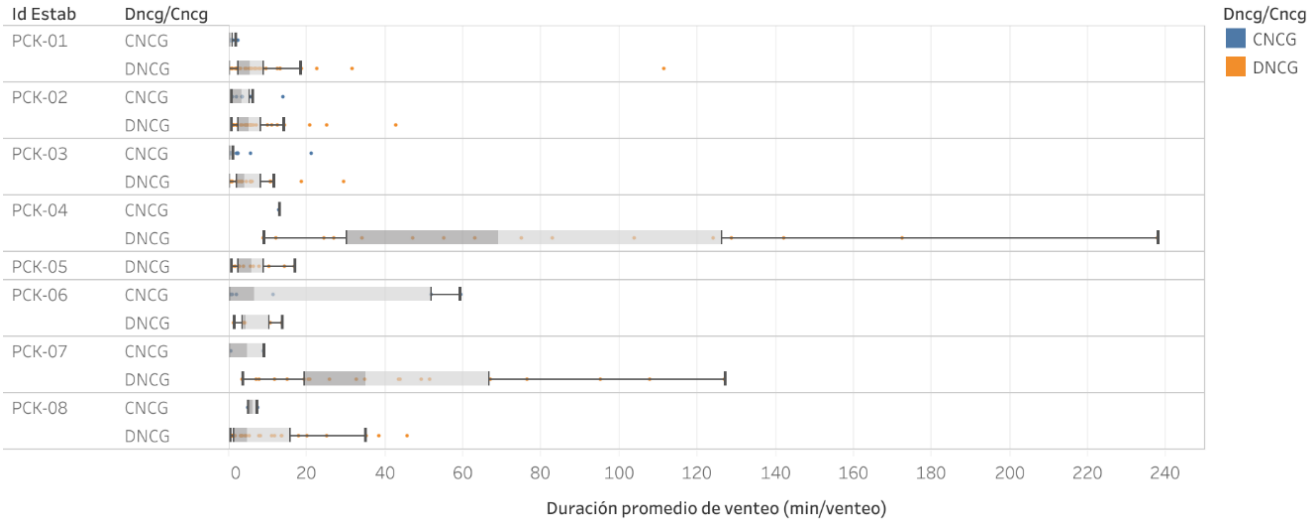

(a) Conteo de venteos (b) Duración de venteos

Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1
Frecuencia de venteos corresponde a la cantidad o número de veces que ocurren los episodios de venteo de gases

Fuente: Elaboración propia en base a datos de reportes de SMA

Dado lo recién descrito, cobra relevancia describir los tiempos típicos de venteo por evento, tipo de gases y su distribución. En la Figura 3.11 se presenta un análisis de esto, observándose la variación existente entre los establecimientos y los tipos de gases TRS. Se observa, que la mayor variación en los tiempos promedios mensuales se da en el venteo de DNCG, gases diluidos asociados principalmente a los estanques de soplado, el área de lavado de pulpa, los estanques del área de caustificación y evaporación, entre otros. En promedio los eventos de las líneas de gases diluidos tienden a durar 5,9 veces más que los eventos en las líneas de gases concentrados. En término de olores esto es un fenómeno positivo, dado que se tiende a evitar eventos de emisión de gases con altos niveles de TRS.

**Figura 3.11 Distribución de la duración promedio de eventos de venteo (min/evento) por planta y tipo de TRS, periodo 2019 a 2021**




Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

Fuente: Elaboración propia en base a datos de reportes de SMA

De la misma Figura se observa, que los tiempos promedios de los venteos DNCG de PCK-04 y PCK-07 tienden a ser superiores a los eventos en otras plantas. Lo anterior explica el fenómeno descrito anteriormente, donde estas plantas, en conjunto, representan poco más del 13% de los eventos, pero cerca del 60% de la duración de los venteos. Otro aspecto destacable de la comparación entre plantas es que, para los CNCG, los eventos en la planta PCK-06 son en promedio muy superiores al resto de las plantas. Esto ocurre por tres eventos de venteos durante el 2020 que tuvieron, cada uno, una duración cercana a una hora (9-feb, 20-feb y 1-jul), si bien, desde el reporte de venteos generado por el regulado, no se puede identificar la causa de 2 de estos eventos, se puede determinar que el evento generado en julio se debió a una falla en el sistema de control. Sin embargo, es relevante determinar si dichos eventos, corresponden a situaciones atípicas, es decir, si salen de la tendencia de venteos de la planta, para lo cual se analizará la distribución de venteos en el apartado siguiente.

En la Figura 3.12 y Figura 3.13 se presenta la distribución del número de venteos mensuales y la duración mensual de los venteos, separados según cada planta. Es decir, en la Figura 3.12, cada punto en la gráfica representa el número de venteos, durante un mes y planta, por ejemplo, se puede observar que en la planta PCK-02 existen datos atípicos, donde el punto más alto corresponde al número de venteos del mes de agosto del año 2020, en donde se alcanzó una frecuencia de 22 venteos.

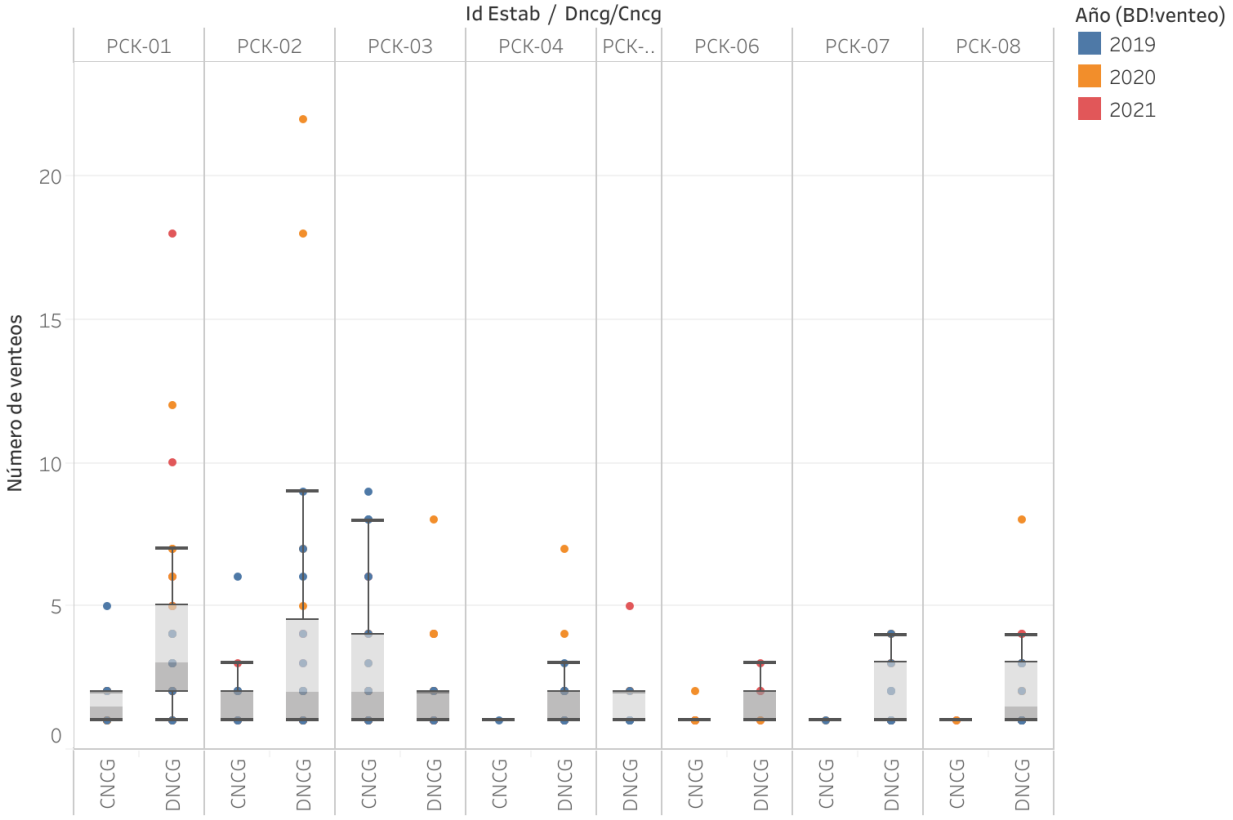
Desde la Figura 3.12, se puede determinar que en general, se presentan más valores atípicos de venteos de gases DNCG y los puntos más alejados corresponden a la planta PCK-01 y PCK-02. Al mismo tiempo, estas plantas presentan valores mensuales de venteos más dispersos, es decir, presenta mayor variabilidad en cuanto a la frecuencia mensual de venteos. Mientras que las frecuencias mensuales de venteos asociados a gases CNCG, presentan menor dispersión, pero

aún presentan datos atípicos, por ejemplo, las plantas PCK-03 y PCK-08, indican una frecuencia de 8 venteos CNCG para los meses de marzo y agosto del 2020, respectivamente, siendo valores fuera de la tendencia. En este sentido también se presentan valores atípicos de frecuencia mensual de venteos CNCG para la planta PCK-06, tal como se indicó anteriormente. Adicionalmente, se puede observar que la mayoría de los datos presentan una distribución asimétrica y desplazamiento hacia la zona inferior del gráfico, es decir, que gran parte de los datos (número de venteos mensuales) es menor o igual a 4 venteos/mes.

La Figura 3.13 indica la duración mensual de los venteos para cada planta y tipo de gas TRS. Como ya había previsualizado en la Figura 3.11 la planta PCK-04 es la que presenta las mayores duraciones de venteo. Según el reporte de julio del año 2019, se realizaron 2 venteos con duraciones alrededor de 250 [min] cada uno, desde la caldera recuperadora, al igual que en el año 2020. Según esta figura, en la planta PCK-04, el 75% de los datos (duración de venteos en cada mes) son menores a 250 [min]. En general, los datos asociados a los gases DNCG son los que presentan valores atípicos con mayor frecuencia, al igual que mayor dispersión.

Si bien, las figuras anteriores permiten analizar la distribución de la frecuencia y duración de los venteos en el periodo de estudio, para evaluar la evolución de estos venteos por cada planta a lo largo de los años 2019 a 2021, se presentan la Figura 3.14 y Figura 3.15 las cuales permiten visualizar la evolución anual de los venteos agrupados por planta.

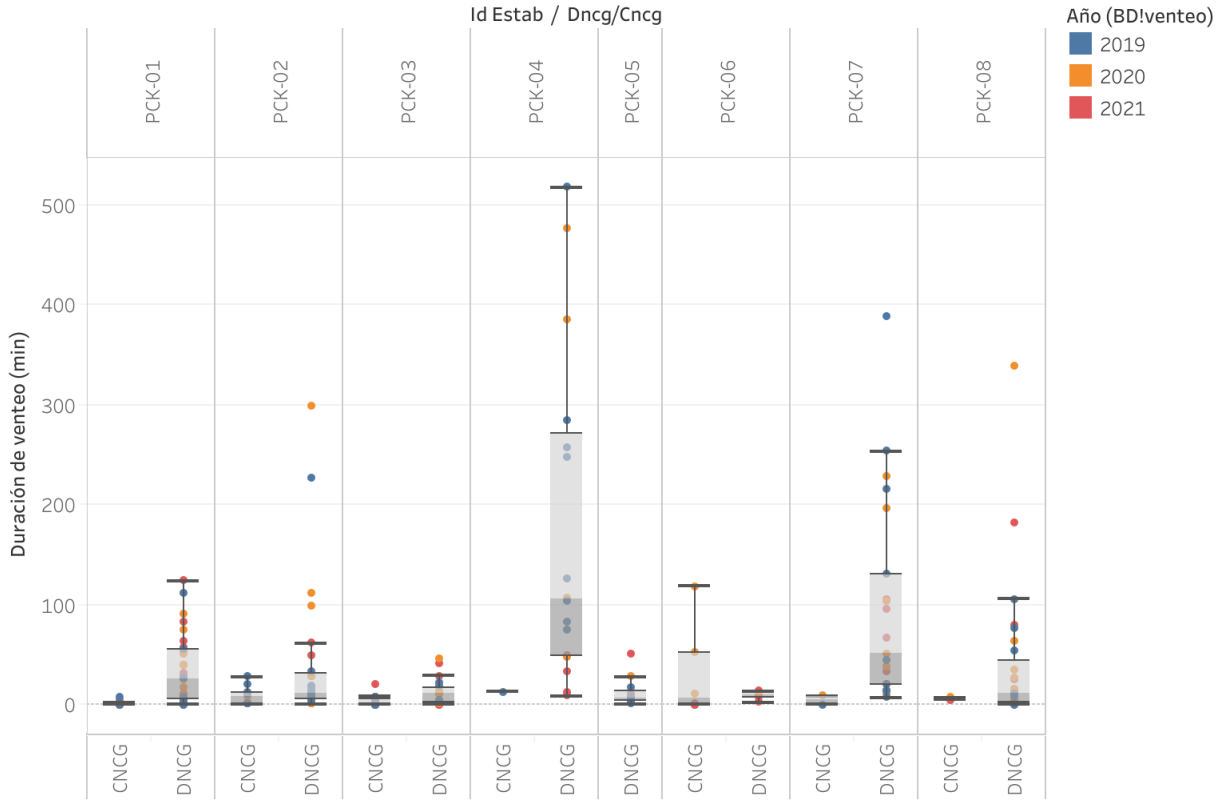
**Figura 3.12 Distribución del número de venteos mensuales por planta, periodo 2019 a 2021**




Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

Fuente: Elaboración propia en base a reportes de SMA

**Figura 3.13 Distribución de la duración de venteos mensuales por planta, periodo 2019 a 2021**

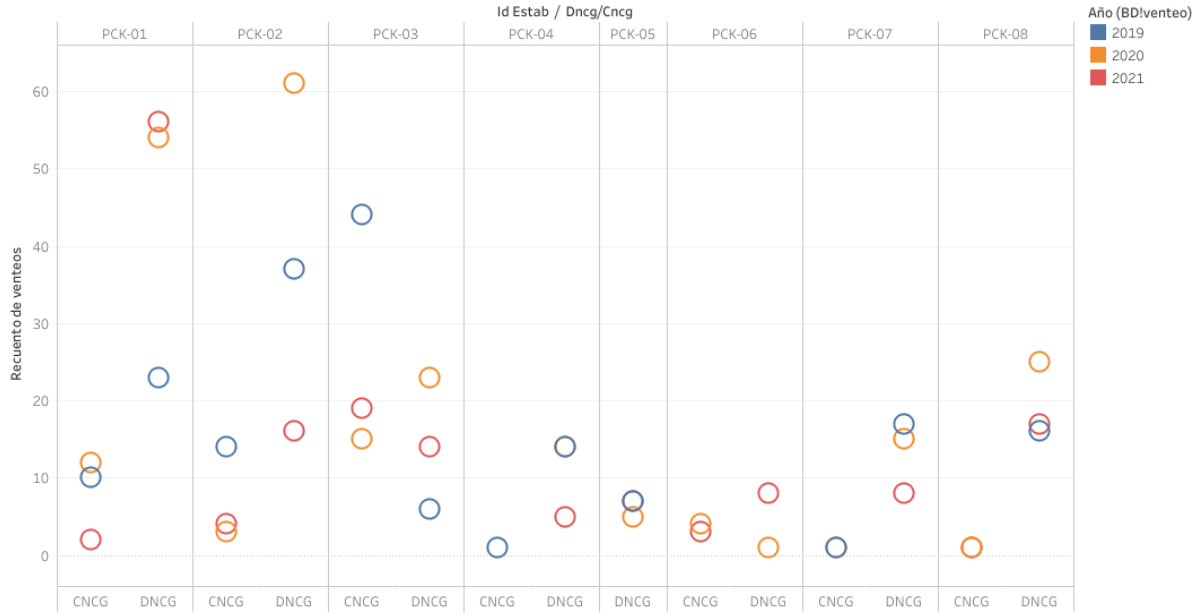



Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

Fuente: Elaboración propia en base a reportes de SMA

Según la Figura 3.14 la mayoría de las plantas han presentado una disminución en cuanto a la frecuencia de venteos de gases DNCG para el año 2021, excepto PCK-01, la cual conservó la frecuencia de venteos comparada con el año 2020. Esto último también ocurre con la frecuencia de venteos de gases CNCG, pues no representa una disminución significante en el periodo de estudio. Si se analiza la duración de venteos para cada año y planta en la Figura 3.15, se puede determinar que al igual que la frecuencia, la duración de venteos de gases DNCG también han presentado disminución para el año 2021, excepto en la planta PCK-01, donde se conserva la duración. Para los gases CNCG, no se aprecian cambios significantes en la duración de venteos.

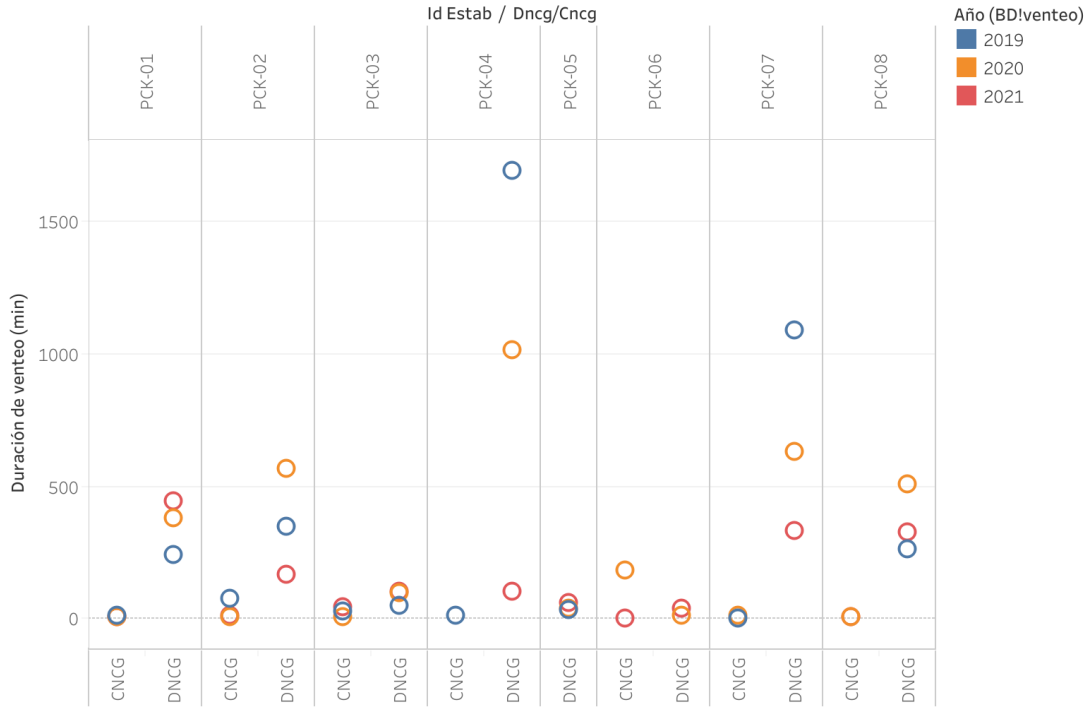
**Figura 3.14 Frecuencia de venteos por planta y año, periodo 2019 a 2021**




Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1
Frecuencia de venteos corresponde a la cantidad o número de veces que ocurren los episodios de venteo de gases

Fuente: Elaboración propia en base a reportes de SMA

**Figura 3.15 Duración de venteos mensuales por planta y año, periodo 2019 a 2021**




Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

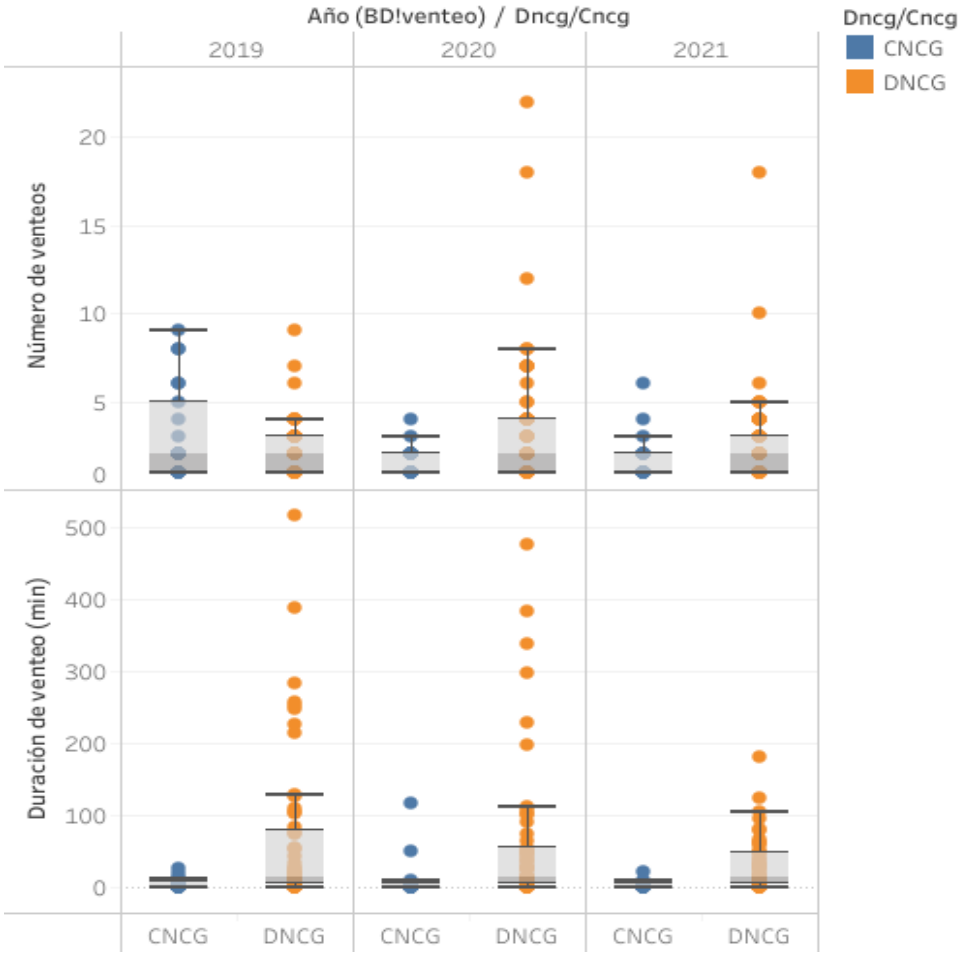
Fuente: Elaboración propia en base a reportes de SMA

### 3.3.2 Distribución temporal de venteos

Para complementar, se procede a realizar un análisis de la distribución temporal de los venteos. En la Figura 3.16 se presenta el análisis de la distribución del número de eventos por mes y su duración, distinguiendo por el año de ocurrencia. Cada uno de los puntos, representa el número (o duración) de venteos en un mes en según tipo de TRS para cada una de las plantas, por lo tanto, se denomina mes-planta para análisis. Como ya se mencionó en la sección anterior, esta gráfica indica que los venteos relacionados con los gases DNCG tienen más variación, presentando más rango y datos atípicos tanto en duración como frecuencia. En ese caso, por ejemplo, se observa que el año 2020, hubo una planta que durante un mes tuvo más de 20 eventos de venteo en su línea DNCG (PCK-02 – Ago/2020), o que, en el año 2021, la máxima duración de los eventos de venteo mensuales de DNCG fue poco menos de 200 minutos (PCK-08 – Mar/2021).

Al mismo tiempo, se puede indicar que los datos relacionados con los gases CNCG tienden a tener distribución simétrica y menos variabilidad, la cual se ha conservado en los años de estudio, excepto en el análisis de número de venteos del año 2019, donde el valor máximo de frecuencia de venteos está dado por la planta PCK-03 (Abr-/2019). Se puede notar que el grueso del número de eventos mensuales y su duración se ha mantenido relativamente constante en el periodo observado (los *boxplot* se cruzan en su mayor parte), aunque se observa variaciones en los valores mensuales extremos o datos atípicos. Si se analiza por año, se destaca que el 2019, presentó meses con baja frecuencia de venteos DNCG, sin embargo, el mismo año indica que se alcanzó un mes con 518 [min] de venteo, que corresponde a la duración máxima por mes alcanzada en el periodo de estudio.

**Figura 3.16 Número y duración de eventos de venteo y duración de venteo por mes, periodo 2019 a 2021**

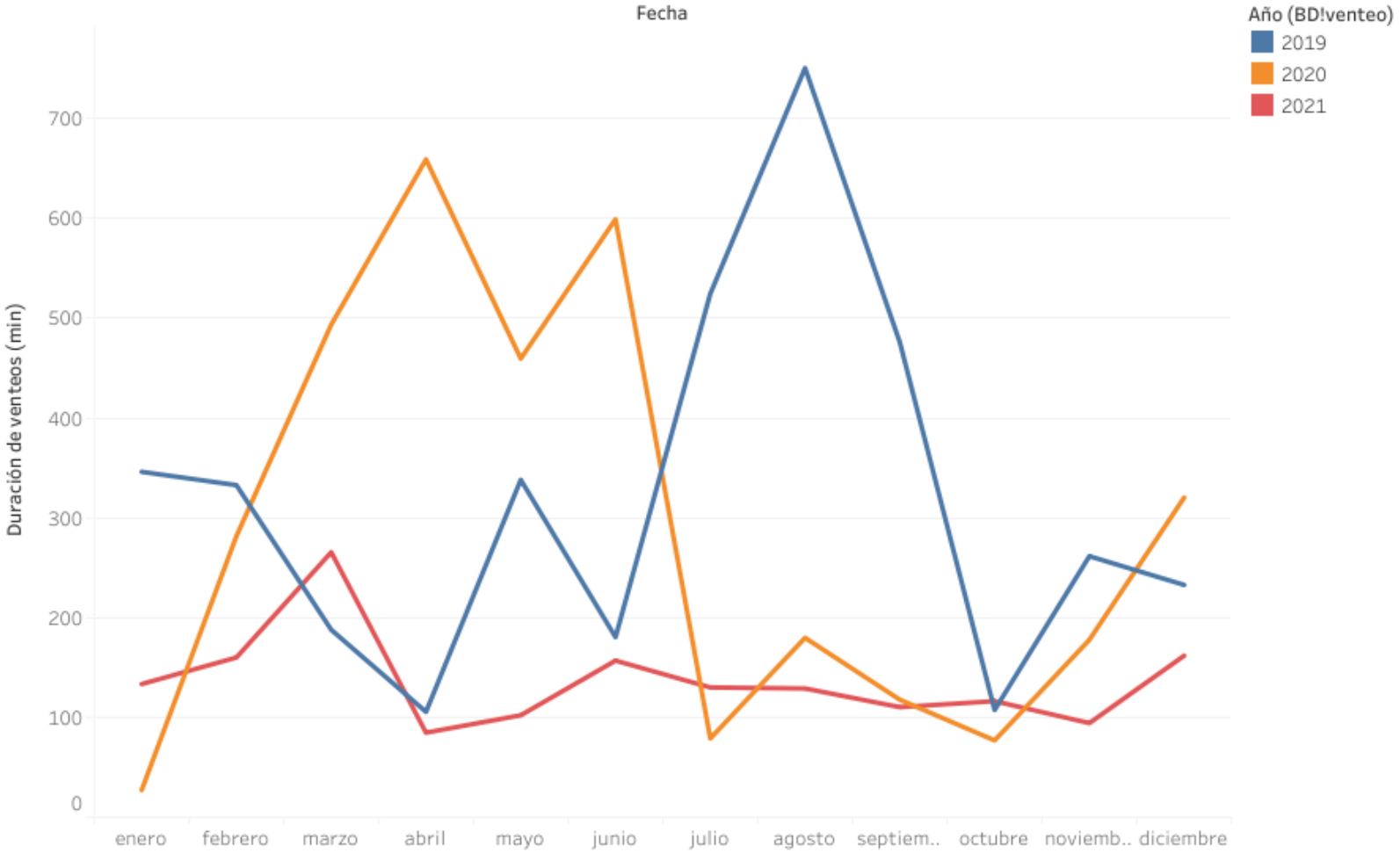



Nota: Cada uno de los puntos, representa el número (o duración) de venteos en un mes en según tipo de TRS para cada una de las plantas, por lo tanto, se denomina mes-planta para análisis.
Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

Fuente: Elaboración propia en base a datos reportes SMA

Si se analiza la tendencia mensual de duración y frecuencia en el periodo de análisis (ver Figura 3.17 y Figura 3.18) se puede determinar que para los años 2019 y 2020, en el mes de agosto (mes 8) se concentraron los venteos en cuanto a frecuencia y duración, al igual que en el mes de abril (mes 4). Sin embargo, para el año 2021, dicha tendencia cambió y se presentaron los máximos en el mes de enero (mes 1) y se conservó la tendencia casi simétrica durante el resto del año. Al mismo tiempo, se indica que en el año 2021 los datos acumulados de frecuencia y duración de venteos han tendido a disminuir, en comparación con los 2 años anteriores.

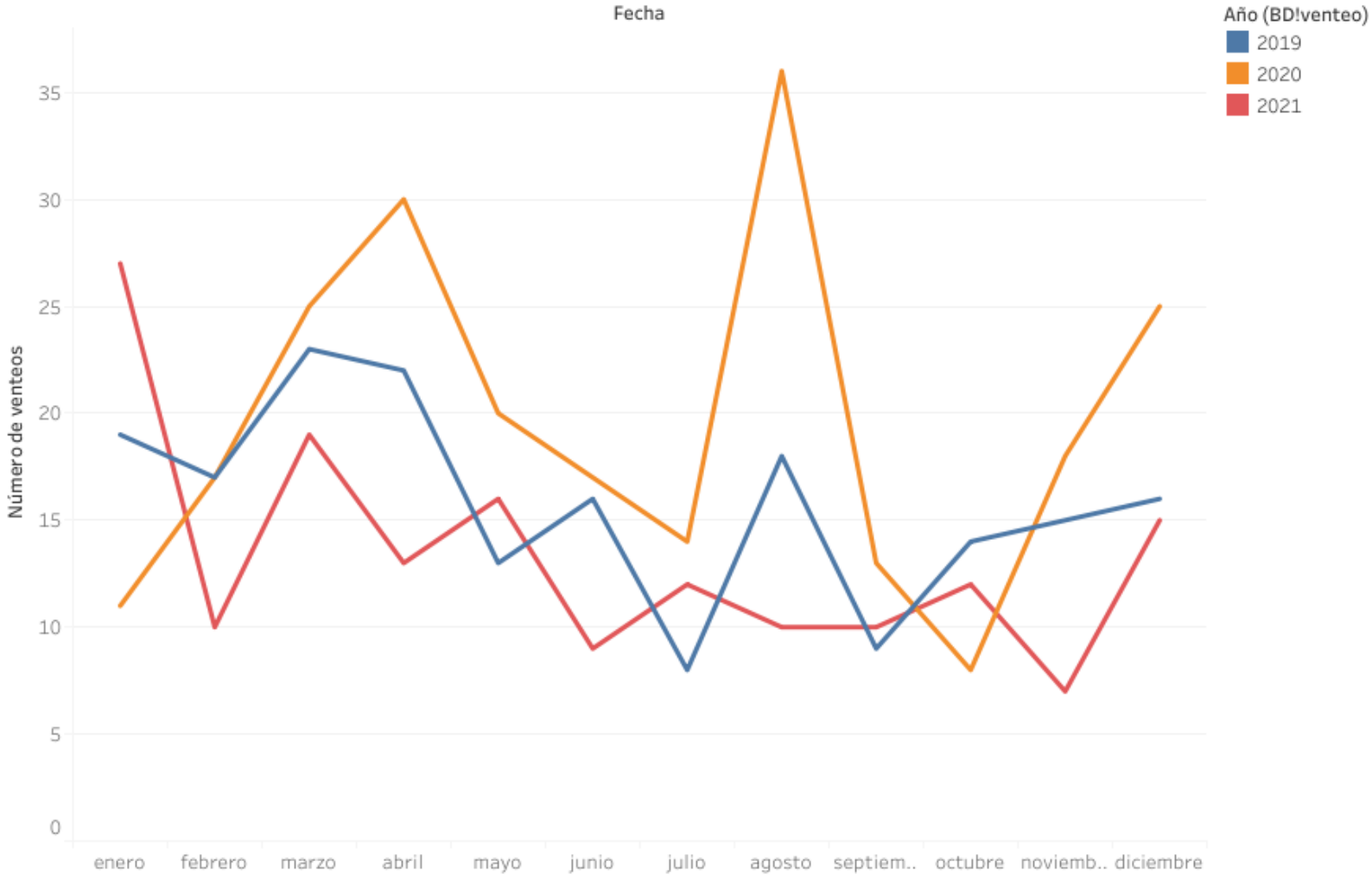
**Figura 3.17 Duración de eventos de venteo (min) por año y mes, periodo 2019 a 2021**




Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

Fuente: Elaboración propia en base a datos reportes SMA

**Figura 3.18 Frecuencia de eventos de venteo por año y mes, periodo 2019 a 2021**




Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1
Frecuencia de venteos corresponde a la cantidad o número de veces que ocurren los episodios de venteo de gases

Fuente: Elaboración propia en base a datos reportes SMA

Desde la gráfica anterior, no se puede visualizar la tendencia mensual de venteos por planta, pues ocurre que no suelen realizarse venteos en cada mes para todas las plantas, por ejemplo, en el año 2021, la planta PCK-05 sólo realizó venteos en los meses de febrero y marzo. Adicionalmente, al momento de analizar los datos es relevante considerar que la base de datos se construye a partir de los eventos y que, por lo tanto, si en un mes una planta no cuenta con ningún evento esto no se incluye en la base de datos analizada. Para compensar esto, en la Tabla 3.10 se presentan estadísticas que permiten observar la incorporación de los meses sin eventos.

En cuanto a la frecuencia, es importante mencionar que las plantas PCK-01, PCK-02 y PCK-08, cuentan con venteos frecuentes (pocos meses sin venteos y alto número de venteos por mes), y tienen una duración mensual promedio cercana a la media hora. En el otro extremo, las plantas PCK-05 y PCK-06 cuentan con venteos poco frecuentes (muchos meses sin venteo y promedio bajo de venteos), y su duración promedio mensual es 10 veces menor.

Según el análisis de denuncias (ver sección 2.5) en el periodo analizado (2013 a 2022) la planta con más denuncias acumuladas corresponde a PCK-05 (38% correspondiente a 14 denuncias), sin embargo, estas se presentaron entre los años 2015 y 2016, debido a una contingencia que abrió paso a un proceso sancionatorio. Por lo tanto, si se reduce el periodo de análisis de denuncias a los años 2019 a 2021, para lograr realizar una comparación con el periodo de análisis de venteos, sólo se cuenta con 6 denuncias (2 de PCK-07, 1 de PCK-04, 1 de PCK-03, 1 de PCK-02 y 1 de PCK-01), dos de las cuales corresponde a la planta PCK-07 por un evento de venteo de gases TRS. Por lo tanto, parte del grupo de plantas con venteos frecuentes (PCK-01 y PCK-02) presentan denuncias por olores molestos en el periodo de estudio, mientras que las plantas con venteos poco frecuentes (PCK-05 y PCK-06) no presentaron denuncias. Pese a ello, no existe la cantidad de datos suficiente para realizar conclusiones definitivas considerando la poca cantidad de años analizados.

**Tabla 3.10 Meses sin eventos, número de venteos y duración promedio mensual [min/mes] por planta, período 2019-2021**

| Planta | CNCG | | | DNCG | | | Número de denuncias en el periodo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Meses sin eventos | Número de venteos promedio por mes | Duración de venteos promedio [min/mes] | Meses sin eventos | Número de venteos promedio por mes | Duración de venteos promedio [min/mes] | |
| **PCK-01** | 22 | 0,67 | 0,55 | 5 | **3,69** | 29,66 | 1 |
| **PCK-02** | 26 | 0,58 | **2,58** | 9 | **3,17** | 30,07 | 1 |
| **PCK-03** | 11 | 2,17 | 2,16 | 16 | 1,19 | 6,94 | 1 |
| **PCK-04** | 35 | 0,03 | 0,36 | 21 | 0,81 | **60,08** | 1 |
| **PCK-05** | 36 | - | - | 25 | 0,53 | 3,81 | 0 |
| **PCK-06** | 30 | 0,19 | **5,12** | 31 | 0,25 | 1,30 | 0 |

| Planta | CNCG | | | DNCG | | | Número de denuncias en el periodo |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Meses sin eventos | Número de venteos promedio por mes | Duración de venteos promedio [min/mes] | Meses sin eventos | Número de venteos promedio por mes | Duración de venteos promedio [min/mes] | |
| **PCK-07** | 34 | 0,06 | 0,25 | 15 | 1,11 | **57,12** | 2 |
| **PCK-08** | 34 | 0,06 | 0,34 | 8 | 1,61 | 30,43 | 0 |

Fuente: Elaboración propia a partir de reportes SMA

### 3.3.3 Puntos de venteos

En el Anexo 1.3, se presentan los diagramas de bloques de los sistemas de combustión de las plantas reguladas, desde donde se realizan los venteos. Estos fueron desarrollados a partir de los reportes mensuales, presentados por los regulados en el periodo de estudio y permiten identificar los puntos de venteo informados. Estos puntos de venteo se resumen en la Tabla 3.11, y se presentan agrupados según cada regulado y sistema de combustión. Según esto, existen algunos puntos de venteo No Identificados (N/I), esto quiere decir que, en los diagramas de bloques reportados, no se identifican los nombres o la ubicación de los puntos de venteo (como es el caso de PCK-04).

Adicionalmente, en la Tabla 3.11 se indica la frecuencia de uso de cada uno de estos puntos. Esta información no necesariamente se ajusta al análisis indicado en las secciones anteriores, dado que existen inconsistencias entre los venteos reportados y los puntos de venteo indicados. Por ejemplo, en PCK-01 sus diagramas reportados permiten identificar ciertas válvulas como puntos de venteo (identificadas por una codificación), sin embargo, sus reportes de venteos no identifican a estas como punto de venteo, si no que, se asocian a unidades, como caldera de poder, digestor, entre otros. Esta situación se replica para algunos casos en PCK-02, PCK-05 donde se reportan venteos desde puntos no identificados en los diagramas. Sin embargo, la información recopilada desde los reportes permite identificar cuáles puntos de venteo cuenta con tratamiento previo o durante la emisión, por ejemplo, se pueden identificar ciertos puntos de venteo a la salida de scrubber o con sistema de neutralización de olores (sólo 43% de los puntos de venteo informados). Se aclara también, que, según las visitas técnicas realizadas en el marco del presente estudio, se aclaró que la planta PCK-07, no cuenta con válvulas como puntos de venteo, por lo cual estas no se informan en dicho formato. Sin embargo, para unificar dicha información con el formato de sistemas informado en el Anexo 1.3, este se representó como un punto de venteo en el diagrama.

**Tabla 3.11 Puntos de venteos informados.**

| Planta | Sistema de combustión | | Puntos de venteo | | | Frecuencia de uso | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N° | CNCG/DNCG | N° | Nombre | Sistema de tratamiento | 2019 | 2020 | 2021 |
| PCK-01 | **1** | CNCG | 3 | 063XSV386B | Scrubber | N/I[3] | N/I[3] | N/I[3] |

| Planta | Sistema de combustión | | Puntos de venteo | | | Frecuencia de uso | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N° | CNCG/DNCG | N° | Nombre | Sistema de tratamiento | 2019 | 2020 | 2021 |
| | | | | 041XSV457 | N/I[1] | | | |
| | | | | 041XSV056B | N/I[1] | | | |
| | **2** | CNCG | 2 | 263XSV925 | N/I[1] | | | |
| | | | | 241XSV1012A | N/I[1] | | | |
| | **3** | CNCG[2] | 1 | 263XSV953 | N/I[1] | | | |
| | **4** | DNCG | 3 | 052XSV739 | N/I[1] | | | |
| | | | | 052XSV726 | Scrubber | | | |
| | | | | 052XSV819 | Scrubber | | | |
| | **5** | DNCG | 3 | 252XSV1300 | Scrubber | | | |
| | | | | 252XSV1426 | N/I[1] | | | |
| | | | | 252XSV1519 | Scrubber | | | |
| PCK-02 | **1** | CNCG | 4 | 64HS9124 | N/I[1] | - | - | - |
| | | | | 34S156 | N/I[1] | - | - | - |
| | | | | 63C185 | N/I[1] | - | - | - |
| | | | | 64HS9104 | N/I[1] | - | - | - |
| | **2** | DNCG | 9 | 64HS9058 | N/I[1] | 2 | 1 | 3 |
| | | | | 61HS9179 | N/I[1] | - | - | - |
| | | | | 32HV9000 | Scrubber | - | - | - |
| | | | | 64HS9059 | Scrubber | 1 | - | 1 |
| | | | | 64HS9047 | N/I[1] | 2 | 2 | 3 |
| | | | | 64VI1644 | N/I[1] | - | 4 | 1 |
| | | | | HS9086 | Scrubber | 29 | 38 | 6 |
| | | | | HS7802 | Scrubber | 3 | 16 | 2 |
| | | | | HS9191 | N/I[1] | - | - | - |
| PCK-03 | **1** | CNCG | 7 | 64HV026 | N/I[1] | - | 1 | - |
| | | | | 641HV1418A | N/I[1] | - | 5 | 2 |
| | | | | 251HV503 | N/I[1] | 2 | 1 | 5 |
| | | | | 251HV1500A | N/I[1] | 2 | - | - |
| | | | | 251PIC401 | N/I[1] | 14 | 7 | 10 |
| | | | | 251HV508 | Scrubber | 14 | 1 | 2 |
| | | | | N/I[1] | N/I[1] | - | - | - |
| | **2** | DNCG | 5 | 671HV1407A | N/I[1] | - | - | - |
| | | | | 681HV1400A | N/I[1] | - | - | - |
| | | | | 251HV1430A | Scrubber | 4 | 13 | 9 |
| | | | | 661V555 | N/I[1] | - | 1 | - |
| | | | | 661PDIC755 | Scrubber | 2 | 9 | 5 |
| PCK-04 | 1 | CNCG | - | N/I[1] | N/I[1] | N/I[4] | N/I[4] | N/I[4] |
| | 2 | DNCG | - | N/I[1] | N/I[1] | | | |
| | 3 | DNCG | - | N/I[1] | N/I[1] | | | |
| PCK-05 | 1 | CNCG | 1 | XV33 | N/I[1] | | | |
| | 2 | DNCG | 6 | HS1213 | N/I[1] | 2 | 1 | 1 |
| | | | | HS2213 | N/I[1] | - | - | 3 |
| | | | | HV7188 | Scrubber | | | |
| | | | | HS235 | Scrubber | 1 | 1 | 2 |
| | | | | HV543 | Scrubber | 1 | 2 | - |
| | | | | FA403 | N/I[1] | - | 1 | - |
| PCK-06 | 1 | CNCG | - | N/I[1] | N/I[1] | N/I[4] | N/I[4] | N/I[4] |
| | 2 | DNCG | - | N/I[1] | N/I[1] | | | |
| PCK-07 | 1 | CNCG | - | N/I[1] | N/I[1] | N/I[4] | N/I[4] | N/I[4] |
| | 2 | CNCG | - | N/I[1] | N/I[1] | | | |

| Planta | Sistema de combustión | | Puntos de venteo | | | Frecuencia de uso | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N° | CNCG/DNCG | N° | Nombre | Sistema de tratamiento | 2019 | 2020 | 2021 |
| | 3 | DNCG | 2 | N/I[1] | Sistema de neutralizador | | | |
| | | | | N/I[1] | Sistema de neutralizador | | | |
| | 4 | DNCG | 1 | N/I[1] | Sistema de neutralizador | | | |
| | 5 | DNCG | 3 | N/I[1] | Sistema de neutralizador | | | |
| | | | | N/I[1] | Sistema de neutralizador | | | |
| | | | | N/I[1] | Sistema de neutralizador | | | |
| | 6 | DNCG | 1 | N/I[1] | Sistema de neutralizador | | | |
| PCK-08 | 1 | CNCG | 2 | 341XA1547 | N/I[1] | - | 1 | 1 |
| | | | | 352XV807 | N/I[1] | - | - | - |
| | 2 | DNCG | 4 | 346HS1310 | N/I[1] | 2 | 1 | - |
| | | | | 352HS1663 | Scrubber | 5 | 13 | 3 |
| | | | | 352HS4036 | Scrubber | - | 4 | 4 |
| | | | | 352HS9203 | Scrubber | 1 | 6 | 6 |

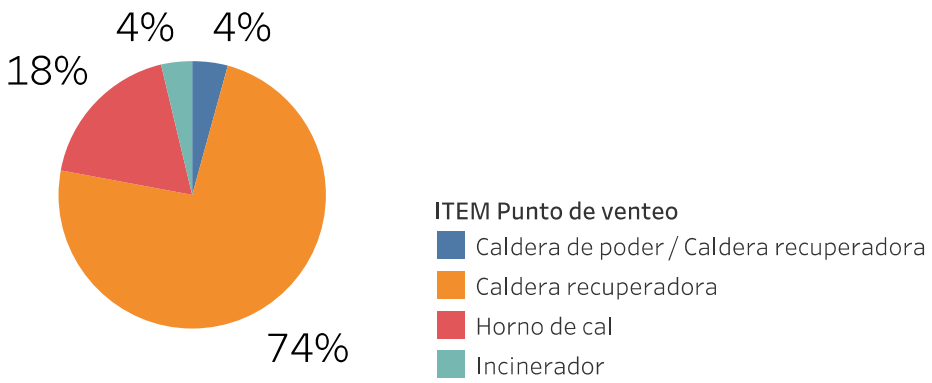
Nota 1: N/I es No Informado.
Nota 2: Es informado como línea de *chip bin* en los reportes.
Nota 3: En PCK-01no se reportan los venteos según la codificación de los puntos de venteos indicados en diagramas.
Nota 4: En PCK-04, PCK-06 y PCK-07 no se identifican puntos de venteo en diagramas, y sus reportes, indican como punto de venteo algunos equipos y/o códigos no identificados

Fuente: Elaboración propia a partir de los reportes

Para unificar esta información y realizar un análisis de los puntos de venteo más utilizados, se consolida la información relacionada a los puntos de venteo, asociando cada punto informado (ya sea, válvula o equipo) con la unidad dedicada del sistema, por lo tanto, los puntos de venteo para este análisis son; caldera recuperadora, caldera de poder o incinerador.

En el periodo estudiado (2019 a 2021) el punto más utilizado con una frecuencia de 74% corresponde a la caldera recuperadora, seguido por el horno de cal con 18%. Mientras que los menos utilizados son los incineradores y los sistemas con doble equipo dedicado (caldera de poder y recuperadora), que corresponde al sistema de combustión 1 de PCK-04 y al sistema 1,2 y 3 de PCK-01, según indica la Figura 3.19.

**Figura 3.19 Frecuencia de uso de puntos de venteo por planta y tipo de gas, periodo 2019 a 2021**

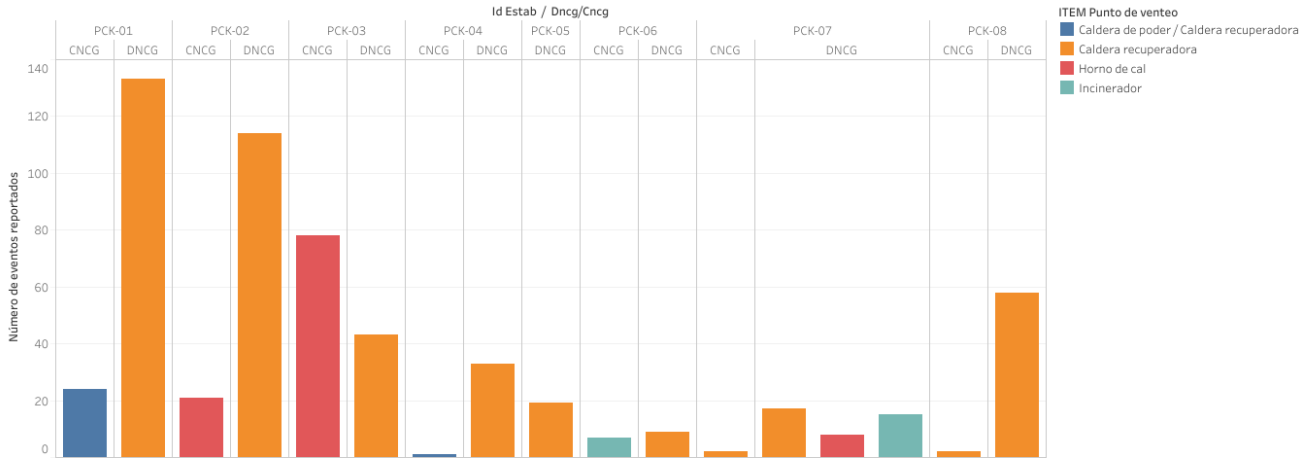



Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

Fuente: Elaboración propia en base a datos reportes SMA

La Figura 3.20 indica la frecuencia de los puntos de venteos, según cada planta y el tipo de gas TRS. En concordancia con los análisis anteriores, la caldera recuperadora es el punto de venteo más utilizado para la mayoría de las plantas y este se asocia principalmente a la quema de gases DNCG, sólo a excepción de la planta PCK-07, donde el sistema de combustión de 2 de gases CNCG, cuenta con la caldera recuperadora como equipo dedicado (ver Anexo 1.1). En caso contrario, el horno de cal es utilizado principalmente como equipo dedicado en los sistemas de quema de gases CNCG y es un punto de venteo utilizado sólo por las plantas PCK-02, PCK-03 y PCK-07, este último en su sistema de queda de gases DNCG (sistema de combustión 6).

**Figura 3.20 Frecuencia de uso de puntos de venteo por planta y tipo de gas, periodo 2019 a 2021**



Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

Fuente: Elaboración propia en base a datos reportes SMA

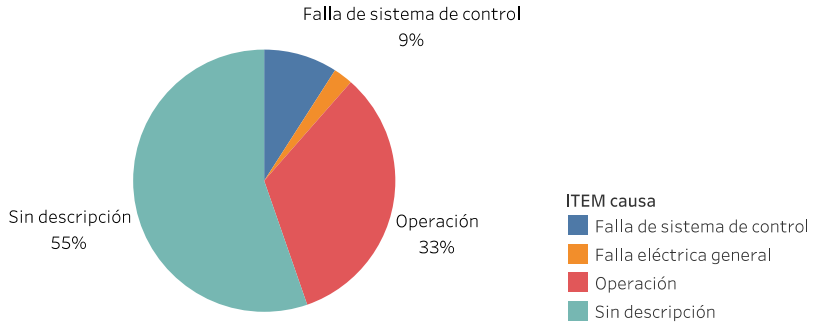
### 3.3.4 Causas de venteos

Dentro de las exigencias del DS37/2013, el artículo 10°, indica: "*En el caso de venteo se deberá informar a la autoridad fiscalizadora en un plazo máximo de 24 horas, indicando la causa y tiempo de duración*". Por lo tanto, en los reportes mensuales entregados por los regulados en el periodo de estudio existen causas comunes descritas para cada venteo, las cuales se clasificaron como:

- Fallas de sistema de control: Corresponden a venteos realizados por fallas de sensores, actuadores o válvulas que componen los sistemas de control, y también incluye fallas en el sistema eléctrico como cortocircuitos.
- Fallas eléctricas generales: Consiste en caídas del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) o complicaciones del suministro de energía por contingencias naturales (como, por ejemplo, tormentas eléctricas).
- Operación: Son venteos generados por condiciones de operación variantes o fallas de equipos de impulsión, que generan fluctuación en la estabilidad de operación de los equipos, generando por ejemplo, condiciones de sobre temperatura o sobrepresión. En esta se incluyen paradas y puesta en marcha programadas, la cual ha sido una de las causas de venteo integrada en los reportes.
- Sin descripción: Corresponde a venteos sin descripción de causa.

Por lo tanto, de los 584 venteos reportados en el periodo de estudio (entre el 2019 y 2021), un 55% corresponde a venteos sin descripción de causa, mientras que un 33% se puede relacionar con el ítem "*Operación*" y un 9% a "*Fallas del sistema de control*", como describe la siguiente figura.

**Figura 3.21 Causas reportadas de venteos, periodo 2019 a 2021**




Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

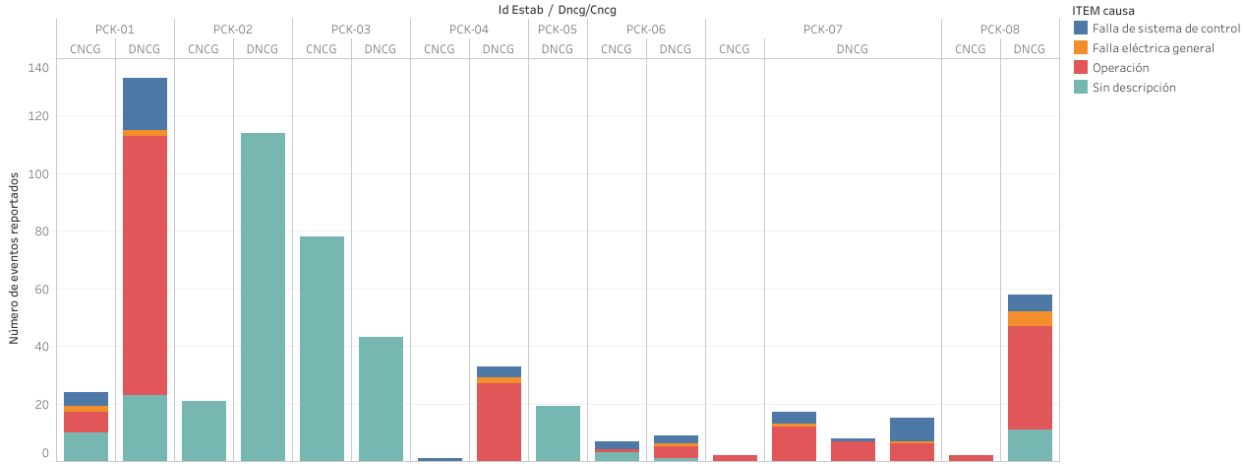
Fuente: Elaboración propia en base a datos reportes SMA

Al analizar cada descripción por planta (ver Figura 3.22), se puede determinar que las plantas PCK-02, PCK-03 y PCK-05, no cuentan con descripción disponible de sus causas de venteos en el periodo de estudio. En general, el ítem más utilizado por las plantas para descripción de causas es "*Operación*", de hecho, dicha clasificación alcanza un 67% (97 venteos) en PCK-01, 63% en

PCK-08 (38 venteos), 64% en PCK-07 (27 venteos) y un 79% en PCK-04 (27 venteos). Sólo en la planta PCK-06, las causas de venteo están lideradas por el ítem "*Falla del sistema de control*" con un 37% del total. Además, en todas las plantas existen venteos generados por "*Falla eléctrica general*" relacionadas con la caída de servicio del Sistema Eléctrico Nacional, en al menos un 3% de sus venteos.

El DS37/2013 del MMA en su artículo 10° indica: "*Los venteos de TRS (concentrados y diluidos) estarán limitados por el funcionamiento del equipo de combustión, el que debe operar con un porcentaje igual o superior al 98% del tiempo de funcionamiento en base mensual. Para efectos del cálculo del porcentaje de funcionamiento de los equipos de combustión de TRS, se considerarán los periodos en que la planta se encuentre en funcionamiento, descontadas las partidas y paradas, las que serán reportadas en el informe mensual mencionado en el artículo 11°.*" En este contexto, en Anexo 1.7 presenta el análisis sobre el porcentaje de horas informado por los regulados en el periodo estudiado, bajo la métrica del artículo 10°. En general, se cumple por un importante margen con dicha exigencia.

**Figura 3.22 Causas de venteo por planta, periodo 2019 a 2021**




Nota: Para más detalle visitar https://public.tableau.com/app/profile/jose.valdes3594/viz/NORMOL3/Dashboard1

Fuente: Elaboración propia en base a datos reportes SMA

## 3.4 Resumen del análisis de cumplimiento normativo

Las principales conclusiones relacionadas a los límites normativos actuales, diferenciadas por unidad se entregan a continuación en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12 Resumen del análisis de cumplimiento por unidad**

| Unidad[4] | Artículo del DS37/2013 | Límite DS37/2013 | Análisis periodo 2019 a 2021 |
|---|---|---|---|
| **CR** | Artículo 3° | 5 [ppmv] [1] | Existen 10 calderas recuperadoras operativas. Si bien, no existieron incumplimientos a la normativa en el periodo de estudio, el nivel más alto registrado que alcanzó los 4,7 [ppmv], lo cual indica un margen de cumplimiento de sólo 6% . Las calderas recuperadoras con niveles más alto, alcanzan en promedio los 2,8 y 2,9 [ppmv] (correspondiente a las calderas recuperadoras de las plantas PCK-03 y PCK-02, respectivamente).<br>Dado lo anterior, el margen de cumplimiento de los datos 2019 a 2021, presentan un rango de 6 a 94%- |
| **HC** | Artículo 3° | 15 [ppmv] [1] (existentes)<br>10 [ppmv] [1] (nuevos) | Se identificaron 10 hornos de cal operativos en el periodo de estudio, que cuentan con el límite correspondiente a 15 [ppmv] para equipos existentes. No existen incumplimiento a la norma y se identifican como las principales fuentes generadoras a los hornos de cal de las plantas PCK-01, PCK-03 y PCK-06. A esta última, corresponde el valor máximo alcanzado durante el periodo de estudio, que corresponde a 13,5 [ppmv] en el mes de junio de 2021.<br>En comparación con las CR, estos equipos presentan mayor dispersión de datos, cuyo rango de cumplimiento se encuentra entre 12 a 97%. A pesar de presentar un rango más acotado que las CR, los datos más críticos (correspondientes a los presentados por la planta PCK-06) alcanzan un margen de 12% (13,5 [ppmv]). |
| **CP / INC dedicados** | Artículo 3° | 20 [ppmv][2] | Se reportó la operación de 3 calderas de poder y 3 incineradores en el periodo de estudio. Dichos equipos no presentaron incumplimientos del límite definido, indicando valores muy por debajo de 20 [ppmv]. Para el caso de CP, el valor máximo reportado alcanza los 3,17 [ppmv] indicado por la planta PCK-04. Mientras que para incineradores, este alcanza los 11,05 [ppmv] en la planta PCK-01.<br>Por lo tanto, los datos informados para CP e INC dedicados, tienden a ser consistentes alcanzando valores anuales sin una dispersión pronunciada. Para las CP, se presentan márgenes de cumplimiento entre 84 a 98%, |

| Unidad[4] | Artículo del DS37/2013 | Límite DS37/2013 | Análisis periodo 2019 a 2021 |
|---|---|---|---|
| | | | mientras que para incineradores este rango se mantiene entre 45 a 97%. Lo cual, para ambos casos indica que existe un amplio margen de sobrecumplimiento. |
| **CP / INC respaldo** | Artículo 5° | Máximo 5 minutos continuos operando en temperatura de régimen igual o superior a 650[°C]. | Existieron algunos incumplimientos en el año 2019, dado por las plantas PCK-01 y PCK-06, en su CP e INC de respaldo, respectivamente.<br>Dicho año existieron 7 eventos de incumplimiento en PCK-01, el evento de mayor duración indicó un tiempo consecutivo de 27 minutos operando bajo 650[°C]. El mismo año, se reportaron 2 infracciones por parte de la planta PCK-06, cuyo tiempo máximo reportado fue de 8 minutos. Además de esto, durante el periodo de estudio se presentaron algunos datos al límite de la norma por parte de las plantas PCK-01 y PCK-07.<br>Desde las infracciones reportadas en el año 2019, no se han indicado incumplimientos a la norma. Siendo este el único punto normativo que ha sido sobrepasado o incumplido durante el periodo de estudio. |
| **EDLV** | Artículo 3° | 16,8 [mg/kg] de sólidos secos | De acuerdo con los reportes disponibles del SMA durante el periodo evaluado (2019 a 2021) ningún regulado declaró al EDLV como parte de sus fuentes emisoras de TRS debido a que, ya a la fecha contaban con el sistema de captación, descartándose como fuente emisora. |
| **Venteos** | Artículo 10° y 11° | Limitados por el funcionamiento del equipo de combustión, el que debe operar con un porcentaje igual o superior al 98% del tiempo de funcionamiento en base mensual. | Desde el análisis en el periodo de estudio se ha indicado que se cumple con las exigencias asociadas al límite de funcionamiento de equipos de combustión.<br>Adicionalmente, se recoge información sobre la frecuencia, causas, duración y puntos de venteo. Se destaca que 55% de los venteos reportados, no cuentan con descripción de causa. Además, sólo en el 43% de los puntos de venteo informados, cuenta con un tratamiento previo a la liberación a ambiente, como el uso de scrubber o agentes neutralizantes. |

Nota 1: Indicado como percentil 98 de emisión $H_2S$ al 8% de oxígeno en base seca
Nota 2: Indicado como percentil 98 de los datos promedios diarios en un periodo anual
Nota 3: Ver análisis de sobrecumplimiento Anexo 1.2.
Nota 4: Siglas de tipo de fuente consisten en CR (caldera recuperadora), HC (horno de cal), CP (caldera de poder), INC (incinerador).

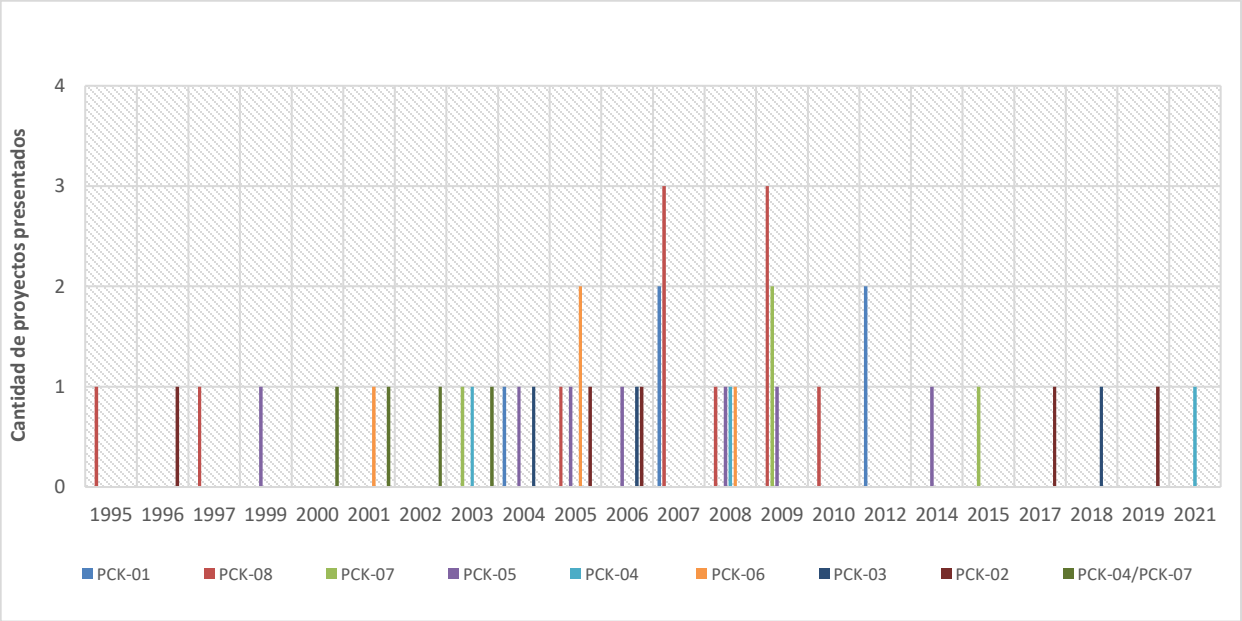
Fuente: Elaboración propia.

## 3.5 Proyectos ingresados al SEIA y su evaluación de impacto odorante

De acuerdo con información recabada en la base de datos del SEA (ver Apéndice 1), entre los años 1995 a 2021 han ingresado 55 proyectos totales por parte de los regulados al SEIA. De ellos, 47 (85%) se encuentran calificados favorablemente (i.e. aprobados), mientras que 6 fueron desestimados y 2 no admitidos a tramitación. El total acumulado para todos los proyectos en calidad de aprobados alcanza una inversión de 7.071 [MUSD].

En relación con la cantidad de proyectos presentados por cada planta (véase Figura 3.23) se puede destacar que en el periodo entre los años 1995 a 2003, se presentaron 11 (24%) proyectos correspondientes a las plantas PCK-08 (2), PCK-02 (1), PCK-05 (1), PCK-06 (1), PCK-07 (5) y PCK-04 (5), estos dos últimos presentando cuatro proyectos juntos enfocados al transporte de productos químicos entre las mismas. En el periodo 2004-2012 fueron presentados una cantidad de 29 (63%) proyectos, existiendo mayores fluctuaciones con respecto a la cantidad de ingresos por cada planta, donde el complejo PCK-08 ingresó hasta tres proyectos en el mismo año (2007 y 2010). Finalmente, para el periodo post actualización de la norma (2013 en adelante), esta fluctuación fue cediendo, representando tan sólo el 13% de la totalidad de proyectos. De lo anterior, se puede concluir que la planta PCK-08 es aquella que lidera en cantidad de proyectos presentados, con 12 en total, la que viene secundada por planta PCK-06 con 7 proyectos, siendo esta última sucedida por plantas PCK-01 y PCK-02 con 5 proyectos cada una.

**Figura 3.23 Cantidad de proyectos presentados por año por cada planta de celulosa Kraft regulada**

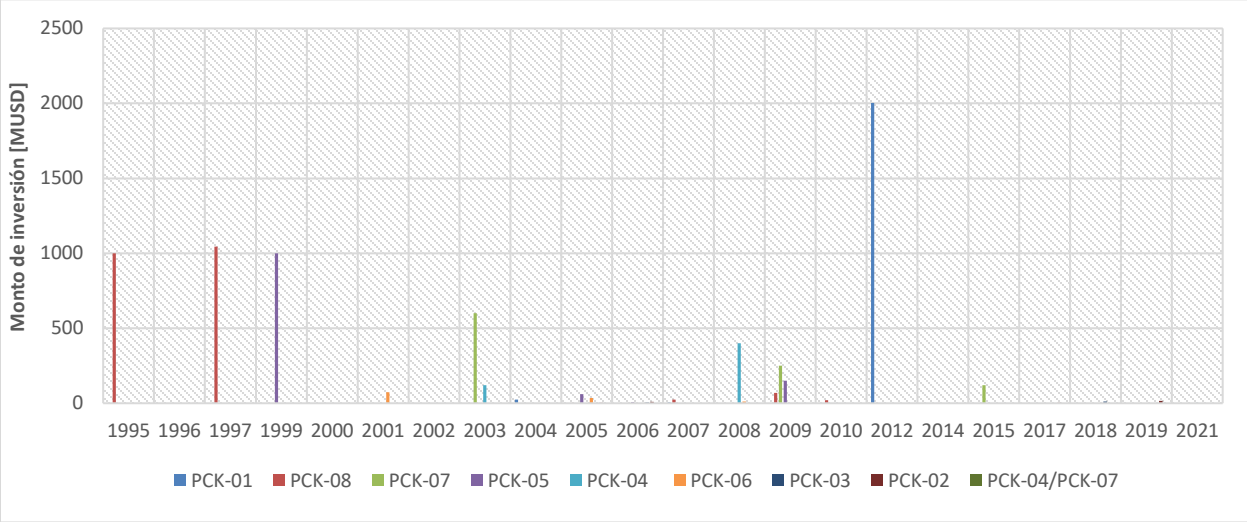



Nota: Años correspondientes a año de ingreso del proyecto al SEIA.
Para más información ver Apéndice 1.

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en base de datos del SEA

Con respecto a la inversión histórica (véase Figura 3.24) desde una perspectiva general, se puede determinar que las mayores inversiones se presentaron entre los años 1995, 1997 y 2012, con el ingreso de los proyectos de la planta PCK-08 en su primera y segunda presentación y el proyecto de la planta PCK-01. En relación con los periodos correspondientes entre los años 2000-2011 y el periodo post publicación del DS37/2013 del MMA, es decir 2013 a 2021, las inversiones realizadas por los regulados son más bien discretas alcanzando un máximo de 720 [MUSD] en el año 2003, donde 600 [MUSD] corresponden a la inversión realizada por uno de los regulados para su planta PCK-07 y 120 [MUSD] al proyecto perteneciente a la planta PCK-04.

**Figura 3.24 Inversiones históricas [MUSD] de proyectos aprobados por el SEA**




Nota: Fechas corresponden a las que los proyectos fueron calificados ambientalmente.
Para más información ver Apéndice 1.

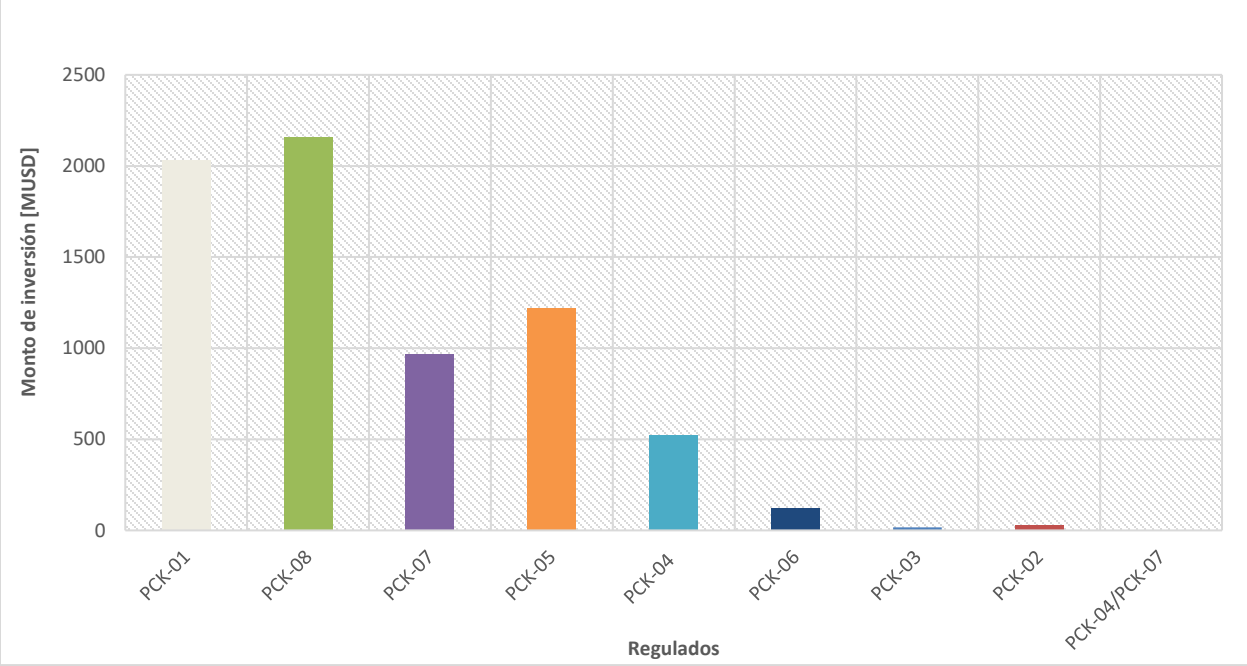
Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en base de datos del SEA

En relación a la inversión acumulada históricamente por los regulados (véase Figura 3.25), se destaca que la planta PCK-08 es aquella que presenta una mayor inversión (2.160 [MUSD]), lo que viene de la mano con su cantidad de proyectos presentados (12) vistos anteriormente, los cuales en su mayoría presentan medidas enfocadas en el control y abatimiento de compuestos TRS y/u olores, tanto operacionales como de diseño, entre las cuales se encuentran la instalación de un lavador de gases, uso de una caldera recuperadora de bajo olor y de un sistema de recolección NCG y su posterior incineración, horno de cal equipado con controles de proceso más modernos disponibles esperándose que las emisiones de olor sean bajas, equipos modernos con sistemas sellados o cerrados, tratamiento de los condensados concentrados provenientes del digestor y evaporación en un sistema de desgasificación, incinerándolos posteriormente, etc.

Luego, le sigue la planta PCK-01 con una inversión total de 2.030 [MUSD], situación que, de acuerdo al análisis anterior sobre la cantidad de proyectos presentados, indica que aunque esta planta no es una de las con mayor cantidad de proyectos (quedó en tercer lugar después de PCK-06) es una de las que presentó un proyecto de tamaño y/o complejidad considerable. En tercer lugar, queda PCK-05 con una inversión acumulada de 1.218,8 [MUSD], quedando PCK-07 y PCK-04 con inversiones no tan significativas de 970 [MUSD] y 521,6 [MUSD] respectivamente. Por su

parte (dejando fuera a la inversión realizada por plantas PCK-07 y PCK-04), quien presentó la menor inversión en el periodo evaluado fue planta PCK-03 invirtiendo tan sólo 17 [MUSD].

**Figura 3.25 Inversión [MUSD] realizada por los regulados en el periodo 1995-2021**




Nota: Para más información ver Apéndice 1.

Fuente: Elaboración propia en base a información recopilada en base de datos del SEA

Con la finalidad de especificar las inversiones, se realizó una clasificación según la macro-área que los proyectos ingresados pretendían implementar o modificar. De lo anterior, se pudieron definir 5 macro-áreas, las cuales corresponden a caldera, disposición de residuos sólidos/líquidos, energía, líneas de producción y manejo de productos químicos, las que se encuentran detalladas en la Tabla 3.13, de la cual, es resaltable el enfoque de inversión hacia la implementación o modificaciones de las líneas de producción con una inversión total de 6.518 [MUSD] (92%), seguida por la macro-área correspondiente a la disposición de residuos sólidos o líquidos con una inversión de 209 [MUSD] (3%). Casi la misma inversión (201 [MUSD]) se ha aprobado en la implementación o modificación de las calderas, ya sean estas de biomasa, poder o recuperadora. Asimismo, se confirma que la mayor inversión a la línea de producción la presenta planta PCK-01.

**Tabla 3.13 Inversión [MUSD] aprobada en proyectos según macro-área y año**

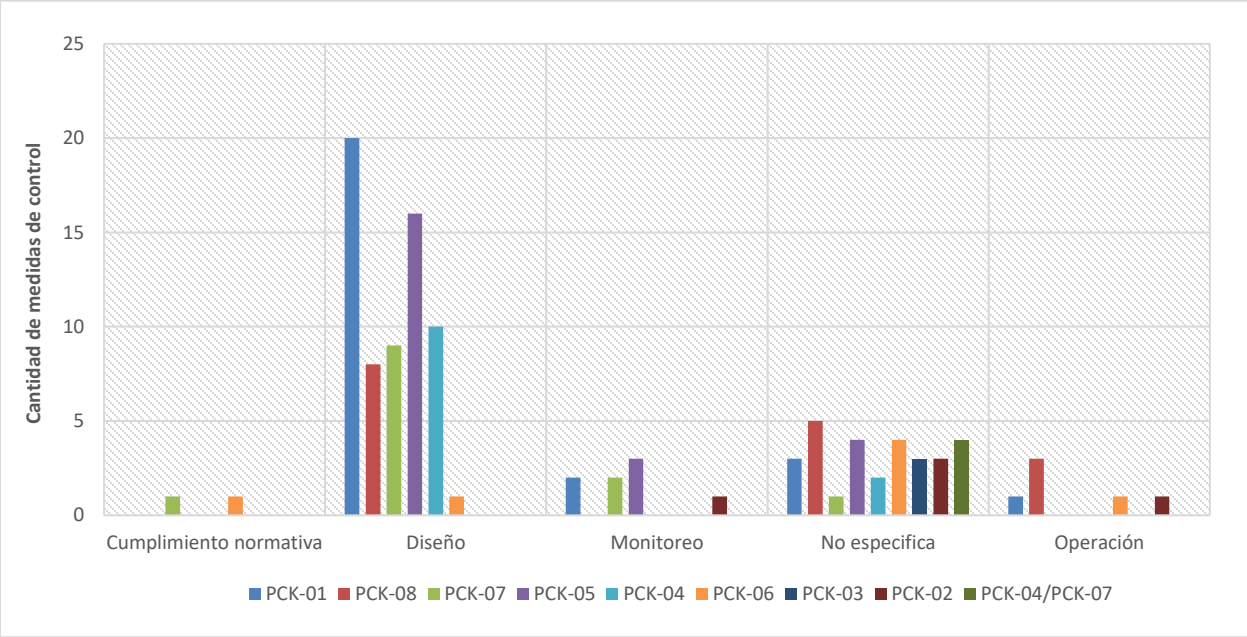
| Macro-área | Año | Planta[1] | | | | | | | | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PCK-01 | PCK-02 | PCK-03 | PCK-04 | PCK-05 | PCK-06 | PCK-07 | PCK-07 / PCK-04 | PCK-08 | |
| Caldera (C) | 1996 | | 1 | | | | | | | | **201** |
| | 2004 | 25 | | | | | | | | | |
| | 2005 | | | | | | 35 | | | | |
| | 2009 | | | | | | | | | 0 | |
| | 2010 | | | | | | | | | 20 | |
| | 2016 | | | | | | | 120 | | | |
| Disposición de residuos sólidos/líquidos (DRSL) | 2004 | | | 0,4 | | | | | | | **209** |
| | 2005 | | | | | | | | | 0,55 | |
| | 2006 | | 12,6 | 6 | | 67 | | | | | |
| | 2007 | 3,8 | | | | | | | | | |
| | 2008 | | | | | | | | | 25 | |
| | 2010 | | | | | | | | | 65 | |
| | 2012 | 3,3 | | | | | | | | | |
| | 2019 | | | 10,6 | | | | | | | |
| | 2020 | | 15 | | | | | | | | |
| Energía (E) | 2009 | | | | | | 12 | 120 | | | **136** |
| | 2017 | | 2,8 | | | | | | | | |
| | 2022 | | | | 1,56 | | | | | | |
| Líneas de producción (LP) | 1996 | | | | | | | | | 1.000 | **6.518** |
| | 1998 | | | | | | | | | 1.045 | |
| | 2000 | | | | | 1.000 | | | | | |
| | 2001 | | | | | | 73 | | | | |
| | 2004 | | | | 120 | | | 600 | | | |
| | 2005 | | | | | 0 | 0 | | | | |
| | 2009 | | | | 400 | | | | | | |
| | 2010 | | | | | 150 | | 130 | | | |
| | 2014 | 2.000 | | | | | | | | | |
| Manejo de productos químicos (MPQ)[2] | 2000 | | | | | | | | 0,4 | | **7** |
| | 2001 | | | | | | | | 0 | | |
| | 2002 | | | | | | | | 0 | | |
| | 2003 | | | | | | | | 0 | | |
| | 2008 | 0,4 | | | | | | | | | |
| | 2009 | | | | | | | | | 0 | |
| | 2010 | | | | | | | | | 4,5 | |
| | 2014 | | | | | 1,8 | | | | | |
| Total | | **2.034** | **31** | **17** | **523** | **1.219** | **120** | **970** | **0** | **2.169** | **7.071** |

Nota 1: Valores totales redondeados a la unidad.
Nota 2: Manejo de productos químicos (MPQ): Se refiere a las actividades involucradas en el manejo de insumos químicos en su etapa de recepción, almacenaje, producción, transporte, etc., así como también al manejo de productos intermedios en la producción de pulpa Kraft.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de base de datos del SEA

Hay que destacar también que estos proyectos identificados presentan ciertas medidas de control, ya sea de gases TRS (CNCG y/o DNCG) como de olores, identificándose en total 109 medidas[9] las cuales fueron clasificadas en medidas enfocadas al cumplimiento de la normativa, medidas de diseño, de monitoreo y de operación. En la Figura 3.25 se observa la distribución de las medidas según las clasificaciones realizadas. Se destaca que la mayor cantidad de medidas pertenecen al grupo de diseño, es decir, vienen dadas por las características mismas del proyecto o equipo(s) implementado o modificado, como instalación de equipos modernos, nuevos sistemas de recolección y quemado de gases NCG, etc. Asimismo, se evidencia también que la PCK-05 supera con 26 medidas (20 de diseño, 2 de monitoreo, 1 de operación y 3 medidas no especificadas) a las demás instalaciones reguladas, apreciándose también que la mayoría de las plantas no especificó o no se identificaron medidas de control de TRS u olores en sus proyectos presentados al SEIA.

**Figura 3.26 Tipo de medidas de control de compuestos TRS y/u olores incluidas en los proyectos ingresados al SEIA**




Nota: Para más información ver Apéndice 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de base de datos del SEA

[9] En el Apéndice 1 se presenta la base de datos con el detalle de las medidas identificadas.

### 3.5.1 Proyectos ingresados al SEIA post publicación del DS37/2013 del MMA y su evaluación y/o exigencias en materia de olores

Los proyectos ingresados luego de que el DS37/2013 del MMA se publicara son aquellos que se exponen en la Tabla 3.14.

**Tabla 3.14 Proyectos ingresados favorablemente luego de entrada en vigencia el DS37/2013 del MMA**

| ID RCA[2] | ID Planta | Tipo | Inversión [MUSD] | Tipología[1] | Año Presentación/Calificación |
|---|---|---|---|---|---|
| **RCA01** | **PCK-01** | EIA | 2.000 | m4 | 2012/2014 |
| **RCA02** | **PCK-03** | DIA | 10,6 | o8 | 2018/2019 |
| **RCA03** | **PCK-07** | DIA | 120 | k1 | 2015/2016 |
| **RCA04** | **PCK-05** | DIA | 1,8 | ñ3 | 2014/2014 |
| **RCA05** | **PCK-04** | DIA | 1,6 | b2 | 2021/2022 |
| **RCA06** | **PCK-02** | DIA | 15 | o8 | 2019/2020 |
| **RCA07** | **PCK-02** | DIA | 2,8 | c | 2017/2017 |

Nota 1: Tipologías corresponden a: b) Líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje y sus subestaciones, b.2) Se entenderá por subestaciones de líneas de transmisión eléctrica de alto voltaje aquellas que se relacionan a una o más líneas de transporte de energía eléctrica y que tienen por objeto mantener el voltaje a nivel de transporte, c) Centrales generadoras de energía mayores a 3 [MW], k.1) Instalaciones fabriles cuya potencia instalada sea igual o superior a dos mil kilovoltios-ampere (2.000 [KVA]), determinada por la suma de las capacidades de los transformadores de un establecimiento industrial, m.4) Toda industria de celulosa, pasta de papel y papel será considerada de dimensiones industriales, ñ.3) Producción, disposición o reutilización de sustancias inflamables que se realice durante un semestre o más y con una periodicidad mensual o mayor, en una cantidad igual o superior a 80.000 [kg/día]. Capacidad de almacenamiento de sustancias inflamables en una cantidad igual o superior a 80.000 [kg/día], o.8) Sistemas de tratamiento, disposición y/o eliminación de residuos industriales sólidos con una capacidad igual o mayor a 30 [ton/día] de tratamiento o igual o superior a 50 [t] de disposición.
Nota 2: Código de RCA modificado por confidencialidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada en base de datos del SEA

En la Tabla anterior (Tabla 3.14), se visualiza que sólo un proyecto hizo ingreso al SEIA en forma de Estudio de Impacto Ambiental (EIA). Este corresponde al proyecto que presenta la mayor inversión y pertenece a la planta PCK-01, el cual modifica la macro-área de línea de producción. En relación con las otras macro-áreas, se debe indicar que los proyectos modifican o implementan a las áreas pertenecientes (en orden descendente alusivo a la cantidad) al sector energético, a la disposición de residuos sólidos/líquidos y al manejo de productos químicos.

La descripción de estos proyectos se realizará de acuerdo a las principales tipologías de proyectos o actividades con fuentes de olor establecidos por SEA (2017) que indica que los proyectos susceptibles a generar emisiones de olores o de compuestos TRS en este caso, pertenecen a los de tipología m4 y o8 (establecidas por artículo 3° del DS40/2013 del MMA), por lo tanto, de los proyectos expuestos en la Tabla 3.14, sólo serán descritos los proyectos ingresados por las plantas PCK-01, PCK-03 y PCK-02. Asimismo, se realizará la descripción de aquellas medidas o exigencias asociadas a los olores y/o su evaluación si existiere.

Cabe destacar que, a la fecha de elaboración del presente informe, ningún proyecto asociado a las plantas de celulosa se encuentra en tramitación. Dado lo anterior, el foco se pone en los siete proyectos con RCA favorable en el periodo 2014-2022.

- **RCA01**

Este proyecto, presentado en forma de EIA el año 2012 y calificado favorablemente el año 2014 consistió en, tal como su nombre lo indica, la modernización de las instalaciones de la PCK-01 y habilitación de una nueva línea productiva, además de la implementación de su respectiva obra de conexión al Sistema Interconectado Central (SIC)[10] para el aporte de energía renovable a partir de biomasa forestal. Esta modificación considera el cese de operación de algunos equipos y áreas de la línea 1 existente, como las áreas de digestores de lavado y blanqueo, calderas de poder 1 y 3, caldera recuperadora 1, horno de cal 1 y turbogenerador 2, mientras que aquellas que continúan en servicio son la línea de descortezado y astillado, la máquina de secado y embalaje e instalaciones anexas, el sistema de captación y tratamiento de agua industrial y la planta de *Tall oil*. Por su parte en la línea 2 modifica las medidas para la reducción de emisiones de MP en caldera recuperadora 2, habilita una planta de producción de *Tall oil* y mejora ambientalmente el sistema de contención de aguas lluvia y de derrames.

Dentro de los impactos ambientales evaluados por el titular, se esperan principalmente afectaciones a la fauna terrestre debido a que la superficie de la obra alberga aproximadamente a un 37% de especies potenciales para esta área y al medio humano por alterar los sistemas y costumbres de vida, entre otros, siendo estos de carácter negativo medio.

- **RCA02**

Este proyecto, presentado en forma de DIA el año 2018 y calificado favorablemente el año 2019, tuvo como principal objetivo la habilitación de un depósito para almacenar los residuos industriales sólidos no peligrosos o excedentes de subproductos generados (en adelante DRIS) en un área contigua al en ese entonces al actual DRIS existente, aumentando su vida útil a 12 años, que podrá variar según los niveles de generación y compactación de materiales, los cuales consisten en:

- Cenizas de la caldera de poder
- Cenizas de combustión de maderas
- Impurezas extraídas del licor verde (*dregs*)
- Rechazos del apagador de cal (*grifts*)
- Lodos provenientes del sistema de tratamiento de efluentes
- Escombros
- Purgas de sulfato de sodio

En relación con los impactos que pudiese generar el proyecto, se establece que no genera ni presenta ninguno de los efectos, características o circunstancias indicados en el artículo 11° de la Ley N°19.300, ni en los artículos 5 al 11 del DS40/2013 o RSEIA.

[10] Actual Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

- **RCA06**

El nuevo depósito sometido a evaluación consiste en la implementación de un depósito de residuos industriales no peligrosos provenientes de la planta PCK-02 y la Planta térmica y contempla la habilitación de 9 canchas en cuatro etapas sucesivas, por su parte, también se contempla la operación de un sistema de tratamiento para aquellos efluentes que se generen producto del almacenamiento de residuos.

En relación con impactos ambientales y medidas de control asociadas a compuestos TRS y/u olores, al igual que el proyecto descrito anteriormente, no genera no genera ni presenta efecto, característica o circunstancia alguna indicada en la respectiva normativa y tampoco especifica medidas.

#### 3.5.1.1 Consideración de los olores en los proyectos ingresados post publicación del DS37/2013 del MMA al SEIA

Otro aspecto de los proyectos ingresados al SEIA corresponde al tratamiento de impacto odorante que se realiza en estos. De los tres proyectos identificados anteriormente, que representaban ser una potencial fuente emisora de olores, de acuerdo con sus tipologías, sólo dos presentaron un Estudio de Impacto Odorante (EIO) lo que puede justificarse en parte a que recién en el año 2017 se publica la "*Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA*" (SEA, 2017). Esto es especialmente relevante al considerar que la mayoría de los proyectos totales ingresados se presentaron antes de dicho año, como lo es el caso del proyecto indicado en la RCA01 de la planta PCK-01. A continuación, en la Tabla 3.15 se expone el detalle de la consideración de los olores en dichos proyectos identificados.

**Tabla 3.15 Consideración de los olores en los proyectos ingresados al SEIA post publicación del DS37/2013 del MMA**

| ID Planta | ID RCA[3] | ¿Presenta medidas? | | ¿Presenta EIO? | | Alcance de evaluación | Límites de concentración de referencia | Percentil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Si | No | Si | No | | | |
| PCK-01 | 01 | x | | | x | - | - | - |
| PCK-02 | 06 | | x | x | | Todo el proyecto | 3 [$OU_E/m^3$][1] y 1,5 [$OU_E/m^3$][2] | 98 |
| PCK-03 | 02 | | x | x | | | | |

Nota 1: Guía de Evaluación de olores para Planificación, del Instituto de Manejo de Calidad del Aire (IAQM), Londres (Versión 1.1, 2018)
Nota 2: Netherlands Emission Guideline for Air (InfoMil, 2003)
Nota 3: Código de RCA modificado por confidencialidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada en base de datos del SEA

- **RCA01**

En relación a la evaluación y control de olores, se destaca que el proyecto no presentó un EIO, debido a que el proyecto fue presentado en forma previa a la publicación de la ‘’*Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA*’’ (SEA, 2017). Sin embargo, si presenta un paquete de medidas cuyo objetivo es el control ya sea, de compuestos TRS como de olores, las cuales se encuentran enlistadas a continuación:

- Cambio en controladores de los precipitadores electrostáticos existentes, permitiendo incrementar la estabilidad del funcionamiento de los equipos de abatimiento.
- Introducción de ajustes en el mecanismo de distribución de gases a los distintos precipitadores electrostáticos mediante mejoras y optimizaciones en la orientación y distribución de las placas internas.
- Los gases CNCG de la Línea 3 (L3) serán recolectados y quemados en la caldera recuperadora 3 (CR3), o en la caldera de poder 5 (CP5) como respaldo, o en un incinerador.
- Los gases DNCG de la Línea 3 (L3) serán recolectados y quemados inyectándolos al flujo de aire secundario de combustión de la caldera recuperadora 3 (CR3), mientras que los venteos de gases provenientes del disolvedor se quemarán en el nivel terciario de la caldera recuperadora 3 (CR3).
- Los gases CNCG de la Línea 2 (L2) seguirán recolectándose a través de ductos desde las fuentes de generación y quemándose en el incinerador dedicado. Adicionalmente, como sistemas de respaldo para el quemado de los gases concentrados se seguirán utilizando la caldera de poder 2 (CP2) y en el horno de cal 2 (HC2) como tercera alternativa.
- Los gases DNCG de la Línea 2 (L2) se seguirán recolectando a través de ductos haciéndolos circular por un sistema de lavado de gases (scrubber) previo a ser quemados en la caldera recuperadora 2 (CR2).
- Mejora para la recolección y el quemado de gases DNCG de la Línea 2 (L2) para captar los venteos de diversas fuentes del área de caustificación de la misma línea y tratarlos en un scrubber con soda (hidróxido de sodio) para luego ser quemados junto al aire secundario en la caldera recuperadora 2 (CR2).
- Disminución en la superficie de transferencia a la atmósfera del tratamiento secundario de efluentes actual (sistema de aireación) mediante su reemplazo por un sistema de reactores biológicos de alta eficiencia, que contemplan una superficie apreciablemente menor, con ello, se espera una reducción de emisiones de gases TRS fugitivas de cerca de un 70%.
- En condición de contingencia, los gases CNCG de la Línea 2 (L2) se quemarán en un incinerador dedicado y su respaldo es la caldera de poder (CP2) o el horno de cal (HC2).
- En condición de contingencia, los gases CNCG de la Línea 3 (L3) se quemarán en la caldera recuperadora 3 (CR3) cuyos respaldos serán la caldera de poder 5 (CP5) y un incinerador.
- En condición de contingencia, los gases DNCG de la Línea 2 (L2) se queman en el nivel del aire secundario de la caldera recuperadora 2 (CR2). Como respaldo para la quema de los

DNCG se implementará a un sistema lavador de gases (scrubber) u otro mecanismo similar.

- En condición de contingencia, los gases DNCG de la Línea 3 (L3) se quemarán en el nivel de aire secundario de la caldera recuperadora 3 (CR3), mientras que los venteos de gases provenientes del disolvedor, se quemarán en el nivel de aire terciario de la caldera recuperadora 3 (CR3).
- Implementación de un programa denominado ''Diagnóstico de percepción de olores por medio de olfatometría utilizando panelistas externos'' previo al comisionamiento y después de iniciada la operación de la Línea 3 (L3) hasta un año.
- Incorporación de tecnología de punta en la Línea 3 (L3).
- Cese de operación de caldera de poder 1 (CP1), caldera recuperadora 1 (CR1), horno de cal 1 (HC1), caldera de poder 3 (CP3) y las áreas de digestores, lavado y blanqueo.
- Diseño de la caldera recuperadora 3 (CR3) para bajas emisiones por chimenea.
- Aumento en disponibilidad de caldera recuperadora 3 (CR3) usando metanol como combustible de apoyo al quemador.
- Incinerador de segundo respaldo de Línea 3 (L3) tendrá un sistema de partida rápida con suministro independiente de combustible y de energía, para asegurar disponibilidad en todo momento, incluso ante caídas totales de servicio eléctrico.
- Para los gases DNCG se tendrá como respaldo o back-up el quemado en la caldera de poder 5 (CP5).
- Vent gas de la Línea 3 serán quemados en la caldera recuperadora 3 (CR3)
- Recolección y tratamiento de los condensados de evaporadores, para evitar la llegada de estos al sistema de tratamiento de efluentes.
- Los gases del sistema de recuperación de metanol serán quemados en conjunto con los gases CNCG en la caldera recuperadora 3 (CR3) y como respaldo en el horno de cal 3 (HC3).
- La chimenea común de descarga de los gases a la atmósfera de la caldera de poder 5 (CP5) y caldera recuperadora 3 (CR3) y la del horno de cal 3 (HC3), contará con sistemas de monitoreo continuo de gases que incluirán TRS, $SO_2$, $NO_X$, CO y $O_2$.

- **RCA06**

El EIO consideró como fuentes emisoras aquellas que conforman el tratamiento de RILes, correspondientes a las siguientes unidades expuestas en la Tabla 3.16.

**Tabla 3.16 Fuentes y emisiones consideradas en el proyecto DRIS planta PCK-02/Viñales.**

| N° | Fuente | Tipo de Fuente | Factor de emisión [$OU_E/m^2s$] | Superficie [$m^2$] | Emisión [$OU_E/s$] |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | DRIS Cancha 1 | Difusa Pasiva | 0,06 | 14.143 | 849 |
| 2 | Piscina de aguas de rechazo | | 1,30 | 2.150 | 2.795 |
| 3 | Piscina 1 Lixiviados | | 5,00 | 3.250 | 16.250 |
| 4 | Piscina 2 Aguas de contacto | | 1,65 | 3.250 | 5.363 |
| 5 | Piscina 3 Aguas de contacto | | 1,65 | 3.250 | 5.363 |
| 6 | Estanque de aireación | | 2,50 | 75 | 188 |
| 7 | Clarificador secundario | | 1,65 | 25 | 41 |

Fuente: Adaptada de Proterm Ambiente y Energía (2019)

Una vez obtenida la tasa de emisiones de olor medida en [$OU_E/S$] se ingresaron a un modelo de dispersión atmosférica para obtener las concentraciones de inmisión de olor en los receptores de interés (2 viviendas identificadas de acuerdo a su cercanía al proyecto), comparándose los resultados con los límites de 3 [$OU_E/m^3$] y 1,5 [$OU_E/m^3$] establecidos por la Guía de Evaluación de Olores para Planificación (Bull, 2018) y por la Netherlands Emission Guidelines for Air (InfoMil, 2003) respectivamente. Como resultados, se obtuvo que ningún receptor superó dichos límites (véase Tabla 3.17.) no presentándose afectación alguna a poblaciones cercanas, sistemas de vida y costumbres, población protegida y turismo, de acuerdo con el artículo 11 de la Ley N°19.300 (Proterm Ambiente y Energía, 2019).

**Tabla 3.17 Resumen de concentraciones en receptores discretos-DRIS**

| Receptor | Descripción | Distancia con respecto a las fuentes [km] | Concentración de inmisión [P98 $OU_E/m^3$] | Límites de inmisión Guía UK [$OU_E/m^3$] | Límites de inmisión Norma Holandesa [P98 $OU_E/m^3$] |
|---|---|---|---|---|---|
| R1 | Vivienda 1 | 1,77 | 0,07 | 3 | 1,5 |
| R2 | Vivienda 2 | 2,27 | 0,05 | | |

Fuente: Adaptada de Proterm Ambiente y Energía (2019)

- **RCA02**

El EIO consideró como fuentes emisoras a las áreas del DRIS cuyas actividades generadoras de olor corresponden al manejo de los residuos industriales no peligrosos a almacenar y corresponde al tipo de fuente difusa pasiva. En la Tabla 3.18 se exponen las emisiones de olor del DRIS actual y futuro.

**Tabla 3.18 Emisiones celdas DRIS situación actual y proyectada**

| N° | Fuente | Área [ha] | Emisión [$OU_E$/s] | DRIS futuro | Área | Emisión [$OU_E$/s] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Celda en operación actual | 1,01 | 943 | Celda N°1 | 0,84 | 521 |

Fuente: Adaptada de Proterm Ambiente y Energía (2018)

Como resultado se obtuvo que para la fase de operación del nuevo DRIS no existe superación del límite de inmisión de referencia (en este caso 3 [$OU_E/m^3$] establecido por Bull (2018)) en ninguno de los receptores discretos identificados según su distancia al proyecto (véase Tabla 3.19) considerando el efecto sinérgico como resultado de la operación simultánea de ambos DRIS.

**Tabla 3.19 Resumen de concentraciones en receptores discretos-DRIS PCK-03**

| Receptor | Descripción | Distancia con respecto a las fuentes [km] | Escenario N°1 Concentración de inmisión [P98 $OU_E/m^3$] | Escenario N°2 (efecto sinérgico) Concentración de inmisión [P98 $OU_E/m^3$] | Límites de inmisión Guía UK [$OU_E/m^3$] |
|---|---|---|---|---|---|
| R1 | Galpón | 1,8 | 0,0058 | 0,016 | 3 |
| R2 | Vivienda | 1,6 | 0,0097 | 0,020 | |
| R3 | Vivienda | 1,1 | 0,0110 | 0,046 | |
| R4 | Vivienda | 1,3 | 0,0064 | 0,022 | |
| R5 | Vivienda | 1,7 | 0,0064 | 0,016 | |

Nota: Escenario N°1 corresponde a la emisión futura asociada a una celda del DRIS proyectado y el Escenario N°2 a los efectos sinérgicos asociados a la operación de una celda del DRIS proyectado y una celda del DRIS actual (se considera la última etapa operativa del actual DRIS).

Fuente: Adaptada de Proterm Ambiente y Energía (2018)

### 3.5.2 Consideración de TRS y otras emisiones

Del análisis realizado preliminarmente, también es necesario realizar una caracterización de las reducciones de emisiones consideradas con los proyectos en caso de que sean estas modificaciones de un proyecto preexistente, lo que va de la mano con medidas implementadas que pudiesen marcar una diferencia significativa en dichas emisiones. En la Tabla 3.20 se exponen las diferencias (Δ) de emisiones correspondientes a TRS, $NO_x$ y $SO_x$ indicadas por los informes de evaluación ambiental.

Tal como se logra apreciar, para el proyecto con RCA01 tanto las emisiones de TRS como las de NOx aumentan en comparación con el proyecto existente, disminuyendo las emisiones de TRS y SOx, lo cual puede ser debido a la actividad propia de la modificación. Esto implica que la implementación de una nueva línea trae consigo un aumento significativo de la producción, recambio a mejores tecnologías o cese de operación de equipos antiguos y mayores medidas de control.

Con respecto a la RCA08, se evidencia aumento en emisiones de TRS y SOx y disminución de las emisiones de NOx. Este proyecto busca aumentar la capacidad de caldera de poder y posee sólo una medida de carácter operacional, que corresponde al control de temperatura de dicha

caldera. En el caso de la RCA09, se denota el aumento de emisiones en todos los contaminantes evaluados. Esto se explica debido a que es un proyecto que aumenta la capacidad productiva y presenta solamente dos medidas de diseño consistentes en: (1) el aumento de la capacidad de condensación de los vahos y del sistema de limpieza de los condensados generados (*Stripping*) y (2) optimizar la circulación de gases dentro de la caldera en la zona de mezcla de aire y el combustible. Asimismo, el proyecto asociado a la RCA07 busca ampliar la planta PCK-07 e incorporar una nueva línea. En su DIA se declara un aumento en todas sus emisiones, algo esperable debido a las características del proyecto a pesar de su variedad de medidas.

Finalmente, además de la RCA01, son cuatro los proyectos que disminuyen sus compuestos TRS, dentro de los cuales la RCA10 consiste en una optimización en la gestión operacional y de mantenimiento de equipos en PCK-02 que no especifica medidas de control, la RCA13 planteó el reemplazo de equipos o modificación para ampliar sus capacidades en la planta PCK-04, así como también cumplir con los parámetros del DS90/01 del MINSEGPRES y al Acuerdo de Producción Limpia suscrito en el año 1999, la cual tampoco especifica medidas de control, mientras que la RCA13 que buscó ampliar la planta PCK-07, con una segunda línea de producción también tuvo por objetivo el mejorar la gestión ambiental de la planta, contando con una amplia variedad de medidas de control, por lo que su disminución es bastante justificada. Finalmente, la RCA15 es otra de los proyectos que lograron una disminución de TRS presentando una serie de medidas de control de diseño y de monitoreo.

**Tabla 3.20 Variación de emisiones de TRS, $SO_x$ y $NO_x$ de proyectos ingresados al SEIA [ton/día]**

| ID Planta | ID RCA[2] | ΔTRS[1] | $\Delta SO_x$[1] | $\Delta NO_x$[1] |
|---|---|---|---|---|
| **PCK-01** | 01 | -0,08 | -0,11 | +6,9 |
| **PCK-04** | 13 | -2,58 | -0,09 | +0,47 |
| **PCK-04** | 11 | F/I[1] | +1,32 | +3,50 |
| **PCK-05** | 09 | +0,06 | +1,45 | +3,84 |
| **PCK-05** | 12 | -0,14 | -0,04 | F/I[1] |
| **PCK-06** | 15 | -0,012 | +0,18 | +0,45 |
| **PCK-08** | 10 | -2,08 | -0,4 | +1,44 |
| **PCK-08** | 08 | +0,00 | +0,02 | -0,09 |
| **PCK-07** | 14 | +0,05 | +1,08 | +4,81 |

Nota 1: F/I: Falta de información. Todos los valores se aproximan a su segundo decimal.
Nota 2: Código de RCA modificado por confidencialidad.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada en base de datos del SEA

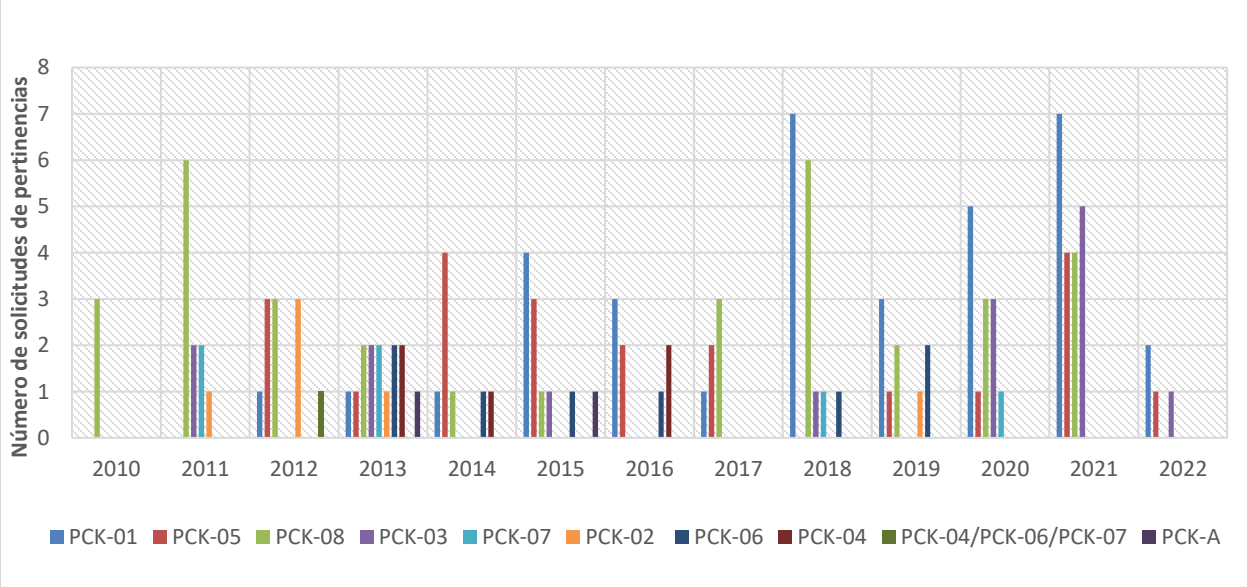
## 3.6 Solicitudes de Pertinencias ingresadas al SEIA

De la revisión de las solicitudes o cartas de pertinencia ingresadas al SEIA a nivel general, se pudieron identificar un total de 134 solicitudes ingresadas por los Titulares (PCK-A y PCK-B) desde el año 2010 al 2022. De ellas, 131 se encuentran debidamente identificadas en el compendio del

SEA[11] con su debida documentación, mientras que tres no pudieron ser identificadas luego de que la documentación presentada no correspondiera al proyecto en cuestión, por lo que fueron dejadas fuera del presente análisis. En la Figura 3.27 se expone el número de pertinencias realizada cada año por cada planta, donde se desprende que la mayor cantidad de pertinencias fueron ingresadas en el año 2021 con 20 solicitudes (16%), 2018 con 16 (13%) y 2013 con 14 solicitudes ingresadas (11%). Respecto a las plantas PCK-01, PCK-08 y PCK-05 son quienes han ingresado la mayor cantidad de proyectos a evaluación de pertinencia, con 35 (26%), 34 (25%) y 22 (16%) solicitudes respectivamente, representando el 67% de todas las cartas ingresadas. Por su parte, el estado en el que se encuentran dichas pertinencias se expone en la Figura 3.28, donde el 99% (133) se encuentra resuelta.

Se realiza el alcance de que a lo que hace referencia la sigla PCK-A es a un proyecto que no se encuentra dentro de los límites establecidos de ninguna de las plantas, el cual consta de la habilitación y funcionamiento de un complejo deportivo para el esparcimiento, recreación y prácticas deportivas. Por otra parte, PCK-04/PCK-06/PCK-07 corresponde a un proyecto que considera la intervención en las tres plantas y consiste en la realización de ensayos y estudios que permitan evaluar las características de los residuos (subproductos) con la finalidad de analizar usos alternativos aprovechando las cualidades que ellos pudieren presentar.

**Figura 3.27 Cantidad de solicitudes de pertinencia ingresadas dentro del periodo 2010-2022**

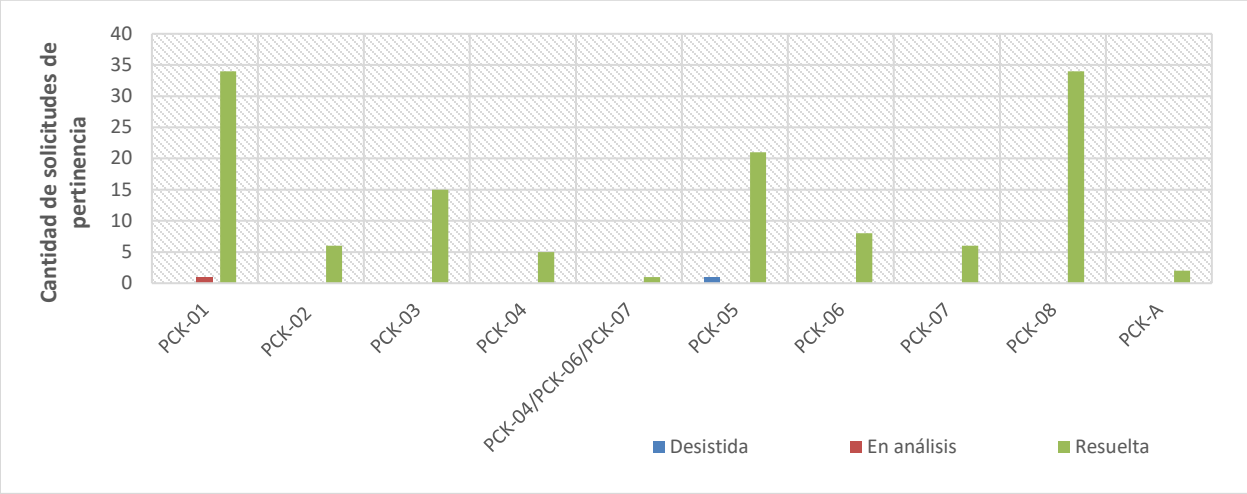



Nota: Para más información ver Apéndice 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de base de datos del SEA

[11] https://seia.sea.gob.cl/pertinencia/buscar.php (revisado en Enero-2023)

**Figura 3.28 Estado de las solicitudes de pertinencia ingresadas dentro del periodo 2010-2022**

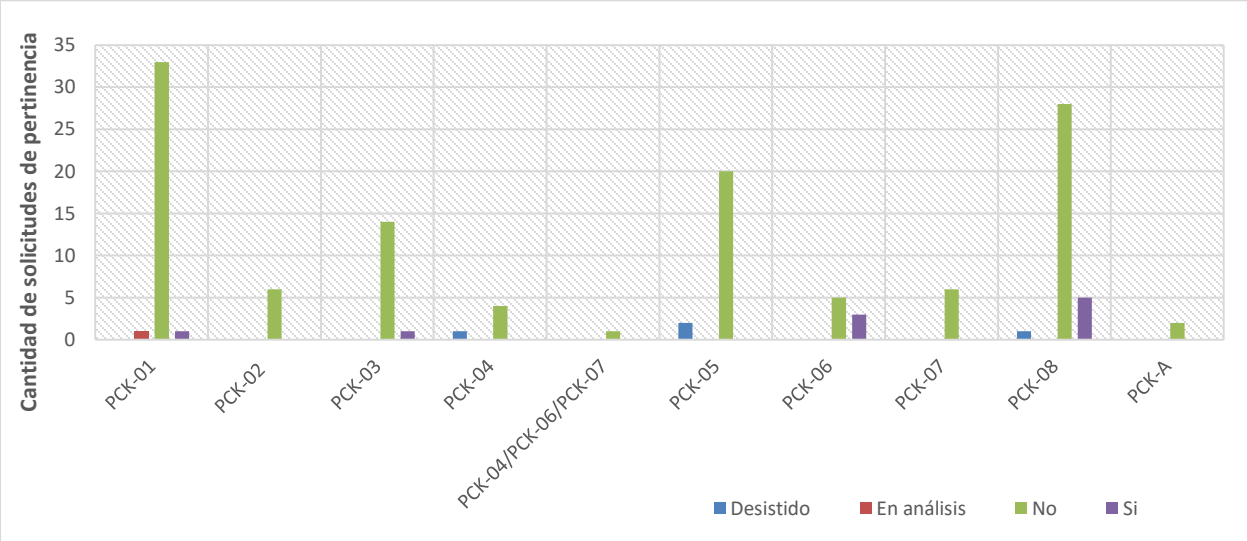



Nota: Para más información ver Apéndice 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de base de datos del SEA

Dentro de aquellas que se encuentran resueltas (133), sólo 10 (7,5%) obtuvieron como resolución el ingreso del proyecto. Mientras que para las restantes 119, la autoridad indicó que no cumplía con los criterios para realizar su ingreso al sistema de evaluación de impacto ambiental. En tanto, cuatro proyectos presentaron su desistimiento. En la Figura 3.29, se expone el detalle de la pertinencia de ingreso de los proyectos ingresados a evaluación.

**Figura 3.29 Pertinencia de ingreso al SEIA de los proyectos evaluados**




Nota: Para más información ver Apéndice 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de base de datos del SEA

### 3.6.1 Solicitudes de Pertinencias ingresadas post publicación del DS37/2013 del MMA

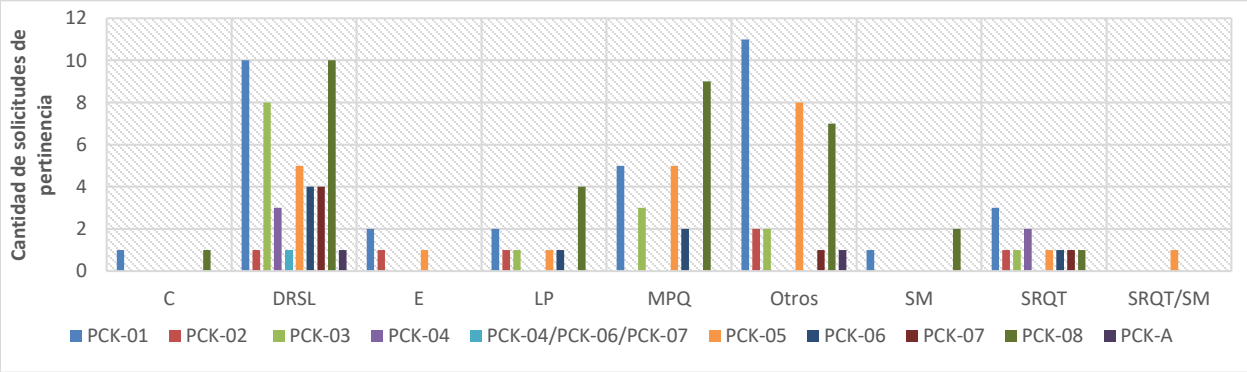
El análisis realizado con anterioridad fue desde una perspectiva más general de las solicitudes ingresadas hasta la actualidad, no siendo selectivos con respecto al tipo de proyecto o su objetivo. En la presente sección se realizará el análisis a profundidad de aquellas solicitudes de pertinencia ingresadas posterior a la publicación del DS37/2013 del MMA.

De las 134 pertinencias identificadas, 109 hicieron ingreso posterior al año 2013, periodo en el cual, tal como se expuso en la Figura 3.27, fueron presentadas la mayoría de las solicitudes identificadas (2021, 2018 y 2013). Como forma de, por un lado realizar un análisis más detallado y por otro, simplificar dicho análisis, se ha definido una clasificación de proyectos similar a la realizada con la Tabla 3.13, sin embargo, con algunas modificaciones en relación a la adición de categorías, la que queda de la siguiente manera:

- Caldera (C)
- Disposición de residuos sólidos/líquidos (DRSL)
- Energía (E)
- Líneas de producción (LP)
- Manejo de productos químicos (MPQ)
- Sistemas de mitigación (SM)
- Sistemas de recolección y quemado TRS (SRQT)
- Otros.

Dichas categorías se encuentran expuestas en la Figura 3.30. De ella se desprende que la mayoría de las solicitudes corresponden a la categoría DRSL (37) representando el 34% de las pertinencias, a la que le sigue la categoría Otros (24) con un 22% y la categoría MPQ (21) con un 19%. Cabe mencionar que la categoría o clasificación SQRT/SM consiste en un híbrido entre las categorías de sistemas de recolección y quemado de TRS con sistemas de mitigación, incluyendo ambas.

**Figura 3.30 Categorías de las solicitudes de pertinencia ingresadas post publicación del DS37/2013 del MMA**




Nota: Siglas de clasificación consisten en C (caldera), DRSL (disposición de residuos sólidos/líquidos, E (energía), LP (líneas de producción), MPQ (manejo de productos químicos, SM (sistemas de mitigación), SRQT (sistemas de recolección y quemado TRS).
Para más información ver Apéndice 1.

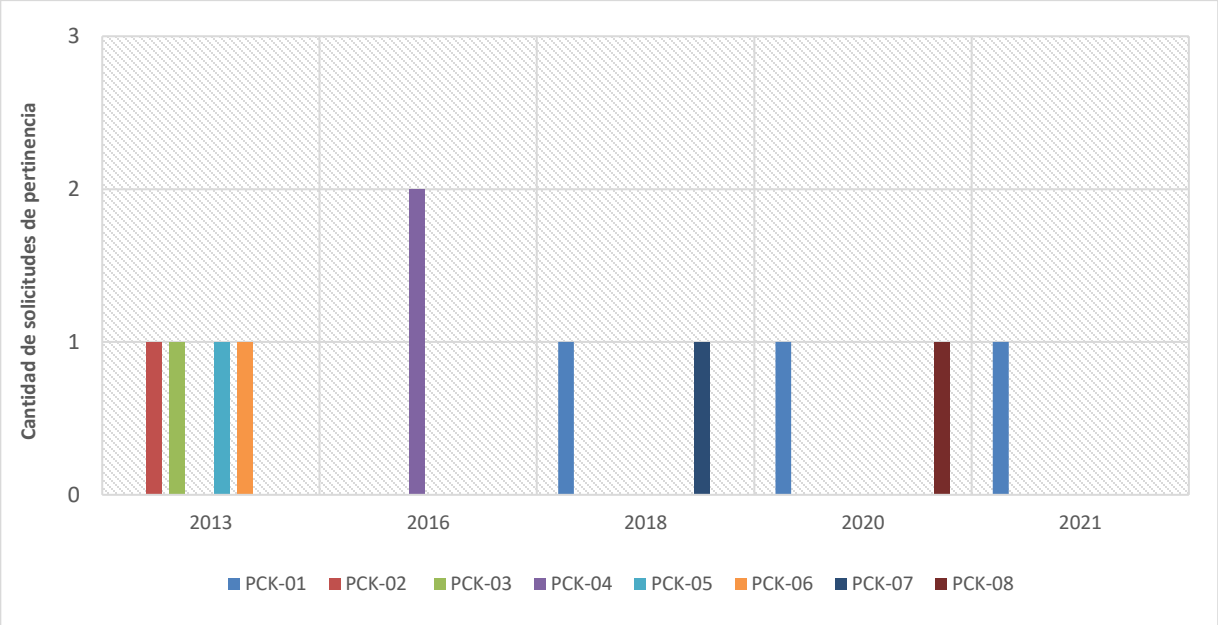
Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de base de datos del SEA

De acuerdo al alcance del presente estudio, se realizará una distinción de aquellos proyectos que se encuentran dentro de la clasificación SQRT y SM con el objetivo de identificar aquellos esfuerzos que han realizado los regulados en el abatimiento de emisiones atmosféricas relacionadas a los compuestos TRS como a los olores.

#### 3.6.1.1 Categoría Sistemas de Recolección y Quemado TRS (SRQT)

Esta categoría reúne a todas aquellas modificaciones o proyectos nuevos consistentes en la implementación de -tal como su nombre lo dice- sistemas de recolección y quemado de compuestos TRS provenientes de las diversas áreas generadoras de dichos compuestos, tanto DNCG como CNCG. En la Figura 3.31 se encuentran expuestas todas aquellas solicitudes realizadas por cada planta (once solicitudes), donde la planta PCK-01 lidera la lista con tres proyectos (27%) siendo secundada con dos proyectos (18%) por planta PCK-04.

**Figura 3.31 Cantidad de solicitudes de pertinencia ingresadas pertenecientes a la categoría SRQT**




Nota: Para más información ver Apéndice 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de base de datos del SEA

En relación al estado de calificación de los proyectos, todos se encuentran en estado resuelto, cuya resolución para la mayoría (9) es el no ingreso del proyecto al SEIA por no reunir las características para ser evaluado como DIA o como EIA, restando sólo dos proyectos los cuales si deben hacer ingreso de forma obligatoria (SEA, 2022). El detalle de estos proyectos se encuentra realizado en la Tabla 3.21, donde se encuentran el objetivo principal, la inversión declarada (en algunos casos, dentro del periodo 2013-2016 no se pudieron identificar las inversiones correspondientes), entre otra información relevante.

**Tabla 3.21 Proyectos ingresados como solicitud de pertinencia en la categoría SRQT post publicación DS37/2013 del MMA**

| ID Pertinencia | Inversión [MUSD] | Objetivo | ¿Ingreso? | Ref. |
|---|---|---|---|---|
| PERTI-2021-5923 | 5.600.000,00 | Ajuste en la configuración del sistema de quemado de gases concentrados no condensables y gases *chip bin* de planta, consistente en renovar el actual incinerador destinado a ser un respaldo para la quema de los gases y habilitar una línea de alimentación para la conducción, inyección y quemado de metanol, para optimizar el sistema de quemado de gases. | No | Jiménez (2021a); R.E. N°202108101264/2021 |
| PERTI-2020-9393 | 6.500.000,00 | El ajuste consiste en que la planta cuente con tres equipos o mecanismos para el abatimiento de emisiones de gases TRS y un sistema más efectivo para la remoción del $SO_2$ (…) La mejora tecnológica consiste en que el abatimiento de los gases se realice en la caldera recuperadora (principal), la caldera de poder (respaldo) y en un incinerador de respaldo. | Si | González (2020); R.E.N°202014101105/2020 |
| PERTI-2020-7130 | 0,00 | El ajuste contempla contar con un equipo de respaldo adicional y más eficiente para el quemado de los gases concentrados no condensables y con ello optimizar el sistema de gases, siempre asegurando el cumplimiento de los límites ambientales exigidos a través del DS37/2013 del MMA. | No | Jiménez (2020); R.E.N°20200810161/2020 |
| PERTI-2018-1886 | 3.800.000,00 | Ajuste complementario en la configuración del quemado de los gases no condensables CNCG de planta, cuyo objetivo es simplificar el manejo de los CNCG generados por las distintas fuentes del proceso, así como otorgar una mayor estabilidad y continuidad operativa del quemado de estos, asegurando aún más el cumplimiento de los límites ambientales exigidos a través del DS37/2013 del MMA. | No | SEA (2018a); R.E.N°149/2018 |
| PERTI-2018-1872 | 770.000,00 | Incorporar un equipo de respaldo para combustionar gases no condensables diluidos del área de caustificación de la Línea 2 en planta. | No | SEA (2018b); R.E. N°143/2018 |
| PERTI-2016-649 | - | El proyecto consiste en implementar algunas inversiones consideradas en la etapa 2 del proyecto que busca modernizar la planta, las cuales corresponden a: reemplazo área de caustificación, reemplazo de horno de cal, captura de gases no condensables diluidos de área de fibra y | No | SEA (2016); R.E N°177/2016 |

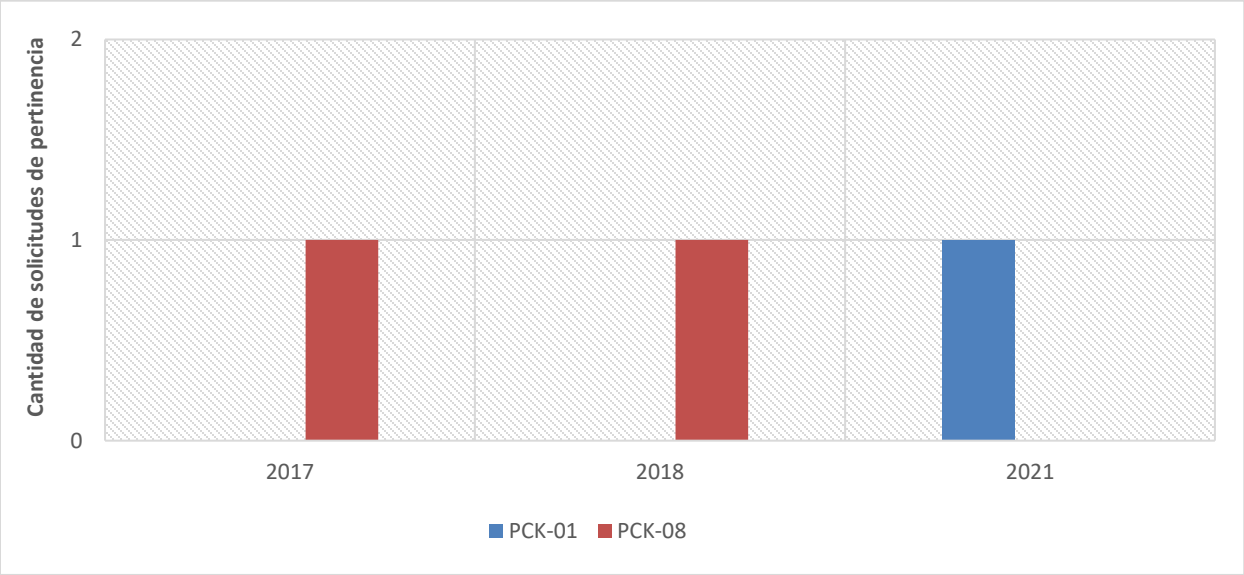
| ID Pertinencia | Inversión [MUSD] | Objetivo | ¿Ingreso? | Ref. |
|---|---|---|---|---|
| | | caustificación. Lo anterior, para dar cumplimiento a la normativa vigente de gases TRS, no considerando aumento de producción de celulosa. | | |
| PERTI-2016-41 | - | Incorporación de nuevo equipo de respaldo para combustionar gases CNCG en planta (incinerador de respaldo). | No | R.E. N°110/2016 |
| Carta N°1192 | - | Se instalará un incinerador de respaldo para el horno de cal para quemar los compuestos TRS presentes en los gases concentrados no condensables cuando no sea posible quemar estos en el horno de cal. | No | R.E. N°163/2013 |
| Carta GPL/100/2013 | - | Instalación de un nuevo equipo incinerador de respaldo para el horno de cal de Planta de Celulosa como apoyo al equipo existente (incinerador) | No | Jiménez (2013); R.E.N°161/2013 |
| GPNA/107/2013 | - | Instalación de un nuevo equipo incinerador de respaldo para la caldera recuperadora de Planta de Celulosa como apoyo al equipo existente (incinerador). | No | Hernaíz (2013). R.E N°363/2013 |
| GPL/098/2013 | - | Instalación de un nuevo equipo de respaldo para el horno de cal de Planta de Celulosa, como apoyo al equipo existente (incinerador). | No | Herrera (2013); R.E. N°181/2013 |

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de base de datos del SEA

#### 3.6.1.2 Categoría Sistemas de Mitigación (SM)

Para el caso de los proyectos enfocados en la implementación y/o modificación de sistemas de mitigación o abatimiento, se han identificado un total de 3 (véase Figura 3.32), los que pertenecen a las plantas PCK-01 (1) y PCK-08 (2).

**Figura 3.32 Cantidad de solicitudes de pertinencia ingresadas pertenecientes a la categoría SM**




Nota: Para más información ver Apéndice 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de base de datos del SEA

En cuanto al estado de estos proyectos, se debe indicar que dos se encuentran resueltos, con la promulgación del SEA negativa a un ingreso obligatorio a una evaluación de forma previa a la ejecución por parte del SEIA y uno en estado desistido. En la Tabla 3.22 se expone el detalle de estas solicitudes de pertinencia.

**Tabla 3.22 Proyectos ingresados como solicitud de pertinencia en la categoría SM post publicación DS37/2013 del MMA**

| ID Pertinencia | Inversión [MUSD] | Objetivo | ¿Ingreso? | Ref. |
|---|---|---|---|---|
| PERTI-2021-1715 | 4.522.200,00 | Ajuste consistente en el reemplazo o renovación del actual sistema de abatimiento (lavadores scrubber de gases) del área de blanqueo de planta línea 2 (L2) por un nuevo sistema consistente en un único equipo scrubber, más moderno y de mayor eficiencia, el cual, para su funcionamiento, utiliza soluciones de soda cáustica y dióxido de azufre. | No | Jiménez (2021b); R.E. N°20200810170/2021 |
| PERTI-2018-1599 | - | El ajuste consiste en incorporar un cuerpo adicional en el precipitador electroestático y mejorar el sistema de alimentación de aire de la caldera recuperadora de planta. El objetivo de este ajuste es contar con una mayor capacidad de control de las emisiones atmosféricas de la citada caldera, de modo de asegurar aún más el cumplimiento de los límites ambientales exigidos a planta. | No | SEA (2018c); R.E. N°076/2018 |
| PERTI-2017-896 | - | Ajuste consiste en una mejora al sistema de tratamiento de efluentes de planta, consistente en el uso de ozono como método complementario al actual uso de aditivos, en la etapa previa de tratamiento terciario (DAF) de efluentes de planta y cuyo propósito es reducir el uso de sustancias químicas coagulantes y/o floculantes (sulfato de aluminio y PCAYP) en el tratamiento de efluentes. | Desistido | Carreño (2017); R.E. N°098/2019 |

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada de base de datos del SEA

#### 3.6.1.3 Categoría Sistemas de recolección y quemado TRS y Sistemas de mitigación (SRQT/SM)

En esta categoría sólo se encuentra identificado un proyecto, denominado ''Mejoras en los mecanismos de captación y control de gases no condensables diluidos (DNCG) (…)'', el cual tiene por objetivo la Implementación de recolección de gases DNCG de los tubos de soplado de los reactores de deslignificación con oxígeno para las líneas de pino y eucaliptus, del lavado de pulpa etapa EOP, para ambas líneas y del proceso de oxidación del licor blando (reactor de licor blanco oxidado), las que serán dirigidas a un nuevo lavador de gases dedicado para el área de fibra, luego, los gases lavados se dirigirán a la caldera recuperadora. La instalación del lavador requerirá de la instalación de una torre de enfriamiento de agua, del ajuste en los ductos de gases asociados al lavador de gases DNCG existentes en la CR, además de un nuevo calentador de aire y un separador de gotas en la caldera recuperadora. También se considera el montaje de dos intercambiadores de calor para disminución de temperatura de los condensados A y B del área de evaporadores, captación de vahos en cámara de neutralización de efluentes a través de tapas metálicas y modificación de ductos (*piping*) en área de caustificación (GPNA/058/2015). La pronunciación del SEA frente a este proyecto resolvió que no reunía las características para hacer ingreso a una evaluación ambiental en el SEIA en forma previa a su ejecución.

## 3.7 Costos de implementación del DS37/2013 del MMA

Respecto a los costos de implementación se cuenta con dos fuentes de información, por un lado, se cuenta con la información secundaria disponible en los proyectos presentados en el SEIA para su evaluación (DIA, EIA o solicitud de pertinencia) y por otro, se cuenta con información secundaria de las solicitudes de pertinencia ingresadas al SEIA. La cual se asume corresponde a información conservadora respecto de la situación real de aplicación. Hay que destacar que del análisis de cumplimiento del DS37/2013 del MMA realizado en las secciones 3.2 y 3.3, se desprende el cumplimiento con un margen considerable de este por parte de todos los regulados afectos a dicha norma, con excepción de la exigencia interpuesta en su artículo 5° sobre la temperatura de operación de los equipos de respaldo (CP e INC) en el año 2019 (primer año de análisis) por parte de las plantas PCK-01 y PCK-06. De lo anterior se desprende que las medidas adoptadas por los regulados, o, la forma de operar ha dado resultado para estar dentro de los niveles máximos permisibles de TRS.

### 3.7.1 Inversión pactada de proyectos ingresados al SEIA

Respecto a la información disponible en el SEIA, del análisis presentado en la sección 3.5 se puede indicar que no se observan proyectos dedicados exclusivamente a control las emisiones de olores en las Plantas de Celulosa Kraft ni tampoco al control de compuestos TRS, sin embargo, históricamente si se han presentado proyectos en cuyas evaluaciones se incluyeron medidas con alcances a dichas emisiones (véase Anexo 1.4). De esta forma las reducciones pueden ser interpretadas como un co-beneficio de la modernización de algunas plantas y/o equipos.

El costo de implementación de estas medidas se presenta en la Tabla 3.23, donde cabe mencionar que en la mayoría de los proyectos se consideró la inversión total de los proyectos debido a la escasez de detalle de la valuación de cada una de dichas medidas.

**Tabla 3.23 Inversión asociada a las medidas incorporadas por los proyectos ingresados al SEIA**

| ID Planta | ID RCA | Código[3] | Inversión asociada [MUSD][1] |
|---|---|---|---|
| **PCK-01** | 01 | MA-1 | 2.000 |
| | | MA-2 | |
| | | MA-3 | |
| | | MA-4 | |
| | | MA-5 | |
| | | MA-6 | |
| | | MA-7 | |
| | | MA-8 | |
| | | MA-9 | |
| | | MA-10 | |
| | | MA-11 | |
| | | MA-12 | |
| | | MA-13 | |
| | | MA-14 | |
| | | MA-15 | |
| | | MA-16 | |
| | | MA-17 | |
| | | MA-18 | |
| | | MA-19 | |
| | | MA-20 | |
| | | MA-21 | |
| | | MA-22 | |
| | | MA-23 | |
| **PCK-08** | 08 | CPV-1 | 20 |
| **PCK-08** | 16[2] | OSF-1 | 0,76 |
| | | OSF-2 | 0,11 |
| | | OSF-3 | 0,54 |
| | | OSF-4 | 0,98 |
| | | OSF-5 | 4,09 |
| | | OSF-6 | 2,80 |
| **PCK-07** | 17 | ONA-1 | 15 |
| | | ONA-2 | |
| **PCK-05** | 09 | CLV-1 | 0 |
| | | CLV-2 | |
| **PCK-08** | 18 | MPL-1 | 400 |
| | | MPL-2 | |
| | | MPL-3 | |
| | | MPL-4 | |
| | | MPL-5 | |
| | | MPL-6 | |
| | | MPL-7 | |

| ID Planta | ID RCA | Código[3] | Inversión asociada [MUSD][1] |
|---|---|---|---|
| | | MPL-8 | |
| | | MPL-9 | |
| | | MPL-10 | |
| **PCK-04** | 11 | ONI-1 | 0 |
| | | ONI-2 | |
| | | ONI-3 | |
| | | ONI-4 | |
| | | ONI-5 | |
| | | ONI-6 | |
| | | ONI-7 | |
| | | ONI-8 | |
| **PCK-04** | 13 | PAS-1 | 600 |
| | | PAS-2 | |
| | | PAS-3 | |
| | | PAS-4 | |
| | | PAS-5 | |
| **PCK-07** | 14 | OPA-1 | 73 |
| | | OPA-2 | |
| | | OPA-3 | |
| **PCK-06** | 15 | CII-1 | 1.000 |
| | | CII-2 | |
| | | CII-3 | |
| | | CII-4 | |
| | | CII-5 | |
| | | CII-6 | |
| | | CII-7 | |
| | | CII-8 | |
| **PCK-05** | 19 | PVS-1 | 1.045 |
| | | PVS-2 | |
| | | PVS-3 | |
| **PCK-08** | 20 | PVP-1 | 1.000 |
| | | PVP-2 | |
| | | PVP-3 | |
| | | PVP-4 | |
| **PCK-06** | 21 | EES-1 | 120 |
| **PCK-08** | 22 | EAL-1 | 4,50 |
| **PCK-02** | 23 | AGE-1 | 1,00 |
| **PCK-08** | 24 | MCC-1 | 0,00 |
| **PCK-02** | 25 | STE-1 | 10 |
| | TOTAL [MUSD] | | **6.433** |

Nota 1: Valores de inversión representativos al proyecto en general, no se incluyen inversiones específicas de cada medida identificada.
Nota 2: Costo de medida específico según Convenio de Cooperación Ambiental (Apéndice A-1 en expediente de evaluación ambiental)
Nota 3: El origen de los códigos de las medidas corresponde a las iniciales del nombre del proyecto más el número de medida en orden descendente.

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada en base de datos del SEA (Apéndice A-1 en expediente de evaluación ambiental)

### 3.7.2 Inversión pactada en solicitudes de pertinencia ingresadas al SEIA

Las inversiones correspondientes a los proyectos ingresados a evaluación de pertinencia y que fueron declaradas por los proponentes, se exponen en la Tabla 3.24. Hay que destacar que algunos proyectos no ingresaron monto de inversión (específicamente los ingresados entre los años 2010 a 2017), por lo que la cifra es bastante conservadora y representa ser una inversión mínima.

**Tabla 3.24 Inversión asociada a las solicitudes de pertinencia ingresadas al SEIA**

| ID Pertinencia | Inversión [MUSD] |
|---|---|
| PERTI-2021-5923 | 5.600.000 |
| PERTI-2020-9393 | 6.500.000 |
| PERTI-2020-7130 | 0 |
| PERTI-2018-1886 | 3.800.000 |
| PERTI-2018-1872 | 770.000 |
| PERTI-2021-1715 | 4.522.200 |
| **TOTAL [MUSD]** | **21.192.200** |

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada en base de datos del SEA (Apéndice 1)

# 4. Normativa internacional asociada a TRS y/u olores provenientes del sector

A continuación, se presentará el análisis correspondiente a la identificación de las principales normativas internacionales aplicables a la regulación de los compuestos TRS y/u olores, así como también las principales gestiones para su control adoptadas por celulosas emplazadas en países que son competencia de Chile en cuanto a la producción de pulpa Kraft.

Se destaca que el análisis normativo se abordará, por una parte, mediante la identificación de aquellas normativas enfocadas en la regulación de los olores en general y por otra, a través de la identificación de aquellos cuerpos legales que regulen a los compuestos TRS como un conjunto o por su contraparte, por separado.

Por alcance, cabe mencionar que se dejarán fuera de análisis las guías técnicas existentes internacionalmente, debido a que no poseen una obligatoriedad legal con respecto a sus disposiciones, estándares y/o recomendaciones.

## 4.1 Normativa Internacional enfocada hacia los olores

La identificación de la normativa internacional cuyo enfoque es la regulación de los olores, se realizó mediante la revisión bibliográfica de estudios y/o documentos gubernamentales, cuyo alcance fue el reconocimiento de aquellos países que posean una fuerte industria de celulosa Kraft. De dicha búsqueda se lograron identificar disposiciones legales de países como Estados Unidos, Canadá, China, Brasil, Colombia, Alemania y China.

Desde el punto de vista de la aplicabilidad, se da cuenta que la mayoría tienen una territorialidad bien definida, ya que se encuentran normando ya sea a un estado, una región o provincia y no al país en totalidad, evidenciando las competencias normativas en relación al aspecto olor por cada división político-administrativa. Independiente a lo anterior, la mayoría presenta similitudes en cuanto a la fijación de los límites de inmisión regulados, las unidades en que se miden, los criterios de medición o el uso de suelo.

En Italia, en la provincia de Lombardía se establecen criterios de evaluación de olor de acuerdo con el uso de suelo y criterios de distancia entre el límite del perímetro del proyecto y el primer receptor, regulando aquellos proyectos existentes y nuevos, volviéndose más restrictiva con estos últimos, aunque en comparación con los otros, sólo regula según el uso de suelo residencial. En España, el municipio de Sarriá de Ter, en la provincia de Girona, en cambio, establece un criterio de evaluación de olor específico para el sector de fábricas de papel.

Para el caso de Australia, se presenta variados estados con normativas de olor, como Nueva Gales del Sur, Territorio de la capital Australiana, Queensland, Victoria y Tasmania, las cuales establecen ciertos rangos permisibles medidos en unidades de olor con percentiles entre 99% a 100% utilizados para principalmente comparar las concentraciones de olor con los resultados de los modelos de dispersión. En este país, se regulan los olores de una forma muy similar a otros

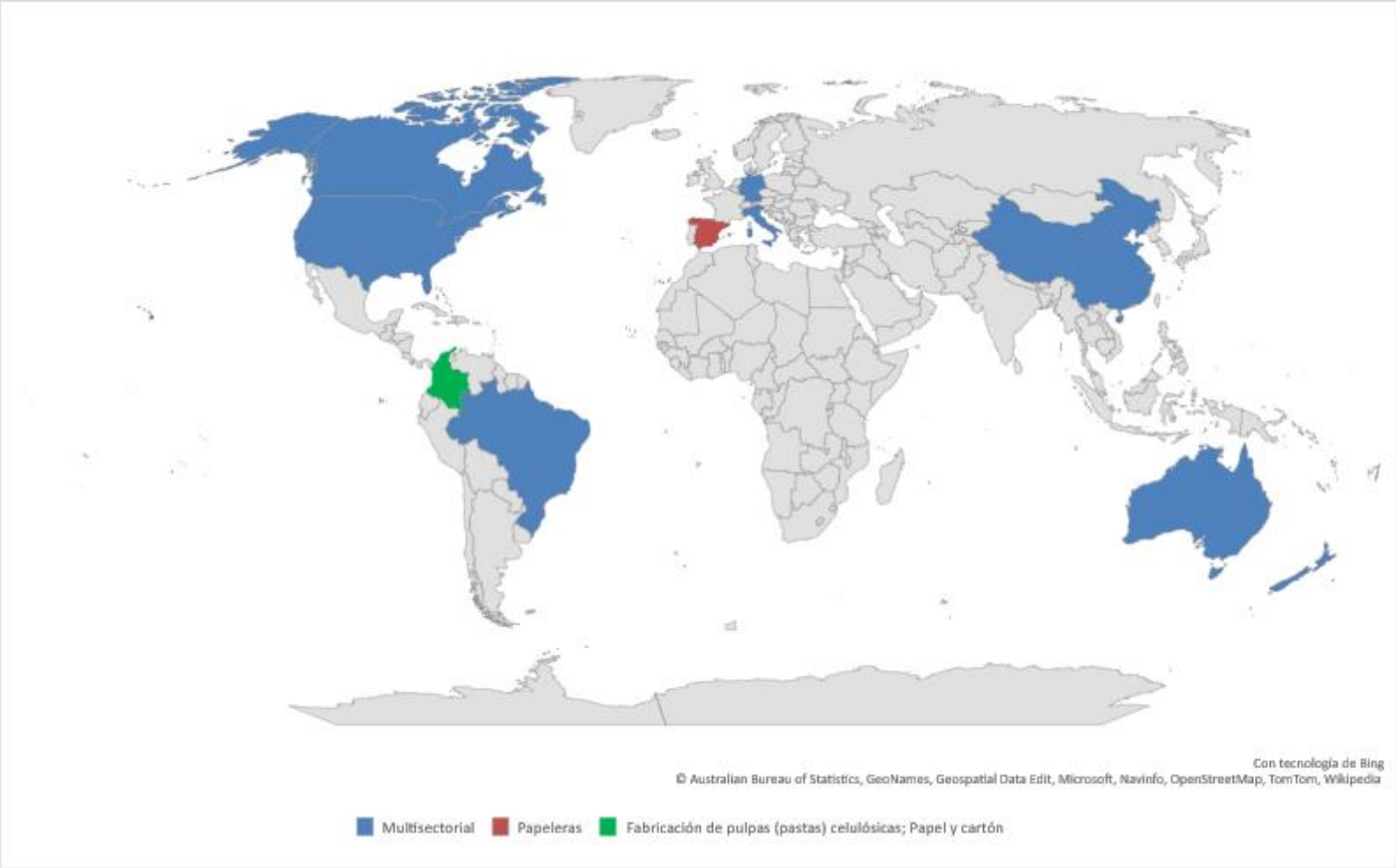
contaminantes como el $SO_2$ y los $NO_X$, y se controlan mediante la Ley de Protección del Medio Ambiente de 1997 (Bokowa *et al.*, 2021).

En Estados Unidos por su parte, la regulación se establece a nivel de cada estado miembro, donde Wyoming resulta el estado menos restrictivo y el estado de Illinois el que presenta la mayor exigencia. El país alemán por su parte, considerando que sólo presenta un nivel de límite de inmisión de olor, puede ser considerado el más restrictivo, sin embargo, actualmente se encuentra en revisión para incorporar otras disposiciones contenidas en la GOAA/GIRL que es una guía que ha servido para establecer los criterios de impacto por olores en Alemania, definiendo límites claros para la concentración de olores en función de la clasificación de la zona donde son percibidos (Díaz *et al*., 2019).

En cuanto a China, se debe mencionar que la regulación la establece a través de la diferenciación en el uso de suelo, siguiendo la metodología de medición de la bolsa triangular de olor, sin embargo, se encuentra en proceso de actualización, esperándose que se publique pronto (Bokowa *et al.*, 2021). Finalmente, también se debe destacar el origen sectorial de las normas (véase Figura 4.1), ya que la mayoría (80%) corresponde a una regulación multisectorial, es decir, no establece disposiciones a un solo sector productivo permitiendo el planteamiento de recomendaciones fuera del alcance de las fuentes reguladas actualmente por el DS37/2013 del MMA, otorgando así una perspectiva mucho más amplia, mientras que el 20% restante si regula al sector de las celulosas y papeleras perteneciendo a la ordenanza y norma de España y Colombia, respectivamente.

La Norma Colombiana, establece los niveles permisibles de calidad del aire o de inmisión y el procedimiento para la evaluación de actividades que generan olores ofensivos, dentro de las cuales se encuentra la actividad definida como "*Fabricación de pulpas (pastas) celulósicas; papel y cartón*" con la identificación de emisiones TRS, como sustancias generadoras de olores ofensivos. Esta norma, define inicialmente niveles máximos de inmisión permisibles (definido como valor de inmisión que se deberá alcanzar en las zonas residenciales del área de afectación como consecuencia de la emisión generada por la actividad generadora de olores ofensivos) para TRS (correspondiente a 7 y 40 [$\mu g/m^3$] en tiempos de exposición de 24 y 40 horas, respectivamente) y también define que ante la presencia de quejas, de determina un límite de emisión de olor, correspondiente a 3 [$OU_E/m^3$] para plantas de celulosa.

**Figura 4.1 Sectores regulados por las normativas identificadas**




Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada en Tabla 4.1.

**Tabla 4.1 Normativas internacionales de inmisión de olor**

| País | Región/Estado/provincia | Sector | Criterio de evaluación de olor | Criterios de distancia [m] | Uso de suelo | Percentil | Otras disposiciones | Observaciones | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Italia** | Lombardía | Multisectorial | 1 [$OU_E/m^3$] | Más de 500 | Residencial | 98 | - | Proyecto existente | Cusano *et al.*, (2010) |
| | | | 2 [$OU_E/m^3$] | De 200 a 500 | | | - | | |
| | | | 3 [$OU_E/m^3$] | Menos de 200 | | | - | | |
| | | | 2 [$OU_E/m^3$] | Más de 500 | Comercial | | - | | |
| | | | 3 [$OU_E/m^3$] | Entre 200 a 500 | | | - | | |
| | | | 4 [$OU_E/m^3$] | Menos de 200 | | | - | | |
| | | | 3 [$OU_E/m^3$] | Más de 500 | Agrícola o industrial | | - | | |
| | | | 4 [$OU_E/m^3$] | Entre 200 a 500 | | | - | | |
| | | | 5 [$OU_E/m^3$] | Menos de 200 | | | - | | |
| | | | 2 [$OU_E/m^3$] | En el primer receptor | Residencial | | - | Proyecto nuevo | |
| **España** | Sarriá de Ter, Girona | Fábricas de papel | 3 [$OU_E/m^3$] | - | - | - | - | - | Diaz *et al.*, (2019), Ajuntament de Sarriá de Ter (2021) |
| **Australia** | Nueva Gales del Sur | Multisectorial | 2 - 7 [OU] | - | - | 99%-100% | 1 hora (periodo de media) | Percentil depende de la calidad de meteorología y datos de emisión | Bokowa *et al.*, (2021) |
| | Territorio de la capital Australiana | Multisectorial | 2 - 7 [OU] | - | - | - | 1 hora (periodo de media) | - | |
| **Australia** | Australia del Sur | Multisectorial | 1 - 10 [OU] | - | - | 99,9% | 3 min (periodo de media) | - | Bokowa *et al.*, (2021) |
| | Queensland | Multisectorial | 5 [OU] | - | - | 99,5% | 1 hora (periodo de media) | - | |
| | Victoria | Multisectorial | 1 [OU] | - | - | 99,9% | 3 min (periodo de media) | - | |

| País | Región/Estado/provincia | Sector | Criterio de evaluación de olor | Criterios de distancia [m] | Uso de suelo | Percentil | Otras disposiciones | Observaciones | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tasmania | Multisectorial | 2 [OU] | - | - | - | 1 hora (periodo de media) | - | |
| **Nueva Zelanda** | - | Multisectorial | 1 - 10 [OU] | - | - | 99,5%-99,9% | 1 hora (periodo de media) | - | Bokowa *et al.*, (2021) |
| **EE.UU** | Wyoming | Multisectorial | 7 [D/T] | - | - | - | 1 hora (periodo de media) | Las determinaciones deben ir separadas por 15 minutos. | Wyoming Department of environmental quality (2016) |
| | Colorado | Multisectorial | 7 [D/T] | - | Residencial o comercial | - | 1 hora (periodo de media) | Las determinaciones deben ir separadas por 15 minutos | Department of public health and Environment (2013) |
| | | Multisectorial | 15 [D/T] | - | Otros | - | 1 hora (periodo de media) | Las determinaciones deben ir separadas por 15 minutos | |
| | Illinois | Multisectorial | 8 [D/T] | - | Residencial o comercial | - | 1 hora (periodo de media) | Las determinaciones deben ir separadas por 15 minutos | Environmental Protection Agency of Illinois (s.f) |
| | | | 24 [D/T] | - | Industrial | - | | | |
| | | | 16 [D/T] | - | Otros | - | | | |
| **EE.UU** | Kentucky | Multisectorial | 7 [D/T] | - | - | - | - | - | Department of environmental Protection, División of air quality (2007) |
| | Missouri | Multisectorial | 7 [D/T] | - | - | - | 1 hora (periodo de media) | Las determinaciones deben ir separadas por 15 minutos | Department of natural resources, Air Conservation Commission (2022) |
| | Nevada | Multisectorial | 8 [D/T] | - | - | - | 1 hora (periodo de media) | Las determinaciones deben ir separadas por 15 minutos | Division of environmental Protection (2016) |

| País | Región/Estado/provincia | Sector | Criterio de evaluación de olor | Criterios de distancia [m] | Uso de suelo | Percentil | Otras disposiciones | Observaciones | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Canadá** | Ciudad de Boucherville | Multisectorial | 10 y 5 [OU] | Receptor más cercano | - | 100% y 98% | 4 min (periodo de media) | - | Brancher *et al.*, (2017) |
| | Manitoba | Multisectorial | 2 [OU] | - | Residencial | 100% | 3 min (periodo de media) | | |
| | | | 7 [OU] | - | Industrial | 100% | | | |
| | Ontario | Multisectorial | 1 [OU] | - | - | 99,5% | 10 min (periodo de media) | Todas las instalaciones en receptores sensibles | |
| **Brasil** | Paraná | Multisectorial | $5 \times 10^6$ [OU/h] | - | - | - | - | Para actividades emisoras de olores o una eficiencia mínima del 85% para sistemas de abatimiento. | Brancher *et al.*, (2017) |
| **Colombia** | - | Fabricación de pulpas (pastas) celulósicas; papel y cartón | 3 [$OU_E/m^3$] | - | Residencial | 98% | - | - | Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2013) |
| **Alemania** | - | Multisectorial | 1 [OU] | - | - | 98% | 1 hora (periodo de media) | Dispuesta en regulación Ta Luft (única con peso legal, se encuentra en revisión para implementar disposiciones de la GOAA/GIRL) | Brancher *et al.*, (2017) |
| **China** | Hong-Kong | Multisectorial | $5 \cdot 10^6$ [OU] | - | - | - | 3 minutos (periodo de media) | - | Brancher *et al.*, (2017) |
| | - | Multisectorial | 10 | - | Clase 1 | - | - | - | Bokowa *et al.*, (2021) |
| | | | 20 | - | Clase 2ª BER | - | - | - | |
| | | | 30 | - | Existente | - | - | - | |
| | | | 60 | - | Clase 3ª BER | - | - | - | |
| | | | 70 | - | Existente | - | - | - | |

Nota: Clase 1: áreas de conservación natural, áreas escénicas, sitios históricos y regiones que requieren protección especial: Clase 2: áreas residenciales, zonas de actividad mixta (por ejemplo comercial y de tráfico, residencial, cultural, industrial y rural); Clase 3: zonas industriales especiales; a: nuevas, construidas o ampliadas o reconstruidas (VER); 1: Sin dimensiones.

Fuente: Elaboración propia

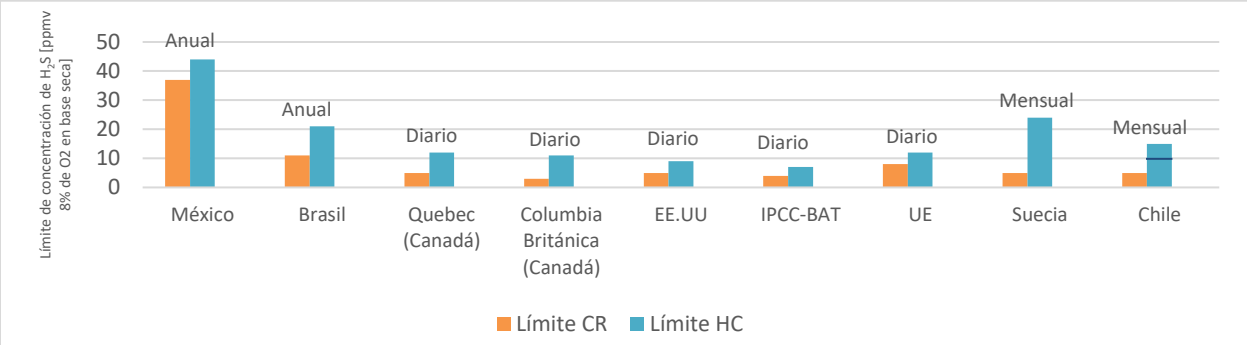
## 4.2 Normativa internacional enfocada a la regulación de compuestos TRS

En la presente sección se presentarán las normativas internacionales que regulan los compuestos TRS en los principales países productores de pulpa Kraft. Las regulaciones reconocidas pertenecen a los países de México, Brasil, Canadá (provincias de Quebec y Columbia Británica), Estados Unidos (estados de Connecticut, Delaware y Texas), Finlandia, Suecia, China y Japón, además de lo establecido por la UE y el IPCC, las cuales se encuentran expuestas en la Tabla 4.2. Se identifican normativas similares al DS37/2013 del MMA, en lo que respecta a las fuentes reguladas, es decir, también establecen límites a la caldera recuperadora, al horno de cal y al estanque disolvedor de licor verde, como lo es el caso de las legislaciones de países como México, Brasil, Canadá, Estados Unidos, Suecia, Finlandia y los límites establecidos por el IPCC-BAT y la UE (véase Tabla 4.2), donde se da cuenta que México, Brasil y Suecia (horno de cal) son los países con mayor permisividad en los límite máximos de emisión, en comparación con Canadá (Columbia Británica) y disposiciones del IPCC.

Una diferencia destacable, guarda relación con el periodo de evaluación de la norma, ya que la mayoría de los países define un límite máximo permisible en periodo diario, a excepción de México, Brasil y Chile, que definen un límite anual (para el caso de los dos primeros países) y/o mensual. Por lo tanto, los límites de dichas normativas no son comparables con los límites definidos por el DS37/2013, dado que la norma nacional otorga cierta flexibilidad al ser evaluado en un percentil. Aun así, dichos niveles se representan en la Figura 4.2.

Además, en la Tabla 4.2, donde se encuentra expuesto el detalle de las normativas identificadas, se evidencia que tanto Estados Unidos como la provincia de Quebec (Canadá) y Brasil, contemplan regulaciones hacia otros equipos que actualmente no se encuentran normados por el DS37/2013 del MMA, los cuales son los digestores, evaporadores, Stripping de condensados y tanques de licor.

**Figura 4.2 Comparación de los límites establecidos en regulaciones internacionales versus los límites establecidos en el DS37/2013 del MMA**




Nota: El DS37/2013 de Chile define un límite medido en el percentil 98.
El DS37/2013 de Chile define un límite de 10 [ppmv] para HC nuevos y 15 [ppmv] para existentes.
Siglas de tipo de fuente consisten en CR (caldera recuperadora), HC (horno de cal).

Fuente: Elaboración propia.

## Tabla 4.2 Normativas internacionales que regulan compuestos TRS

| País, región, provincia, estado, organismo | Compuesto regulado | Equipo[3] | | | | Periodo evaluado por la norma | Método de monitoreo | Sistema de monitoreo | Observaciones | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CR[1] [ppmv 8% $O_2$ en base seca] | HC[1] [ppmv 8% $O_2$ en base seca] | ED [1] [mg/kg ss] | Otros[2] [ppmv] | | | | | |
| **México** | TRS medido como $H_2S$ | 37 | 44 | - | - | Anual | EPA 16 A Y 16 B. | Continuo | - | Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (1996), DSS (2009) |
| **Brasil** | TRS medido como $SO_2$ | 11 | 21 | 80 | 22 | Anual | EPA 15, EPA 15 A, CETESB L9.233, VDI 3486 parte 1 y 2. | Depende de la cantidad emitida (discreto o continuo). | - | Secretário do Meio Ambiente e Infraestructura (2006), DSS (2009) |
| **Quebec, Canadá** | TRS medido como $H_2S$ | 5 | 12 | - | 10 | Promedio diario | - | - | - | AMEC (2004), DSS (2009) |
| **Columbia Británica, Canadá** | TRS medido como $H_2S$ | 3 | 11 | - | - | Promedio diario | - | - | | AMEC (2004), DSS (2009) |
| **EE. UU** | TRS medido como $H_2S$ | 5 | 9 | 16 | 5 - 9 | Diario | EPA 16, 16a, 16B | Discreto y continuo | - | DSS (2009) |
| **Finlandia** | TRS | 0,2-0,5 [kg/ADt] | | | | Promedio mensual | | - | Se rige por la Directiva de Emisiones Industriales (IED) | Silvo *et al.,* (2009) |
| **IPCC-BAT[4]** | TRS | 4 | 7 | - | - | Promedio diario | - | - | - | DSS (2009) |
| **Unión Europea** | TRS | 8 | 12 | - | - | Promedio diario | - | - | - | DSS (2009) |
| **Suecia** | TRS | 5 | 24 | - | - | Promedio mensual | - | - | - | AMEC (2004), DSS (2009) |
| **China** | Metilmercaptano | 0,004 [mg/m$^3$] | | | | - | - | - | Para áreas de conservación natural, áreas escénicas, sitios históricos y regiones que requieren una protección especial | Bokowa *et al.,* (2021) |

| País, región, provincia, estado, organismo | Compuesto regulado | Equipo[3] | | | | Periodo evaluado por la norma | Método de monitoreo | Sistema de monitoreo | Observaciones | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CR[1] [ppmv 8% $O_2$ en base seca] | HC[1] [ppmv 8% $O_2$ en base seca] | ED [1] [mg/kg ss] | Otros[2] [ppmv] | | | | | |
| | | 0,007 [mg/m³] | | | | - | - | - | Áreas residenciales, zonas de actividad mixta, en caso de actividades nuevas, ampliadas o modificadas. | |
| | | 0,010 [mg/m³] | | | | - | - | - | Existentes | |
| | | 0,020 [mg/m³] | | | | - | - | - | Zonas industriales especiales (actividades nuevas, ampliadas o modificadas) | |
| **China** | Sulfuro de dimetilo | 0,03 [mg/m³] | | | | - | - | - | Para áreas de conservación natural, áreas escénicas, sitios históricos y regiones que requieren una protección especial | Bokowa *et al.,* (2021) |
| | | 0,07 [mg/m³] | | | | - | - | - | Áreas residenciales, zonas de actividad mixta, en caso de actividades nuevas, ampliadas o modificadas. | |
| | | 0,15 [mg/m³] | | | | - | - | - | Existentes | |
| | | 0,55 [mg/m³] | | | | - | - | - | Zonas industriales especiales, en caso de actividades nuevas, ampliadas o modificadas. | |
| | | 1,1 [mg/m³] | | | | - | - | - | Existentes | |
| **China** | Disulfuro de dimetilo | 0,03 [mg/m³] | | | | - | - | - | Para áreas de conservación natural, áreas escénicas, sitios históricos y regiones que requieren una protección especial | Bokowa *et al.,* (2021) |
| | | 0,06 [mg/m³] | | | | - | - | - | Áreas residenciales, zonas de actividad mixta, en caso de actividades nuevas, ampliadas o modificadas. | |
| | | 0,13 [mg/m³] | | | | - | - | - | Existentes | |

| País, región, provincia, estado, organismo | Compuesto regulado | Equipo[3] | | | | Periodo evaluado por la norma | Método de monitoreo | Sistema de monitoreo | Observaciones | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CR[1] [ppmv 8% $O_2$ en base seca] | HC[1] [ppmv 8% $O_2$ en base seca] | ED [1] [mg/kg ss] | Otros[2] [ppmv] | | | | | |
| | | 0,42 [mg/m3] | | | | - | - | - | Zonas industriales especiales, en caso de actividades nuevas, ampliadas o modificadas. | |
| | | 0,71 [mg/m³] | | | | - | - | - | Existentes | |
| **China** | Sulfuro de hidrógeno | 0,03 [mg/m³] | | | | - | - | - | Para áreas de conservación natural, áreas escénicas, sitios históricos y regiones que requieren una protección especial | Bokowa *et al.,* (2021) |
| | | 0,06 [mg/m³] | | | | - | - | - | Áreas residenciales, zonas de actividad mixta, en caso de actividades nuevas, ampliadas o modificadas. | |
| | | 0,010 [mg/m³] | | | | - | - | - | Existentes | |
| | | 0,32 [mg/m³] | | | | - | - | - | Zonas industriales especiales, en caso de actividades nuevas, ampliadas o modificadas. | |
| | | 0,6 [mg/m³] | | | | - | - | - | Existentes | |
| **Japón** | Metilmercaptano | 0,0002-0,01 | | | | - | - | - | - | |
| **Japón** | Sulfuro de hidrógeno | 0,02-0,2 [ppm] | | | | - | - | - | - | Bokowa *et al.,* (2021) |
| | Sulfuro de dimetilo | 0,01-0,2 [ppm] | | | | - | - | - | - | |
| | Disulfuro de dimetilo | 0,009-0,1 [ppm] | | | | - | - | - | - | |
| **Connecticut, EE.UU** | Sulfuro de hidrógeno | 0,0045 [ppm] | | | | - | - | - | - | Department of environmental Protection (1990) |
| | Metilmercaptano | 0,010 [ppm] | | | | - | - | - | - | |

| País, región, provincia, estado, organismo | Compuesto regulado | Equipo[3] | | | | Periodo evaluado por la norma | Método de monitoreo | Sistema de monitoreo | Observaciones | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CR[1] [ppmv 8% $O_2$ en base seca] | HC[1] [ppmv 8% $O_2$ en base seca] | ED [1] [mg/kg ss] | Otros[2] [ppmv] | | | | | |
| **Delaware,** | Sulfuro de hidrógeno | 0,06 [ppm] | | | | - | - | - | 3 minutos (periodo de media) | Department of natural Resources and environmental control, division of air quality (2014) |
| **EE.UU** | | 0,03 | | | | - | - | - | 60 minutos (periodo de media) | |
| **Texas, EE.UU** | TRS | 5 | | | | - | - | - | - | Administrative Code of Texas (2022) |

Nota 1: CR: Caldera recuperadora; HC: Horno de cal; ED: Estanque disolvedor de licor verde; ss: sólidos secos.
Nota 2: Otros se refiere a digestor, evaporadores, stripper de condensado, estanque de licor.
Nota 3: Algunos valores fueron corregidos a ppmv en 8% de oxígeno en base seca
Nota 4: IPCC-BAT elaborado por Gobierno de Reino Unido, Gobierno de Escocia, Gobierno de Gales y el Ejecutivo de Irlanda del Norte.

## 4.3 Control y gestión de olores de plantas de celulosa ubicadas en países competencia de Chile

Los mayores productores de celulosa en el mundo según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en sus estadísticas de productos forestales (FAO, 2019) corresponden a Estados Unidos, China, Canadá, Brasil, Suecia, Finlandia, Japón, Portugal, España y Alemania, por ende, son aquellos países que suponen ser una competencia para Chile. De acuerdo a Suhr *et al.,* (2015) existen varias técnicas (o combinaciones de ellas) que pueden tener el potencial de lograr un alto nivel de protección del medio ambiente en las diferentes actividades que comprende el sector de las plantas de celulosa, permitiéndoles también un crecimiento que va de la mano con las exigencias ambientales impuestas tanto por los organismos fiscalizadores y/o gubernamentales, como de la comunidad cercana al emplazamiento, además de ir a favor de la evolución tecnológica que hoy en día se presenta a diario.

Mencionado lo anterior, a continuación (véase Tabla 4.3) se presentan algunas medidas implementadas en celulosas pertenecientes a cinco países (Finlandia, Estados Unidos, Brasil, Canadá y Suecia). En primer lugar se encuentra Finlandia, con tres plantas analizadas, dentro de las cuales se encuentra las plantas de Botnia Joutseno, MB Äänekoski y UPM Rauma que implementaron tanto tecnologías de control enfocadas al tratamiento de los gases TRS (además de otros gases), medidas operativas en relación a la selección de combustibles con bajo contenido en azufre y control de exceso de oxígeno, como también sistemas ambientales de monitoreo en colaboración con las demás empresas emplazadas en la zona y municipios (Botnia Joutseno). De este país se pueden destacar dos elementos, primero, que en la planta MB Äänekoski se amplió el ciclo químico cerrado para la producción de ácido sulfúrico mediante el uso de los gases ácido de emisión, y segundo, que a nivel país también se controlan emisiones de TRS aumentando el contenido de sólidos secos del licor negro lo que genera suficiente sodio en los gases de combustión para capturar casi todo el azufre formado como NaS.

En Estados Unidos, se identificó una empresa que implementó un sistema ambiental de colaboración con la EPA denominado SmartWay que es una iniciativa público-privada para la reducción de la contaminación en el aire además de cambio de combustible como medida operativa. Asimismo, CENIBRA Brasil en Sudamérica implementó un programa de monitoreo de olores en el año 2021, compuesta por medidores en las fuentes estacionarias, una estación meteorológica y participantes voluntarios, que en un radio de 42 km en relación a la planta, entregan información para la modelación de dispersión, control y toma de decisiones con respecto a olores. Dicha información permite modelar eventos de olor, definiendo acciones futuras para la reducción (CENIBRA, 2022). Respecto a Canadá, en una de sus plantas denominada Domtar, mediante la reducción de la huella de carbono significó adicionalmente una reducción en sus emisiones de compuestos TRS de un 23%, en gran medida debido al cambio de combustible a combustibles neutros en carbono y proyectos de eficiencia energética y operativa como una red eléctrica con menores emisiones de carbono.

Finalmente, se analizó el país correspondiente a Suecia, con una planta que adoptó medidas de colección e incineración de gases, selección de combustible bajo en azufre y control del exceso de oxígeno, implementando la misma práctica a nivel país establecida por Finlandia, respecto a aumentar el contenido de sólidos secos del licor negro.

Con respecto al control de emisiones odorantes en Colombia, la Cámara de la Pulpa, papel y Cartón (ANDI, 2015) indica que en general, las plantas celulosa de Colombia han integrado medidas como cambios de tecnología; reconversión de los equipos de emisiones, como calderas de potencia, recuperación y hornos de cal, priorizando equipos con sistema de control de emisiones en los que se efectúa un proceso de depuración de los gases producto de la combustión.

**Tabla 4.3 Medidas de control y gestión de olores en plantas de países competencia de Chile**

| País | Planta/ Empresa | Capacidad | Producción | Regulación | Tecnología de control | Medidas operativas | Sist. ambientales | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Finlandia** | Botnia Joutseno | 690.000 [ton] | - | Vistas en Tabla 4.2 (también se regula a través del IPCC-BAT) | Instalación de Lavador de horno de cal | Selección de combustibles y control de exceso de oxígeno | Monitoreo en conjunto con empresas de la zona y municipios. | Metsä Group (2022a y b). Suhr *et al.*, (2015) |
| | | | | | Tratamiento de los efluentes de la planta, cierre de los circuitos de agua mediante el uso de la evaporación y quema de concentrados | | | |
| | | | | | Sistemas de colección e incineración de gases odorantes fuertes y débiles | | | |
| | MB Äänekoski | - | 1.300.000 [ton/año] | | Uso de lavador de gases de combustión alcalino | Selección de combustibles y control de exceso de oxígeno | - | |
| | | | | | Ampliación de ciclo químico cerrado mediante el uso de gases odorantes para producción de ácido sulfúrico | | - | |
| | UPM Rauma | 665.000 [ton] | - | | Sistemas de colección de gases odorantes fuertes y débiles | - | - | |
| | Nivel país | - | - | | Aumento del contenido de sólidos secos del licor negro | - | - | |
| **EE.UU** | International Paper | - | - | Vistas en Tabla 4.1 y Tabla 4.2 | - | Cambio de combustible | Colaboración con la EPA SmartWay que es una iniciativa pública-privada para la reducción de la contaminación del aire | International Paper (2022) |
| **Brasil** | CENIBRA | 1.290.000 [ton] | 1.200.000 [ton/año] | Vistas en Tabla 4.1 y Tabla 4.2 | - | - | Aplicación de un programa de vigilancia de los olores. | CENIBRA (2021); Queiroz- |

| País | Planta/ Empresa | Capacidad | Producción | Regulación | Tecnología de control | Medidas operativas | Sist. ambientales | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Sperotto (2018) |
| **Canadá** | Domtar | 327.000 [ADMt] | - | Vistas en Tabla 4.1 y Tabla 4.2 | - | Reducción de la huella de carbono ha permitido disminuir emisiones de TRS. | Patrocinio de New York University Stern Center for Sustainable Business (NYU Stern CSB) | Domtar (2021) |
| **Suecia** | Frövi/Rockhammar | 470.000 [ton] | - | Vista en Tabla 4.2 | Sistemas de colección e incineración de gases odorantes fuertes y débiles | Selección de combustibles y control de exceso de oxígeno | - | Suhr *et al.*, (2015); Billerud (2022) |
| | | | | | Incineración de los gases odorantes fuertes recogidos en un quemador NCG específico equipado con depuradores para la eliminación del $SO_2$. | | | |
| | Nivel país | - | - | | Aumento del contenido de sólidos secos del licor negro | - | - | Suhr *et al.*, (2015) |
| **Colombia** | Nivel país | - | - | Vistas en Tabla 4.1 | Reconversión de los equipos generadores de emisiones | - | - | ANDI (2015) |
| | | - | - | | Equipos con sistemas de control de emisiones en los que se efectúa un proceso de depuración de los gases producto de la combustión | - | - | |
| | | - | - | | Medición de emisiones por líneas de producto o por planta de producción | - | - | |

Fuente: Elaboración propia

# 5. Mejores Técnicas Disponibles (MTD) utilizadas en el sector a nivel nacional e internacional, ya sea para gases TRS y/u olores

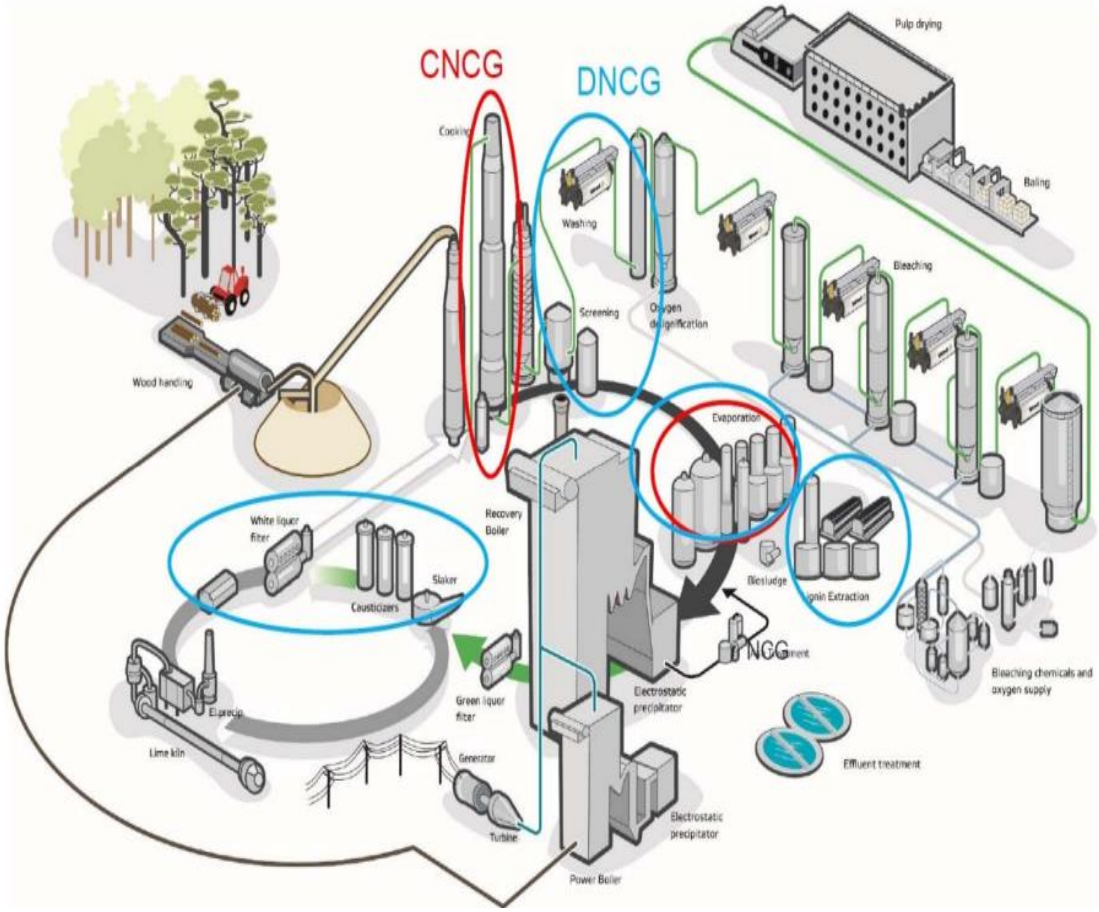
En el presente capítulo se realiza el análisis de las tecnologías existentes para el abatimiento de los compuestos TRS y/u olores con la finalidad de obtener antecedentes tanto técnicos como económicos asociados a los esfuerzos de reducción de las emisiones. Asimismo, se identifican aquellas tecnologías implementadas por los regulados a nivel nacional.

Para entablar y guiar la siguiente discusión, en primer lugar, se deben identificar las principales fuentes emisoras o generadoras a evaluar. En este contexto y de acuerdo con Suhr *et al.,* (2015) las fuentes más importantes de emisiones odorantes, específicamente referidas a los compuestos TRS, corresponden a la caldera recuperadora, el horno de cal y a un sinfín de otras fuentes difusas (continuas o intermitentes). Lo anterior coincide con lo dispuesto por Liang (2008), el cual indica que las principales fuentes puntuales de TRS son las calderas recuperadoras, scrubbers, hornos de cal e incineradores, mientras que las fuentes fugitivas vienen representadas generalmente por fugas en equipos como tanques de almacenamiento, vertidos de líquidos, entre otras. Bordado & Gomes (2003) por su parte y -como una forma de confirmar lo que las dos fuentes anteriores indicaron- postulan que las tres principales fuentes estacionarias de emisión corresponden a la chimenea de la caldera de recuperación, la chimenea del horno de cal y la chimenea del tanque disolvedor de licor verde, así como también a otras fuentes no exclusivas del proceso Kraft como las calderas auxiliares (calderas de poder) y las de corteza (calderas de biomasa). Por otro lado, la Figura 5.1 (Valmet, 2018) identifica los principales puntos de generación/emisión de gases TRS, según tipo de gas CNCG o DNCG. De esta forma, se visualizan como generadoras de gases CNCG al digestor y evaporadores, mientras que las fuentes generadoras de gases DNCG son los lavadores de licor marrón, sistema de recaustificación, planta evaporadora y sistema de remoción de lignina.

Lo anterior es aplicable a toda el área de pulpa y las instalaciones auxiliares correspondientes al sistema de recuperación química, sin embargo, existe otra zona que también presenta una alta potencialidad de emisiones de agentes odorantes y corresponde a la planta de tratamiento de RILes, donde las principales y más frecuentes fuentes según Suhr *et al.,* (2015) de compuestos volátiles de aguas residuales como compuestos reducidos de azufre proceden desde los sistemas de alcantarillado y pretratamiento debido a que las aguas residuales entrantes suelen tener una temperatura elevada, como cámaras de mezcla del agua residual (pH o temperatura diferentes), alcantarillados abiertos o venteos, clarificadores primarios (espejo y rebalse), torres de enfriamiento y aireación superficial en tanques de ecualización. Mientras tanto, las emisiones de olores formados por la descomposición anóxica de la materia orgánica y en condiciones reductoras en los procesos de tratamiento secundario y manejo de lodos, provienen principalmente de la degradación anóxica del lodo en el clarificador primario, flujo de aire insuficiente o sobrecarga de los filtros percoladores, mala aireación y/o mezcla en el tanque de aireación, prolongación del tiempo de retención de los lodos en el decantador secundario,

venteos del almacenamiento de lodos, unidades de desaguado de lodos, balsas de vertido y secadores de lodos. En la Tabla 5.1 se exponen las principales áreas y unidades emisoras.

**Figura 5.1 Principales fuentes de generación/emisión de gases NCG en la industria de celulosa Kraft**




Fuente: Valmet (2018)

**Tabla 5.1 Principales áreas y unidades emisoras de Compuestos TRS y/u Olores en una planta de celulosa Kraft**

| Área | Subárea | E/G[1] | Tipo de NCG | Unidad | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|
| Línea de Fibra | Cocción | G | CNCG | Digestor continuo | Suhr *et al*., (2015); Hovikorpi & Vakkilainen (2019); Valmet (2028) |
| | | G | CNCG | Digestor discontinuo o Batch | Suhr *et al*., (2015); Hovikorpi & Vakkilainen (2019); Valmet (2028) |
| | | G | DNCG | *Chip bin* | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | Lavado | G | DNCG | Lavadores de licor marrón | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Lavadores post-oxígeno | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| Sistema de Recuperación | Evaporación | G | CNCG | Planta de evaporadores | Suhr *et al*., (2015); Valmet (2028) |
| | | G | CNCG | Columna stripping | Suhr *et al*., (2015) |
| | | G | CNCG | Superconcentrador | Suhr *et al*., (2015) |
| | | E | DNCG | Gases de venteo de tanques de planta de evaporación | Suhr *et al*., (2015); Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | Procesamiento de metanol | G | CNCG | Licuación de metanol | Suhr *et al*., (2015); Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | Planta de *Tall Oil* | G | DNCG | Venteos de gases de la cocción de *Tall Oil* | Suhr *et al*., (2015) |
| | | G | DNCG | Tanque de mezcla | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Reactor | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Tanque de *Tall Oil* | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Tanque de agua ácida | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | Caldera recuperadora | G | DNCG | Estanque disolvedor de licor verde | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Sistemas de eliminación de potasio y cloro | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Tanque de descarga | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Tanque de mezcla | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | E | CNCG/DNCG | Chimenea | DS37/2013 del MMA |
| Ciclo de cal | Recaustificación | G | DNCG | Filtros de lodo de cal | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Filtros de Dregs | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Apagador | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Caustificadores | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Clarificador de licor blanco | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Filtros de licor verde | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | | G | DNCG | Tanques de almacenamiento | Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| | Horno de cal | E | CNCG/DNCG | Chimenea | DS37/2013 del MMA |

| Área | Subárea | E/G[1] | Tipo de NCG | Unidad | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|
| Venteos | Tanque de soplado | E | CNCG | Tanque de soplado | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Cocción | E | CNCG | Digestor | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Evaporación | E | CNCG | Evaporadores | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Cocción | E | CNCG | Sistema de trementina | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Recaustificación | E | DNCG | Caustificadores | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Lavado | E | DNCG | Lavadores y deslignificadores | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Caldera recuperadora | E | DNCG | Estanque disolvedor de licor verde | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Caldera recuperadora | E | DNCG | Mix Tank | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Chip Fill | E | CNCG | Chip Fill | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Evaporación | E | CNCG | Condensados sucios | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Evaporación | E | CNCG | Columna Stripping | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Tanque de salmuera | E | DNCG | Tanque de salmuera | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Manejo de astillas | E | DNCG | Carga de astillas | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Lavado | E | DNCG | Transporte de nudos | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |
| | Cocción | E | DNCG | Impregnador | De acuerdo con puntos de venteos informados en Anexo 11. |

| Área | Subárea | E/G[1] | Tipo de NCG | Unidad | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|
| Tratamiento de efluentes líquidos [2] | Tratamiento primario | G/E | Olor | Estanque de neutralización | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |
| | | G/E | Olor | Clarificador primario | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |
| | | G/E | Olor | Cámara de rejas | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |
| | | G/E | Olor | Pozo de bombeo | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |
| | | G/E | Olor | Cámara de llegada de efluentes parciales | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |
| | Tratamiento secundario | G/E | Olor | Torre de enfriamiento | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |
| | | G/E | Olor | Clarificador secundario | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |
| | | G/E | Olor | Biorreactor (lodos activados/MBBR) | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |
| | Tratamiento terciario | G/E | Olor | Sistema DAF | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |
| | Contención de derrames | G/E | Olor | Laguna de regulación/emergencia | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |
| | Manejo de lodos | G/E | Olor | Estanque de lodos | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |
| | | G/E | Olor | Prensa de lodos | De acuerdo con fuentes declaradas por titulares en sus respectivos EIO. |

Nota 1: G: Generación, E: Emisión.
Nota 2: Fuentes tratamiento de aguas residuales típicas y más relevantes de una planta de tratamiento de RILes del sector, no se descarta la existencia de otras fuentes.
Nota: En el Anexo 1.8 se expone una priorización de fuentes más importantes en cuanto a emisión odorante.
Nota: En caso de Venteos la unidad se encuentra asociada de donde proviene la emisión y no del punto de venteo expuesto en los diagramas del Anexo 1.3.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.1 Experiencias MTD a nivel Internacional

En el presente capítulo se realiza el análisis de las tecnologías existentes para el abatimiento de los compuestos TRS y/u olores con la finalidad de obtener antecedentes tanto técnicos como económicos asociados a los esfuerzos de reducción de sus emisiones.

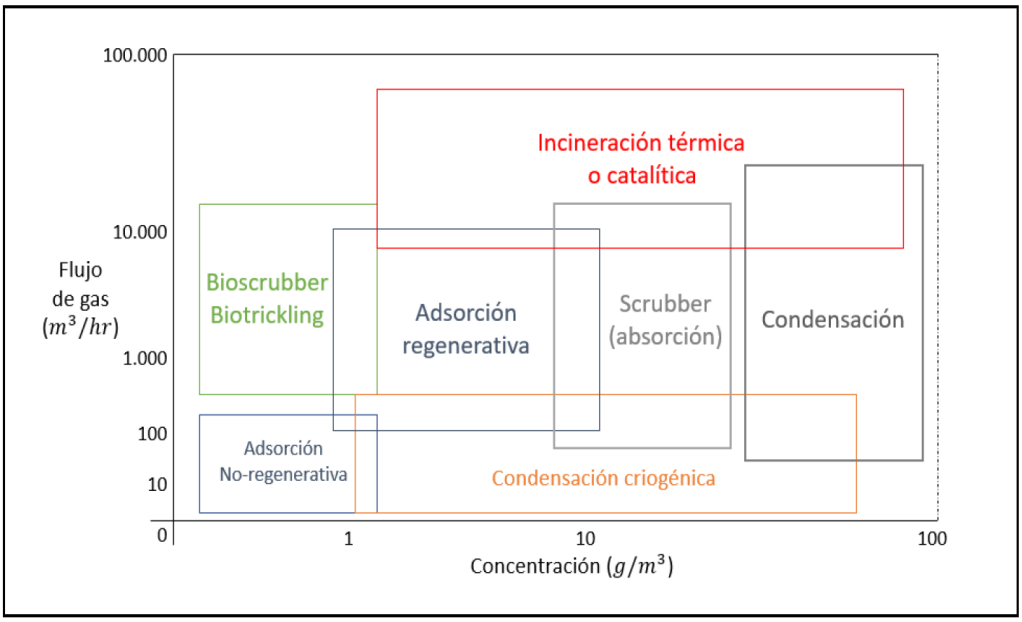
Los documentos revisados para la identificación de las MTD corresponden a:

- Análisis Técnico-Económico de Revisión de la Norma de Emisión para Olores Molestos (Compuestos Sulfuro de Hidrógeno y Mercaptanos: Gases TRS) Asociados a la Fabricación de Pulpa Sulfatada (DSS, 2009).
- A Review of Odour Impact Criteria in Selected Countries Around the World (Brancher *et al.,* 2017).
- Air Pollution Control Technologies (Van der Auweraert & Brouwer, 2022).
- Antecedentes para la Elaboración de Análisis Económico de la Norma de Emisión de Olores para Sector de Procesamiento de Recursos Hidrobiológicos (GreenLab-DICTUC, 2021).
- Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Wastewater and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector (Brinkmann *et al.*, 2016).
- Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board (Suhr *et al.*, 2015).
- Biological Metods for Odor Treatment- a Review (Barbusinski *et al.*, 2017).
- BREF-Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Food, Drink and Milk Industries (Santoja *et al.,* 2019).
- Chemical Assesment of Non-Thermal Plasma for Reduction of Odour Emissions from Pig Houses (Barkve, 2013).
- Choosing an Odor Control Technology-Effectiveness and Cost Considerations (Stanley & Muller, 2002).
- Fact Sheets on Air Emission Abatement Techniques (Schenk *et al.,* 2009).
- Full-Scale Odor Abatement Technologies in Wastewater Treatment Plants (WWTPs): A Review (Senatore *et al*., 2021).
- Generación de Antecedentes para la Elaboración de una Regulación para el Control y Prevención de Olores en Chile (Aqualogy, 2014).
- Generación de Antecedentes Técnicos para la Elaboración de la Norma de Emisión de Olores para la Crianza Intensiva de Animales (Envirometrika, 2019).
- LUSS Decision Guidance System: Tools Overview (VITO, 2020).
- Odor Control ''ABC's'' How to Compare and Evaluate Odor Control Technologies (Corey & Zappa, 2016).
- Odour Emissions Guidance Note (Air Guidance Note AG9) (Environmental Protection Agency [EPA] of Ireland, 2019).
- Technological and Life Cycle Assessment of Organics Processing Odour Control Technologies (Bindra *et al.,* 2015).

- Technologies for deodorization of malodorous gases (Wysocka *et al*., 2019).

La aplicabilidad de ciertas tecnologías depende de la relación del flujo volumétrico del gas y la concentración (véase Figura 5.2), por lo que algunas de las tecnologías pueden ser comunes para un mismo requerimiento y su elección dependerá de otros factores, tales como el layout de planta o el análisis económico (Aqualogy, 2014).

**Figura 5.2 Aplicabilidad de tecnologías de abatimiento de olores y/o compuestos odorantes**




Fuente: GreenLab-DICTUC (2021)

A continuación, se realizará la presentación y descripción de las principales MTD asociadas al sector de la producción de pasta y papel a partir de celulosa de tipo Kraft con respecto a sus emisiones de compuestos TRS y/u olores, información que será presentada de forma seccionada en las principales áreas que componen dicho proceso de acuerdo con lo expuesto en la Figura 2.2 y Tabla 5.1.

- Línea de fibra (A1)
- Sistema de recuperación química y energética (A2)
- Ciclo de cal (A3).
- Venteo (A4)
- Tratamiento de aguas residuales (A5)

A continuación, en la Tabla 5.2 se exponen las MTD asociadas a estas categorías.

**Tabla 5.2 MTD identificadas internacionalmente**

| Nombre MTD | Área[1] | Unidad emisora donde aplica | Eficiencia [%] | Interdependencia | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|
| **Separación de condensados sucios** | A1, A2 | Digestores, evaporadores. | 97% para compuestos TRS. | No presenta interdependencias. | Vernal (2019); Suhr *et al.,* (2015); Sebbas (1988) |
| **Sistema general recolector de gases concentrados (CNCG)** | A1, A2, A4 | Digestores del condensador de vapor flash, decantadores de trementina, tanques de condensados sucios, depuradores de trementina, tanques de almacenamiento de trementina y tanques de humos, superconcentrador de licor negro, efectos evaporadores, pozo de vacío de evaporación (*evaporation vacuum pit*), tanque de alimentación de la columna stripping, columna stripping (no común), tanque presurizado de almacenamiento de licor negro fuerte, tanque de licuación de metanol. | Eficiencia de colección >99% | Generalmente se acompaña por sistema de lavado de gases (scrubber) o por Precipitadores electrostáticos. | Suhr *et al.,* (2015); Riffo (2011); DSS (2009); Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |
| **Sistema general recolector de gases diluidos (DNCG)** | A1, A2, A3. | Alcantarilla área de blanqueo, separadores de nudos, fraccionadores y prensas de prelavado, alcantarillado área de lavadores, tanques de filtrado, tanque de espuma, tanque de alimentación deslignificación con oxígeno y tanque intermedio, lavadores de nudos y rechazos, tanque de dilución de fraccionamiento y tanque de separación de rechazos plásticos, tanque de nudos, tanques de impregnación y de licor de desplazamiento, tanque de jabón, tanque de evacuación, tanque de licor pesado, tanques de condensados, tanque de alimentación de licor negro débil, tanque de licor intermedio, tanque de jabón, tanque de vertido de licor, sumidero, campana de muestreo, sistema de remoción de potasio y cloro, sumidero de caldera recuperadora, tanque de mezcla de caldera recuperadora, tanque disolvedor de licor verde, filtros de licor blanco, tanque de dilución de lodo de cal, tanque de bombeo de lodo y lodo de cal, tanque de ácido, canal de agua, clarificador de licor verde, tanque ecualizador de licor verde, tanques de licor débil blanco y licor blanco, caustificadores, bomba de vacío de la enfriadora de licor verde. | Eficiencia de colección >99% | Generalmente se acompaña por sistema de lavado de gases (scrubber) o por Precipitadores electrostáticos. | Suhr *et al.,* (2015); Riffo (2011); DSS (2009); Hovikorpi & Vakkilainen (2019) |

| Nombre MTD | Área[1] | Unidad emisora donde aplica | Eficiencia [%] | Interdependencia | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|
| **Aumento de sólidos secos en licor negro** | A2 | Caldera recuperadora | No especifica. | No presenta interdependencias. | Suhr *et al.,* (2015); Vakkilainen (2005) |
| **Scrubber alcalino** | A2, A3, A4 | Caldera recuperadora, tanque disolvedor de licor verde, incinerador, Planta de *Tall Oil* (tanque de mezcla, reactor, tanque de *Tall Oil* y tanque de agua ácida), caldera de poder, caldera de biomasa, tanque de sellado de agua CNCG, columna de stripping y horno de cal. | Olor 70 a 90% | Presenta interdependencia con el sistema general recolector de gases diluidos (DNCG) como el de gases concentrados (CNCG) y con el incinerador. | GreenLab-DICTUC (2021); VITO (2020); Corey & Zappa (2016); Superintendencia de Servicios Sanitarios (2019); Hovikorpi & Vakkilainen, (2019). |
| **Instalación de lavado y filtración mejorada de los lodos de cal en la recaustificación** | A3 | Horno de cal | 70% a 99% de reducción de $NA_2S$ y NAOH en el lodo de cal | No presenta interdependencias. | Suhr *et al.,* (2015) |
| **Agentes neutralizantes** | A4 | Estanque de soplado, condensador secundario, tanque de trementina, estanque de condensados sucios, columna de stripping, área de caustificadores y horno de cal, lavado, estanque disolvedor de licor verde, scrubber de horno de cal y toda la línea de venteos en general. | 85%-97% para $H_2S$, $NH_3$, $CH_3SH$, COVS 50% a 80% para olor. | No presenta interdependencias. | GreenLab-DICTUC (2021); Bindra *et al.,* (2015); Información levantada a través de cotizaciones a proveedores y laboratorios |
| **Cobertura lagunas (flexible/flotante)** | A5 | Laguna de emergencia | 50 a 90% para reducción de olor y $NH_3$ | No presenta interdependencias. | Generalitat Valenciana (2008); Loyon (s.f); Envirometrika (2019) |
| **Oxidación ozono** | A5 | Preoxidación de agua bruta, estanque de neutralización, pretratamiento de un reactor biológico, efluentes alcalinos y secundarios. | >98% para gases ETM, DSM, DSMD y TSC. [2] | Puede ser complementado con un filtro de carbón activado. | Silva *et al.,* (2018); Vega & Martin (2018); Tavares (2008) |
| **Oxidación luz UV/Ozono** | A5 | Preoxidación de agua bruta, estanque de neutralización, pretratamiento de un reactor biológico, efluentes alcalinos y secundarios. | 80 a 98% | Puede ser complementado con un filtro de carbón activado. | Schenk *et al.,* (2009); GreenLab-DICTUC (2021) |
| **Reemplazo de torres de enfriamiento por I/C** | A5 | Torres de enfriamiento | 60 a 90% | No presenta interdependencias. | Haarslev (s.f.); GreenLab-DICTUC (2021); Van der Auweraert & Brouwer (2022). |
| **Filtro de carbón activado** | A5 | Salida estanque de neutralización, estanque de lodos. | >90% de olor carbón activado catalítico. | Puede ser implementado junto a un proceso de | Corey & Zappa (2016); VITO (2020); GreenLab- |

| Nombre MTD | Área[1] | Unidad emisora donde aplica | Eficiencia [%] | Interdependencia | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 80 a 95% de olor cualquier tipo de carbón | oxidación en el tanque de neutralización. | DICTUC (2021); Van der Auweraert & Brouwer (2022); Envirometrika (2019) |
| **Biotrickling** | A5 | Venteos, secadores térmicos de lodos, estanques de lodos. | 70-95% Olor<br>80-90% Amoniaco<br>80-90% $H_2S$<br>80-95% COV<br>70-95% mercaptanos<br>>95% $CS_2$ | No presenta interdependencias. | Van der Auweraert & Brouwer (2022). |
| **Bioscrubber** | A5 | Venteos, secadores térmicos de lodos, estanques de lodos. | 70-85% olor<br>>95% Amoniaco<br>90-95% $H_2S$<br>80-90% COV | En caso de altas concentraciones de $NH_3$ o $H_2S$ se deben implementar humidificadores o lavadores previamente. | DSS (2009); Stanley & Muller (2002); Van der Auweraert & Brouwer (2022). |
| **Biofiltro** | A5 | Venteos, secadores térmicos de lodos, estanques de lodos. | 50% a 99% | Presenta interdependencia con lavadores o bioscrubber para limpiar el flujo de aire, así como para humidificarlo. | DSS (2009); Stanley & Muller (2002); Van der Auweraert & Brouwer (2022); Corey & Zappa (2016); European comission (2005); Brinkmann *et al.,* (2016); Envirometrika (2019); The European IPCC Bureau (2003); GreenLab-DICTUC (2021) |
| **Plasma frío/no térmico** | A5 | Venteos, secadores térmicos de lodos, estanques de lodos. | Para flujo volumétrico de 125 [m³/h]: >90%<br>Dependiendo del diseño, condiciones de proceso y características de olor: 75%-96% | No presenta interdependencia | GreenLab-DICTUC (2021); Barkve & Andersen (2013); Santoja *et al.,* (2019) |

Nota 1: A1: Línea de fibra, A2: Sistema de recuperación química y energética, A3: Ciclo de cal, A4: Venteos, A5: Sistema de tratamiento de aguas residuales.
Nota 2: ETM: Etil mercaptano, DMS: Dimetil sulfuro, DMDS: dimetil disulfuro.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2 MTD implementadas por los regulados

De acuerdo con la información recabada en secciones anteriores, se logra deducir que las principales fuentes emisoras (no generadoras) de compuestos TRS se encuentran asociadas a la caldera recuperadora, horno de cal y calderas de poder o de biomasa o incineradores, coincidiendo con las fuentes reguladas actualmente por el DS37/2013 del MMA y con lo estipulado en el principio de capítulo respecto a las fuentes emisoras más importantes según literatura internacional.

Por su parte, según los Estudios de Impacto Odorante de los regulados, las principales fuentes relacionadas a la emisión de olor corresponden a las torres de enfriamiento (extracción), laguna de emergencia y estanque de lodos. Sin embargo, para analizar la relevancia de las fuentes de emisión de olor de forma objetiva, se realizó una priorización de fuentes ''problema'' asociadas a olor expuesta en el Anexo 1.8. Desde este análisis se logró concluir que las principales fuentes emisoras corresponden a la laguna de emergencia, estanque de lodos, torres de enfriamiento y estanque de neutralización, coincidiendo en parte con las fuentes emisoras problema proveniente de literatura internacional con respecto a las torres de enfriamiento y el manejo de lodos. Lo anterior da cuenta que los regulados cuentan con la identificación de sus fuentes más relevantes en cuanto a las emisiones odorantes, por lo que se pueden precisar ciertos esfuerzos por el control de dichas fuentes tanto para olor como para TRS a lo largo de sus años operativos, (los cuales se encuentran identificados en la Tabla 5.3). Cabe resaltar que la información de la Tabla 5.3 fue recabada a partir de entrevistas, visitas y revisión tanto de los proyectos ingresados al SEIA para evaluación ambiental, como de las solicitudes de pertinencia ingresadas.

**Tabla 5.3 Identificación de MTD Implementadas por los Regulados y la unidad en donde fueron aplicadas.**

| Área[1] | MTD | Unidad/etapa donde se ha implementado | PCK-01 | PCK-02 | PCK-03 | PCK-04 | PCK-05 | PCK-06 | PCK-07 | PCK-08 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | Separación de condensados sucios | Digestores | x | x | x | √ | x | x | x | x | 1 |
| | Sistema general de recolección y tratamiento de gases concentrados (CNCG) | Unidades mencionadas en Tabla 5.1 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | 8 |
| | Sistema general de recolección y tratamiento de gases diluidos (DNCG) | Unidades mencionadas en Tabla 5.1 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | 8 |
| A2 | Aumento de sólidos secos en licor negro | Evaporadores | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | 5 |
| | Sistema general de recolección y tratamiento de gases concentrados (CNCG) | Unidades mencionadas en Tabla 5.1 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | 8 |
| | Sistema general de recolección y tratamiento de gases diluidos (DNCG) | Unidades mencionadas en Tabla 5.1 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | 8 |
| | Separación de condensados sucios | Evaporadores | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | 8 |

| Área[1] | MTD | Unidad/etapa donde se ha implementado | PCK-01 | PCK-02 | PCK-03 | PCK-04 | PCK-05 | PCK-06 | PCK-07 | PCK-08 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Scrubber | Caldera recuperadora | √ | √ | √ | x | √ | x | x | √ | 5 |
| | | Incinerador | √ | x | x | x | x | x | √ | x | 2 |
| | | Caldera de poder o biomasa | √ | x | x | x | x | x | x | x | 1 |
| | | Estanque disolvedor de licor verde | √ | √ | √ | √ | √ | x | x | √ | 6 |
| A3 | Instalación de lavado y filtración mejorada de los lodos de cal en la recaustificación. | Caustificadores | x | x | x | √ | x | x | x | x | 1 |
| | Sistema general de recolección y tratamiento de gases diluidos (DNCG) | Caustificadores | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | 8 |
| | Scrubber (HC) | Horno de cal | x | x | √ | x | x | x | √ | x | 2 |
| A4 | Agentes neutralizantes | Venteos | x | x | x | x/√[2] | x/√[2] | x/√[2] | √ | x | 4 |
| | Scrubber alcalino | Venteos | x/√[2] | x/√[2] | x/√[2] | x | x/√[2] | x | x | x/√[2] | 5 |
| A5 | Cobertura Lagunas | Laguna(s) de emergencia | x | x | x | x | x | x | x | x | 0 |
| | Oxidación Ozono | N/I | x | x | x | x | x | x | x | x | 0 |
| | Oxidación luz UV/Ozono | Estanque de neutralización | x | x | x | x | x | x | √ | x | 1 |
| | Reemplazo de torres de enfriamiento por intercambiadores de calor | Enfriamiento | x | √ | √ | x | x | x | x | x | 2 |
| | Filtro de carbón activado | Estanque de neutralización | x | x | x | x | √ | x | √ | x | 2 |
| | Biotrickling | N/I | x | x | x | x | x | x | x | x | 0 |
| | Bioscrubber | N/I | x | x | x | x | x | x | x | x | 0 |
| | Biofiltro | Estanque de lodos | x | x | x | x | x | x | √ | x | 1 |
| | Plasma frío/no térmico | N/I | x | x | x | x | x | x | x | x | 0 |

Nota 1: A1: Línea de fibra, A2: Sistema de recuperación química y energética, A3: Ciclo de cal, A4: Venteo, A5: Tratamiento de aguas residuales, N/I: No Implementado.
Nota 2: Dado que existen múltiples puntos de venteo por planta, se califica con x/√ si al menos alguno de los puntos cuenta con la MTD (ver Tabla 3.11)

Fuente: Elaboración propia a partir de información entregada por los regulados.

## 5.3 Brechas tecnológicas a nivel nacional y posibles mejoras

De la comparación entre los regulados a nivel nacional y las MTD aplicadas en sus respectivas instalaciones es posible inferir las brechas tecnológicas entre los mismos, análisis que es indicado según área a continuación.

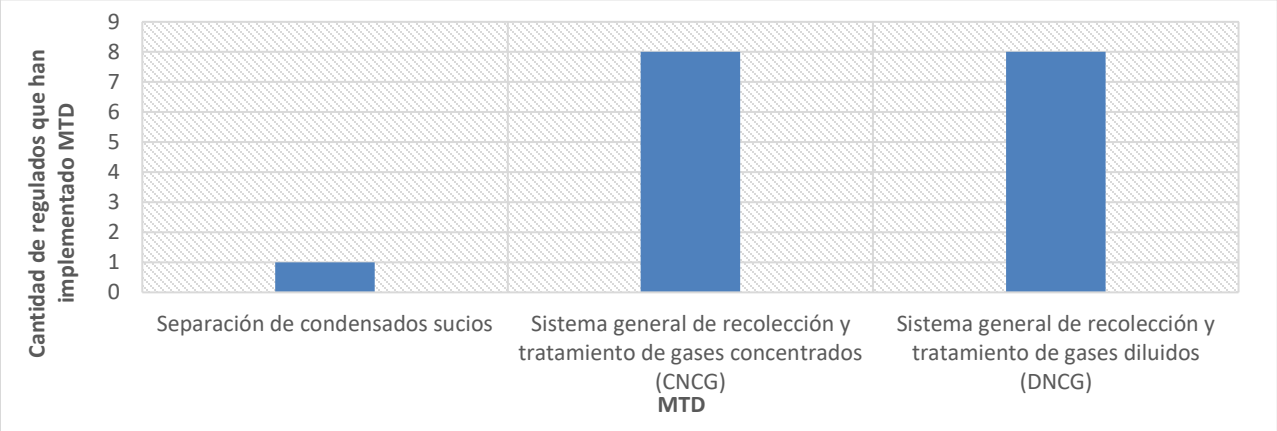
### 5.3.1 Línea de Fibra (A1)

De acuerdo con la información identificada (véase Tabla 5.3), se puede indicar que en esta área no existen grandes brechas tecnológicas, en especial respecto a las MTD correspondientes a los

sistemas generales de recolección y tratamiento de gases, tanto concentrados como diluidos (CNCG y DNCG respectivamente), ya que todas las instalaciones cuentan algún sistema implementado. Esto da cuenta del cumplimiento del artículo 9° del DS37/2013, para el cual se otorgó un plazo de implementación de 5 años desde la publicación del decreto.

Adicionalmente, se puede indicar que han existido algunas mejoras en dichos sistemas, de acuerdo con lo facilitado por uno de los regulados en las entrevistas llevadas a cabo durante el mes de diciembre. Sin embargo, sólo la MTD asociada a la separación de condensados sucios provenientes de esta área (digestores) se ha implementado en 1 de 8 regulados, lo que evidencia una brecha tecnológica amplia en esta MTD.

**Figura 5.3 Brechas tecnológicas Línea de Fibra**




Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.2 Sistema de Recuperación química y energética (A2)

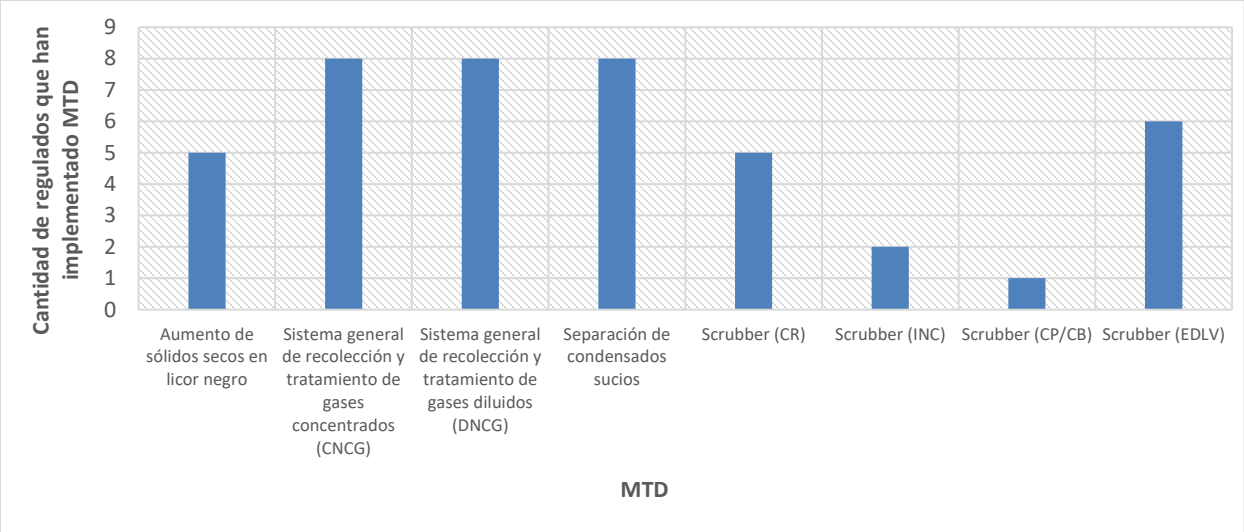
En relación con el área en donde se realiza la recuperación de los principales insumos químicos de una planta Kraft, se evidencia en la Figura 5.4, respecto a las MTD pertenecientes a los sistemas generales de recolección y tratamiento de gases NCG, que no existen brechas entre una planta u otra, a lo que se le suma la MTD separación de condensados sucios a través de una columna stripping.

Para el caso de la MTD denominada aumento de sólidos secos en licor negro (ver Figura 5.4), se puede indicar que esta se encuentra en 5 de 8 plantas. Sin embargo, cabe destacar que el aumento de sólidos secos en licor negro depende del rendimiento de la planta de evaporación, por lo que, si alguna planta no se encuentra cumpliendo una concentración mayor al 75% en el licor negro a la entrada de la caldera recuperadora, puede deberse a temas netamente operacionales y no del equipamiento de la planta, dicho de otro modo, aunque la planta evaporadora pueda ser capaz de concentrar a esos niveles el licor negro, parámetros operacionales pueden estar incidiendo en la poca concentración del licor, como lo es el caso de la PCK-02.

Finalmente, para el caso de la tecnología correspondiente al scrubber alcalino, que se evaluó en 4 equipos (CR, INC, CP/CB y EDLV), se puede indicar que existe mayor aplicación en el estanque

disolvedor de licor verde (EDLV), ya que ha sido implementado en 6 de 8 plantas, mientras que este tiene menor presencia en equipos como caldera de poder (CP/CB) e incinerador (INC), ya que se ha instalado sólo en 1 y 2 de 8 plantas, respectivamente.

**Figura 5.4 Brechas tecnológicas Sistema de recuperación química y energética**



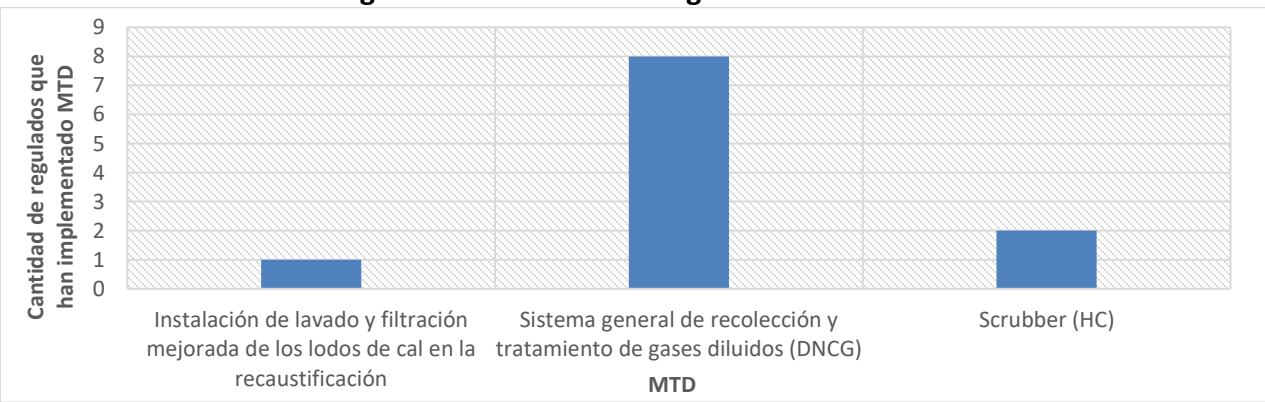

Nota: Las siglas corresponden a Caldera recuperadora (CR), Incinerador (INC), Caldera de poder o de biomasa (CP/CB), Estanque disolvedor de licor verde (EDLV)

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.3 Ciclo de cal (A3)

Las brechas tecnológicas en el área del ciclo de la cal son más notorias en comparación con las áreas anteriores (ver Figura 5.5). Se destaca que la única MTD implementada por todos los regulados (8) corresponde al sistema general recolector de gases diluidos (DNCG), mientras que tecnologías como el lavador de gases (scrubber) sólo se encuentra presente 2 instalaciones, correspondiente a las plantas PCK-03 y PCK-07. Para el caso de la instalación de lavado y filtración mejorada de los lodos de cal en la recaustificación, solo fue posible identificar su integración al proceso en una de las plantas de celulosa Kraft (PCK-04).

**Figura 5.5 Brechas tecnológicas Ciclo de Cal**



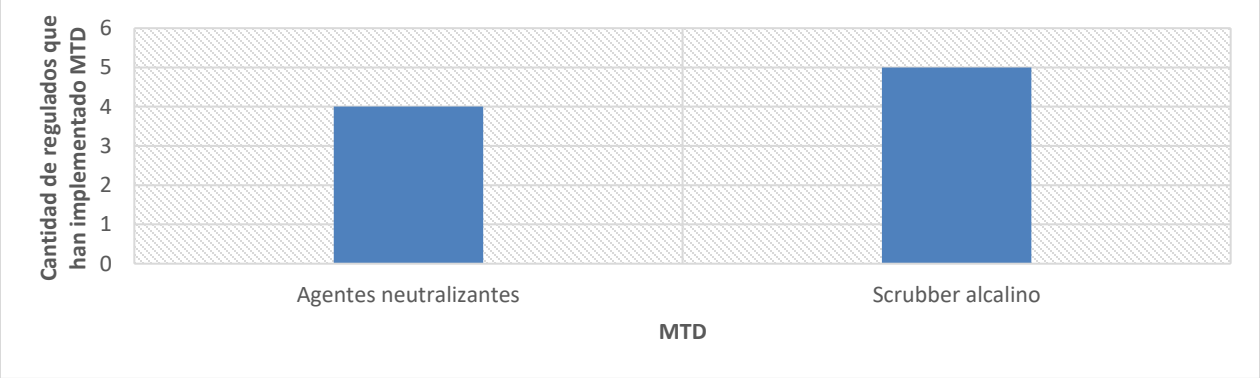

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.4 Venteos (A4)

En la Tabla 5.3 se expone que la todos de los regulados cuentan al menos una MTD implementada en algún punto de venteo en sus líneas de combustión de gases. En este contexto, la Figura 5.6 indica que sólo 4 de las plantas ha implementado el uso de agentes neutralizantes y 5 ha instalado un scrubber alcalino en algún punto de venteo (para este se considera como scrubber alcalino en el sistema de venteos, la implementación de scrubber, previo al punto de venteo donde se genera la liberación al ambiente, ver Anexo 1.3).

Cabe destacar, que sólo 1 de las 4 plantas que utilizan agentes neutralizantes cuenta con dicho sistema en todos sus venteos, las otras 3 sólo lo instalaron en ciertos puntos estratégicos.

**Figura 5.6 Brechas tecnológicas Venteos**

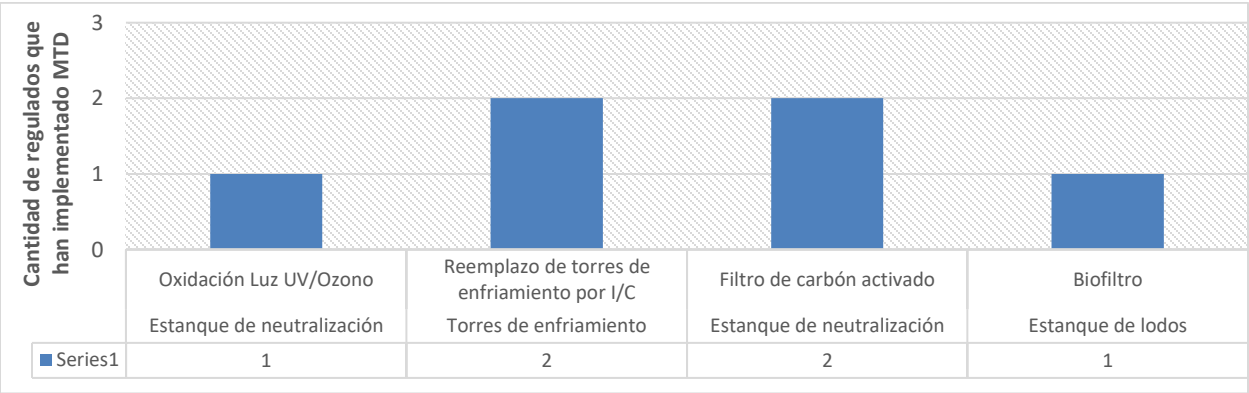



Fuente: Elaboración propia.

### 5.3.5 Tratamiento de aguas residuales (A5)

Según la información recopilada, en esta área es en donde se evidencian mayores brechas tecnológicas entre las plantas (véase Figura 5.7). Lo anterior debido a sólo han sido aplicadas cuatro de las MTSD identificadas, en cuatro plantas reguladas, las cuales corresponden a oxidación por UV/ozono (1), filtro de carbón activado (2), reemplazo de torres de enfriamiento por intercambiadores de calor (2) y biofiltro (1).

**Figura 5.7 Brechas tecnológicas Tratamiento de agua residuales**




Nota: I/C corresponde a intercambiadores de calor.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.4 MTD recomendadas

Finalmente, según la revisión de MTD a nivel internacional y de la aplicación de estas tecnologías en las plantas nacionales para el cumplimiento del actual DS37/2013 del MMA, se puede concluir que existen algunas MTD recomendables para la implementación en regulados. Estas se resumen en la siguiente Tabla 5.4. Se destaca que para la definición de MTD recomendadas en el área A5, se consideraron sólo las MTD asociadas a las fuentes más relevantes definidas en el Anexo 1.8.

**Tabla 5.4 MTD recomendadas**

| Área[1] | Unidad emisora | MTD | Descripción |
|---|---|---|---|
| A3 | Horno de cal | Instalación de lavado y filtración mejorada de los lodos de cal en la recaustificación. | El análisis de brechas para el área de ciclo de cal (sección 5.3.3) indicó que las tecnologías como scrubber y lavado y filtración mejorada de los lodos de cal en la recaustificación, presentan grandes diferencias en cuanto a las plantas nacionales, ya que sólo están presenten en 3 instalaciones. Esto podría explicar que según el análisis de emisiones a nivel nacional (sección 3.4), estos equipos presentan variabilidad entre los regulados (al menos 4 de 10 HC, han presentado emisiones sobre 10 [ppmv]) y un amplio rango de emisiones.<br>Sin embargo, según bibliografía estas alternativas permitirían alcanzar emisiones de 10 [ppmv] (Suhr *et al.,* 2015). Además, según la revisión de MTD internacionales, el uso de scrubbers es dependiente de sistemas de recolección de gases, los cuáles son una de las exigencias del DS37/2013 y por tanto, está presente en todos las plantas nacionales, lo cual abre camino a su implementación. |
| | | Scrubber (HC) | |
| A4 | Venteos | Agentes neutralizantes | De acuerdo con el análisis presentado en la sección 3.4, sólo en el 43% de los puntos de venteo informados, cuenta con un tratamiento previo a la liberación a ambiente, como el uso de scrubber o agentes neutralizantes. Lo cual indica, en parte que existe la tecnología disponible a nivel nacional, pero esta presenta una importante brecha en cuanto a la implementación actual, dado que sólo 4 regulados reportan el uso de agentes neutralizante en al menos algún punto de venteo y 5 regulados el uso de scrubbers en algún sistema de combustión. |
| | | Scrubber | |
| A5 | Laguna de emergencia | Cobertura de lagunas | Según lo expuesto, esta área es aquella que presenta mayores brechas entre las plantas existentes en el país, por lo que se extiende la recomendación de implementación de las MTD asociadas a las principales fuentes ''problema'' indicadas en Anexo 1.8. Como antecedente levantado desde el análisis de brecha, se destaca que la mayoría de estas MTD recomendadas se encuentra asociada a la aplicación en al menos una planta dentro del sector de celulosa. |
| | Planta de tratamiento de RILes | Oxidación luz UV/Ozono | |
| | | Reemplazo de torres de enfriamiento por I/C. | |
| | | Filtro de carbón activado | |
| | | Biofiltro | |

Nota 1: A3: Ciclo de cal, A4: Venteos, A5: Planta de tratamiento de RILes, I/C: Intercambiadores de calor

Fuente: Elaboración propia.

## 5.5 Determinación de los tiempos asociados a la implementación de las MTD

En el presente capítulo se exponen los tiempos de implementación de las MTD identificadas y recomendadas anteriormente. Para esto se describe la metodología y sus respectivas fuentes de información, para finalmente, indicar los tiempos determinados para cada MTD.

### 5.5.1 Metodología para la determinación de los tiempos asociados a la implementación de cada MTD recomendada

Para la metodología enfocada en determinar aquellos tiempos que se encuentran asociados a la puesta en marcha e implementación de las MTD identificadas preliminarmente, se considerarán los tiempos asociados a las etapas listadas a continuación: Estudio de proyecto de ingeniería (EPI), Evaluación ambiental (EA), Adquisición de los equipos (A), Instalación en planta de los equipos (I) y Puesta en marcha (PM), según se indica en la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{T_f = T_{máx} + T_I + T_{PM}}$$

**Ecuación 1 Determinación del tiempo final para MTD por etapas**

Donde;

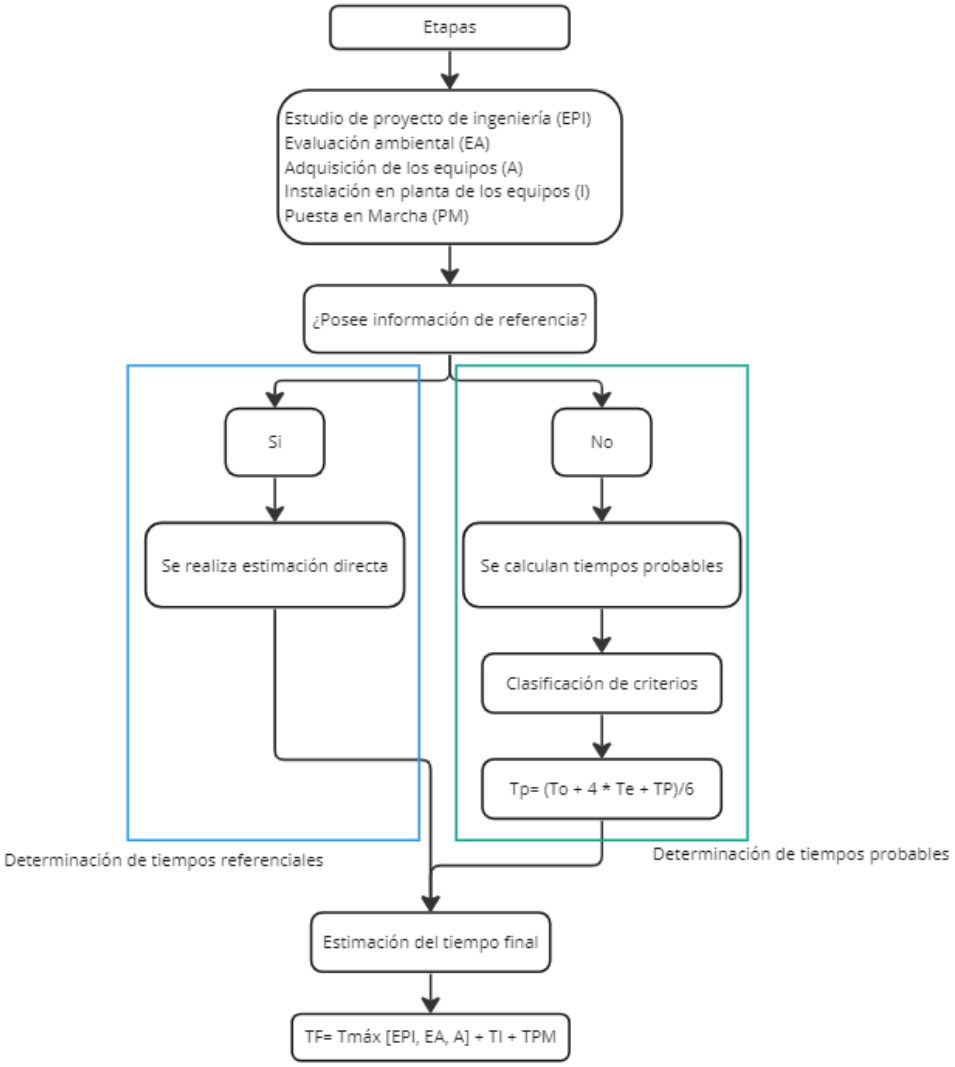
$T_f$: Corresponde al tiempo final [meses].
$T_{máx}$: Corresponde al tiempo máximo entre las actividades EPI, EA y A [meses].
$T_I$: Corresponde al tiempo de instalación [meses].
$T_{PM}$: Corresponde al tiempo de puesta en marcha [meses]

En este caso para la estimación del tiempo total de implementación, se debe considerar que las etapas EPI, EA y A generalmente se llevan a cabo de manera simultánea, por lo que, se considerará el máximo tiempo entre ellos (indicado como $T_{máx}$), al que se le deberá sumar el tiempo de instalación (I) y puesta en marcha (PM).

Sin embargo, según la disponibilidad de información se aplicará el procedimiento metodológico que se encuentra esquematizado en la Figura 5.8. En primera instancia, se deberá identificar para cada etapa la existencia o no de información de referencia relacionada a los tiempos de implementación, lo que permitirá realizar -o no- una estimación directa. Por lo cual, se cuenta con dos alternativas:

1. Determinación de tiempos referenciales: donde existe información de referencia
2. Determinación de tiempos probables: donde no existe información de referencia

**Figura 5.8 Metodología de determinación de tiempos de implementación de las MTD recomendadas**




Fuente: Elaboración propia.

#### 5.5.1.1 Determinación de tiempos referenciales

Los tiempos referenciales serán determinados a través de información bibliográfica directa, por lo cual, se deberá identificar en primer lugar la existencia de fuentes referenciales temporales acordes y/u homologables a la MTD evaluada bajo las etapas de evaluación.

#### 5.5.1.2 Determinación de tiempos probables

En caso de no existir antecedentes asociados a los tiempos de cada etapa, se deberán calcular los tiempos a través de la metodología de tiempos probables, para lo cual, se deberá clasificar a las MTD de acuerdo con su escala de modificación de los procesos de las plantas, por medio de

la categorización expuesta en la Tabla 5.5. Esta metodología utilizada mayormente para calcular el tiempo de finalización de la actividad en el método de la ruta crítica es mayormente utilizada para determinar la duración de un proyecto y considera que la duración puede seguir cualquier distribución teórica de probabilidades (Terrazas, 2011).

**Tabla 5.5 Clasificación de MTD según escala de modificación de los procesos de las plantas**

| Clasificación | Descripción |
|---|---|
| **>de un área** | Modificaciones de implementación afectan a más de un área (línea de fibra, sistema de recuperación química y energética, ciclo de cal y/o planta de tratamiento de RILes) |
| **Un área** | Modificaciones afectan a toda un área (línea de fibra, sistema de recuperación química y energética, ciclo de cal o planta de tratamiento de RILes) |
| **>de un sector** | Modificaciones afectan a más de un sector pero no a toda el área (cocción, lavado, blanqueo, evaporación, caustificación, etc.) |
| **Un sector** | Modificaciones afectan a un solo sector (cocción, lavado, blanqueo, evaporación, caustificación, etc.) |
| **Un equipo** | Modificaciones afectan a solo un equipo (instalación de un equipo) |

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizada la clasificación, los tiempos serán calculados a partir de rangos temporales, información que será recopilada tanto de fuentes externas como internas (incluyendo asesores internos). Para la obtención de un tiempo probable definitivo, se aplicó la Ecuación 2, la que entrega un tiempo probable de cumplimiento dentro del rango temporal dado.

$$\boldsymbol{T_p = \frac{T_o + 4 \cdot T_e + T_P}{6}}$$

**Ecuación 2 Determinación de tiempos probables**

Donde;

$T_p$: Corresponde al tiempo probable del criterio [meses], para cada etapa “p” o para la sumatoria de estas.
$T_o$: Corresponde al tiempo optimista que es el que representa el menor tiempo por el cual puede ejecutarse la actividad [meses].
$T_e$: Corresponde al tiempo esperado, que es la estimación más exacta posible si se dieran las condiciones esperadas [meses].
$T_P$: Corresponde al tiempo pesimista, que es el que representa el mayor tiempo por el cual puede ejecutarse la actividad[meses]
$p$: Corresponde a cada etapa a evaluar EPI, EA, A, I o PM.

### 5.5.2 Tiempos asociados a implementación de las MTD Recomendadas

De acuerdo a la aplicación de la metodología expuesta en la sección anterior del presente capítulo, se informa que los tiempos asociados a la puesta en marcha son aquellos que se encuentran expuestos en la Tabla 5.6, en donde se identifica a la MTD Instalación de lavado y filtración mejorada de los lodos de cal en la recaustificación como aquella con mayor temporalidad asociada con 22 [meses] (1 año y 10 meses), mientras que las MTD con menores

tiempos de implementación son aquellas basadas en la implementación o modificación de un equipo como cobertura de lagunas, reemplazo de las torres de enfriamiento por intercambiadores de calor y biofiltro con 16, 3 [meses] (1 año y 5 meses aproximadamente).

Cabe resaltar que para visualizar la aplicación de la metodología de estimación de estos tiempos se debe dirigir al Anexo 1.5.

**Tabla 5.6 Tiempos de implementación de las MTD recomendadas**

| MTD | Área[2] | Tiempo según Criterios [meses][1] | | | Tiempo total estimado [meses] |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $T_{máx\ [EPI, EA, A]}$ | I | PM | |
| **Instalación de lavado y filtración mejorada de los lodos de cal en la recaustificación.** | A3 | 14 | 1,5 | 6,5 | 22 |
| **Scrubber alcalino (HC)** | A3 | 11 | 3 | 4,7 | 18,7 |
| **Agentes neutralizantes** | A4 | 18 | 0,5 | 8,5 | 27 |
| **Scrubber alcalino** | A4 | 11 | 3 | 4,7 | 18,7 |
| **Cobertura de lagunas** | A5 | 11 | 0,6 | 4,7 | 16,3 |
| **Oxidación luz UV/Ozono** | A5 | 11 | 0,7 | 4,7 | 16,4 |
| **Reemplazo de torres de enfriamiento por intercambiadores de calor** | A5 | 11 | 0,6 | 4,7 | 16,3 |
| **Filtro de carbón activado** | A5 | 11 | 0,7 | 4,7 | 16,4 |
| **Biofiltro** | A5 | 11 | 0,6 | 4,7 | 16,3 |

Nota 1: EPI: Estudio de proyecto de ingeniería, EA: Evaluación ambiental, A: Adquisición, I: Instalación, PM: Puesta en marcha.
Nota 2: A1: Línea de fibra, A2: Sistema de recuperación química y energética, A3: Ciclo de cal, A4: Venteo, A5: Tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.6 Factibilidad técnico-económica de las MTD recomendadas

En el presente capítulo se expondrá la factibilidad técnico-económica (véase Tabla 5.7) de las MTD identificadas y recomendadas previamente en secciones anteriores. La mayoría de las MTD evaluadas (tal como se vio en la sección 5.3) ha sido aplicada o está pensada dentro del sector de las plantas de celulosa Kraft, por lo que, según ese criterio, se evidencian factibilidades de implementación, lo que las hace altamente recomendables para ser evaluadas en posibles escenarios regulatorios. La evaluación de la factibilidad técnico-económica para cada MTD indicada en la Tabla 5.7, se realizó por medio de la evaluación de criterios asociados al costo de inversión (I), costos de operación (O), costos de mantención (M), tiempo de implementación (ti), vida útil (VU), factibilidad técnica (FT) y factibilidad operativa (FO).

Finalmente, en el Anexo 1.9 se exponen fichas explicativas para cada MTD recomendada en la presente sección de informe en donde se resume la información más relevante.

**Tabla 5.7 Factibilidad técnica y económica de las MTD recomendadas**

| Área | MTD | Aspecto[1] | Valor[2] | Descripción | Incluye | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A3 | Instalación de lavado y filtración mejorada de los lodos de cal en la recaustificación. | I | 37.459 [UF] | - | Filtro LMD | Suhr *et al.,* (2015) |
| | | O | 3.746 [UF] | Valor de operación del 10% de la inversión | - | |
| | | M | 375 [UF] | Valor de mantención del 10% de la operación | - | |
| | | $T_i$ | 22 [meses] | - | - | Anexo 1.5 |
| | | VU | 10 [años] | | - | Supuesto por consultor. |
| | | FT | - | MTD considerada generalmente aplicable. | - | Suhr *et al.,* (2015) |
| | | FO | - | No requiere de espacio elevado, se requiere de monitoreo de sodio residual para no dañar el horno de cal. | - | |
| A3 | Scrubber alcalino (HC) | I | 263.710 [UF] | Costes de inversión también rondan los 10.000 a 50.000 EUR/1.000 $Nm^3/h$. Inversión necesaria para una fábrica de Kraft blanqueado con una capacidad de producción de 250.000 y 500.00 [ton/año] respectivamente | Incluye el lavador, las bombas de licor del lavador, las bombas de circulación, la electrificación y la instrumentación. | Suhr *et al.,* (2015); Van der Auweraert & Brouwer (2022) |
| | | O | 19.103-22-475 [UF] | - | Incluye costos de operación relacionado a consumos energético y de medio de lavado. | Suhr *et al.,* (2015) |
| | | M | 1.910-2.248 [UF] | Valor de mantención del 10% de la operación | . | |
| | | $T_i$ | 18,7 [meses] | - | - | Anexo 1.5 |
| | | VU | 10 a 15 [años] | Siempre y cuando se realice un correcto | - | GreenLab-DICTUC (2021) |

| Área | MTD | Aspecto[1] | Valor[2] | Descripción | Incluye | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | funcionamiento y mantenciones adecuadas. | | |
| | | FT | - | La instalación de un scrubber se realiza preferentemente al mismo tiempo que se instala un equipo de combustión nuevo. Por otro lado, se reconocen proveedores nacionales. | - | Suhr *et al.*, (2015); Información levantada a través de cotizaciones a proveedores y laboratorios |
| | | FO | - | Actualmente existen Scrubbers instalados antes del horno de cal y caldera recuperadora. | - | Reportes Anexo 1.3. |
| A4 | Agentes neutralizantes | I | 15.003 [UF] | - | Sistema de aspersión, agente neutralizante. | Información levantada a través de cotizaciones a proveedores y laboratorios |
| | | O | 51.676 [UF] | - | Agente neutralizante | |
| | | M | 164 [UF] | - | Mantención del sistema completo. | |
| | | $T_i$ | 27 [meses] | | - | Anexo 1.5 |
| | | VU | 10 [años] | | - | Supuesto por consultor. |
| | | FT | - | Tecnología existente a nivel nacional. Plantas actualmente cuentan con el sistema implementado. | - | Información levantada a través de cotizaciones a proveedores y laboratorios |
| | | FO | - | No requiere espacio elevado. Aplicable a diversas fuentes. | - | Información obtenida de visitas realizadas a las plantas |
| A5 | Cobertura de lagunas | I | 0,006-0,555 [UF/m$^2$] | Rango de inversión considera los límites | Incluye la cubierta de geotextil | Envirometrika (2019) |

| Área | MTD | Aspecto[1] | Valor[2] | Descripción | Incluye | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | mínimo y máximo de distintas opciones de cubiertas (véase Apéndice 5) | (flexible)/tejida (flexible)/de ensilado (flexible). | |
| | | O | 0 | Sin costos de operación | - | |
| | | M | 0 | Sin costos de mantención | - | |
| | | $T_i$ | 16,3 [meses] | - | - | Anexo 1.5 |
| | | VU | 1-20 [años] | - | - | Quality Silage (s.f); Cubiertas Tensadas (2021) |
| | | FT | - | Existe una amplia gama de cubiertas disponibles a nivel nacional para lagunas. | - | Información levantada a través de cotizaciones a proveedores y laboratorios. |
| | | FO | - | No requiere grandes exigencias operacionales, ni superficie adicional a la laguna. | - | |
| A5 | Oxidación luz UV/Ozono | I | 0,26 [UF/m$^3$/h] | Para aplicabilidad de 2.000 a 58.000 [m$^3$/h] | Instalación completa | GreenLab-DICTUC (2021) |
| | | O | 0,03 [UF/m$^3$/h] | | Se debe considerar costo de energía eléctrica de luz y ventilador para impulsar el flujo. | GreenLab-DICTUC (2021 |
| | | M | 89 [UF/l] | Valor de mantención del 10% de la operación para un flujo de 1.000 m$^3$. | Mantención al sistema completo. | - |
| | | $T_i$ | 16,4 [meses] | - | - | Anexo 1.5 |
| | | VU | 0,11 [años] | Determinado por la vida útil de lámpara UV. | - | Indicado por titular en visitas realizadas a las plantas |
| | | FT | - | Tecnologías disponibles a nivel nacional y aplicadas | - | Información obtenida de |

| Área | MTD | Aspecto[1] | Valor[2] | Descripción | Incluye | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | en el sector. No requiere de grandes espacios para su instalación. | | visitas realizadas a las plantas |
| | | FO | - | Se espera que los contaminantes como $H_2S$, $NH_3$, aminas o mercaptanos sea menor a los 50 ppm de concentración y que la temperatura sea menos a 60°C. | - | Schenk *et al.*, (2009) |
| A5 | Reemplazo de torres de enfriamiento por intercambiadores de calor | I | 352 [UF/1.000 $Nm^3$/h] | Para enfriamiento con agua fría o salmuera | Instalación y sistema completo | Van der Auweraert & Brouwer (2022 |
| | | O | 35 [UF/1.000 $Nm^3$/h] | - | Considera costos de personal | GreenLab-DICTUC (2021) |
| | | M | 4 [UF/1.000 $Nm^3$/h] | - | Mantención a sistema completo | |
| | | $T_i$ | 16,3 [meses] | - | - | Anexo 1.5 |
| | | VU | >10 [años] | - | - | Nautilus (2022) |
| | | FT | - | Existe la tecnología a nivel nacional. Tecnología implementada o a implementar en el sector a nivel nacional. | - | Información levantada a través de cotizaciones a proveedores y laboratorios; Información obtenida de visitas realizadas a las plantas |
| | | FO | - | Para la implementación del condensador se debe considerar la temperatura del gas residual, la humedad del gas y el | - | GreenLab-DICTUC (2021). |

| Área | MTD | Aspecto[1] | Valor[2] | Descripción | Incluye | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | caudal total de entrada. La temperatura de condensación de los gases residuales debe superar los 40°C. | | |
| A5 | Filtro de carbón activado | I | 3.325 [UF] | Para filtro de carbón catalítico y para carbón no impregnado. Depende del tipo de carbón y de la cantidad de recargas. | Instalación completa | GreenLab-DICTUC (2021); Van der Auweraert &Brouwer (2022) |
| | | O | 4.792 [UF] | | Incluye agua (no requiere de mucha), no requiere de aditivos químicos. | |
| | | M | 479 [UF] | Para filtro de carbón catalítico y para carbón no impregnado respectivamente. | Incluye material del lecho (carbón). | |
| | | $T_i$ | 16,4 [meses] | - | - | Anexo 1.5 |
| | | VU | >5 [años] | Depende de recambios y tipo de carbón | - | Corey & Zappa (2016) |
| | | FT | - | Existe la tecnología a nivel nacional. | | Información levantada a través de cotizaciones a proveedores y laboratorios |
| | | FO | - | La temperatura de operación y humedad del gas contaminado se debe encontrar por debajo del punto de ignición del carbón (material adsorbente). Para el H2S, este no debe superar los 2 ppm en carbón activado simple y de 20 a 30 ppm con máximas de 200 ppm para carbones | - | GreenLab-DICTUC (2021) |

| Área | MTD | Aspecto[1] | Valor[2] | Descripción | Incluye | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | impregnados y catalíticos, respectivamente. | | |
| A5 | Biofiltro | I | 766 [UF] | Para flujo volumétrico de 200 CFM y concentración de 200 ppm | Sistema completo | GreenLab-DICTUC (2021) |
| | | O | 38 [UF] | | Incluye consumo de agua, productos químicos (nutrientes, ácidos, bases) y consumo eléctrico para la bomba y posiblemente un ventilador. | |
| | | M | 3.81 [UF/año] | - | Mantención general | |
| | | $T_i$ | 16,3 [meses] | - | - | Anexo 1.5 |
| | | VU | 8 a 15 [años] | Reemplazo de lecho filtrante cada 3-5 años | - | Schenk *et al.*, (2009); Bindra *et al.*, (2015) |
| | | FT | - | Existe la tecnología a nivel nacional. Tecnología implementada en el sector a nivel nacional | - | Información levantada a través de cotizaciones a proveedores y laboratorios; Información obtenida de visitas realizadas a las plantas |
| | | FO | - | Tecnología efectiva para la depuración de olores de gases NH3, H2S y VOCs en bajas concentraciones, para un flujo volumétrico de 200 a 10.000 m3/h, según los requerimientos. Utiliza poca energía (<1 | - | GreenLab-DICTUC (2021) |

| Área | MTD | Aspecto[1] | Valor[2] | Descripción | Incluye | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | kW/1.000m³/h. Las condiciones de operación deben ser poco variables | | |

Nota 1: I: Inversión, O: Operación, M: Mantención, $T_i$: Tiempo de implementación, VU: Vida útil, FT: Factibilidad técnica, FO: Factibilidad operativa, N/I: No se identifica
Nota 2: Valores de costos resumidos y/o acotados, para ver más opciones y detalles véase Apéndice 5.
Nota 3: USD: Dólar estadounidense, EUR: EURO, CFM: Pies cúbicos por minuto.

Fuente: Elaboración propia.

# 6. Inventario de emisiones

En esta sección se compila la información disponible para elaborar dos inventarios de emisiones a nivel nacional, uno para para TRS y otro para olores de las plantas de RILes, asociados a la industria de fabricación de pulpa Kraft. Desde estas estimaciones se realiza una proyección a 10 años.

## 6.1 Metodología para la realización de inventario de emisiones

Para la estimación del inventario se considerará como año base el último año calendario completo a la fecha de inicio de la presente consultoría, que corresponde al año 2021. Esta decisión se basa en que, por un lado, se busca que el inventario refleje la condición actual de las emisiones de las fuentes reguladas y, por otro, en este año se espera contar con información completa y verificada por la SMA. La metodología general de estimación de las emisiones se realiza empleando la metodología de cálculo recomendada en el "*Manual para Desarrollo de Inventarios*" (MMA, 2017). Según las definiciones de dicho manual, la ecuación general para la estimación de emisiones es:

$$Em_{i,j} = NA_i \cdot FE_{i,j}$$

**Ecuación 3 Estimación de emisiones**

Donde;

$Em_{i,j}$: Emisiones del contaminante “j” en la fuente “i”
$NA_i$: Nivel de actividad en la fuente “i”
$FE_{i,j}$: Factor de emisión[13] del contaminante “j” en la fuente “i”

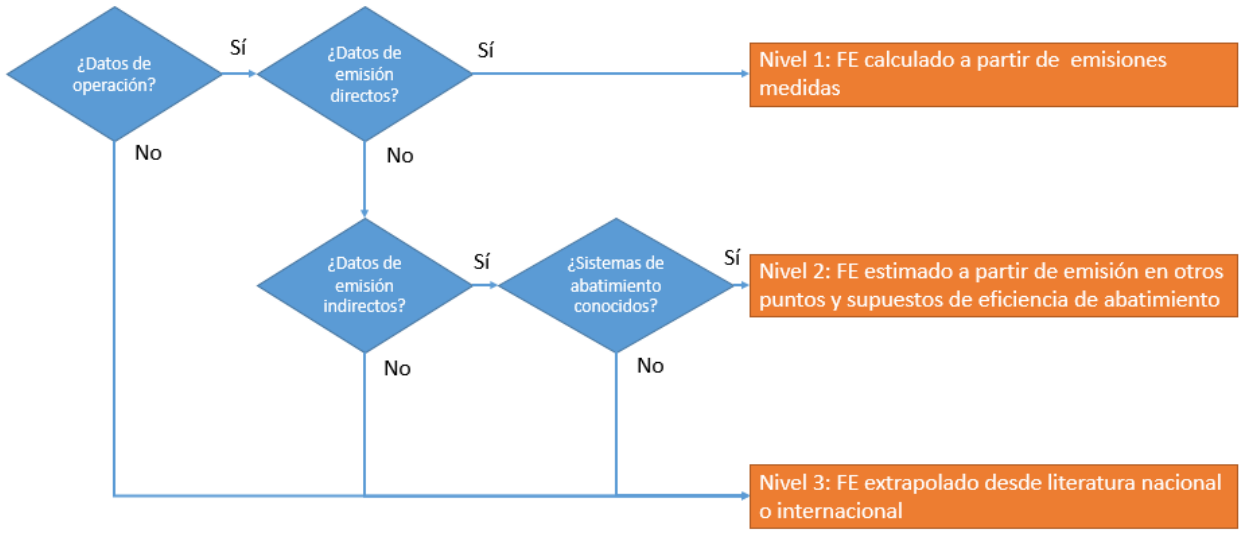
De la Ecuación 3 se sigue que el factor de emisión para una fuente determinada representa la relación promedio entre el nivel de emisión de un contaminante y el nivel de actividad de la fuente. Dado lo anterior, las estimaciones de emisiones inventariadas son especialmente sensibles a los factores de emisión considerados, y el nivel de incertidumbre de los FE se propaga a la estimación de emisiones. En vista de lo anterior, para el presente inventario se propone una escala de prioridades para la selección de factores de emisión considerando tres niveles, que prioricen aquellos FE con menor incertidumbre.

En el primer nivel, las emisiones, y por consiguiente su factor de emisión, se obtiene a partir de información de mediciones y/o monitoreos realizados durante la operación de las fuentes en cuestión. En un segundo nivel, los factores de emisión se estiman a partir de mediciones en fuentes relacionadas (es decir, fuentes asimilables a la estudiada). Por último, en el tercer nivel,

[13] En esta ecuación se incluye dentro del factor de emisión cualquier tecnología de abatimiento incorporada en la fuente emisora, por lo que, el término Eficiencia de Abatimiento (EA) se omite.

los factores de emisión utilizados provienen de fuentes secundarias de información como literatura nacional e internacional. Durante la selección de factores de emisión se prioriza los primeros niveles, pero se ve limitada por la información disponible (ver árbol de decisión en la Figura 6.1).

**Figura 6.1 Árbol de decisiones para selección de factores de emisión a utilizar en cada fuente**




Fuente: Elaboración propia

Según lo anterior y considerando las fuentes de información presentadas en secciones anteriores, se utilizará el Nivel 1 para las fuentes fijas reguladas, correspondientes a la caldera recuperadora (CR), el horno de cal (HC) y la caldera de poder (CP). En este grupo de fuentes sólo los incineradores (Inc) son excluidos, dado que a pesar de contar con información de la concentración promedio de sus emisiones, no se cuenta con información suficiente para realizar una estimación informada de su caudal volumétrico.

Para las emisiones asociadas al venteo, ya sea de gases CNCG o DNCG, se utiliza el Nivel 2. En este caso, se estima la tasa de emisión por establecimiento a partir de las tasas de emisión de las fuentes que sí cuentan con mediciones (Nivel 1). El supuesto es que las tasas de emisiones de venteo corresponden a emisiones sin ningún tipo de control, y se estiman a partir de las emisiones controladas en la CR y HC, suponiendo que estas fuentes cuentan con una eficiencia de sistemas de control de 95% (Environmental Protection Agency, 1990).

Finalmente, se utilizará el Nivel 3, para el grupo de emisiones fugitivas (zonas de soplado, lavado, evaporadores, condensador de trementina y gases diluidos de otras áreas) y las fuentes relacionadas con las plantas de RILes. Lo anterior, se resumen en la Tabla 6.1 mientras que a continuación se presentan mayores detalles metodológicos de cada uno de los niveles.

**Tabla 6.1 Niveles a utilizar según fuentes de emisión**

| Grupo de fuentes | Fuentes[1] | Nivel a utilizar |
|---|---|---|
| **Fuentes fijas reguladas** | CR | **Nivel 1**. Se cuenta con información de concentraciones. Caudal se estima a partir de nivel de producción |
| | HC | |
| | CP | |
| | Inc | **No aplica.** Si bien se cuenta con información de la concentración promedio de sus emisiones, no se cuenta con información suficiente para estimar su caudal de gases. |
| **Venteo** | CNCG | **Nivel 2.** A partir de las mediciones de las fuentes reguladas, se estima tasa de emisión por establecimiento suponiendo eficiencia de sistemas de control (95%) (Environmental Protection Agency, 1990) |
| | DNCG | |
| **Fugitivas** | Zona de soplado | **Nivel 3.** Por su naturaleza no se cuentan con mediciones de estas emisiones por lo que se recurren a los factores de emisión propuestos por la US-EPA (Environmental Protection Agency, 1990). |
| | Zona de lavado | |
| | Zona de evaporadores | |
| | Condensador de Trementina | |
| | Gases diluidos en otras áreas | |
| **Planta RILes** | Planta RILes | **Nivel 3**. A partir de estudios de impacto odorantes realizados en el país se estima factor de emisión para el resto de los establecimientos. |

Nota 1: Siglas de tipo de fuente consisten en CR (Caldera recuperadora), HC (Horno de cal), CP (Caldera de poder), Inc (Incinerador).

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.1 Factores de emisión TRS

En el caso de las fuentes que utilizan el **Nivel 1**, se puede representar la Ecuación 3 como se indica a continuación, donde las concentraciones son las reportadas ante la SMA, y el caudal de salida es estimado a partir de las capacidades productivas de los establecimientos.

$$Em_{i,j} = \frac{NA_i \cdot Q_i \cdot C_{i,j}}{1e^9}$$

**Ecuación 4 Estimación de emisiones para Nivel 1**

Donde;

$Em_{i,j}$: Emisiones desde fuente i, contaminante j [ton/año]
$NA_i$: Nivel de actividad fuente i [h/año]
$Q_i$: Caudal de salida fuente i [$m^3$/h]
$C_{i,j}$: Concentración fuente i, contaminante j, [mg/$m^3$]

En el caso de las fuentes que utilizan el Nivel 1 de emisiones es necesario realizar una estimación del caudal en relación con su producción. Para ello se recurre a los datos de referencia indicados

en el estudio de Alberta Environment (2008) (desde donde se utiliza los datos de producción a 8% (Table 2.6), originalmente para kiln 4200 (a 10%)). Por su parte, para las calderas de poder (CP) se usa como referencia el estudio "*Antecedentes para la Elaboración de la Norma Nacional de Calderas y Procesos de Combustión (Hornos de Vidrio y Cementeras)*" (GreenLab-DICTUC, 2016), donde se estima una ratio de 1.030 [$m^3S/h$] por cada MW adicional de capacidad térmica en calderas de poder.

**Tabla 6.2 Caudales según fuente de emisión Nivel 1**

| Fuente | Caudal [$m^3S/h$ / Adt/h] |
|---|---|
| **Caldera recuperadora** | 9.100 |
| **Horno de cal** | 3.550 |
| **Estanque disolvedor** | 830 |
| **Caldera de poder[1]** | 1.030 |
| **Incinerador** | s/i |

Nota 1: Para caldera de poder la unidad corresponde a (m3S/h)/MWt.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Alberta Environment, 2008; GreenLab-DICTUC, 2016)

A partir de los datos de concentración reportados a la SMA y los caudales estimados según lo recién descrito se pueden obtener tasas de emisión promedio para cada una de las fuentes con reportes. Esta estimación se presenta en la Tabla 6.3.

**Tabla 6.3 Tasa de emisión TRS [kg/min] estimada**

| ID Planta | Fuente[1] | Concentración promedio reportada [ppm] | Tasa Emisión [kg TRS/min] |
|---|---|---|---|
| PCK-01 | CR1 | 0,50 | 3,5 |
| | CR2 | 0,50 | 6,2 |
| PCK-02 | CR | 1,13 | 8,8 |
| PCK-03 | CR | 1,09 | 4,1 |
| PCK-04 | CR | 0,37 | 2,4 |
| PCK-05 | CR | 0,43 | 10,6 |
| PCK-06 | CR | 0,31 | 3,9 |
| PCK-07 | CR1 | 1,02 | 9,9 |
| | CR2 | 1,85 | 41,2 |
| PCK-08 | CR | 0,23 | 2,8 |
| PCK-01 | HC1 | 1,31 | 3,5 |
| | HC2 | 5,14 | 25,1 |
| PCK-02 | HC | 0,53 | 1,6 |
| PCK-03 | HC | 2,56 | 3,8 |
| PCK-04 | HC | 2,67 | 6,8 |
| PCK-05 | HC | 7,36 | 69,9 |
| PCK-06 | HC | 6,15 | 29,9 |
| PCK-07 | HC1 | 1,69 | 6,4 |
| | HC2 | 2,41 | 20,9 |
| PCK-08 | HC | 2,96 | 14,1 |

| ID Planta | Fuente[1] | Concentración promedio reportada [ppm] | Tasa Emisión [kg TRS/min] |
|---|---|---|---|
| PCK-01 | CP1 | 0,53 | 2,1 |
| | CP2 | 1,21 | 9,0 |
| PCK-04 | CP | 0,23 | 1,9 |

Nota 1: Siglas de tipo de fuente consisten en CR (Caldera recuperadora), HC (Horno de cal), CP (Caldera de poder), Inc (Incinerador).

Fuente: Elaboración propia

Para el **Nivel 2** se usa la siguiente ecuación, donde se estima el factor de emisión de la fuente en cuestión a partir del factor de emisión conocido de una fuente directamente relacionada. Este factor de emisión es útil para procesos como venteos. Este método es similar al aprobado por la SMA y usado para la estimación reportada anualmente de las emisiones de la fundición Ventana (Codelco Chile, 2020).

$$Em_{i,j} = NA_i \cdot FE_i(FE_j) = NA_i \cdot \frac{FE_j}{1 - EA_{ij}}$$

**Ecuación 5 Estimación de emisiones para Nivel 2**

Donde;

$Em_{i,j}$: Emisiones desde fuente "i", contaminante "j", [ton/año]
$NA_i$: Nivel de actividad fuente "i", [h/año]
$FE_i(FE_j)$: Factor de emisión de la fuente "i", que se estima a partir del factor de emisión de la fuente "j" [ton/h]
$FE_j$: Factor de emisión de la fuente "j", en este caso estimado a partir de primer nivel de factor de emisión, es decir, por medio de mediciones [ton/h]
$EA_{ij}$: Eficiencia de abatimiento entre fuente "i" y fuente "j" (%). Supuesto de 95% basado en propuesta de US-EPA.

La aplicación de esta metodología permite estimar tasas de emisión descontroladas para los eventos de venteo, los cuales varían para cada uno de los establecimientos. Los resultados de las tasas de emisión se presentan en la Tabla 6.4. Las diferencias entre los establecimientos están influenciadas tanto por las diferencias en su medición de concentración promedio en sus emisiones, como por el caudal de las emisiones sin tratar, el cual es proporcional a la capacidad de tratamiento de celulosa. Cabe destacar que, de acuerdo a la información provisto por los establecimientos mediante visitas, entrevistas y RCA aprobadas, algunos de los puntos de venteo cuentan con sistemas de captación y/o tratamiento. El detalle de esto se encuentra en la Tabla 3.11.

**Tabla 6.4 Tasa de emisión descontrolada venteo [kg TRS/min] estimada**

| ID Planta | Tasa Emisión Venteo [kg TRS/min] |
|---|---|
| PCK-01 | 191,4 |
| PCK-02 | 104,1 |
| PCK-03 | 78,4 |
| PCK-04 | 92,7 |
| PCK-05 | 804,6 |
| PCK-06 | 337,5 |
| PCK-07 | 392,0 |
| PCK-08 | 169,1 |

Fuente: Elaboración propia

Por último, para las emisiones de las fuentes fugitivas (**Nivel 3**) se usa directamente los factores de emisión de la literatura, donde se utiliza como referencia principalmente los factores indicados en la US - EPA (Environmental Protection Agency, 1990).

**Tabla 6.5 Factores de emisión de TRS Nivel 3**

| Grupo de fuentes | Fuentes | $H_2S$ [kg/ADt pulpa] | MM-DMS-DMDS[1] [kg/ADt pulpa] | TRS [kg/ADt pulpa] |
|---|---|---|---|---|
| Fugitivas | Zona de soplado | 0,02 | 0,6 | 0,62 |
| | Zona de lavado | 0,01 | 0,05 | 0,06 |
| | Zona de evaporadores | 0,55 | 0,05 | 0,6 |
| | Condensador de Trementina | 0,005 | 0,25 | 0,255 |
| | Gases diluidos en otras áreas | - | 0,25 | 0,25 |

Nota 1: MMD-DMS-DMDS se refiere a Metil mercaptano-Dimetil sulfuro-Disulfuro de dimetilo respectivamente

Fuente: US – EPA AP-42, Wood Products Industry, 10.2 Chemical Wood Pulping, Table 10.2-1 (Environmental Protection Agency, 1990).

### 6.1.2 Factores de emisión de olores

Para el caso de la estimación de la tasa de emisión de olores se realiza una estimación proporcional a partir de la estimación de Estudios de Impacto Odorante de referencia disponibles. De los EIO disponibles (plantas PCK-04, PCK-06 y PCK-07) se identifican las siguientes fuentes y tasas de emisión promedio (ver Tabla 6.6), homologadas en base a los EIO de las plantas PCK-04 y PCK-07 de acuerdo con la disponibilidad de información.

Cabe destacar que se descartan las emisiones de olor procedentes de las fuentes reguladas por el DS37/2013 debido a sus descriptores de olor, ya que podrían presentar descriptores asociados a combustión, el propio de cualquier otro tipo de unidad de combustión ajena al sector de producción de celulosa.

**Tabla 6.6 Factor de emisión [$OU_E$/s/kADt/año] de olor para fuentes de tratamiento de RILes**

| Fuente | Factor de emisión | Unidad emisora de olor | Factor de emisión |
|---|---|---|---|
| Agua de cola | 3,5 | Estanque de lodos | 0,8 |
| Biorreactor AST | 27,5 | Edificio de prensa de lodos | 0,2 |
| Biorreactor MBBR1 | 11,4 | Estanque de lodos | 0,3 |
| Biorreactor MBBR2 | 14,1 | Estanque de neutralización | 1.706,3 |
| Bunker de lodos (a efluentes primarios) | 37,8 | Harnero de barras | 2,3 |
| Cámara de llegada efluentes parciales | 0,1 | Laguna de emergencia | 303,0 |
| Cámara de neutralización | 19,0 | Laguna de regulación | 37,2 |
| Cámara de rejas con drenado ADC | 23,4 | Nuevo estanque de lodos | 643,5 |
| Canaleta Parshall secundario | 6,4 | Parshall 4 | 1,6 |
| Clarificador primario centro | 20,9 | Pozo 1 alto sólidos | 1,7 |
| Clarificador primario centro 1 | 1,8 | Pozo de bombeo Sur/Este/Oeste | 11,7 |
| Clarificador primario centro 2 | 1,4 | Prensa de lodos | 4,8 |
| Clarificador primario espejo | 133,7 | Salida de tratamiento fotolítico (TK neutralización) | 36,8 |
| Clarificador primario espejo 1 | 24,0 | Torre de enfriamiento 1-extracción | 560,3 |
| Clarificador primario espejo 2 | 51,6 | Torre de enfriamiento 2-extracción | 359,7 |
| Clarificador secundario centro | 4,1 | Torre de enfriamiento 3-extracción | 350,7 |
| Clarificador secundario centro 1 | 0,5 | Torre de enfriamiento 4-extracción | 251,8 |
| Clarificador secundario centro 2 | 0,6 | Torre de enfriamiento-rebalse | 4,1 |
| Clarificador secundario espejo | 499,7 | Torres de enfriamiento rebalse 1 | 0,5 |
| Clarificador secundario espejo 1 | 14,6 | Torres de enfriamiento rebalse 2 | 0,5 |
| Clarificador secundario espejo 2 | 19,4 | Torres de enfriamiento rebalse 3 | 0,6 |
| Clarificador secundario rebalse 1 | 89,2 | Torres de enfriamiento rebalse 4 | 0,7 |
| Clarificador secundario rebalse 2 | 81,1 | | |

Fuente: A partir de EIOs disponibles

## 6.2 Análisis distancia-receptores

Según los resultados de los Estudios de Impacto Odorantes disponibles, las isodoras[14] presentan un área de impacto prácticamente circular, es decir, las isodoras resultan simétricas con respecto al centro centroide del perímetro de cada planta. Por lo tanto, para definir los receptores se identificaron las localidades en los radios simétricos comprendidos entre los rangos de 1, 5 y 10 [km] con respecto al centroide del perímetro de cada planta. Dichas localidades, corresponden a las identificadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE) según los datos del censo 2017, para lo cual se utiliza la siguiente clasificación (INE, 2017):

- Ciudad: entidad urbana que cuentan con más de 5.000 habitantes, con la excepción de las entidades urbanas que tienen menos de 5.000 habitantes pero que cumplen con la característica político-administrativa de capital regional o provincial.
- Pueblo: entidad urbana que cuenta con una población que fluctúa entre 2.001 y 5.000 habitantes o entre 1.001 y 2.000 habitantes, donde menos del 50% de la población que declara haber trabajado, se dedica a actividades primarias.
- Aldea: entidad rural, cuya población fluctúa entre 301 y 2.000 habitantes, o entre 1.001 o 2.000 habitantes, con más del 50% de su población dedicada a actividades primarias. Presenta generalmente amanzanamiento y/o continuidad de viviendas en torno a una vía de comunicación estructurante.
- Caserío: entidad rural con nombre propio que posee 3 viviendas o más, cercanas entre sí, con menos de 301 habitantes y que no forma parte de otra entidad.

Según lo anterior y las localidades identificadas en la Tabla 6.7, la planta PCK-02 es la que alcanza una mayor población total de 35.730 en un radio máximo de 10 [km]. Le sigue la planta PCK-01 con una población alcanzada total de 28.011 habitantes. La identificación de cada una de las localidades en geolocalización se especifica en el Anexo 1.6.

**Tabla 6.7 Localidades receptoras por planta**

| ID Planta | Radio | Clasificación | Población por localidad | Total viviendas | Población total |
|---|---|---|---|---|---|
| PCK-01 | 0 – 1 [km] | - | - | - | 28.011 |
| | 1 – 5 [km] | Caserío | 91 | 34 | |
| | | Caserío | 357 | 149 | |
| | | Caserío | 168 | 61 | |
| | | Ciudad | 5.014 | 1.666 | |
| | 5 – 10 [km] | Caserío | 19 | 31 | |
| | | Caserío | 30 | 41 | |
| | | Ciudad | 17.597 | 6.253 | |
| | | Pueblo | 3.364 | 1.145 | |
| | | Aldea | 644 | 201 | |

[14] Líneas de isoconcetración, mediante las cuales se representan los resultados de modelación de impacto odorante, formadas por puntos de igual concentración de olor graficadas en un mapa de la zona objeto de estudio

| ID Planta | Radio | Clasificación | Población por localidad | Total viviendas | Población total |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Aldea | 570 | 204 | |
| | | Caserío | 157 | 48 | |
| PCK-02 | 0 – 1 [km] | Ciudad | 34.022 | 12.837 | 35.730 |
| | 1 – 5 [km] | Caserío | 151 | 51 | |
| | | Caserío | 29 | 13 | |
| | | Caserío | 171 | 66 | |
| | | Caserío | 154 | 44 | |
| | 5 – 10 [km] | Caserío | 30 | 14 | |
| | | Caserío | 27 | 9 | |
| | | Caserío | 58 | 25 | |
| | | Caserío | 52 | 13 | |
| | | Caserío | 32 | 9 | |
| | | Aldea | 557 | 209 | |
| | | Caserío | 51 | 20 | |
| | | Caserío | 17 | 8 | |
| | | Caserío | 43 | 21 | |
| | | Aldea | 336 | 118 | |
| PCK-03 | 0 – 1 [km] | - | - | - | 4.937 |
| | 1 – 5 [km] | Pueblo | 3.309 | 1.362 | |
| | | Caserío | 95 | 37 | |
| | | Caserío | 56 | 28 | |
| | | Caserío | 252 | 136 | |
| | | Caserío | 198 | 123 | |
| | 5 – 10 [km] | Caserío | 302 | 135 | |
| | | Caserío | 30 | 15 | |
| | | Caserío | 109 | 33 | |
| | | Caserío | 209 | 84 | |
| | | Caserío | 176 | 74 | |
| | | Caserío | 201 | 91 | |
| PCK-04 | 0 – 1 [km] | Ciudad | 16.089 | 5.064 | 20.323 |
| | 1 – 5 [km] | Caserío | 12 | 15 | |
| | | Ciudad | 2.858 | 1.103 | |
| | | Aldea | 365 | 129 | |
| | 5 – 10 [km] | Caserío | 427 | 175 | |
| | | Caserío | 85 | 29 | |
| | | Caserío | 55 | 44 | |
| | | Caserío | 57 | 22 | |
| | | Caserío | 121 | 51 | |
| | | Caserío | 61 | 34 | |
| | | Caserío | 5 | 47 | |
| | | Caserío | 30 | 18 | |
| | | Caserío | 64 | 37 | |
| | | Caserío | 94 | 57 | |
| PCK-05 | 0 – 1 [km] | - | - | - | 15.947 |
| | 1 – 5 [km] | Caserío | 67 | 26 | |
| | | Caserío | 298 | 132 | |
| | | Caserío | 297 | 117 | |
| | | Caserío | 127 | 65 | |
| | | Pueblo | 1.276 | 586 | |
| | | Caserío | 49 | 31 | |
| | | Caserío | 193 | 161 | |
| | 5 – 10 [km] | Caserío | 118 | 65 | |

| ID Planta | Radio | Clasificación | Población por localidad | Total viviendas | Población total |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Caserío | 19 | 14 | |
| | | Caserío | 22 | 12 | |
| | | Caserío | 71 | 46 | |
| | | Ciudad | 10.279 | 5.410 | |
| | | Caserío | 98 | 54 | |
| | | Caserío | 173 | 67 | |
| | | Caserío | 146 | 58 | |
| | | Caserío | 13 | 6 | |
| | | Caserío | 36 | 15 | |
| | | Caserío | 92 | 35 | |
| | | Caserío | 48 | 17 | |
| | | Caserío | 18 | 17 | |
| | | Caserío | 20 | 8 | |
| | | Caserío | 104 | 54 | |
| | | Caserío | 132 | 55 | |
| | | Caserío | 129 | 48 | |
| | | Caserío | 245 | 111 | |
| | | Caserío | 13 | 8 | |
| | | Pueblo | 1.580 | 670 | |
| | | Caserío | 115 | 73 | |
| | | Caserío | 169 | 86 | |
| **PCK-06** | 0 – 1 [km] | Pueblo | 2.005 | 722 | 2.562 |
| | 1 – 5 [km] | - | - | - | |
| | 5 – 10 [km] | Caserío | 89 | 25 | |
| | | Caserío | 274 | 135 | |
| | | Caserío | 194 | 81 | |
| **PCK-07** | 0 – 1 [km] | Ciudad | 22.857 | 8.137 | 27.372 |
| | 1 – 5 [km] | Caserío | 119 | 41 | |
| | | Caserío | 113 | 35 | |
| | | Caserío | 76 | 39 | |
| | 5 – 10 [km] | Caserío | 94 | 57 | |
| | | Caserío | 25 | 36 | |
| | | Caserío | 286 | 109 | |
| | | Pueblo | 2.305 | 843 | |
| | | Caserío | 97 | 33 | |
| | | Pueblo | 1.202 | 431 | |
| | | Caserío | 34 | 13 | |
| | | Caserío | 164 | 51 | |
| **PCK-08** | 0 – 1 [km] | Caserío | 107 | 43 | 11.337 |
| | | Caserío | 13 | 5 | |
| | 1 – 5 [km] | Aldea | 636 | 232 | |
| | | Aldea | 744 | 240 | |
| | 5 – 10 [km] | Ciudad | 9.767 | 3.353 | |
| | | Caserío | 70 | 27 | |

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos disponibles en la plataforma de División político Administrativa y Censal 2017 del INE (INE, 2017).

## 6.3 Inventario y proyección de emisiones

En la presente sección se presenta primero las emisiones estimadas para el año base (2021). Posteriormente, se presenta la proyección de las emisiones inventariadas para 10 años (2021-2030) en el escenario base. En ambas secciones se diferencias las emisiones de TRS de aquellas estimaciones de los olores asociados al tratamiento de RILes. En la sección 9.1 se presenta la proyección de las emisiones para los escenarios regulatorios a evaluar. Todos los resultados presentados en la presente sección pueden ser revisado con mayores detalles en el Apéndice 2.

### 6.3.1 Emisiones inventariadas año base

#### 6.3.1.1 TRS

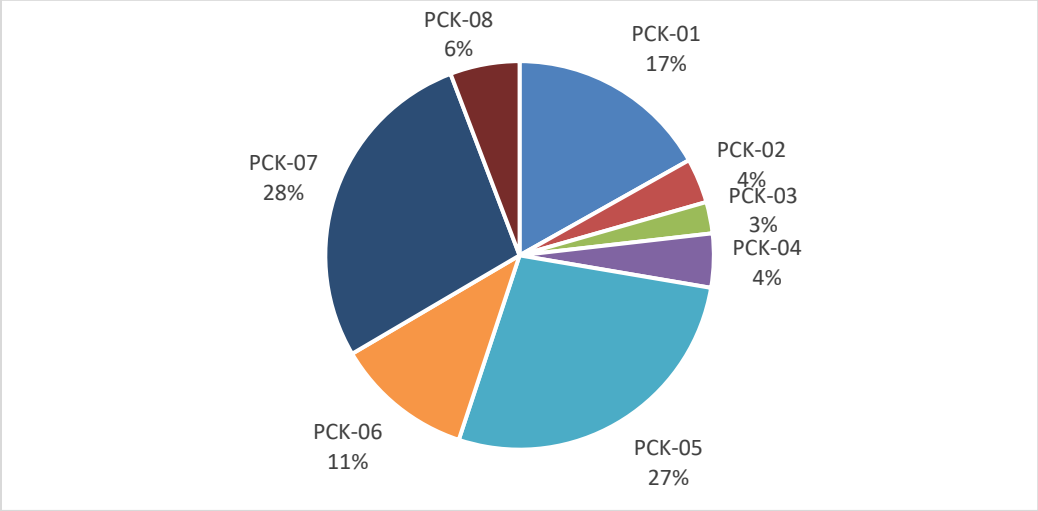
Para el año base se estiman que el total de emisiones de TRS está en torno a las 150 mil [ton/año]. El rango de incertidumbre de las emisiones presentadas en la Tabla 6.8 sólo incluye la incertidumbre asociada al valor medio de las concentraciones, de acuerdo con la dispersión de los datos observados en los últimos años. Se observa que existe un amplio margen respecto a la contribución de cada uno de los establecimientos, observándose que los tres establecimientos con mayores emisiones superan el 70% del total de emisiones (ver Figura 6.2).

**Tabla 6.8 Estimación de emisiones TRS [ton/año] según establecimiento**

| Establecimiento | Percentil 5 | Estimación central | Percentil 95 |
|---|---|---|---|
| **PCK-01** | 25.088 | 25.222 | 25.342 |
| **PCK-02** | 5.517 | 5.568 | 5.623 |
| **PCK-03** | 3.873 | 3.915 | 3.956 |
| **PCK-04** | 6.694 | 6.719 | 6.744 |
| **PCK-05** | 40.873 | 41.000 | 41.128 |
| **PCK-06** | 17.074 | 17.178 | 17.277 |
| **PCK-07** | 36.357 | 41.417 | 46.683 |
| **PCK-08** | 8.598 | 8.656 | 8.712 |
| **Total** | **144.074** | **149.674** | **155.465** |

Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.2 Distribución de emisiones TRS por establecimiento**




Fuente: Elaboración propia

Respecto a su distribución por tipo de fuente, se observa que el grueso de las emisiones corresponde a las emisiones de las fuentes puntuales. Se observa que las emisiones fugitivas corresponden a una fracción menor (1% promedio), mientras que los venteos alcanzan cerca del 0,12% de las emisiones. Cabe destacar que, si bien estos últimos contribuyen poco al promedio anual de las emisiones, al ocurrir durante periodos muy breves pueden resultar significativos durante dichos periodos.

Sin perjuicio de que en términos ordinales no varío la relevancia de los tipos fuentes, se observa que existe una dispersión del valor específico entre los establecimientos. Por ejemplo, la contribución del venteo en los establecimientos puede variar en el orden de 5.5 : 1 (39:7).

**Tabla 6.9 Distribución de emisiones TRS según tipo de emisiones**

| Establecimiento | Puntuales | Fugitivas | Venteos |
|---|---|---|---|
| **PCK-01** | 97,13% | 2,80% | 0,07% |
| **PCK-02** | 98,30% | 1,45% | 0,25% |
| **PCK-03** | 98,62% | 1,15% | 0,23% |
| **PCK-04** | 96,33% | 3,53% | 0,14% |
| **PCK-05** | 99,66% | 0,26% | 0,08% |
| **PCK-06** | 99,03% | 0,89% | 0,08% |
| **PCK-07** | 99,47% | 0,42% | 0,11% |
| **PCK-08** | 98,88% | 0,73% | 0,39% |
| **Total** | **98,84%** | **1,05%** | **0,12%** |

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.1.2 Olores en tratamiento de RILes

En la Tabla 6.10 se presenta la estimación de olores por el tratamiento de RILes de los establecimientos. Se observa que en total se estiman más de 17 millones de [$OU_E$/s], siendo el 65% emitidos por los tres establecimientos con mayores emisiones. El detalle por fuente se presenta en el Apéndice 3, cabe destacar que la incertidumbre de esta estimación es significativa, pues se contó con limitada información respecto a los sistemas de operación de cada establecimiento.

**Tabla 6.10 Estimación de emisiones de Olores [$OU_E$/s] en planta de RILes**

| Establecimiento | Emisión [$OU_E$/s] |
|---|---|
| **PCK-01** | 4.801.531 |
| **PCK-02** | 878.184 |
| **PCK-03** | 415.984 |
| **PCK-04** | 1.002.795 |
| **PCK-05** | 3.613.410 |
| **PCK-06** | 2.028.651 |
| **PCK-07** | 2.747.548 |
| **PCK-08** | 1.781.169 |
| **Total** | **17.269.273** |

Fuente: Elaboración propia

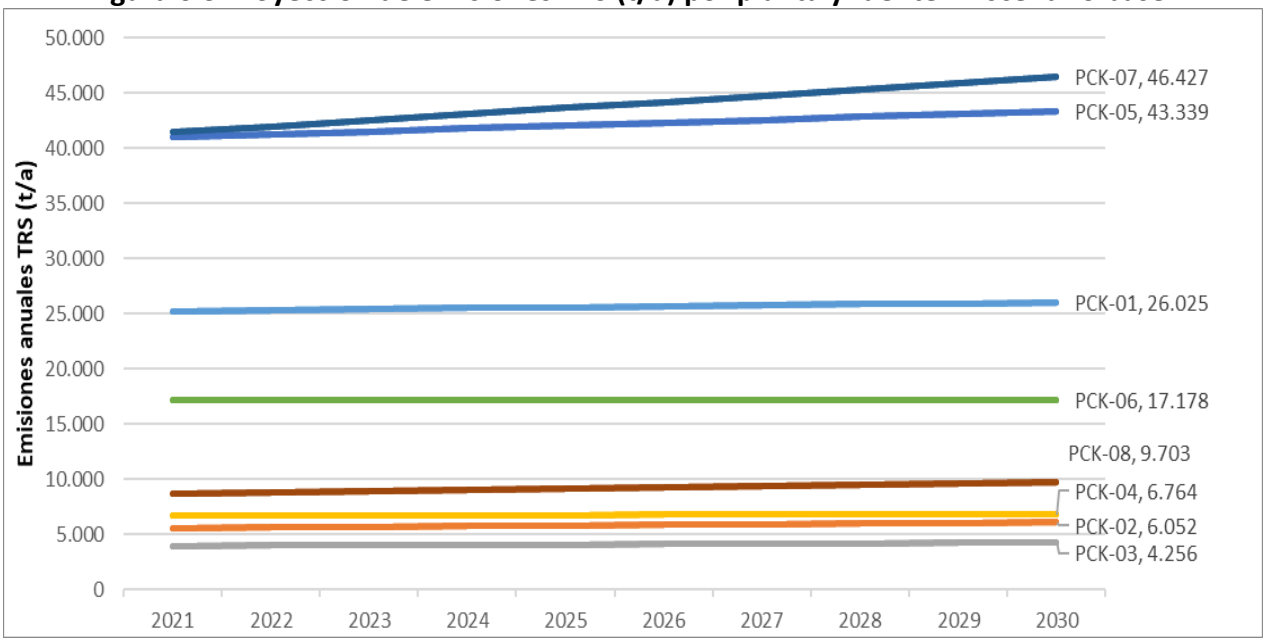
### 6.3.2 Proyección de inventario a 10 años

#### 6.3.2.1 TRS

Se realizó una proyección de las emisiones a nivel nacional considerando un horizonte de 10 años, considerando la metodología indicada en la sección 6.1 De acuerdo a lo presentado en la metodología descrita en dicha sección, las emisiones son proporcionales al nivel de actividad. Como supuesto base se considera que el nivel de actividad converge hacia máximos históricos al año 2030 (más detalles en la sección 9.1). Dado que la proyección del escenario base no considera ninguna medida adicional que altere los factores de emisión, las emisiones futuras variarán directamente al supuesto de variación del nivel de actividad (para más detalle de esto revisar sección 9.1).

Según estos resultados, presentes en la Figura 6.3, las emisiones totales aumentan en cerca de 10 mil toneladas anuales (cerca de 7%) durante la década bordeando las 160 mil toneladas anuales. El crecimiento no se distribuye proporcionalmente, sino que se concentra en aquellos establecimientos que, de acuerdo con las estimaciones para el año base, están operando con un menor factor de planta.

**Figura 6.3 Proyección de emisiones TRS (t/a) por planta y fuente – Escenario base**



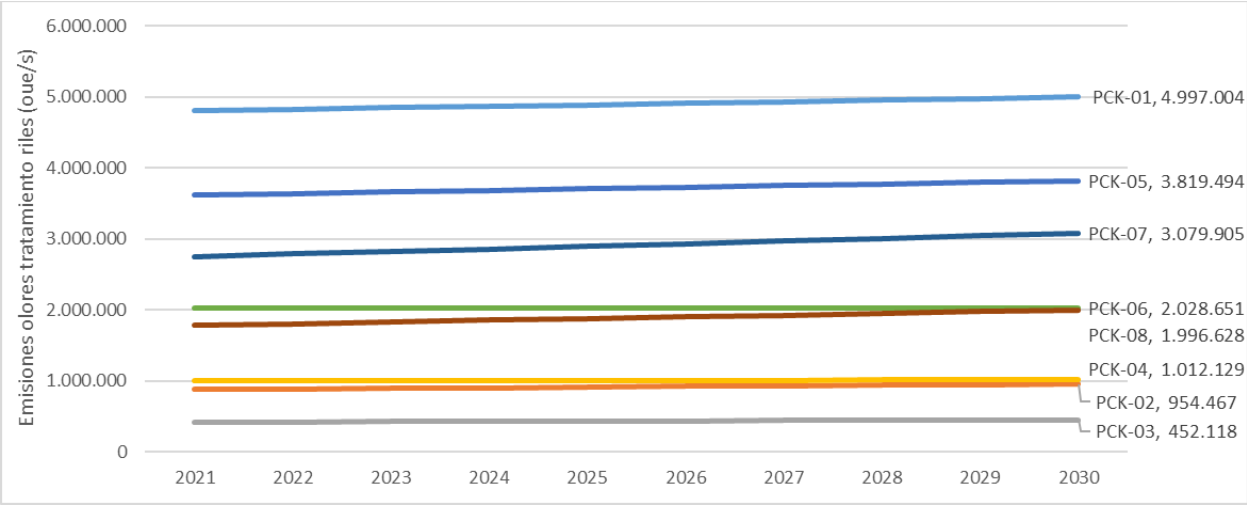

Fuente: Elaboración propia

#### 6.3.2.2 Olores en tratamiento de RILes

La proyección de olores sigue la misma tendencia observándose que la emisión de olores aumenta en 1 millones de [$OU_E$/s] durante la década (6,2%). Cabe destacar que la configuración propia de cada planta de RILes se traduce en un comportamiento diferente a los observado con las emisiones de TRS, sin embargo, cada planta aumenta en una proporción equivalente.

Nuevamente cabe destacar que la incertidumbre en la estimación de olores es mayor, dada la escasa información disponible y los consiguientes supuestos realizados.

**Figura 6.4 Proyección de emisiones odorantes por planta – Escenario base**




Fuente: Elaboración propia

# 7. Propuesta exigencias Norma TRS/Olores

## 7.1 Límite de emisiones de gases TRS

De acuerdo con el análisis de la normativa internacional (sección 4.2), se puede concluir que los niveles dispuestos en el DS37/2013 del MMA, se encuentran dentro del orden de magnitud de los límites normativos de otros países latinoamericanos. Asimismo, desde el análisis de cumplimiento de los regulados (sección 3.4), se determinó que estos declararon un cumplimiento satisfactorio en la mayoría de sus fuentes, en los tres años evaluados (2019-2021) con algunas excepciones para el año 2019, dadas por equipos de respaldo, que fueron subsanadas a la fecha. Por otro lado, al evaluar el margen de cumplimiento entre los datos reportados en el periodo de estudio y los límites normativos actuales demostró que si bien, existen fuentes que suelen operar con bajo margen de cumplimiento como las calderas recuperadoras, también existen otras fuentes con margen de mejora. Lo anterior se resume a continuación:

- **Calderas recuperadoras**: La mayoría de las calderas recuperadoras tienen un margen de cumplimiento promedio entre un 80-90% (excepto dos casos en donde este rango corresponde a 40%-50%, ver Anexo 1.2). Entre estos, el dato reportado más extremo corresponde al mes de diciembre del 2021, donde se tuvo un margen de sólo 6% (cuyo reporte de emisión corresponde a 4,7 [ppmv]). Dado lo anterior, el margen de cumplimiento general de los datos 2019 a 2021, presentan un rango desde 6 a 94%, por lo que se recomienda conservar el límite establecido por el DS37/2013.
- **Hornos de cal:** En comparación con las calderas recuperadoras, estos equipos presentan mayor dispersión de datos, cuyo rango de cumplimiento se encuentra entre 12 a 97%. A pesar de ser un rango ligeramente más acotado que las CR, los datos más críticos alcanzan un margen de 12% (13,5 [ppmv]), por lo tanto, se puede indicar que estos cuentan con mayor posibilidad de reducción del límite normativo. Si se compara, con el límite de 10 [ppmv], el cual corresponde al indicado en el DS37/2013 para equipos nuevos, se tiene que sólo 4 de los 10 hornos de cal operativos a nivel nacional, han presentado niveles sobre este límite.
  Por otro lado, según la revisión de MTD disponibles internacionalmente, existen alternativas como el scrubber alcalino y el filtro LMD (ver Tabla 5.4), y según Suhr *et al*., (2015), con tecnologías como esta un nivel de 10 [ppmv] puede ser alcanzado. Por lo tanto, para esta unidad se recomienda unificar el límite de emisión en 10 [ppmv] para ambas unidades nuevas y existentes.
- **Caldera de poder e incineradores dedicados:** Para las calderas de poder, se presentan márgenes de cumplimiento entre 84 a 98%, mientras que para incineradores este rango se mantiene entre 45 a 97%. De acuerdo con lo reportado en la Figura 3.4 (sobre el P98 de los valores promedios diarios medido a nivel anual de emisión de $H_2S$ al 8% de oxígeno en base seca de ambos equipos), se evidencia que las emisiones de la caldera de poder (CP) no superan los 4 [ppmv]. Por su parte, los incineradores en la mayor parte de los registros no superan los 10 [ppmv], exceptuando un registro por parte del incinerador

(INC) de PCK-01 el año 2019, equipo que posteriormente se modificó de configuración, pasando a ser equipo dedicado. Se destaca que, desde entonces, los valores se han mantenido en descenso. Por lo tanto, en ambos casos se indica que existe un amplio margen de sobrecumplimiento y baja dispersión, en este contexto, con el fin de conservar la calidad de la norma, se recomienda ajustar los límites de concentración de estos equipos a 10 [ppmv] para de esta forma asegurar la mantención de las condiciones actuales de emisión de los equipos. La lógica de esta disminución no es mejorar la calidad ambiental, sino que evitar el riesgo de un posible escenario futuro donde los niveles de emisión se pudiesen volver a incrementar (considerando que el límite actual vigente es 5 veces más grande que el mayor valor del P98 de emisión al 8% de oxígeno en base seca registrado). Por otro lado, esta modificación no representaría ningún costo adicional a los regulados, sino que sólo conlleva mantener las condiciones de control que actualmente poseen.

También es importante destacar que el valor límite de emisión para estos equipos, corresponde al percentil 98 de los valores promedios diarios, medidos en un periodo anual, lo cual lleva a disponer de sólo un dato anual para la regulación. Si este pasa, por ejemplo, a un límite medido en un periodo mensual, los días disponibles para operación sobre límite se mantendrían iguales, es decir, correspondientes al 2% de los días en el año. Por lo que, esto sólo modificaría la periodicidad de ocurrencia de dichos días, es decir, estos pasarían a una distribución libre durante un periodo anual (aproximadamente 176 horas/año), a una distribución estrictamente mensual (aproximadamente 14 horas/mes).

- **Estanque disolvedor de licor verde:** En este caso el DS37/2013 en su artículo 3° establece un límite de concentración de sulfuro de hidrógeno de 16,8 [mg/kg] de sólidos secos, y al mismo tiempo, el artículo 6° establece condiciones de superación sólo a aquellos establecimientos que aún a la fecha no tuvieran sistemas de captación de los gases emitidos por este equipo y define la obligación para los establecimientos nuevos de captar dichas emisiones en un periodo de 4 años una vez entrado en vigencia el decreto. Según el análisis de cumplimiento, ningún establecimiento reportó datos de emisiones asociadas a estas unidades, dado que todos estos equipos cuentan con sistemas de captación. Dado lo anterior, se recomienda eliminar como fuente emisora al EDLV, es decir, eliminar la sección asociada en el artículo 3°, y conservar el artículo 6° del DS37/2013.

Por consiguiente, se recomienda modificar los niveles de emisión máximos permitidos de TRS para las fuentes reguladas en el DS37/2013 del MMA a los indicados en la Tabla 7.1. También se recomienda conservar el artículo 5° del DS37/2013, en la sección que regula la temperatura de operación de las calderas de poder e incineradores de respaldo.

**Tabla 7.1 Límites máximos permisibles de emisión de compuestos TRS según DS37/2013 y propuesta normativa**

| Equipo | DS37/2013 | Propuesta |
|---|---|---|
| | Límite de concentración de Sulfuro de Hidrógeno ($H_2S$) | |
| Caldera recuperadora[2] | 5 [ppmv][1] | 5 [ppmv] [1] |
| Horno de cal de establecimientos existentes[2]<br>Horno de cal de establecimientos nuevos[2] | 15 [ppmv] [1]<br>10 [ppmv] [1] | 10 [ppmv] [1] |
| Estanque disolvedor de licor verde | 16,8 [mg/kg] de sólidos secos | - |
| Incinerador dedicado[3] | 20 [ppmv] [1] | 10 [ppmv] [1] |
| Caldera de poder dedicado[3] | 20 [ppmv] [1] | 10 [ppmv] [1] |

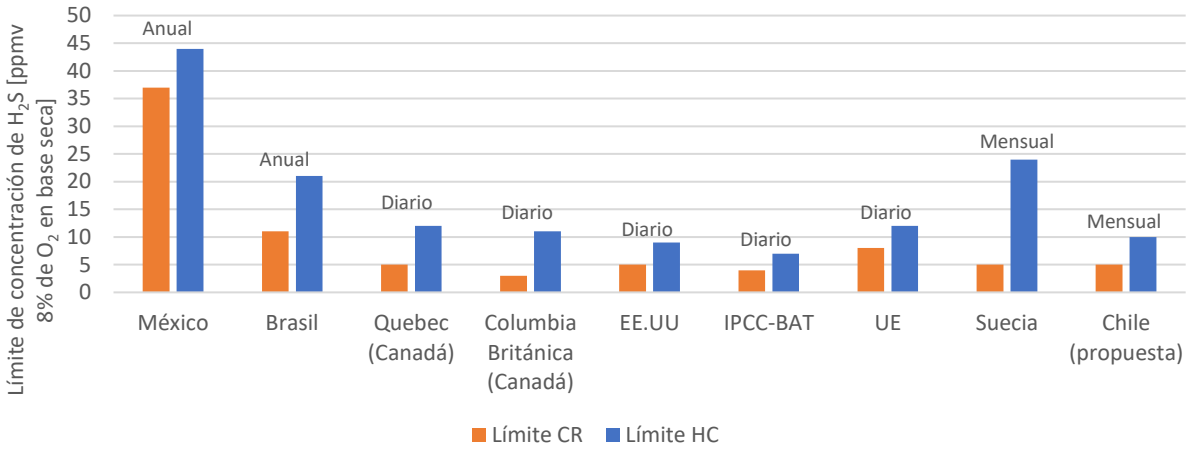
Nota 1: Valores de concentración deberán ser corregidos al 8% oxígeno en base seca y expresados en condiciones de presión y temperatura de 1 [atm] y 25 [°C].
Nota 2: Se establece que se considerará sobrepasada la norma cuando el percentil 98 (P98) de los valores promedios horarios, registrados durante un periodo mensual en alguno de los equipos mencionados, sea mayor a lo indicado en la tabla.
Nota 3: En caso de que sean equipos dedicados a la combustión de TRS, la norma será considerada sobrepasada cuando el P98 de los valores promedios diarios, registrados durante un período anual en alguno de los equipos sea mayor a lo indicado en la tabla.

Fuente: MMA (2013)

En comparación con los límites normativos de otros países (ver Figura 7.1), la propuesta normativa nacional se encuentra dentro de los rangos, de hecho el límite para el horno de cal (HC en la Figura 7.1), el cual se propone modificar desde 15 a 10 [ppmv], aún se encontraría sobre el límite utilizado por EE.UU y el propuesto por el IPCC-BAT, que se corresponde con 9 y 7 [ppmv], respectivamente. Se destaca que si bien, la Figura 7.1 hace una comparación con otros límites normativos, se debe considerar que la propuesta normativa de la Tabla 7.1 corresponde al percentil 98, por lo tanto, el percentil atribuye cierta holgura a los regulados, dado que permite sobrepasar dicho límite en un 2% del tiempo.

Adicional a esto, no se recomienda incluir nuevas fuentes emisoras como las reguladas por Estados Unidos y Canadá (Quebec), es decir, los digestores, evaporadores, condensadores y tanques de licor, ya que sus emisiones se encuentran actualmente captadas y conducidas a las líneas tratamiento de gases TRS de las plantas reguladas.

**Figura 7.1 Comparación de los límites establecidos en regulaciones internacionales versus los límites propuestos.**




Nota: Siglas de tipo de fuente consisten en CR (Caldera recuperadora), HC (Horno de cal).
Los límites indicados por la propuesta normativa de Chile corresponden al límite del percentil 98 de los valores promedios horarios, registrados durante un periodo mensual.
Para ver periodo evaluado por las normas, véase Figura 4.2
Fuente: Elaboración propia.

## 7.2 Límites de emisión de olor

A nivel internacional, la regulación de olores del sector de producción de pulpa sulfatada se realiza limitando los niveles de emisión de TRS de las fuentes reguladas. Existen dos normativas identificadas que incluyen un límite en inmisión de olor para el sector de producción de pulpa, papel y cartón, las cuales son la Norma Colombiana y la ordenanza del Municipio de Sarriá de Ter, en Girona, España. La primera define que, ante la presencia de quejas, se determina un límite de concentración de olor en inmisión, correspondiente a 3 [$OU_E/m^3$] para plantas de celulosa evaluado en el percentil 98 horario anual. Además, se destaca que dicha norma define como actividad generadora de olores ofensivos, entre otras, a las Plantas de Tratamiento de aguas residuales, otorgándole el mismo límite de cumpliendo asociado a las 3 [$OU_E/m^3$] en el percentil 98 horario anual. Asimismo, la ordenanza española indica un mismo nivel de 3 [$OU_E/m^3$] como valor objetivo de inmisión para industrias de fábricas de papel, evaluado en percentil 98 en las medias horarias a lo largo de un año.

Para esta propuesta se recomienda no regular por olor las fuentes ya reguladas por el DS37, asociadas a emisiones TRS, dado que son sistemas de tratamiento asociados a compuestos odorantes, cuyos descriptores de olor se asocian a combustión cuando presentan un correcto funcionamiento. Por lo tanto, la recomendación para las plantas existentes a nivel nacional se

basa en el establecimiento de un límite de emisión de olor [$OU_E$/s] asociado a un porcentaje de reducción.

En el momento de la elaboración del presente informe, no se cuenta con ningún valor asociado a la eficiencia de reducción de olor de las plantas nacionales. Estas estimaciones se han obtenido de estudios internacionales y de otros estudios técnicos de sectores nacionales a regular en materia de olores. Lo anterior contribuye a un mayor nivel de incertidumbre del grado de efectividad que tendrán estas MTDs recomendadas aplicadas al sector de celulosa en Chile (Tabla 10.1) debido a que esta incertidumbre depende, por ejemplo, del proveedor y las condiciones particulares de operación e implementación en cada planta. Por ello se recomienda utilizar los valores promedios de las referencias hasta contar con información nacional de primera mano que pueda aumentar la precisión de estas eficiencias de reducción de olor (Tabla 7.2).

La selección de las fuentes a regular por límite de emisión de olor se basó en la priorización de fuentes de acuerdo con la metodología presentada en el Anexo 1.8, las cuales se corresponden con emisiones asociadas a las plantas de tratamiento de efluentes líquidos.

**Tabla 7.2 Límite de emisión de olor para fuentes emisoras existentes con alguna MTD implementada.**

| Límite de emisión de olor [$OU_E$/s] | % de reducción asociado al límite de emisión | Fuente de información (original) |
|---|---|---|
| $TEO_{Laguna}$ medida año 1 x (1 – $X_T$/100) | **$X_T$ = 70%** | Generalitat Valenciana (2008); Loyon (s.f); Envirometrika (2019) |
| $TEO_{Tk\ neutralización}$ medida año 1 x (1 – $X_T$/100) | **$X_T$ = 88%** | Van der Auweraert & Brouwer (2022); Schenk et al., (2009); GreenLab-DICTUC (2021); VITO (2020); Corey & Zappa (2016); European Comission (2005); Birnkman et al., (2016); The European IPCC Bureau (2003) |
| $TEO_{E.\ Lodos}$ medida año 1 x (1 – $X_T$/100) | **$X_T$ = 75%** | Van der Auweraert & Brouwer (2022); Corey & Zappa (2016); European comisión (2005); Brinkmann *et al.,* (2016); The European IPCC Bureau (2003); GreenLab-DICTUC (2021). |
| $TEO_{Enfriamiento}$ medida año 1 x (1 – $X_T$/100) | **$X_T$ = 75%** | Van der Auweraert & Brouwer (2022). |

Para el caso de los límites de emisión de olor para fuentes emisoras nuevas, se recomienda cumplir con el nivel de concentración en inmisión de 3 [$OU_E/m^3$] P98, excluyendo a su vez las fuentes reguladas por el DS37 cuando sus descriptores del olor estén asociados a combustión, dado que sus límites de emisión se encuentran restringidos y controlados como TRS.

## 7.3 Tratamiento de venteos

Los venteos actualmente se encuentran normados en base al funcionamiento del equipo de combustión, el que debe operar con un porcentaje igual o superior al 98% del tiempo de funcionamiento en base mensual. Si bien, tal como se menciona en la sección 3.4, se ha cumplido a cabalidad con las exigencias interpuestas por la actual regulación, se ha llegado a la conclusión

de que se pueden realizar ciertas mejoras en el tratamiento de venteos, de acuerdo con los antecedentes levantados tanto bibliográficamente, como en las entrevistas y/o visitas realizadas a los regulados. Además de la evidencia epidemiológica que sugiere una relación entre los venteos y efectos en salud en la población cercana (ver sección 11.2.1).

Se recomienda conservar los artículos asociados al reporte y condiciones aplicables a venteos (artículos 9° y 10°). Sin embargo, se sugiere incluir como medida adicional que los establecimientos regulados cuenten con un sistema tratamiento para los gases de venteo, previo a su liberación a ambiente. Esto en base a que sólo en el 43% de los puntos de venteo informados, cuentan con un tratamiento previo a la liberación a ambiente. Para esto se recomienda utilizar las MTDs descritas en la sección 5 (véase Tabla 5.2), que consisten en scrubber alcalino o la utilización de agentes neutralizantes, priorizando la implementación de scrubber en los sistemas CNCG.

## 7.4 Prácticas operacionales

Con la finalidad de controlar las emisiones odorantes, los regulados deberían informar a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), lo siguiente:

a) **Equipos de combustión de TRS**: Informar las condiciones de operación de fuentes reguladas (CR, HC, INC, CP) como temperatura, exceso de oxígeno, presión, caudal y tiempo de residencia del gas. Lo anterior debido a que para que la oxidación de los gases no condensables sea llevada a cabo de manera adecuada, el quemado debe cumplir con los criterios expuestos en la Tabla 7.4, por lo que es relevante que la autoridad fiscalizadora tome conocimiento sobre ellas a cabalidad. Por otro lado, conocer las condiciones de operación permite evaluar de mejor forma aquellas medidas de abatimiento que le correspondiesen, dotando de precisión a posibles exigencias interpuestas por organismos con competencias para ello.

**Tabla 7.3 Prácticas operacionales propuestas – Equipos de combustión de TRS**

| Práctica operacional | Frecuencia | Unidades asociadas | Parámetros asociados |
|---|---|---|---|
| Reporte de las condiciones de operación de fuentes reguladas | Reporte mensual con registro de mediciones continuas | - Caldera recuperadora<br>- Horno de cal<br>- Incinerador dedicado o de respaldo<br>- Caldera de poder dedicado o de respaldo | Temperatura, presión, caudal y tiempo de residencia del gas |

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se deberían respetar las condiciones de operación de estas áreas relevantes y equipos de combustión según lo dispuesto en la Tabla 7.4.

**Tabla 7.4 Condiciones de operación de áreas relevantes y equipos de mitigación.**

| Equipo | T [°C] | Exceso de oxígeno | Tiempo de residencia del gas [s] | Ref. |
|---|---|---|---|---|
| Caldera recuperadora | >760 | 3-4% | >0,5 | Petinelli (2011) |
| Horno de cal | >760 | | >0,5 | Petinelli (2011) |
| Incinerador dedicado | >650 | | >0,5 | DS37/2013 del MMA; Petinelli (2011) |
| Caldera de poder dedicado | >650 | | >0,5 | |

Fuente: Elaboración propia.

b) **Equipos de abatimiento de emisiones odorantes**: Para los equipos de abatimiento de olores implementadas en el área de planta de tratamiento de efluentes líquidos, tales como unidades de oxidación luz UV/Ozono, intercambiadores de calor (en reemplazo de las torres de enfriamiento) y filtros de carbón activado (ver Tabla 5.4). Se debería presentar un programa de monitoreo de parámetros operacionales en línea y un plan de medición de la eficiencia de reducción de olor (ERO) semestral (ver Tabla 7.5).

**Tabla 7.5 Prácticas operacionales propuestas – Equipos de abatimiento de emisiones odorantes**

| Práctica operacional | Frecuencia | Unidades asociadas | Parámetros asociados |
|---|---|---|---|
| Programa de monitoreo de parámetros operacionales en línea | Reporte mensual con registro de mediciones continuas | - Oxidación luz UV/ Ozono | - Tiempo de residencia<br>- Humedad<br>- Temperatura |
| | | - Intercambiadores de calor (en reemplazo de las torres de enfriamiento) | - Temperatura<br>- Presión del vapor o del fluido de alimentación. |
| | | - Filtros de carbón activado | - Tiempo de residencia<br>- Temperatura<br>- Humedad |
| | | -Biofiltros | - Humedad<br>- pH<br>- Tiempo de residencia<br>- Temperatura |
| Plan de medición de la eficiencia de reducción de olor (ERO) | Reporte semestral | Equipos de abatimiento de emisiones odorantes | Eficiencia de reducción de olor |

Fuente: Elaboración propia

c) **Fuentes de emisión de olor**: Para las fuentes de emisión olor, se debería informar los tiempos de residencia hidráulicos y celulares, esto sólo para las unidades de proceso de la planta de tratamiento de efluentes líquidos que trabajen con lodos biológicos, como reactores, espesadores, clarificadores y estanques de almacenamiento. Adicionalmente, se debería solicitar un reporte de mantención del sistema de alcantarillado anual y un informe mensual informando el potencial de óxido-reducción (ORP). Si bien, el ORP no se relaciona directamente en las emisiones odorantes, es una variable usualmente utilizada

para el control y monitoreo de estos por su influencia en la actividad microbiana y la generación de condiciones favorables para la generación de compuestos odorantes (Rimkus, (1985), Romero *et al.,* (2016), Kang *et al.,* (2020)).

**Tabla 7.6 Prácticas operacionales propuestas – Fuentes de emisión de olor**

| Práctica operacional | Frecuencia | Unidades asociadas | Parámetros asociados |
|---|---|---|---|
| Reporte de ttiempos de residencia hidráulicos y celulares en las unidades de proceso de la planta de tratamiento de efluentes líquidos con lodos biológicos | Reporte mensual | - Reactores<br>- Espesadores<br>- Clarificadores<br>- Tanques de almacenamiento | Tiempos de residencia |
| Reporte de mantención del sistema de alcantarillado | Reporte anual | -Sistema de alcantarillado | - |
| Reporte potencial de óxido-reducción (ORP) | Reporte mensual | - Reactores biológicos<br>- Clarificadores secundarios | Niveles de oxidación (ORP) |

Fuente: Elaboración propia

d) **Plan de Contingencia**: Finalmente, cada regulado debería entregar un Plan de Contingencias asociado a la posible generación de eventos de emisión de olor.

**Tabla 7.7 Prácticas operacionales propuestas – Plan de contingencias**

| Práctica operacional | Frecuencia | Unidades asociadas | Contenidos solicitados |
|---|---|---|---|
| Plan de contingencias ante eventos de emisión de olor | Reporte anual | Todas las generadoras de olor y/o TRS | -Identificación de responsables ante contingencias<br>-Acciones correctivas y preventivas<br>-Tiempos de respuesta ante contingencias<br>-Medidas preventivas<br>-Comunicaciones a partes interesadas |

Fuente: Elaboración propia

e) **Venteos**: Con la finalidad de minimizar las emisiones de olor, las fuentes emisoras tanto existentes como nuevas, deberían informar a la Superintendencia del Medio Ambiente, lo siguiente: Causa, punto de venteo (identificable en un diagrama del sistema de tratamiento), duración y fecha de los venteos ocurridos. Adicionalmente, se recomienda realizar monitoreos de gases TRS en los sistemas de recolección de gases TRS (ver Tabla 7.8 y Figura 7.2).

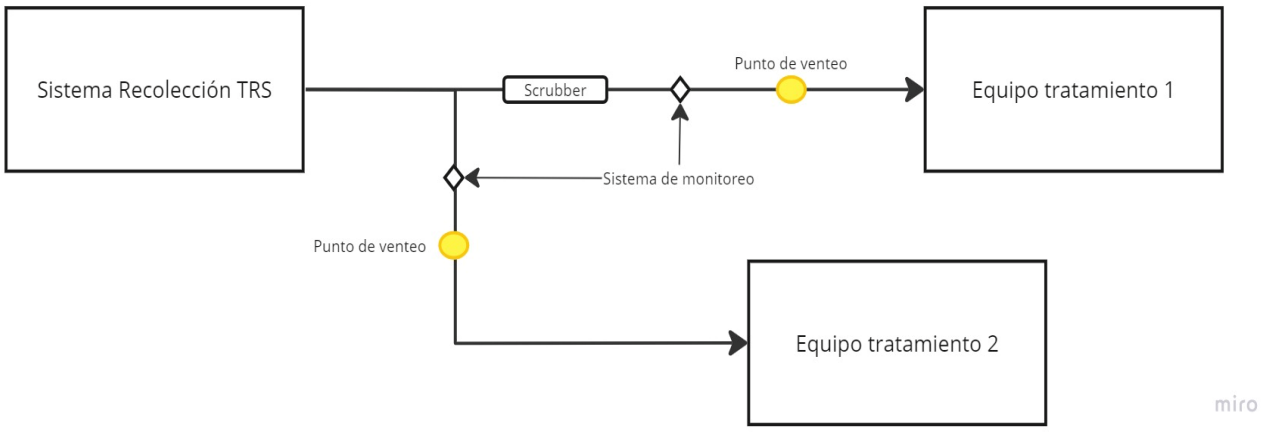
**Tabla 7.8 Prácticas operacionales propuestas – Control de venteos**

| Práctica operacional | Frecuencia | Unidades asociadas | Contenidos/parámetros solicitados |
|---|---|---|---|
| Reporte de venteos | Reporte mensual | Todas las asociadas a los sistemas de combustión y/o puntos de venteo | - Hora y duración<br>- Causa<br>- Fecha<br>-Identificación de punto de venteo (en un diagrama) |
| Monitoreo de gases TRS en sistemas de recolección de gases | Reporte mensual | Sistemas de recolección de gases | -Concentración de gases TRS |

Fuente: Elaboración propia

Dado que los venteos se corresponden con emisiones subhorarias a la atmósfera, se dificulta la medición de la concentración de emisión después de la liberación de la válvula al ambiente. Por lo tanto, se recomienda la instalación de un sistema de monitoreo en la misma línea de proceso aguas arriba (con respecto a donde está ubicado el punto de venteo), donde las condiciones de operación son más estables y resulta factible técnicamente la incorporación de sensores para determinar los niveles de concentración de TRS una vez que la válvula se accione y se produzca la liberación a la atmósfera de los gases TRS contenidos en la línea de proceso (Figura 7.2).

**Figura 7.2 Esquema de monitoreo de gases TRS en sistemas de recolección de gases**




Fuente: Elaboración propia.

# 8. Consolidación de información sobre propuesta de exigencias de olor para anteproyecto de norma

Según las recomendaciones desarrolladas en el capítulo 7, desarrollado en base a la revisión de normas internacionales, el análisis en la regulación nacional y MTDs nacionales e internacionales, los principales cambios propuestos al DS37/2013 son:

- **Límites de emisiones de gases TRS:** Se evaluará disminuir los límites regulatorios asociados a los hornos de cal (desde 15 a 10 [ppmv]) y los equipos dedicados, correspondientes a las calderas de poder e incineradores (desde 20 a 10 [ppmv]) y conservar los límites indicados para calderas recuperadoras (ver Tabla 8.3).

**Tabla 8.1 Límites máximos permisibles de emisión de compuestos TRS según propuesta normativa**

| Equipo | Límite propuesto de concentración de Sulfuro de Hidrógeno ($H_2S$) |
|---|---|
| Caldera recuperadora[2] | 5 [ppmv] [1] |
| Horno de cal de establecimientos existentes[2]<br>Horno de cal de establecimientos nuevos[2] | 10 [ppmv] [1] |
| Estanque disolvedor de licor verde | - |
| Incinerador dedicado[3] | 10 [ppmv] [1] |
| Caldera de poder dedicado[3] | 10 [ppmv] [1] |

Nota 1: Valores de concentración deberán ser corregidos al 8% oxígeno en base seca y expresados en condiciones de presión y temperatura de 1 [atm] y 25 [°C].
Nota 2: Se establece que se considerará sobrepasada la norma cuando el percentil 98 (P98) de los valores promedios horarios, registrados durante un periodo mensual en alguno de los equipos mencionados, sea mayor a lo indicado en la tabla.

Fuente: Elaboración propia

- **Límite sobre emisiones odorantes:** Tal como se describe en la sección 7.2 se evaluará incorporar un límite de emisión de olor asociado a un porcentaje de reducción para las principales fuentes de emisión pertenecientes al área de RILes (ver Tabla 7.2), las cuales fueron priorizadas según la metodología descrita en el Anexo 1.8 y que corresponden a: laguna de emergencia, estanque de neutralización, estanque de lodos y torres de enfriamiento.

- **Tratamiento de venteos:** Se evaluará conservar los artículos asociados al reporte y condiciones aplicables a venteos (artículos 9° y 10°), incluyendo como medida adicional que los establecimientos regulados cuenten con un sistema tratamiento para los gases de venteo, previo a su liberación a ambiente. Para esto se recomienda utilizar las MTDs descritas en la sección 5, que consisten en scrubber alcalino o la utilización de agentes neutralizantes, priorizando la implementación de scrubber en los sistemas CNCG.

- **Prácticas operacionales:** Una serie de prácticas operacionales (ver sección 7.4 y Tabla 8.2) asociadas al control de emisiones de gases TRS y buenas prácticas, incluye la generación de reportes de monitoreo de parámetros, condiciones de operación, planes de medición

de eficiencia, reporte de mantenciones, mitigación en venteos, entre otros. Estos se distribuyen en la evaluación de escenarios, como se describirá en secciones posteriores.

**Tabla 8.2 Resumen prácticas operacionales propuestas**

| Práctica operacional | Frecuencia | Unidades asociadas |
|---|---|---|
| Reporte de las condiciones de operación de fuentes reguladas | Reporte mensual con registro de mediciones continuas | - Caldera recuperadora<br>- Horno de cal<br>- Incinerador dedicado o de respaldo<br>- Caldera de poder dedicado o de respaldo |
| Programa de monitoreo de parámetros operacionales en línea | Reporte en línea con registro de mediciones continuas | - Oxidación luz UV/Ozono |
| | | - Intercambiadores de calor (en reemplazo de las torres de enfriamiento) |
| | | - Filtros de carbón activado |
| | | -Biofiltros |
| Plan de Medición de la Eficiencia de reducción de olor (ERO) | Reporte semestral | Equipos de abatimiento de emisiones odorantes |
| Reporte de tiempos de residencia hidráulicos y celulares en las unidades de proceso de la planta de tratamiento de efluentes líquidos con lodos biológicos | Reporte mensual | - Reactores<br>- Espesadores<br>- Clarificadores<br>- Tanques de almacenamiento |
| Reporte de mantención del sistema de alcantarillado | Reporte anual | -Sistema de alcantarillado |
| Reporte potencial de óxido-reducción (ORP) | Reporte mensual | - Reactores biológicos<br>- Clarificadores secundarios |
| Plan de contingencias ante eventos de emisión de olor | Reporte anual | Todas las generadoras de olor y/o TRS |
| Reporte de venteos | Reporte mensual | Todas las asociadas a los sistemas de combustión y/o puntos de venteo |
| Monitoreo de gases TRS en sistemas de recolección de gases | Reporte mensual | Sistemas de recolección de gases |

Fuente: Elaboración propia

Estos 4 aspectos se configurarán en una propuesta de 3 escenarios regulatorios, según lo descrito en la sección 8.1.

## 8.1 Análisis de escenarios regulatorios

Los escenarios propuestos para la regulación de la emisión de compuestos TRS, generadores de olor, asociados a la fabricación de pulpa kraft o al sulfato, son aquellos presentados en la Tabla 8.3.

**Tabla 8.3 Escenarios regulatorios evaluados**

| Escenario regulatorio | Aspecto a regular | | | | Descripción |
|---|---|---|---|---|---|
| | Límites de emisiones de gases TRS | Límite de emisiones odorantes | Tratamiento de venteos | Prácticas operacionales | |
| **Esc 1** | √ | - | - | √ | Se modifican solo los límites asociados a los hornos de cal (desde 15 a 10 [ppmv]) y los equipos dedicados, correspondientes a las calderas de poder e incineradores (desde 20 a 10 [ppmv]), incluyendo prácticas operacionales, sin considerar los aspectos de emisión de olores, ni tratamiento de venteos. |
| **Esc 2** | - | √ | √ | √ | Se evalúa el componente olor, tratamiento de venteos y prácticas operacionales, manteniendo los límites de concentración de las fuentes reguladas por el DS37/2013 del MMA. Para agregar un límite de emisión odorante, se evaluará incorporar un límite de emisión de olor asociado a un porcentaje de reducción para las principales fuentes de emisión, las cuales corresponden a: laguna de emergencia, estanque de neutralización, estanque de lodos y torres de enfriamiento |
| **Esc 3** | √ | √ | √ | √ | Se evalúa: modificar los límites asociados a los hornos de cal y equipos dedicados (calderas de poder e incineradores), incorporar un límite de emisión de olor, tratamiento de venteos y prácticas operacionales. |

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el análisis y descripción para cada uno de los escenarios.

### 8.1.1 Escenario 1

Este escenario corresponde a la disminución de los límites de concentración permitidos de la caldera de poder (CP) e incinerador (INC) dedicados y el horno de cal (HC) a los indicados en Tabla 8.1.

#### 8.1.1.1 Límites de emisiones de gases TRS

**a) Hornos de cal (HC):**

Consiste en la reducción del límite de concentración del horno de cal desde 15 a 10 [ppmv] quedando como valor límite único tanto para establecimientos existentes como nuevos (actualmente los límites son 15 [ppmv] para establecimientos existentes y 10 [ppmv] para establecimientos nuevos). Según la revisión de brechas de la sección 5.3, sólo existen 3 plantas (PCK-03, PCK-04 y PCK-07) con la tecnología implementada (ver Tabla 8.4). Cabe destacar que los reportes de estos hornos de cal cumplen con el límite propuesto, lo cual sugiere que podría haber técnicas operacionales que permitan alcanzar los niveles propuestos.

**Tabla 8.4 Esc 1 MTD implementadas en hornos de cal por los regulados**

| MTD | PCK-01 | PCK-02 | PCK-03 | PCK-04 | PCK-05 | PCK-06 | PCK-07 | PCK-08 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Instalación de lavado y filtración mejorada de los lodos de cal en la recaustificación.** | x | x | x | √ | x | x | x | x | 1 |
| **Scrubber (HC)** | x | x | √ | x | x | x | √ | x | 2 |

Fuente: Elaboración propia.

**b) Caldera de poder (CP) e incinerador (INC) dedicados**

Se propone ajustar los límites desde 20 [ppmv] a 10 [ppmv]. El objetivo de esto es asegurar la mantención de las condiciones actuales de emisión de los equipos, así evitando el riesgo de un posible futuro donde los niveles de emisión pudiesen volver a incrementar. Lo anterior en vista, de que el límite actual vigente es cinco veces más grande que el mayor valor reportado del P98 de emisión al 8% de oxígeno en base seca registrado.

Considerando que las emisiones actuales no sobrepasan el valor límite propuesto para estas unidades, no se requiere de implementación de medidas adicionales para lograr el cumplimiento más que la mantención de los rangos de operación que rigen actualmente en cada una de las plantas. En la Tabla 8.5 se exponen los detalles de este escenario.

#### 8.1.1.2 Prácticas operacionales

En este escenario se evalúan sólo las practicas denominadas:

- Reporte de las condiciones de operación de fuentes reguladas, descrita en la Tabla 7.3
- Reporte de tiempos de residencia hidráulicos y celulares en las unidades de proceso de la planta de tratamiento de efluentes líquidos con lodos biológicos, descrita en la Tabla 7.6
- Reporte de mantención del sistema de alcantarillado, descrita en la Tabla 7.6
- Reporte potencial de óxido-reducción (ORP), descrita en la Tabla 7.6
- Plan de contingencias ante eventos de emisión de olor , descrita en la Tabla 7.7
- Reporte de venteos , descrita en la Tabla 7.8
- Monitoreo de gases TRS en sistemas de recolección de gases, descrita en la Tabla 7.8

Por lo tanto, para este escenario no se evalúan las prácticas operacionales asociadas a la mitigación del impacto odorante, descritas en la Tabla 7.5.

**Tabla 8.5 Aspectos relevantes del escenario 1.**

| Ítem | Descripción |
|---|---|
| **Fuente a regular** | - Horno de cal (HC)<br>- Caldera de poder (CP) e incinerador (INC) dedicados |
| **Fuentes a excluir** | - Caldera de poder (CP) e Incinerador (INC) respaldo |
| **Tipo de exigencia** | - HC: Valor límite de emisión fijado en 10 [ppmv] (P98 de los valores promedio diarios registrados durante un periodo mensual)<br>- CP e INC dedicados: Valor límite de emisión fijado en 10 [ppmv] (P98 de los valores promedio diarios registrados durante un periodo anual). No se modifica el artículo 5° del DS37/2013 del MMA. |
| **Método de medición que se utiliza para constatación de cumplimiento** | - No se modifica el método de determinación actual del artículo 7° del DS37/2013 del MMA, que corresponde a sistema de medición continua de las emisiones de TRS, medido en el ducto final de cada fuente, antes de su descarga a la atmósfera. |
| **Unidad de medición** | - HC: [ppmv] de $H_2S$ al 8% de oxígeno en base seca P98 de los valores promedio horarios registrados durante un periodo mensual.<br>- CP e INC dedicados: [ppmv] de $H_2S$ al 8% de oxígeno en base seca P98 de los valores promedio diarios registrados durante un período anual. |
| **Método de determinación de cumplimiento** | - HC: Se entenderá por sobrepasada la norma cuando dicho percentil registrado en un periodo mensual con un sistema de medición continua sea mayor a 10 [ppmv]<br>- CP e INC dedicados: Se entenderá por sobrepasada la norma cuando dicho percentil registrado en un periodo anual con un sistema de medición continua sea mayor a 10 [ppmv] |
| **Metodología y frecuencia de reporte de cumplimiento-fiscalización** | - HC: Se deberán reportar mensualmente los valores promedio diarios registrados por el sistema de medición continua y su P98.<br>- CP e INC: Se deberán reportar anualmente los valores promedio diarios registrados por el sistema de medición continua y el P98. |
| **Cambios al articulado existente** | - Artículo 3°: El límite máximo de emisión de TRS, permitidos en el efluente de cada equipo, será de 10 [ppmv] medido como sulfuro de hidrógeno ($H_2S$) corregido al 8% de oxígeno en base seca y expresados en condiciones de presión y temperatura de 1 [atm] y 25 [°C] |

Fuente: Elaboración propia.

### 8.1.1 Escenario 2

En este escenario, se evalúa incorporar MTDs asociadas al control de emisiones odorantes en las fuentes priorizadas según el Anexo 1.8 y en paralelo, incorporar una serie de medidas operacionales, descritas en la sección 7.4 y resumidas en la Tabla 8.2, manteniendo los límites de concentración de las fuentes reguladas por el DS37/2013 del MMA.

#### 8.1.1.1 Límite de emisiones de olor

Se evaluará incorporar un límite de emisión de olor asociado a un porcentaje de reducción para las principales fuentes de emisión (ver Tabla 7.2). Estas fuentes fueron definidas por la

priorización de fuentes expuesta en el Anexo 1.8, donde se identificaron como fuentes problemas con respecto a las emisiones de olor en la Planta de tratamiento de RILes a la laguna de emergencia, estanque de lodos, estanque neutralizador y las torres de enfriamiento.

La Tabla 8.6 indica las MTD implementadas por los regulados, desde esta se puede determinar que sólo 4 plantas han incorporado las MTD recomendadas en su planta de tratamiento de efluentes líquidos.

**Tabla 8.6 Esc 2 – MTD implementada por los regulados asociadas al control de olores**

| MTD | Unidad | PCK-01 | PCK-02 | PCK-03 | PCK-04 | PCK-05 | PCK-06 | PCK-07 | PCK-08 | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Cobertura Lagunas** | Lagunas | x | x | x | x | x | x | x | x | 0 |
| **Oxidación luz UV/Ozono** | Estanque de neutralización | x | x | x | x | x | x | √ | x | 1 |
| **Filtro de carbón activado** | Estanque de neutralización | x | x | x | x | √ | x | √ | x | 2 |
| **Biofiltro** | Estanque de lodos | x | x | x | x | x | x | √ | x | 1 |
| **Reemplazo de torres de enfriamiento por intercambiadores de calor** | Torres de enfriamiento | x | √ | √ | x | x | x | x | x | 2 |

Fuente: Elaboración propia.

#### 8.1.1.2 Tratamiento de venteos

Se evaluará implementar tratamiento de los venteos previos a su liberación a la atmósfera, de forma que no existan venteos sin su sistema de tratamiento y/o mitigación . Los sistemas de tratamiento recomendados para los venteos corresponden a la instalación de sistema de aspersión de agentes neutralizantes o un sistema de scrubber alcalino vistos en Tabla 5.2. En este contexto, la Tabla 8.7 expone los requerimientos levantados para cada planta regulada, considerando para esto el criterio de implementar los Scrubbers alcalinos a los sistemas de gases CNCG, que no cuenten con uno previamente.

**Tabla 8.7 Estimación de requerimientos de sistema de tratamiento por cada planta**

| Planta | Scrubbers | Neutralizantes |
|---|---|---|
| **PCK-01** | 0 | 7 |
| **PCK-02** | 2 | 7 |
| **PCK-03** | 2 | 3 |
| **PCK-04** | 1 | 2 |
| **PCK-05** | 1 | 3 |
| **PCK-06** | 1 | 1 |
| **PCK-07** | 2 | 0 |
| **PCK-08** | 1 | 1 |
| **TOTAL** | **10** | **24** |

Fuente: Elaboración propia

#### 8.1.1.3 Prácticas operacionales

Consiste en incorporar la serie de prácticas operacionales descritas en la sección 7.4 y resumidas en la Tabla 8.2.

En este escenario se evalúan las practicas denominadas:

- Reporte de las condiciones de operación de fuentes reguladas, descrita en la Tabla 7.3
- Programa de monitoreo de parámetros operacionales en línea, descrita en la Tabla 7.5
- Plan de Medición de la Eficiencia de reducción de olor (ERO), descrita en la Tabla 7.5
- Reporte de tiempos de residencia hidráulicos y celulares en las unidades de proceso de la planta de tratamiento de efluentes líquidos con lodos biológicos, descrita en la Tabla 7.6
- Reporte de mantención del sistema de alcantarillado, descrita en la Tabla 7.6
- Reporte potencial de óxido-reducción (ORP), descrita en la Tabla 7.6
- Plan de contingencias ante eventos de emisión de olor , descrita en la Tabla 7.7
- Reporte de venteos , descrita en la Tabla 7.8
- Monitoreo de gases TRS en sistemas de recolección de gases, descrita en la Tabla 7.8

Finalmente, la Tabla 8.8 resume las dimensiones del escenario 2 a evaluar.

**Tabla 8.8 Aspectos relevantes del escenario 2.**

| Ítem | Descripción |
|---|---|
| **Fuente a regular** | - Límite de emisiones odorantes: Fuentes odorantes de la planta de tratamiento de efluentes<br>- Tratamiento de venteos: Venteos (véase Anexo 1.3)<br>- Prácticas operacionales: todas las fuentes asociadas a las prácticas operacionales resumidas en la Tabla 8.2 |
| **Fuentes a excluir** | - Límite de emisiones odorantes: Fuentes odorantes de otras áreas de la planta de celulosa kraft. |
| **Tipo de exigencia** | - Límite de emisiones odorantes: Cumplimiento de la reducción de TEO indicado en la Tabla 7.2<br>- Tratamiento de venteos: Implementación de tecnología de tratamiento de venteo previo a su liberación a la atmósfera<br>- Prácticas operacionales: Requerimiento de reportes de monitoreo de parámetros, condiciones de operación, planes de medición de eficiencia, reporte de mantenciones, mitigación en venteos, entre otros (ver Tabla 8.2) |
| **Método de medición que se utiliza para constatación de cumplimiento** | - Límite de emisiones odorantes: Medición de TEO a través de una metodología aceptada por la NCh 3386:2015 y NCh.3190:2010 y determinación de la eficiencia de reducción de olor. |
| **Unidad de medición** | - Límite de emisiones odorantes: % reducción de olor en cada fuente priorizada |
| **Método de determinación del cumplimiento** | - Límite de emisiones odorantes: $TEO_{Fte\ priorizada}$ medida año 1 · (1 – $X_T$/100)<br>- Tratamiento de venteos: Se entenderá por cumplida la exigencia si se demuestra la implementación de tecnología de tratamiento de venteo previo a su liberación a la atmósfera en cada sistema CNCG/DNCG. |

| Ítem | Descripción |
|---|---|
| | - Prácticas operacionales: Se entenderá por cumplida la exigencia si se cumple con la frecuencia de entrega de reportes, incluyendo los parámetros y fuentes requeridos (ver Tabla 8.2) |
| **Metodología y frecuencia de reporte de cumplimiento-fiscalización** | - Límite de emisiones odorantes: Se deberá realizar un reporte de implementación de tecnología de reducción de emisiones odorante a los 4 años de entrada en vigor la norma. Se deberá presentar un EIO[1] de manera anual<br>- Tratamiento de venteos: Reporte de implementación de tecnología de tratamiento de venteo previo a su liberación a la atmósfera a los 4 años de modificada la norma para plantas existentes.<br>- Prácticas operacionales: Reportes de frecuencia mensual, semestral o anual (ver Tabla 8.2) |
| **Cambios al articulado existente** | - Límite de emisiones odorantes: Se recomienda incluir un artículo en donde se especifique los requerimientos de reducción pertenecientes a este escenario.<br>- Tratamiento de venteos: Se recomienda agregar un artículo sobre la obligatoriedad de contar con un sistema de tratamiento y/o mitigación de venteos similar al artículo 8°.<br>- Prácticas operacionales: : Se recomienda incluir un artículo en donde se especifique los requerimientos sobre prácticas operacionales. |

Nota 1: Según la Guía para la predicción y evaluación de impacto por olor y la Guía para el uso de modelos de calidad del aire del SEIA

Fuente: Elaboración propia.

### 8.1.2 Escenario 3

Este escenario incorpora los aspectos evaluados en los escenarios 1 y 2, por lo tanto, su descripción corresponde a la unión de ambos escenarios, incorporando; reducción en los límites de emisiones de gases TRS en los hornos de cal (HC) y equipos dedicados, límite de emisión de olor, tratamiento de venteos y prácticas operacionales. El detalle de este escenario se resume en la Tabla 8.9.

**Tabla 8.9 Aspectos relevantes del escenario 3.**

| Ítem | Descripción |
|---|---|
| **Fuente a regular** | - Límites de TRS: Horno de cal (HC), caldera de poder (CP) e incinerador (INC) dedicados<br>- Límite de emisiones odorantes: Fuentes odorantes de la planta de tratamiento de efluentes<br>- Tratamiento de venteos: Venteos (véase Anexo 1.3)<br>- Prácticas operacionales: todas las fuentes asociadas a las prácticas operacionales resumidas en la Tabla 8.2 |
| **Fuentes a excluir** | - Límite de emisiones odorantes: Fuentes odorantes de otras áreas de la planta de celulosa kraft. |
| **Tipo de exigencia** | - Límites de TRS: Para HC, Valor límite de emisión fijado en 10 [ppmv] (P98 de los valores promedio diarios registrados durante un periodo mensual). Para CP e INC dedicados, Valor límite de emisión fijado en 10 [ppmv] (P98 de los valores promedio diarios registrados durante un periodo anual). No se modifica el artículo 5° del DS37/2013 del MMA. |

| Ítem | Descripción |
|---|---|
| | - Límite de emisiones odorantes: Cumplimiento de la reducción de TEO indicado en la Tabla 7.2<br>- Tratamiento de venteos: Implementación de tecnología de tratamiento de venteo previo a su liberación a la atmósfera<br>- Prácticas operacionales: Requerimiento de reportes de monitoreo de parámetros, condiciones de operación, planes de medición de eficiencia, reporte de mantenciones, mitigación en venteos, entre otros (ver Tabla 8.2) |
| **Método de medición que se utiliza para constatación de cumplimiento** | - Límites de TRS: No se modifica el método de determinación actual del artículo 7° del DS37/2013 del MMA, que corresponde a sistema de medición continua de las emisiones de TRS, medido en el ducto final de cada fuente, antes de su descarga a la atmósfera.<br>- Límite de emisiones odorantes: Medición de TEO a través de una metodología aceptada por la NCh 3190:2010, NCh 3386:2015 y determinación de la eficiencia de reducción de olor. |
| **Unidad de medición** | - Límites de TRS: Para HC, [ppmv] de H2S al 8% de oxígeno en base seca P98 de los valores promedio horarios registrados durante un periodo mensual. Para CP e INC dedicados, [ppmv] de H2S al 8% de oxígeno en base seca P98 de los valores promedio diarios registrados durante un período anual.<br>- Límite de emisiones odorantes: % reducción de olor en cada fuente priorizada |
| **Método de determinación del cumplimiento** | - Límites de TRS: Para HC, se entenderá por sobrepasada la norma cuando dicho percentil registrado en un periodo mensual con un sistema de medición continua sea mayor a 10 [ppmv]. Para CP e INC dedicados, se entenderá por sobrepasada la norma cuando dicho percentil registrado en un periodo anual con un sistema de medición continua sea mayor a 10 [ppmv]<br>- Límite de emisiones odorantes: $TEO_{Fte\ priorizada}$ medida año 1 · (1 – $X_T$/100)<br>- Tratamiento de venteos: Se entenderá por cumplida la exigencia si se demuestra la implementación de tecnología de tratamiento de venteo previo a su liberación a la atmósfera en cada sistema CNCG y cada punto de venteo de gases DNCG.<br>- Prácticas operacionales: Se entenderá por cumplida la exigencia si se cumple con la frecuencia de entre de reportes, incluyendo los parámetros y fuentes requeridos (ver Tabla 8.2) |
| **Metodología y frecuencia de reporte de cumplimiento-fiscalización** | - Límites de TRS: Para HC, se deberán reportar mensualmente los valores promedio diarios registrados por el sistema de medición continua y su P98. Para CP e INC dedicados, se deberán reportar anualmente los valores promedio diarios registrados por el sistema de medición continua y el P98.<br>- Límite de emisiones odorantes: Se deberá realizar un reporte de implementación de tecnología de reducción de emisiones odorante a los 4 años de entrada en vigencia la norma. Se deberá presentar un EIO[1] de manera anual<br>- Tratamiento de venteos: Reporte de implementación de tecnología de tratamiento de venteo previo a su liberación a la atmósfera a los 4 años de modificada la norma para plantas existentes.<br>- Prácticas operacionales: Reportes de frecuencia mensual, semestral o anual (ver Tabla 8.2) |
| **Cambios al articulado existente** | - Límites de TRS: El límite máximo de emisión de TRS, permitidos en el efluente de cada equipo, será de 10 [ppmv] medido como sulfuro de |

| Ítem | Descripción |
|---|---|
| | hidrógeno ($H_2S$) corregido al 8% de oxígeno en base seca y expresados en condiciones de presión y temperatura de 1 [atm] y 25 [°C] (artículo 3°)<br>- Límite de emisiones odorantes: Se recomienda incluir un artículo en donde se especifique los requerimientos de reducción pertenecientes a este escenario.<br>- Tratamiento de venteos: Se recomienda agregar un artículo sobre la obligatoriedad de contar con un sistema de tratamiento y/o mitigación de venteos similar al artículo 8°.<br>- Prácticas operacionales: Se recomienda incluir un artículo en donde se especifique los requerimientos sobre prácticas operacionales. |

Fuente: Elaboración propia.

## 8.2 Análisis de convergencia entre la propuesta de norma y otros instrumentos regulatorios o voluntarios

Con la finalidad de atribuir beneficios a las exigencias propuestas, es necesario realizar un análisis de convergencia entre lo propuesto y aquellos instrumentos, ya sean estos de carácter regulatorio como voluntario, que pudiesen tener injerencia en temas relativos a la disminución de TRS y/u olores en las fuentes reguladas. Lo anterior permite, además de identificar aquellas tecnologías y buenas prácticas ya implementadas por los regulados, identificar aquellos costos y beneficios que no deben volver a contabilizarse.

### 8.2.1 Planes de prevención y/o descontaminación atmosférica (PPDA)

Actualmente, existen Planes de descontaminación atmosférica en las regiones de emplazamiento de los regulados (entre las regiones del Maule y Los Ríos). Sin embargo, no se identifica ningún Plan de Prevención y/o descontaminación atmosférica cuyo alcance aborde las comunas asociadas a las plantas o dentro del rubro de celulosa Kraft, adicionalmente, dichos planes abordan en su mayoría la contaminación por material particulado.

### 8.2.2 Convenio de Cooperación Ambiental CMPC S.A, Intendencia Región del Biobío, CONAMA, Seremi de Salud e I. Municipalidad de Nacimiento

Este convenio firmado el 13 de mayo de 2009 por la Intendencia de la Región del Biobío, la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA (actual Ministerio del Medio Ambiente), la Secretaría Regional Ministerial de Salud, la I. Municipalidad de Nacimiento y CMPC S.A en representación de su planta, tiene por objetivos, los siguientes:

- Seguridad, minimizando el riesgo a exposición de trabajadores y vecinos de la población aledaña como resultado de su emplazamiento en las cercanías de la planta.
- Mitigación de emisiones y mejoramiento ambiental, buscando reducir las emisiones líquidas, gaseosas y sólidas.

- Responsabilidad social y ambiental y protección del entorno, mediante la organización y ejecución de proyectos y/o actividades de las áreas aledañas a la empresa y otras a convenir.
- Programa de información y colaboración ambiental con las comunidades aledañas, estableciendo y desarrollando un programa anual de información y colaboración ambiental, con planes, programas, proyectos y/o actividades.

Las partes además acuerdan cooperación entre las mismas para la organización y ejecución de las actividades a realizar e informar con antelación a las partes interesadas en caso de ser realizadas por una de ellas. Acuerdan también un intercambio fluido de información.

Las acciones acordadas en materia de calidad de aire y control de emisiones de compuestos TRS son las siguientes:

- Mejoras en precipitadores electrostáticos de la caldera recuperadora N°1.
- Mejoras en Precipitadores Electrostáticos de la caldera de biomasa.
- Análisis de percepción de olores en Nacimiento.
- Instalación de nuevas estaciones de monitoreo de calidad de aire (TRS y $PM_{10}$).
- Mejoras en la colección de gases diluidos en Planta.
- Recuperar venteo de estanque disolvedor de licor verde hacia la caldera recuperadora N°1.
- Capturar gases diluidos de las áreas de caustificación de línea 1 y línea 2.
- Instalación de sistema de respaldo para incineración de gases (incinerador/scrubber).

### 8.2.3 RCA asociadas a los regulados

A continuación, se ofrece una descripción de las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de los proyectos, cuyo contenido presenta ciertas convergencias en materia de control de olores y/o compuestos TRS en las diferentes partes que componen a las plantas reguladas. La codificación de las RCA en esta sección ha sido modificada por confidencialidad.

#### 8.2.3.1 Planta PCK-01

En la RCA01, que consiste en la modernización de instalaciones y en el aumento de producción de la PCK-01, se identifican las siguientes medidas:

- Los gases generados en el área de blanqueo de las dos líneas operativas son tratados en un scrubber alcalino y luego se descargan en la atmósfera.
- La concentración del licor negro se lleva a cabo en una planta de evaporadores en serie de múltiples etapas y un concentrador de varias etapas.
- Cada caldera recuperadora cuenta con precipitadores electrostáticos.
- Horno de cal cuenta con precipitador electrostático como sistema de abatimiento, donde posteriormente, en la chimenea se encuentra un sistema de monitoreo continuo de gases TRS y oxígeno.

- Calderas de poder cuentan con precipitadores electrostáticos como medida de abatimiento.
- Los gases no condensables concentrados (CNCG) de línea 3 serán recolectados y quemados en la caldera recuperadora 3 o en la caldera de poder 5 o, en su defecto como respaldo en un incinerador.
- Los gases no condensables diluidos (DNCG) son recolectados y quemados inyectándolos al flujo de aire secundario de combustión en la caldera recuperadora 3, mientras que los gases generados en el estanque disolvedor de licor verde se quemarán en el nivel terciario de la caldera recuperadora 3.
- Los gases no condensables concentrados (CNCG) de línea 2 seguirán recolectándose a través de ductos desde las fuentes de generación y se quemarán en el incinerador dedicado, luego, como sistemas de respaldo, continuarán funcionando la caldera de poder 2 y el jorno de cal 2 como tercera alternativa.
- Los gases no condensables diluidos (DNCG) de la línea 2 se seguirán recolectando, haciéndolos circular por un scrubber previo a ser quemados en la caldera recuperadora 2.
- Disminución de la superficie de transferencia a la atmósfera de tratamiento secundario de efluentes actual (sistema de aireación) mediante su reemplazo por reactores biológicos de alta eficiencia, esperándose que emisiones TRS fugitivas disminuyan en un orden del 70%.
- Medidas especiales de monitoreo de olores.

#### 8.2.3.2 Planta PCK-02

Se identifica en la RCA25 que consiste en la construcción y operación de una planta de tratamiento de efluentes líquidos generados en el proceso productivo, el riego de las canchas de madera y aguas lluvias, entre otros, un intercambiador de calor con el objetivo de reducir la temperatura al efluente y adecuarla para el posterior tratamiento en el reactor biológico.

#### 8.2.3.3 Planta PCK-03

No se identifican obligaciones de implementación de medidas o tecnologías de mitigación de compuestos TRS y/u olores.

#### 8.2.3.4 Planta PCK-04

En la RCA18 se identifican las siguientes medidas:

- Instalación de precipitadores electrostáticas de alta eficiencia para calderas y horno.
- Extensión del sistema de abatimiento de gases no condensables mediante la recolección e incineración con doble sistema de respaldo, operativo de forma permanente (principalmente gases provenientes en el sistema de condensados stripper).
- Incineración en la caldera recuperadora de los gases de salida del estanque disolvedor.
- Equipo lavador de gases en planta de blanqueo

- Recolección de gases no condensables provenientes de la planta de evaporadores para incinerarlos en el sistema de abatimiento de gases.
- Mayor capacidad en la evaporación de la nueva planta, lo que se traduce en una mejor concentración del licor negro lo que impacta positivamente en el funcionamiento de la caldera recuperadora.
- El proyecto cuenta con una caldera recuperadora de bajo olor.
- Gases de estanque disolvedor de licor verde se recuperarán y serán conducidos a un lavador de gases y se quemarán en la caldera recuperadora.
- Gases no condensables concentrados (CNCG) serán incinerados en la caldera de biomasa 5 o en la caldera recuperadora. También se contará con un incinerador como segundo respaldo. Empero, antes de quemas los gases en cualquiera de las calderas, estos serán conducidos al sistema lavador con licor blanco.
- Gases no condensables diluidos (DNCG) se recolectarán y quemarán en la caldera recuperadora.

Por último, se identifica otra RCA correspondiente a la RCA12, sin embargo, considera las mismas medidas de la RCA descrita anteriormente.

#### 8.2.3.5 Planta PCK-05

Se identifica en la RCA17 consistente en, optimizar las instalaciones de la Planta PCK-05, las siguientes acciones para el control de las emisiones atmosféricas de TRS y/u olores:

- Recolección y quemado de gases no condensables concentrados (CNCG) y diluidos (DNCG), los que son quemados en la caldera recuperadora, las cuales vienen acompañadas por precipitadores electrostáticos para el abatimiento de partículas. En caso de que no sea posible quemar los gases no condensables concentrados (CNCG), se conducen hacia el incinerador de respaldo. En cuanto a los gases no condensables diluidos (DNCG), los gases se descargan a la atmósfera por medio de una chimenea de venteo luego del lavado en un cooling scrubber.
- Lavado y neutralización de gases ácidos provenientes de las etapas de dióxido de cloro de las dos líneas en un scrubber alcalino antes de ser descargados hacia la atmósfera.
- Aumento del área de transferencia de calor (o incorporar nuevos cuerpos) en la planta de evaporadores para concentrar una mayor cantidad de licor negro, así como también aumentar la capacidad de condensación de los vahos y del sistema de limpieza de los condensados generados (stripping).
- Aumento de capacidad de instalaciones menores (bombas, cañerías, etc.).
- El horno de cal cuenta con dos sistemas de control de emisiones en serie, un ciclón y un precipitador electrostático.
- Caldera de poder cuenta con un precipitador electrostático.
- Gases del estanque disolvedor de licor verde, posterior al paso por un scrubber, son inyectados a la caldera recuperadora en forma de aire terciario.

Por otro lado, en la RCA11 que tiene como objetivo la actualización de los cambios en el diseño y construcción del Complejo Industrial Forestal del proyecto aprobado, lo que se traduce en aumentos de producción de la planta de celulosa y en la de trozado, se presentan las siguientes medidas de control y/o mitigación de compuestos TRS y/u olores:

- En la caldera de poder los gases de combustión son enviados a un precipitador electrostático, para retener cerca del 99% del material particulado arrastrado de forma previa a la descarga final en la atmósfera.
- El licor negro débil será procesado en la planta de evaporadores donde se aumentará su concentración hasta un 80%.
- Los gases no condensables concentrados y diluidos (CNCG y DNCG) provenientes de las distintas áreas de la planta, serán recolectados y enviados hacia la caldera recuperadora para su incineración, la cual cuenta con precipitadores electrostáticos.
- El horno de cal posee dos sistemas de control en serie compuestos de un ciclón y un precipitador electrostático, este último también está instalado para el control de emisiones en la caldera de poder.
- En el caso de los gases del estanque disolvedor de licor verde, estos serán enviados a un scrubber previamente a la incineración en la caldera recuperadora como aire terciario.
- En caso de que no sea posible la incineración de los gases no condensables concentrados (CNCG) en la caldera recuperadora, estos serán conducidos hacia un incinerador de gases TRS de respaldo. En cuanto a los gases no condensables diluidos (DNCG) que no puedan quemarse en la caldera recuperadora, estos serán conducidos hacia una columna lavadora y enfriadora de gases (cooling scrubber) y posteriormente serán descargados a través de una chimenea con un 50% de eficiencia.

Finalmente, en la RCA15 que considera el diseño, construcción y operación de un complejo industrial enfocado en el aprovechamiento integral de los recursos forestales de pino radiata y eucaliptus, el cual estará constituido por una planta de trozado, una planta de celulosa blanca, un aserradero y una planta de molduras, se identifican las siguientes medidas:

- Las emisiones gaseosas serán mitigadas por medio de sistemas de depuración de gases en las fuentes fijas puntuales (caldera de recuperación, horno de cal, caldera de poder, incinerador de TRS), sistema de recolección de gases no condensables y eventual incineración, monitoreo periódico de emisiones de SO2, TRS y material particulado, gestión de gases residuales (evaluación periódica de efectos sobre la calidad del aire, utilización de modelos de dispersión para predecir periodos de baja ventilación y control de variables de procesos relevantes a la generación de contaminantes atmosféricos.
- A su vez, se contará con precipitadores electrostáticos, scrubber y calderas recuperadoras de bajo olor.

#### 8.2.3.6 Planta PCK-06

En la RCA10 consistente en el mejoramiento de la gestión operacional y de mantención de equipos en la planta para aumentar la producción, se identifican las siguientes medidas y/o tecnologías implementadas:

- Sistema de recolección y quemado de gases TRS.
- Sistemas de abatimiento de calderas son precipitadores electrostáticos.

Por su parte, en la RCA14 se identifica lo siguiente:

- Recolección e incineración de gases TRS.
- Caldera recuperadora de baja emisión de olores.
- Precipitadores electrostáticos como sistema de abatimiento de emisiones atmosféricas.
- Lavadores de gases scrubber con eficiencia mayor a 80%
- Ampliación de capacidad de planta evaporadora con un sexto efecto, un nuevo concentrador y un nuevo estanque presurizado de licor negro.
- Instalación de un incinerador de respaldo de gases no condensables en el área de caustificación y horno de cal.
- Modificación del sistema de aire de combustión de la caldera.
- Mejoramiento en la eficiencia del lavador de gases del estanque disolvedor de licor verde.
- Instalación de un scrubber en el circuito de gases no condensables antes de ser incinerados en el horno de cal.

#### 8.2.3.7 Planta PCK-07

En la RCA16 consistente en la optimización de su nivel de producción, se han identificado las siguientes medidas:

- Convenio de Cooperación Ambiental entre varias entidades públicas (descrito anteriormente).
- Instalación de un nuevo incinerador de gases no condensables con un sistema lavador scrubber.
- Calderas cuentan con un precipitador electrostático como sistema de abatimiento de emisiones, los cuales serán mejorados y/o reemplazados.
- Agregan nuevos puntos de captación desde las áreas de caustificación tanto para línea 1 como para la línea 2, así como desde la línea de fibras de esta última.
- Se recuperarán los venteos del estanque disolvedor 1 inyectándolos en la caldera recuperadora 1.

Finalmente, en la RCA13 la cual consiste en la instalación de la línea 2 de producción y con eso el aumento de la capacidad de producción, se identifican las siguientes medidas y/o tecnologías:

- Gases no condensables son recolectados desde todas las fuentes y son conducidos hacia una etapa de lavado con un scrubber, seguido por una columna de separación del metanol, una etapa de condensación y una etapa de precalentamiento y separación de

gotas, donde finalmente son inyectados en la caldera como equipo dedicado o en el horno de cal como equipo de respaldo.
- Calderas y hornos cuentan con precipitadores electrostáticos de alta eficiencia.
- Se implementa un nuevo incinerador de respaldo para ambas líneas de producción.
- La planta de blanqueo cuenta con un scrubber alcalino.

#### 8.2.3.8 Planta PCK-08

En la RCA08 cuyo objetivo principal es como su nombre lo indica, el aumento de la capacidad de generación de vapor de la caldera de poder de 90 [t/h] a 120 [t/h] para aumentar la generación energética, se identifican las siguientes medidas y/o tecnologías implementadas:

- La caldera de poder cuenta con un quemador de gases no condensables concentrados (CNCG) y metanol, para actuar como respaldo de la caldera recuperadora.
- La caldera de poder tiene un precipitador electrostático como medida de abatimiento.
- Las emisiones se controlan a través de medidas de control operacional de la caldera y control de temperatura de esta.

Asimismo, en la RCA09 se identifican las siguientes:

- Emisiones de caldera de poder se controlan por medio de precipitadores electrostáticos de alta eficiencia, control operacional, de temperatura (>850 [°C]), oxígeno y nivel de CO.
- Implementación de un Plan de Monitoreo para TRS, entre otros contaminantes.

En cuanto a la RCA19 se establece lo siguiente:

- Se utiliza la caldera recuperadora de bajo olor para incinerar gases olorosos desde los procesos y la incineración de gases no condensables.
- El horno de cal debe estar equipado con sistemas de control de proceso para bajar las emisiones odorantes.
- Se instalará un sistema lavador de gases (scrubber) de alta eficiencia en el incinerador de gases no condensables (caldera recuperadora).

Por su parte, en la RCA22 se detecta:

- Nueva configuración de acumuladores de licor negro considera la recolección de gases no condensables generados en los digestores, en el actual acumulador de licor negro y el acumulador de licor blanco, los que serán conectados al actual sistema de recolección de gases no condensables para ser enviados a los intercambiadores de calor y sistema de recuperación de trementina.

### 8.2.4 Impuesto verde

El impuesto verde fue establecido en el año 2014 y establece que, a partir del año 2017, determinadas fuentes fijas tendrán que pagar emisiones asociadas a sus emisiones de $CO_2$ no biogénicas y por contaminantes locales (MP, $NO_x$ y $SO_2$). Mientras el $CO_2$ tiene una tasa fija de 5 [USD/t$CO_2$], las tasas impositivas para los otros contaminantes varían, según contaminante,

población de la comuna y si existe o no una declaración de zona de latencia o saturación (Ministerio de Hacienda, 2014).

Recientemente la ley 21.210 modificó la ley 20.780 en cuanto a quienes están sujetos al pago del impuesto, pasando de un criterio de capacidad térmica a uno de nivel de emisiones. En particular el criterio vigente para el pago es que las emisiones anuales de $CO_2$ sean superiores a 12.500 toneladas y/o las emisiones anuales de MP sean superiores a 50 toneladas. Si bien este criterio implica que la definición de quien paga impuesto es realizada expost - una vez que ya se conozcan las emisiones – el MMA publica anticipadamente un listado con establecimientos con obligación de reportar (R.E N° 1628). De los establecimientos regulados por la normativa analizada en el presente estudio se observa que los siguientes establecimientos se encuentran en el listado generado para el año 2023 presentado en la Res. Ex. 1628 del MMA:

- Celulosa Arauco y Constitución S.A- Planta Constitución.
- Celulosa Arauco y Constitución S.A- Planta Arauco
- CMPC Pulp SpA. - CMPC Celulosa Planta Santa Fe
- Celulosa Arauco y Constitución S.A- Planta Licancel
- Celulosa Arauco y Constitución S.A- Planta Nueva Aldea
- Celulosa Arauco y Constitución S.A- Planta Valdivia
- CMPC Pulp SpA. - CMPC Celulosa SA Planta Pacífico
- CMPC Pulp SpA. - CMPC Celulosa SA Planta Laja

De esta forma, las fuentes reguladas por TRS también están sujetas al pago de este impuesto. En particular, es de interés la relación entre las emisiones de TRS y de $SO_2$. Dado que la combustión de los gases TRS para controlar los olores implica un aumento de las emisiones de $SO_2$.

# 9. Evaluación del cumplimiento de escenarios de medidas y propuestas regulatorias

En el presente Capítulo se presentan la proyección de emisiones para las distintas medidas y escenarios regulatorios, junto con una evaluación de los niveles de cumplimiento de la normativa propuesta en cada escenario. A continuación, se presenta un análisis comparativo entre las plantas y un análisis de la determinación de factibilidad técnica.

## 9.1 Proyección de emisiones y evaluación de nivel de cumplimiento

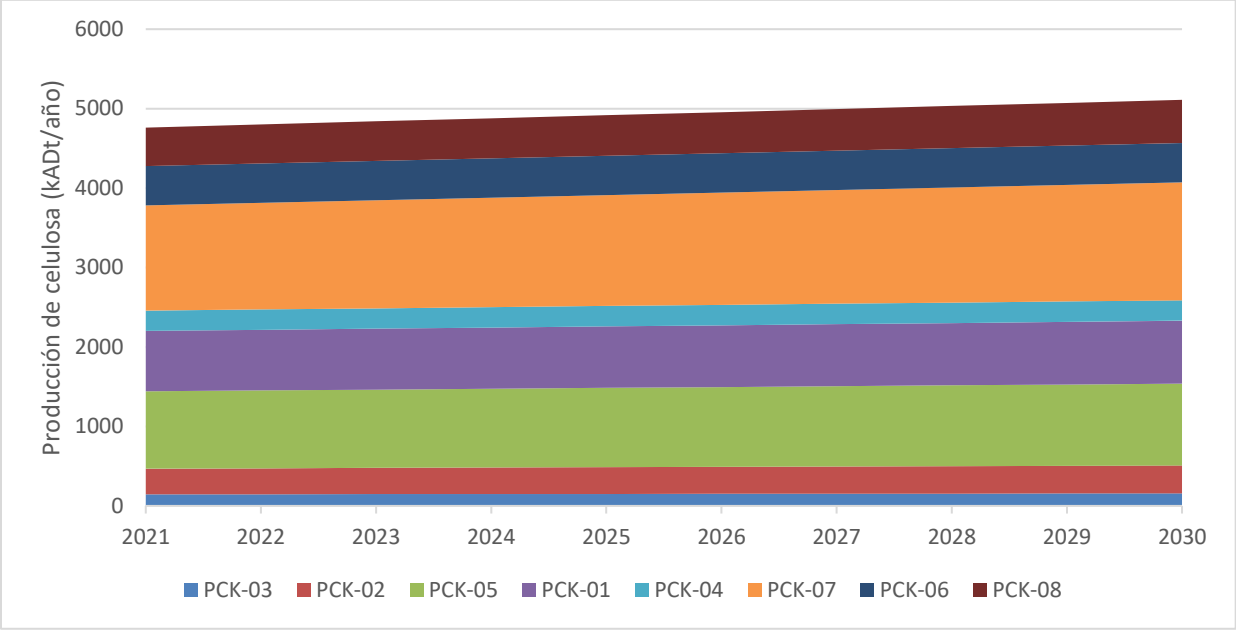
La presente sección presenta la proyección de emisiones en la línea base, así como en cada uno de las medidas y escenarios regulatorios propuestos. En la presente sección se detalla la metodología y se presenta una comparación agregada entre los escenarios.

La proyección del inventario de emisiones sigue la misma estructura y metodología del inventario de emisiones presentada en la sección 6.1. Esta metodología sigue una estructura donde el nivel de actividad – producción de celulosa de las plantas – es el *driver* de las emisiones, a partir de factores de emisión seleccionados para cada una de las fuentes. De esta forma el primer paso corresponde a la proyección del nivel de actividad de los establecimientos.

La proyección del nivel de actividad se realiza a partir de la estimación de los factores de plantas de los establecimientos, observándose que estas operan con factores de plantas normalmente superiores a 90%. El supuesto principal, es que para el año final de inventario el factor de planta de las plantas alcanzará los niveles más altos observados, aumentando la producción linealmente entre el año base (2021) hasta el año 2030.

La Figura 9.1 presenta la proyección de los niveles de producción observándose que la producción anual máxima proyectada se alcanza al año 2030 con una producción de 5,1 millones de toneladas. En comparación el *peak* de producción histórico corresponde al año 2018, con una producción de 5,05 millones de toneladas razón por lo cual se considera razonable la proyección realizada. Cabe destacar que la proyección realizada no pretende ser una predicción, sino que busca generar un escenario futuro razonable que dé cuenta de las tendencias. En este sentido, es esperable que haya variabilidad en la producción anual de cada planta por diferentes motivos que pudieran explicar una reducción en la producción, por ejemplo, por mantención de los equipos en la línea crítica de producción.

**Figura 9.1 Proyección de la producción [kADt/año] por establecimiento**

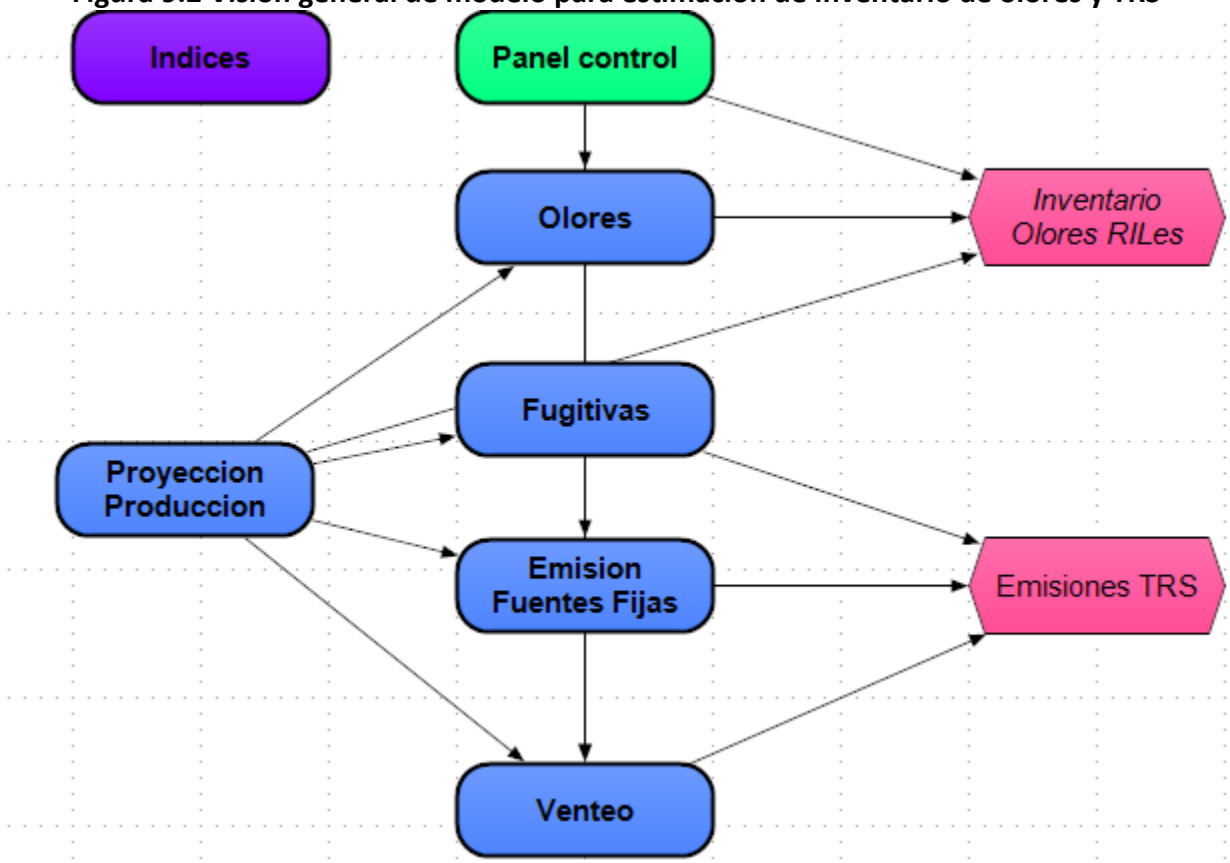



Fuente: Elaboración propia

Tras la proyección del nivel de actividad se realiza la proyección de las tasas de emisión. El supuesto base corresponde a que en el escenario base los factores de emisión se mantienen constante y, por lo tanto, las emisiones aumentan proporcionalmente al nivel de actividad. Para las medidas propuestas los factores de emisión son modificados de acuerdo a las eficiencias de reducción de emisiones de cada una de las tecnologías consideradas, de forma consistente con la metodología descrita en el Manual para la Elaboración de Inventarios (MMA, 2017).

En coordinación con la contraparte, la estimación y proyección de emisiones se realiza en el software de modelación Analytica (versión 6.2). En dicho modelo, se realiza de forma diferenciada un inventario para las emisiones de TRS y otro para los olores de las plantas de tratamiento de RILes. El modelo (ver Figura 9.2) es compartido con la contraparte para su revisión en detalle de los cálculos realizados, así como para su posterior modificación en vista de nuevos antecedentes que permitan mejorar las estimaciones realizadas.

**Figura 9.2 Visión general de modelo para estimación de inventario de olores y TRS**




Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados para la estimación de emisiones en las diferentes medidas modeladas. Si bien, el modelo presenta resultados detallados para cada establecimiento, año, medida o escenario normativo, escenario de costo[15] (ver sección 10.1), así como una distribución de estadística de los valores, en la presente sección se presentan la mediana (percentil 50) para el año 2030. Dado la linealidad subyacente a la modelación, el año 2030 es proporcional en sus emisiones respecto de los otros años donde ya se hayan implementado la tecnología. Se opta por presentar los datos anuales, en lugar de por ejemplo los datos acumulados, dado que este último resultado es más sensible al año de inicio de la norma.

[15] Para los escenarios donde existen múltiples alternativas tecnológicas se crean escenarios de costo: económico que representa la tecnología con menor costo, y costoso que representan las tecnologías más costosas. Además de los costos, estas tecnologías se podrían diferenciar en su eficiencia de reducción (ver sección 10.1).

La Tabla 9.1 presenta los resultados de emisiones de TRS para las medidas con efecto sobre las emisiones de TRS, junto con las emisiones anuales del caso base. Cabe destacar que la medida 1 no se presenta en la Tabla, pues en el escenario base ya se están cumpliendo las exigencias en todos los establecimientos. Por su parte, las medidas 4 y 5 regulan los olores de RILes y no las emisiones de TRS.

En la tabla se observa que el control de los venteos, ya sea en el escenario económico (neutralizantes) o costoso (scrubber), tiene un impacto marginal en las emisiones anuales de TRS. Esto es consistente con lo observado en la sección 6.3, donde se estima que las emisiones de venteo representan en torno a 0,12% de las emisiones anuales de TRS. Sin embargo, se destaca que estas emisiones se concentran en espacios cortos de tiempo teniendo un efecto agudo importante (ver sección 11.2.1 para discusión sobre efectos en la salud de la población de los venteos).

La medida 3 que regula las emisiones del horno de cal cuenta con reducciones mayores observándose que las reducciones se concentran en aquellos cuatro establecimientos que en el periodo 2019-2021 tuvieron concentraciones que superan el umbral propuesto. En particular, se destaca que si bien la medida se modela con la implementación de tecnología adicional (filtros LMF o Scrubber según escenario de costo), existe la posibilidad de que estos escenarios puedan lograr los límites propuestos por medio de prácticas operacionales, los cuales resultarían en reducciones menores. Prueba de esto es que en la gran mayoría de los meses analizados estos establecimientos cumplen con la regulación propuesta.

**Tabla 9.1 Reducciones de TRS [ton/año] 2030 para medidas con reducciones, por escenario tecnología**

| Establecimiento | Emisiones Venteo | | | Emisiones HC | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Línea base 2030 | Reducciones 2030 | | Línea base 2030 | Reducciones 2030 | |
| | | M2: Económica | M2: Costoso | | M3: Económica | M3: Costoso |
| **PCK-01** | 18 | - | - | 14,799 | -10,375 | -10,375 |
| **PCK-02** | 15 | -8 | -11 | 915 | - | - |
| **PCK-03** | 10 | -5 | -7 | 2,009 | -1,607 | -1,607 |
| **PCK-04** | 10 | -6 | -8 | 3,397 | - | - |
| **PCK-05** | 35 | -16 | -24 | 37,510 | - | - |
| **PCK-06** | 13 | -9 | -11 | 15,063 | -12,050 | -12,050 |
| **PCK-07** | 51 | - | -22 | 16,091 | - | - |
| **PCK-08** | 38 | -16 | -25 | 7,982 | -6,386 | -6,386 |
| **Total** | **190** | **-60** | **-108** | **97,767** | **-30,419** | **-30,419** |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9.2 se presentan las emisiones de olores durante el tratamiento de RILes para las medidas que modifican las emisiones de olores. Se observa como la medida 4 – que regula lagunas (escenario económico con cubiertas ensilado y escenario costoso con cubierta geotextil) y estanques (escenario económico con biofiltros y escenario costos con filtros de carbón activado) - tiene mayores reducciones en la emisión de olores que la medida 5 – la cual regula torres de enfriamiento. Al respecto se debe notar que este resultado depende de la configuración particular del sistema de tratamiento de RILes de cada establecimiento. El caso más claro de esto corresponde a lo proyectado en los establecimientos PCK-02 y PCK-03, los cuales no cuentan con torres de enfriamiento y, por lo tanto, la medida5 no tiene ningún efecto sobre sus emisiones. El caso contrario corresponde a los establecimientos PCK-04 y PCK-07, donde por su configuración, la medida 5 resulta en reducciones mayores a las de la medida 4.

**Tabla 9.2 Emisiones olores [$OU_E$/s] 2030 para medidas con reducciones, por escenario tecnología**

| Establecimiento | Lagunas y Estanques | | | Torres de Enfriamiento | |
|---|---|---|---|---|---|
| | TEO línea base 2030 | Reducciones 2030 | | TEO línea base 2030 | Reducciones 2030 |
| | | M4: Económica | M4: Costoso | | M5: Única |
| **PCK-01** | 3.421.159 | -2.529.885 | -2.881.077 | 1.207.118 | -905.338 |
| **PCK-02** | 705.843 | -524.060 | -601.980 | - | - |
| **PCK-03** | 318.127 | -236.196 | -271.315 | - | - |
| **PCK-04** | 227.806 | -170.376 | -198.748 | 598.929 | -449.197 |
| **PCK-05** | 2.068.620 | -1.535.872 | -1.764.250 | 1.309.410 | -982.058 |
| **PCK-06** | 881.125 | -659.004 | -768.768 | 754.449 | -565.836 |
| **PCK-07** | 450.185 | -315.149 | -315.199 | 1.962.441 | -1.471.831 |
| **PCK-08** | 1.258.628 | -927.478 | -1.048.219 | 501.294 | -375.970 |
| **Total** | **9.331.492** | **-6.898.020** | **-7.849.556** | **6.333.640** | **-4.750.230** |

Fuente: Elaboración propia

## 9.2 Consolidación de base de datos y análisis comparativo

Toda la información respecto a la proyección de emisiones, tanto de TRS como de olores, es desarrollada a partir de un modelo en Analytica el cual es compartido íntegramente con la contraparte técnica para su consulta, ajuste y mejora. Dos bases de datos son sistematizadas y consolidadas en el Apéndice 2 adjunto al presente documento.

La Tabla 9.3 y Tabla 9.4 presentan los campos descriptivos de información contenidas en las bases de datos del Apéndice 2. Al respecto cabe destacar que si bien la BD de estimación de TRS cuenta con una descripción de incertidumbre de los valores (en base a percentiles 5 y 95) la BD de olores no cuenta con dicho descriptor. Lo anterior no implica que dichas estimaciones no tengan incertidumbre. Por el contrario, la ausencia de dicho descriptor es la consecuencia de la falta de información suficiente para poder cuantificar su magnitud. Más aún, la estimación de incertidumbre de las emisiones de TRS solo dan cuenta de una fracción de la incertidumbre, en

este caso sólo respecto a la desviación del valor de la media anual de las concentraciones de las fuentes fijas actualmente reguladas.

**Tabla 9.3 Campos de información de BD de emisiones de TRS**

| Campo de información | Tipo de dato | Valores | Descripción |
|---|---|---|---|
| **Id** | Integer | 1..8640 | Identificador único de cada dato incluido en la BD |
| **Establecimiento** | String | PCK-(01..08) | Identificador de establecimientos modelados |
| **Tipo de emisiones** | String | Fijas; Venteos; Fugitivas | Tipo de emisión. Notar que de acuerdo a sección 6.1, cada una de estas categorías tiene una estimación diferente. |
| **Year** | Integer | 2021..2030 | Año modelado |
| **Medida** | String | Base; Esc (1-5) | Identificador de medida modelado, incluyendo escenario línea base |
| **Escenario** | String | Base; Esc (1-3) | Identificador de escenario regulatorio modelado. En base de datos de escenarios reemplaza el campo "medida", agrupando las medidas consideradas en cada escenario regulatorio. |
| **Esc_costo** | String | Económico; Costos | Escenario de costo modelado para cada escenario regulado. Se diferencia en la tecnología considerada para dar cumplimiento a las exigencias de cada escenario normativo. Para aquellos escenarios con sólo una tecnología, se repite el valor en ambos escenarios. |
| **Perc** | Double | 0,05; 0,5; 0,95 | Percentil (5, 50 y 95) de la distribución de emisiones. Considera solo una parte de la incertidumbre de la modelación, que pudo ser cuantificada. |
| **Value_TRS/a** | Double | | Estimación de toneladas de TRS emitidas anualmente. |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9.4 Campos de información de BD de emisiones de olores**

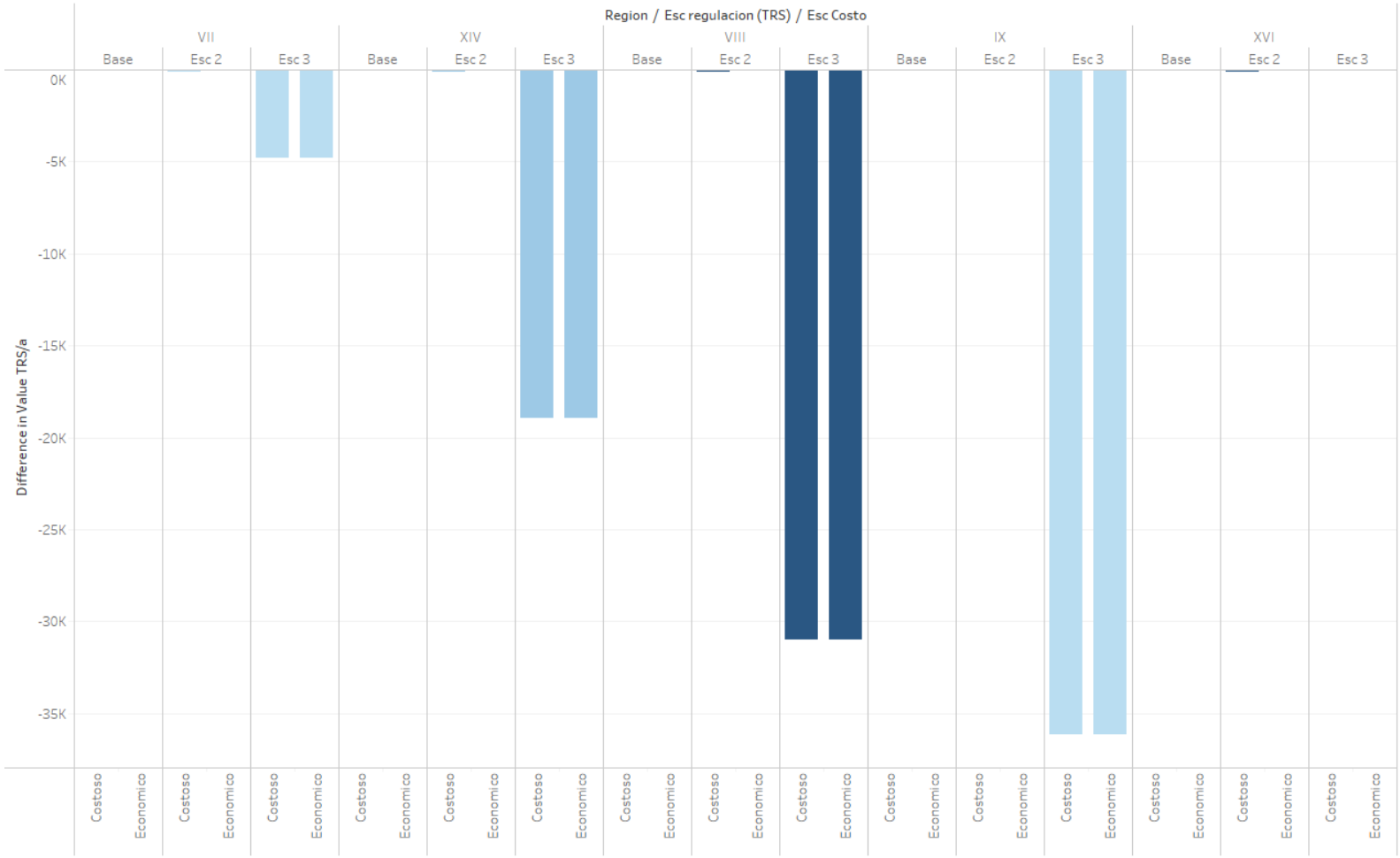
| Campo de información | Tipo de dato | Valores | Descripción |
|---|---|---|---|
| **Id** | Integer | 1..20040 | Identificador único de cada dato incluido en la BD |
| **Establecimiento** | String | PCK-(01..08) | Identificador de establecimientos modelados |
| **Year** | Integer | 2021..2030 | Año modelado |
| **Fuentes_EIOs** | String | 45 fuentes únicas | Fuentes equivalentes imputadas. Pueden diferir de las fuentes reales, corresponde a una imputación realizada por el equipo en base a la información disponible de EIOs. |
| **Medida** | String | Base; Esc (1-5) | Identificador de medida modelado, incluyendo escenario línea base |
| **Escenario** | String | Base; Esc (1-3) | Identificador de escenario regulatorio modelado. En base de datos de escenarios reemplaza el campo "medida", agrupando las medidas consideradas en cada escenario regulatorio. |
| **Esc_costo** | String | Económico; Costos | Escenario de costo modelado para cada escenario regulado. Se diferencia en la tecnología considerada para dar cumplimiento a las exigencias de cada escenario normativo. Para aquellos escenarios con sólo una tecnología, se repite el valor en ambos escenarios. |
| **Value_TRS/a** | Double | | Estimación de toneladas de TRS emitidas anualmente. |

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos disponibles en estas bases de datos se pueden realizar análisis a distintos niveles de agregación, según lo que se considere relevante. A modo de ejemplo, en la siguiente figura se presentan las reducciones de TRS y olores a nivel regional, distinguiendo según el número de denuncias en el periodo 2013-2022. Mientras más oscura la barra mayor es el número de denuncias. A modo de ejemplo en la Figura 9.3, se observa como las segundas mayores reducciones se dan en la octava región en el establecimiento con el mayor número de denuncias.

Mientras que en la Figura 9.4 se observa que, en la octava región, las mayores reducciones de olores por tratamiento de RILes no ocurren en los establecimientos con mayor número de denuncias.

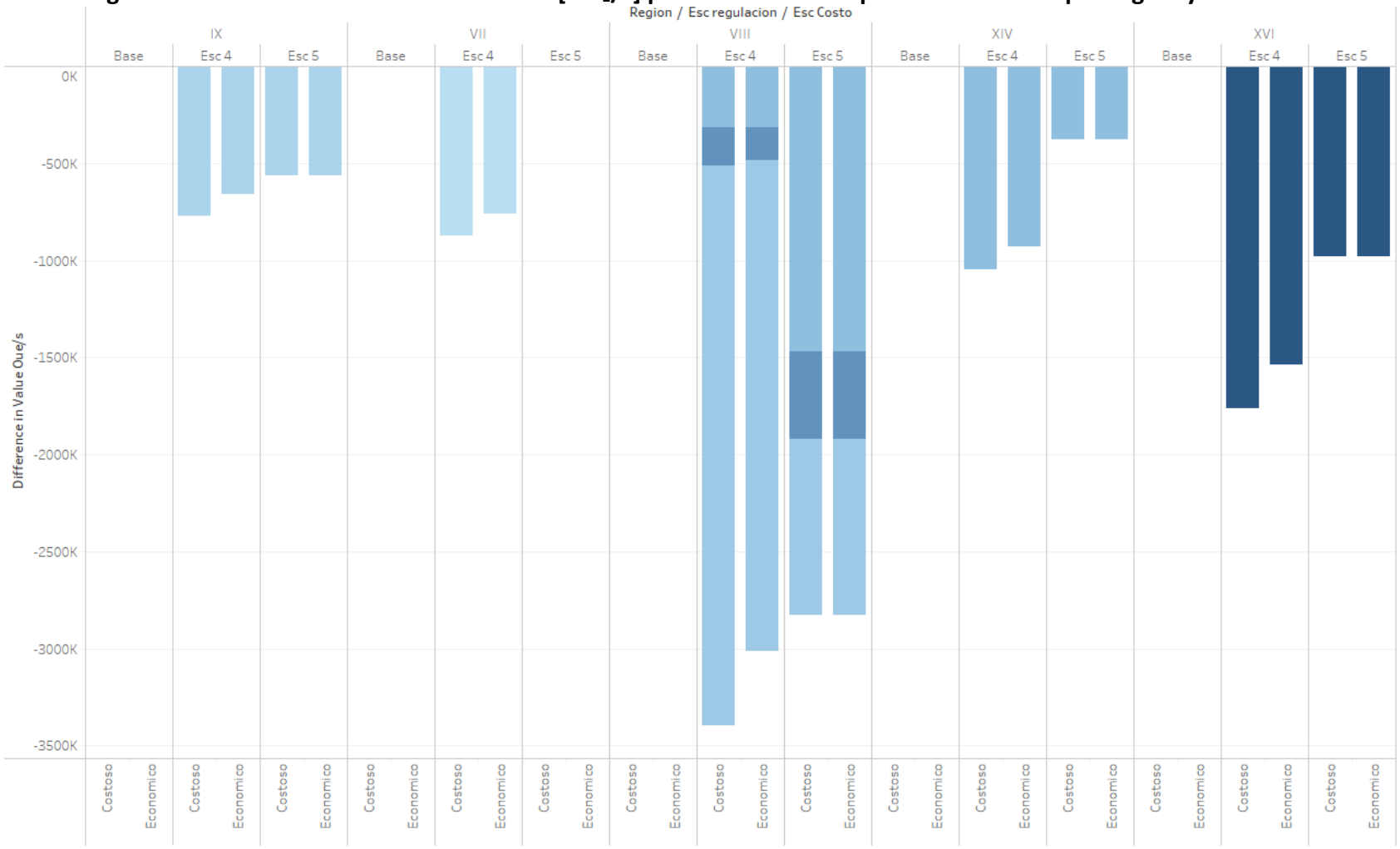
**Figura 9.3 Reducción de emisiones TRS [ton/año] con respecto a línea base por región y escenarios**




Nota: mientras más oscuro mayor es el número de denuncias entre 2013 y 2022

Fuente: Elaboración propia

**Figura 9.4 Reducción de emisión de olores [$OU_E$/s] por medida con respecto a línea base por región y escenarios**




Nota: mientras más oscuro mayor es el número de denuncias entre 2013 y 2022

Fuente: Elaboración propia

## 9.3 Determinación de factibilidad técnica para cumplir con las exigencias normativas

La factibilidad técnica para el cumplimiento de las exigencias normativas aquí interpuestas ha sido evaluada en base al establecimiento de ciertos criterios que se han ido aplicando a lo largo del presente documento, los cuales son:

- Implementación, que responde a la pregunta ¿ha sido implementado a nivel nacional o en el sector de celulosas?
- Disponibilidad de provisionamiento, que responde a la pregunta ¿Existe la tecnología o proveedores a nivel nacional?
- Costo, que responde a la pregunta ¿El costo de implementación o del escenario es costoso o económico?

La escala de factibilidad será de alta, media o baja, donde la MTD para la fuente regulada en un escenario cualquiera será altamente factible cuando todos los criterios (100%) respondan positivamente a las preguntas realizadas anteriormente, es decir, ya ha sido implementada a nivel nacional o dentro del sector, existen proveedores nacionales, no existen impedimentos para su implementación y el costo corresponde a un escenario económico (véase sección 10.2). Por su parte, si se cumple con más del 60% de los criterios, pero no el 100%, la factibilidad será de carácter media y por el contrario, si es menos, la factibilidad será baja.

De acuerdo a lo anterior, se puede definir la variabilidad de desempeño esperada, en base a lo estipulado en la Tabla 9.5 donde si la factibilidad es alta, la variabilidad del desempeño será baja debido al grado de incertidumbre bajo que posee (se asume que al estar la tecnología cumpliendo con los criterios mencionados anteriormente, es probable que si logre el desempeño esperado), y así respectivamente para la escala en total.

**Tabla 9.5 Escala de variabilidad del desempeño esperado según la factibilidad**

| Factibilidad | Variabilidad del desempeño |
|---|---|
| **Alta** | Baja |
| **Media** | Media |
| **Baja** | Alta |

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9.6 se expone la factibilidad técnica de cumplimiento de las exigencias normativas propuestas en la presente revisión del DS37/2013 del MMA, donde se vincula el escenario propuesto, la MTD y la fuente relacionada al mismo.

**Tabla 9.6 Factibilidad técnica de cumplimiento de las exigencias normativas**

| Escenario | MTD | Fuente | Rango de eficiencia [%] | Diferencia entre eficiencia teórica y real | Factibilidad | Variabilidad de desempeño esperada |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Esc 1 | N/A | Caldera de poder e incinerador dedicados | N/A | N/A | Como es un escenario que no requiere de tecnología para asegurar su cumplimiento la factibilidad de cumplir con la exigencia normativa es alta. | Baja |
| | Filtro LMD | Horno de cal | 70%-99% | No existe información asociada | Esta una tecnología generalmente aplicable y de menor costo en comparación con los scrubbers, aunque a nivel nacional sólo ha sido aplicada en una de las plantas reguladas y se desconoce la existencia de proveedores nacionales. De acuerdo con los antecedentes bibliográficos descritos, es factible cumplir con este escenario debido a que con los filtros LMD modernos, se puede alcanzar fácilmente un contenido de TRS de 10 [ppmv] (Suhr *et al.*, 2015). Sin embargo, no se cuenta con información sobre su rendimiento en escala real aplicado al sector, por lo que se asume una incertidumbre alta, por tanto, factibilidad baja. | Alta |
| | Scrubber alcalino | Horno de cal | 70%-90% | En visitas a terreno realizadas se informaron eficiencias de un scrubber para el sector de celulosa de entre 85% a 90%. | La utilización de scrubbers puede verse limitada según el contenido de azufre del combustible, el tipo de gas o condensados alimentados y sus contenidos de metanol (Suhr *et al.*, 2015). De acuerdo a los sistemas de combustión de gases de los regulados, en los hornos de cal utilizados como equipo de quemado de TRS se alimentan tanto CNCG, como condensados sucios, que contienen metanol, por lo que la factibilidad de implementación depende de estos factores. Al igual que en el caso anterior, la utilización de esta MTD puede estar limitada por su costo, en comparación con otras alternativas, y aunque se ha comprobado que existen a nivel nacional, no se cuenta con antecedentes asociados a su eficiencia real. | Media |
| Esc 2 | Agentes neutralizantes | Venteos | 85%-97% | Este sistema funciona en base al viraje del tono hedónico (de 4 a 1), por lo que el porcentaje de eficiencia puede variar a los mencionados (extraído desde visitas técnicas a plantas). | Es una tecnología aplicada y probada a nivel nacional, de hecho, una de las plantas reguladas cuenta con esta MTD implementada en todos sus puntos de venteo, por lo que existen proveedores nacionales, desde el cual se obtuvo información directamente. Lo anterior, sin embargo, podría ser evaluado negativamente, ya que sólo se cuenta con un universo acotado de proveedores nacionales identificados.<br>Es una medida de menor costo y rápida implementación, que no requiere grandes intervenciones en las instalaciones preexistentes, sin embargo, posee una incertidumbre reflejada en la eficiencia de reducción de gases TRS (genera viraje en el tono hedónico). Dado la información indicada, se considera que la factibilidad de cumplir con este escenario es de carácter media. | Media |

| Escenario | MTD | Fuente | Rango de eficiencia [%] | Diferencia entre eficiencia teórica y real | Factibilidad | Variabilidad de desempeño esperada |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Esc 2 | Scrubber alcalino | Venteos | 70%-90% | En visitas a terreno realizadas se informaron eficiencias de un scrubber para el sector de celulosa de entre 85% a 90%. | Al igual que en el caso anterior, es una tecnología aplicada y probada en la mayoría de los regulados (5 plantas), en las líneas de combustión de gases DNCG y CNCG. Según los antecedentes recopilados desde antecedentes bibliográficos y visitas técnicas, presenta eficiencias teóricas generales y del sector similares. Sin embargo, dado su alto costo y al ser una unidad que cuenta con condiciones en el flujo de entrada (ya sea, contenido de azufre de los gases tratados u otros), se recomienda su aplicación a líneas de combustión específicas que cumplan con condiciones mínimas de flujo y/o concentración, especialmente aplicado a sistemas de gases CNCG. Su factibilidad es de carácter media. | Media |
| | Cobertura de laguna | Laguna de emergencia | 50%-90% | No existe información asociada | Es una tecnología no aplicada en las lagunas de emergencia del sector de las celulosas, pero si en lagunas pertenecientes a otros sectores como la minería. Es de fácil implementación, tecnología ampliamente disponible a nivel nacional y de costo moderado. Su factibilidad de implementación es de carácter media. | Media |
| | Filtro de carbón activado | Estanque de neutralización | 80%-95% | No existe información asociada | Es una tecnología ya aplicada por un regulado en la fuente indicada y además es una de las opciones de menor costo asociada al estanque de neutralización. Sin embargo, su eficiencia se puede ver afectada por algunos factores, por ejemplo; las mezclas de diferentes gases pueden generar saturación de un determinado componente, por lo que, no es adecuado para altas concentraciones de entrada, ni apto para gases residuales húmedos. Es una tecnología presente a nivel nacional por tanto su factibilidad es alta. | Alta |
| | Biofiltro | | 50%-99% | No existe información asociada | El biofiltro es aplicable a sector de planta de tratamiento de RILes, y una de las opciones económicas (Van der Auweraert & Brouwer, 2022). Sin embargo, es una tecnología sensible a las variaciones de concentración y caudal, también a la desecación, acidificación y envenenamiento de los microorganismos, lo que podría dificultar el control del proceso. Es una tecnología presente a nivel nacional por tanto su factibilidad es media. | Media |
| | Oxidación luz UV/Ozono | | 80%-98% | En entrevistas a regulados se indicó una eficiencia de 50% para un proceso de oxidación en la misma fuente. | Es una tecnología ya aplicada por uno de los regulados a nivel nacional. Sin embargo, su uso se podría ver limitado en cuanto a eficiencia, ya que, para obtener mejores eficiencias de aplicación, se recomienda complementar con otra tecnología *end of pipe,* como combinada con filtros de carbón activado. Posee proveedores nacionales. Su factibilidad es de carácter media. | Media |
| | Filtro de carbón activado | Estanque de lodos | 80%-95% | No existe información asociada | Es una de las opciones de menor costo asociada al estanque de neutralización. Sin embargo, su eficiencia se puede ver afectada por algunos factores, por ejemplo; las mezclas de diferentes gases pueden generar saturación de un determinado componente, por lo que, no es adecuado para altas concentraciones de entrada, ni apto para gases residuales húmedos. Su factibilidad es media. | Media |

| Escenario | MTD | Fuente | Rango de eficiencia [%] | Diferencia entre eficiencia teórica y real | Factibilidad | Variabilidad de desempeño esperada |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Esc 2 | Biofiltro | Estanque de lodos | 50%-99% | No existe información asociada | El biofiltro es aplicable a sector de planta de tratamiento de RILes, es utilizada en uno de los regulados a nivel nacional en la misma fuente y una de las opciones económicas (Van der Auweraert & Brouwer, 2022). Sin embargo, es una tecnología sensible a las variaciones de concentración y caudal, también a la desecación, acidificación y envenenamiento de los microorganismos, lo que podría dificultar el control del proceso. Su factibilidad es Alta. | Baja |
| | Intercambiador de calor | Torres de enfriamiento | 60%-90% | No existe información asociada | Es tecnología ya aplicada en 2 regulados para el objetivo dado, por lo que existe viabilidad de implementar en el contexto nacional. Según la revisión de antecedentes no presenta interdependencias, sin embargo, no existen antecedentes sobre su eficiencia en reducción de olores en casos aplicados a nivel nacional y específicamente del sector. Este punto se evaluará con variabilidad de desempeño media, principalmente dado que para su funcionamiento se requiere de un líquido para la transferencia de calor, por lo que la disponibilidad de agua puede ser un factor relevante. Su factibilidad es media. | Media |
| Esc 3 | Este escenario reúne la suma de todas las medidas mencionadas anteriormente, por lo que no existen cambios en la factibilidad técnica de cumplimiento. | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

# 10. Identificación y cuantificación de costos y cobeneficios asociados a la propuesta regulatoria.

El presente capítulo se enfoca en la caracterización de la dimensión económica de los escenarios regulatorios. Para ello, la identificación y cuantificación de los costos y cobeneficios económicos se realizó por medio de la consolidación de información asociada a los niveles de eficiencia y costos de inversión, operación y mantención. Lo anterior con la finalidad de considerar valores representativos en la evaluación de los costos asociados. Dentro de la dimensión económica, en el presente capítulo se reportan los costos que significan los escenarios propuestos a los regulados afectos a la normativa (DS37/2013 del MMA), además de los costos asociados a los métodos de medición y muestreo para los parámetros sensibles a esta revisión, es decir, TRS y/u olores. Finalmente, se reportan los costos en los que debería incurrir el Estado en materia de monitoreo y fiscalización de la norma.

## 10.1 Eficiencia y costos unitarios de MTD

A partir del análisis de MTD a nivel nacional e internacional y el análisis de brechas, se determinó que las MTD recomendadas para dar cumplimiento a los escenarios regulatorios son las indicadas en la Tabla 5.4. Estas MTD también se presentan en las fichas adjuntas en el Anexo 1.9, donde se resumen las principales características levantadas. Se observa que existen una variedad de estimaciones las cuales no siempre son comparables. Adicionalmente, a diferencia de otras fuentes de emisión, se observa que la literatura internacional dedicada a los olores en celulosa es limitada, razón por la que se complementa el análisis con literatura asociada al control de olores en general. En estos casos, se privilegió la información relacionada al contexto de celulosa, pero en casos de no encontrarse información suficiente se recurre a literatura no específica para el sector.

A partir de la revisión de antecedentes de bibliografía disponibles, los valores para eficiencias de remoción y costos seleccionados se indican en la Tabla 10.1 y Tabla 10.2, respectivamente. Esta información se presenta en el Apéndice 5 y es la utilizada para el diseño de los escenarios regulatorios a evaluar. Este Apéndice detalla también los valores utilizados en el modelo de estimación de los costos, siendo también posible revisarlos en el modelo compartido con la contraparte técnica. Lo anterior permite, no solo la revisión de los valores utilizados, sino que su posible ajuste y mejora en vista de nuevos antecedentes que se puedan tener en el futuro.

Las siguientes tablas presentan las MTD ordenadas por medida modelada. Existen algunas medidas con más de una alternativa de MTD a evaluar. En este caso en lugar de considerar un criterio de costo-efectividad para seleccionar la más económica o un criterio conservador y considerar la más costosa, se optó por incluir dentro de la MTD más económica y la más costosa. Dado que una de las criticas usuales que tienen los ejercicios de análisis de impacto regulatorio es su optimismo en los supuestos de costos, se espera que este ejercicio provea mayor densidad al análisis. El detalle de la opción económica y costosa para cada escenario se presenta en la Tabla 10.2.

**Tabla 10.1 Eficiencias por MTD recomendadas**

| Escenario | MTD | Fuente | Remoción de olor[1] | | | | Eficiencia global[16] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min | Max | P | Ref/Obs | Min[1] | Max[1] | P[1] | Ref/Obs |
| 1 | Instalación de lavado y filtración mejorados en los lodos de cal | Horno de cal | N/A | N/A | N/A | - | 0,70 | 0,99 | 0,85 | Eficiencia correspondiente a la reducción del contenido de licor blanco residual en el lodo. En el modelo se considera 80% igual que los Scrubbers. Suhr *et al.,* (2015) |
| | Scrubber alcalino | | 0,70 | 0,90 | 0,80 | Schenk *et al.,* (2009); GreenLab-DICTUC (2021) | 0,70 | 0,90 | 0,80 | Suhr *et al.,* (2015) |
| 2 | Agentes neutralizantes | Venteos | 0,50 | 0,80 | 0,65 | Schenk *et al.,* (2009); GreenLab-DICTUC (2021) | 0,85 | 0,97 | 0,91 | Obtenidas mediante cotización de proveedores. |
| | Scrubber alcalino | | 0,70 | 0,90 | 0,80 | | - | - | >0,95 | Suhr *et al.,* (2015) |
| | Cobertura de lagunas | Laguna de emergencia/ regulación | 0,50 | 0,90 | 0,70 | Generalitat Valenciana (2008); Loyon (s.f); Envirometrika (2019) | - | - | - | - |
| | Oxidación Luz UV/Ozono | Estanque de neutralización | 0,80 | 0,98 | 0,89 | Schenk *et al.,* (2009); GreenLab-DICTUC (2021) | - | - | - | - |
| | Filtro de carbón activado | | 0,80 | 0,95 | 0,88 | Van der Auweraert & Brouwer (2022); VITO (2020) | - | - | - | |
| | Biofiltro | | 0,50 | 0,99 | 0,75 | Corey & Zappa (2016); European comission (2005); Brinkmann *et al.,* (2016); | - | - | - | |

[16] Eficiencia de remoción de olor corresponde a aquella referida específicamente a la remoción de este. La eficiencia global corresponde a eficiencias no específicas del componente olor si no que más bien a una eficiencia general del equipo para remover agentes contaminantes.

| Escenario | MTD | Fuente | Remoción de olor[1] | | | | Eficiencia global[16] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min | Max | P | Ref/Obs | Min[1] | Max[1] | P[1] | Ref/Obs |
| | | | | | | The European IPCC Bureau (2003);GreenLab-DICTUC (2021) | | | | |
| | Filtro de carbón activado | Estanque de lodos | 0,80 | 0,95 | 0,88 | Van der Auweraert & Brouwer (2022); VITO (2020) | - | - | - | - |
| | Biofiltro | | 0,50 | 0,99 | 0,75 | Corey & Zappa (2016); European comisión (2005); Brinkmann *et al.,* (2016); The European IPCC Bureau (2003);GreenLab-DICTUC (2021) | - | - | - | |
| | Reemplazo de torres de enfriamiento por I/C | Torres de enfriamiento | 0,60 | 0,90 | 0,75 | Van der Auweraert & Brouwer (2022) | - | - | - | - |
| 3 | Instalación de lavado y filtración mejorados en los lodos de cal | Horno de cal | N/A | N/A | N/A | - | 0,70 | 0,99 | 0,85 | Eficiencia correspondiente a la reducción del contenido de licor blanco residual en el lodo. En el modelo se considera 80% igual que los Scrubbers. Suhr *et al.,* (2015) |
| | Scrubber alcalino | | 0,70 | 0,90 | 0,80 | Schenk et al., (2009); GreenLab-DICTUC (2021) | 0,70 | 0,90 | 0,80 | Suhr *et al.,* (2015) |
| | Agentes neutralizantes | Venteos | 0,50 | 0,80 | 0,65 | Schenk et al., (2009); GreenLab-DICTUC (2021) | 0,85 | 0,97 | 0,91 | Obtenidas mediante cotización de proveedores. |
| | Scrubber alcalino | | 0,70 | 0,90 | 0,80 | | - | - | >0,95 | Suhr *et al.,* (2015) |
| | Cobertura de lagunas | Laguna de emergencia/ regulación | 0,50 | 0,90 | 0,70 | Generalitat Valenciana (2008); Loyon (s.f); Envirometrika (2019) | - | - | - | - |
| | Oxidación Luz UV/Ozono | Estanque de neutralización | 0,80 | 0,98 | 0,89 | Schenk *et al.,* (2009); GreenLab-DICTUC (2021) | - | - | - | - |

| Escenario | MTD | Fuente | Remoción de olor[1] | | | | Eficiencia global[16] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Min | Max | P | Ref/Obs | Min[1] | Max[1] | P[1] | Ref/Obs |
| | Filtro de carbón activado | | 0,80 | 0,95 | 0,88 | VITO (2020); GreenLab-DICTUC (2021) | - | - | - | |
| | Biofiltro | | 0,50 | 0,99 | 0,75 | Corey & Zappa (2016); European comisión (2005); Brinkmann *et al.*, (2016); The European IPCC Bureau (2003);GreenLab-DICTUC (2021) | - | - | - | |
| | Filtro de carbón activado | Estanque de lodos | 0,80 | 0,95 | 0,88 | Van der Auweraert & Brouwer (2022); VITO (2020) | - | - | - | - |
| | Biofiltro | | 0,50 | 0,99 | 0,75 | Corey & Zappa (2016); European comisión (2005); Brinkmann *et al.*, (2016); The European IPCC Bureau (2003);GreenLab-DICTUC (2021) | - | - | - | |
| | Reemplazo de torres de enfriamiento por I/C | Torres de enfriamiento | 0,60 | 0,90 | 0,75 | Van der Auweraert & Brouwer (2022) | - | - | - | - |

Nota 1: Min (mínimo), Max (máximo), P (promedio).

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.2 Costos asociados a MTD recomendadas**

| Esc | MTD | Fuente | Ref. | Costo inversión[1] | Un | Costo operación[1] | Un | Costo mantención[1] | Un | Clasificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Instalación de lavado y filtración mejorados en los lodos de cal | Horno de cal | Suhr *et al.*, (2015) | 94 | [UF/kADt cap] | 9,363 | [UF/kADt prod] | 0,942 | [UF/kADt cap-año] | Económico |
| | Scrubber alcalino | | | 659 | [UF]/kAdt cap] | 47,76 | [UF/kADt prod] | 5,042 | [UF/kADt cap-año] | Costoso |
| 2 | Agentes neutralizantes | Venteos | Información levantada en entrevistas | 2.143 | [UF/punto de venteo] | 38.19 | [UF/min] | 264.2 | [UF/punto-año] | Económico |
| | Scrubber alcalino | | Suhr *et al.*, (2015) | 263.710 | [UF/ scrubber] | 58.15 | [UF/día venteo] | 19.102 | [UF/punto-año] | Costoso |
| | Cobertura de lagunas | Laguna de emergencia/regulación | Envirometrika (2019) | 0,055 | [UF/m$^2$] | 0 | - | 0 | 0 | Costoso |
| | | | | 0,029 | | 0 | - | 0 | 0 | - |
| | | | | 0,006 | | 0 | - | 0 | 0 | Económico |
| | Oxidación Luz UV/Ozono | Estanque de neutralización /Estanque de lodos | GreenLab-DICTUC (2021) | 0,26 | [UF/m$^3$ h] | 0,033 | UF/m$^3$/h | 892 | [UF/h] para flujo de 1.000 m$^3$ | - |
| | Filtro de carbón activado | | Van der Auweraert & Brouwer (2022) | 3.325 | [UF/ estanque] | 4.768 | [UF/ estanque-año] | 4772 | [UF/ estanque-año] | Costoso |
| | Biofiltro | | GreenLab-DICTUC (2021) | 766 | [UF/ estanque] | 41,9 | [UF/ estanque-año] | 4,192 | [UF/ estanque-año] | Económico |
| | Reemplazo de torres de enfriamiento por I/C | Torres de enfriamiento | Van der Auweraert & Brouwer (2022) | 352 | [UF/ 1.000 Nm$^3$ h] | 353 | [UF/ 1.000 Nm$^3$ h] | 42 | [UF/ 1.000 Nm$^3$ h] | Económico/ Costoso |
| 3 | Instalación de lavado y filtración mejorados en los lodos de cal | Horno de cal | Suhr *et al.*, (2015) | 94 | [UF/kADt cap] | 9,363 | [UF/kADt prod] | 0,942 | [UF/kADt cap-año] | Económico |

| Esc | MTD | Fuente | Ref. | Costo inversión[1] | Un | Costo operación[1] | Un | Costo mantención[1] | Un | Clasificación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Scrubber alcalino | | | 659 | [UF]/kAdt cap] | 47,76 | [UF/kADt prod] | 5,042 | [UF/kADt cap-año] | Costoso |
| | Agentes neutralizantes | Venteos | Información levantada en entrevistas | 2.143 | [UF/punto de venteo] | 38.19 | [UF/min] | 264.2 | [UF/punto-año] | Económico |
| | Scrubber alcalino | | Suhr *et al.*, (2015) | 263.710 | [UF/ scrubber] | 58.15 | [UF/día venteo] | 19.102 | [UF/punto-año] | Costoso |
| | Cobertura de lagunas | Laguna de emergencia/regulación | Envirometrika (2019) | 0,055 | [UF/m²] | 0 | - | 0 | 0 | Costoso |
| | | | | 0,029 | | 0 | - | 0 | 0 | - |
| | | | | 0,006 | | 0 | - | 0 | 0 | Económico |
| | Oxidación Luz UV/Ozono | Estanque de neutralización /Estanque de lodos | GreenLab-DICTUC (2021) | 0,26 | [UF/m³ h] | 0,033 | UF/m³/h | 892 | [UF/h] para flujo de 1.000 m³ | - |
| | Filtro de carbón activado | | Van der Auweraert & Brouwer (2022) | 3.325 | [UF/ estanque] | 4.768 | [UF/ estanque-año] | 4772 | [UF/ estanque-año] | Costoso |
| | Biofiltro | | GreenLab-DICTUC (2021) | 766 | [UF/ estanque] | 41,9 | [UF/ estanque-año] | 4,192 | [UF/ estanque-año] | Económico |
| | Reemplazo de torres de enfriamiento por I/C | Torres de enfriamiento | Van der Auweraert & Brouwer (2022) | 352 | [UF/ 1.000 Nm³ h] | 353 | [UF/ 1.000 Nm³ h] | 42 | [UF/ 1.000 Nm³ h] | Económico/ Costoso |

Nota 1: RI (rango inferior), RS (rango superior), P (promedio), Un (unidad)
Nota 2: Se asumen costos de mantención asociados al 10% de la operación.
Nota 3: Se asumen costos de operación asociados al 10% de la inversión.

Fuente: Elaboración propia

## 10.2 Costos de MTD por establecimiento y medida

Se realiza una estimación de los costos para cada uno de los establecimientos, considerando las características operacionales y configuración de las plantas, junto con los costos presentados en la sección anterior. El detalle de la modelación puede ser revisado en el modelo adjunto a la presente entrega, pero a modo general considera los costos unitarios multiplicados por la característica constructiva u operacional de cada establecimiento según corresponda.

En la Tabla 10.5 se presentan el valor central de los costos totales para cada establecimiento, medida y escenario de costo (Costoso o Económico, según lo descrito en la sección anterior), para el año 2030. Cabe destacar, que los costos de inversión son anualizados considerando la vida útil de cada tecnología (disponible en el Apéndice 5) y la tasa de descuento social normalmente utilizada en estos análisis: 6% (Subsecretaría de Evaluación Social, 2022). La anualización de la inversión permite un análisis más correcto respecto de la comparación de los costos y beneficios, puesto que no dependen del año específico en que estas inversiones son realizadas.

De los resultados, se puede observar que el escenario costoso de la medida 3 (implementación de Scrubber adicionales en los hornos de cal) presenta los costos totales más altos, pero solo aplica para la mitad de las plantas. Para las plantas que no deben incurrir en costos en la medida 3, la medida con mayores costos es el escenario costoso de la medida 2 (control de venteos mediante captura y Scrubbers). Las medidas 4 y 5 por su parte, presentan costos de menor magnitud. Respecto de las diferencias entre escenario de costo económico y costos, la mayor diferencia proporcional ocurre para la medida 4, donde por ejemplo el escenario costoso de la planta PCK-05 sería hasta 24 veces más alto que el escenario económico. Es importante resaltar que algunas plantas como PCK-02 y PCK-07, no incurren en costos para varios escenarios, al contar ya con la tecnología o los límites propuesto. La agregación de los costos directos de las medidas para cada uno de los escenario regulatorios se presenta en la Tabla 10.4.

**Tabla 10.3 Costo total [UF/año] por planta y medida para el año 2030**

| Establecimiento | Medida 2: Venteos | | Medida 3: Hornos de cal | | Medida 4: Lagunas y estanques | | Medida 5: Torres de enfriamiento |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Costoso | Económico | Costoso | Económico | Costoso | Económico | Único |
| **PCK-01** | | | 134.633 | 16.852 | 12.320 | 731 | 3.788 |
| **PCK-02** | 56.347 | 9.523 | | | 6.117 | 326 | |
| **PCK-03** | 56.248 | 6.934 | 26.927 | 3.370 | 6.117 | 326 | |
| **PCK-04** | 28.195 | 4.611 | | | 6.117 | 326 | 1.894 |
| **PCK-05** | 28.088 | 3.410 | | | 24.209 | 1.065 | 2.841 |
| **PCK-06** | 28.015 | 1.787 | 84.146 | 10.533 | 12.234 | 652 | 3.788 |
| **PCK-07** | 56.841 | | | | 6.117 | 326 | 3.788 |
| **PCK-08** | 28.925 | 14.523 | 92.560 | 11.586 | 12.234 | 652 | 1.894 |
| **Total** | **282.658** | **40.788** | **338.265** | **42.341** | **85.464** | **4.403** | **17.994** |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.4 Costo total [UF/año] por planta y escenario regulatorio para el año 2030**

| Esc. Regulatorio | Escenario 1 | | Escenario 2 | | | | | Escenario 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fuente control | Hornos de Cal | | Venteo | | Lagunas y estanques | | Torres de enfriamiento | Todas las anteriores | |
| Esc. Económico | C | E | C | E | C | E | Único | C | E |
| **PCK-01** | 134.633 | 16.852 | | | 12.320 | 731 | 3.788 | 150.741 | 21.371 |
| **PCK-02** | | | 56.347 | 9.523 | 6.117 | 326 | | 62.464 | 9.849 |
| **PCK-03** | 26.927 | 3.370 | 56.248 | 6.934 | 6.117 | 326 | | 89.292 | 10.630 |
| **PCK-04** | | | 28.195 | 4.611 | 6.117 | 326 | 1.894 | 36.206 | 6.831 |
| **PCK-05** | | | 28.088 | 3.410 | 24.209 | 1.065 | 2.841 | 55.138 | 7.316 |
| **PCK-06** | 84.146 | 10.533 | 28.015 | 1.787 | 12.234 | 652 | 3.788 | 128.183 | 16.760 |
| **PCK-07** | | | 56.841 | | 6.117 | 326 | 3.788 | 66.746 | 4.114 |
| **PCK-08** | 92.560 | 11.586 | 28.925 | 14.523 | 12.234 | 652 | 1.894 | 135.613 | 28.655 |
| **Total** | **338.265** | **42.341** | **282.658** | **40.788** | **85.464** | **4.403** | **17.994** | **724.381** | **105.526** |

Nota: C: Costoso, E: Económico

Fuente: Elaboración propia

En el Apéndice 6 del presente informe se presenta el detalle de los resultados de la modelación con detalle a nivel de establecimiento, tipo de costo, año, medida[17] y escenario de costo. La Figura 10.1 presenta la distribución de costo según tipo para cada medida y escenario de costo. Se observa que los diferentes escenarios de costos dentro de una misma estrategia tienen diferentes distribuciones de costo. Por ejemplo, para el control de los venteos, el escenario costoso (Scrubbers) no sólo es más costoso, sino que también es más intensivo en capital, lo cual también puede tener impactos en la decisión de alternativa tecnológica de los titulares. Más aun, es usual que las decisiones privadas consideren una tasa de descuento mayor, lo cual se traduce en aún mayor peso relativo del costo de inversión con respecto al total de costos.

[17] Se incluye una base de datos con detalle a nivel de medida, y una segunda base de datos con detalle por escenario regulatorio. Cabe destacar que el modelo está construido para explorar diferentes escenarios en base a la combinación de diferentes medidas.

**Figura 10.1 Distribución de los costos anuales de cada medida y escenario de costos**

| Est. | E1 | | | | | | E2 | | | | | | E3 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Costoso | | | Económico | | | Costoso | | | Económico | | | Costoso | | | Económico | | |
| | I | M | O | I | M | O | I | M | O | I | M | O | I | M | O | I | M | O |
| **PCK-01** | 51.996 | 44.829 | 37.807 | 8.689 | 749 | 7.413 | 3.944 | 1.106 | 11.059 | 2.753 | 160 | 1.606 | 55.940 | 45.935 | 48.866 | 11.443 | 910 | 9.019 |
| **PCK-02** | | | | | | | 52.868 | 4.298 | 5.299 | 2.083 | 308 | 7.457 | 52.868 | 4.298 | 5.299 | 2.083 | 308 | 7.457 |
| **PCK-03** | 10.399 | 8.966 | 7.561 | 1.738 | 150 | 1.483 | 52.868 | 4.298 | 5.200 | 1.053 | 135 | 6.073 | 63.267 | 13.263 | 12.761 | 2.790 | 284 | 7.556 |
| **PCK-04** | | | | | | | 27.927 | 2.463 | 5.816 | 1.852 | 167 | 4.811 | 27.927 | 2.463 | 5.816 | 1.852 | 167 | 4.811 |
| **PCK-05** | | | | | | | 30.811 | 3.932 | 20.394 | 3.238 | 261 | 3.817 | 30.811 | 3.932 | 20.394 | 3.238 | 261 | 3.817 |
| **PCK-06** | 32.498 | 28.018 | 23.630 | 5.431 | 468 | 4.633 | 29.855 | 3.016 | 11.165 | 2.931 | 204 | 3.092 | 62.353 | 31.034 | 34.795 | 8.362 | 672 | 7.726 |
| **PCK-07** | | | | | | | 54.982 | 4.450 | 7.314 | 2.394 | 156 | 1.564 | 54.982 | 4.450 | 7.314 | 2.394 | 156 | 1.564 |
| **PCK-08** | 35.747 | 30.820 | 25.993 | 5.974 | 515 | 5.097 | 28.798 | 2.940 | 11.315 | 1.874 | 128 | 15.067 | 64.546 | 33.760 | 37.307 | 7.848 | 643 | 20.163 |
| **Total** | **130.640** | **112.634** | **94.991** | **21.832** | **1.882** | **18.626** | **282.053** | **26.502** | **77.562** | **18.178** | **1.520** | **43.487** | **412.693** | **139.135** | **172.553** | **40.010** | **3.402** | **62.114** |

Nota: I: Inverión; M: Mantención; O: Operación

Fuente: Elaboración propia

## 10.3 Costos unitarios y agregados de métodos de medición y muestreo

De acuerdo a lo establecido por el estudio ''*Antecedentes para la Elaboración de Análisis Económico de la Norma de Emisión de Olores para Sector de Procesamiento de Recursos Hidrobiológicos*'' elaborado por GreenLab-DICTUC (2021), los instrumentos de medición y muestreo de olores son considerados como los costos iniciales para cualquier empresa afecta a la propuesta regulatoria preliminar y corresponden principalmente a los siguientes:

- Estudio de Eficiencia de Reducción de Olor (ERO)
- Estudios de Impacto Odorante (EIO)
- Monitoreo de Gases
- Muestreo en fuentes difusas, difusas activas y difusas pasivas.
- Modelación de olores
- Olfatometría dinámica
- Plan de Gestión de Olores (PGO)

Para el estudio actual, dichos costos asociados a la medición y muestreo se presentan en la Tabla 10.5. En esta tabla, se adicionaron costos actualizados de las cotizaciones a laboratorios nacionales.

**Tabla 10.5 Costos unitarios asociados a instrumentos de medición y muestreo**

| Instrumento | Detalle | | Costo unitario [UF] | Obs. |
|---|---|---|---|---|
| Estudios y/o reportes | PGO | | 60[1] | Costo máximo extraído desde cotizaciones. |
| | ERO | | 70[1] | Costo máximo extraído desde cotizaciones. Considera 1 entrada y 1 salida. Incluye medición. |
| | EIO | | 1.500[1] | Costo máximo extraído desde cotizaciones. Considera 78 fuentes (al menos 16 homologadas), análisis sensorial y una modelación. Incluye medición y modelación. |
| Muestreo | Muestreo y análisis de gases | | 55[1] | Costo máximo extraído desde cotizaciones. Lectura directa mediante sensores electroquímicos, incluye 10 fuentes/puntos. |
| | Muestreo y análisis de olfatometría dinámica | | 150[1] | Costo máximo extraído desde cotizaciones. Incluye 5 fuentes |
| | Método de la grilla | 6 meses | 1.300[1] | Costo máximo extraído desde cotizaciones. |
| | | 7 días (adaptación de la norma) | 250[1] | Costo máximo extraído desde cotizaciones. |
| | Método de la pluma | | 350[1] | Costo máximo extraído desde cotizaciones. Según requisitos norma: 5 días / 30 plumas mínimo con/sin modelación inversa. |
| | Modelación dispersión atmosférica | | 130[1] | Costo máximo extraído desde cotizaciones. Modelación de 10 fuentes. |

| Instrumento | Detalle | Costo unitario [UF] | Obs. |
|---|---|---|---|
| Otros | Evaluación a través de encuestas | 250[1] | Costo máximo extraído desde cotizaciones. Máximo 150 encuestas |
| | Monitoreo en línea | 7[1] | Costo máximo extraído desde cotizaciones. Costo unitario por monitor, mes y parámetro. |

Nota 1: Valor extraído desde cotizaciones a laboratorios nacionales

Fuente: Elaboración propia

En base a las exigencias de propuesta regulatoria se consideran los siguientes costos adicionales de medición y muestreo:

**Tabla 10.6 Costos de escenarios regulatorio asociados a instrumentos de medición y muestreo**

| Detalle | Cantidad | Costo unitario [UF/unidad] | Costo total [UF] | Descripción |
|---|---|---|---|---|
| **Plan de contingencia** | 8 (establecimientos) | 60 | 480 | Anualmente los establecimientos deben actualizar su plan de contingencia. Se imputa de PGO (60 UF). |
| **ERO (1)** | 8 (establecimientos) x 2(semestre) x 3 (equipos) | 70 | 3.360 | Semestralmente los establecimientos deben realizar su ERO para las principales fuentes. |
| **EIO** | 8 (establecimientos) | 1500 | 12.000 | Anualmente deben presentar una actualización de su EIO |
| **Reporte mensual con registro de mediciones continuas condiciones de operación de fuentes reguladas** | 8 (establecimientos) x 5(fuentes) x 1(parámetros) x 12(meses) | 7 | 3.360 | Deben mantener un registro de 4 parámetros para, en promedio, 5 fuentes por establecimientos. Se considera que ya tienen en línea 3 de los 4 parámetros. |
| **Programa de monitoreo en línea de parámetros de equipos de abatimiento (1)** | 8 (establecimientos) x 5 (fuentes) x 2(parámetros) x 12(meses) | 7 | 6.720 | Deben mantener un registro de 5 parámetros para, en promedio, 5 fuentes por establecimientos. Se considera que ya tienen en línea 3 de los 5 parámetros. |
| **Reporte de tiempos de residencia** | - | 7 | - | Se considera que ya miden el parámetro indicado. |
| **Reporte de mantención sistema alcantarillado** | 8 (establecimientos) | 10 | 80 | Anualmente deben presentar un reporte respecto a la mantención de sus sistemas de alcantarillados |
| **Reporte de ORP** | 8 (establecimientos) | 40 | 320 | Anualmente deben reportar el estado de sus ORP |
| **Monitoreo en sistemas de recolección de gases** | 8 (establecimientos) x 12 (meses) x 7 (puntos de monitoreo) | 7 | 4.704 | Mensualmente, deben reportar respecto a las condiciones de venteo en cada uno de sus puntos. |
| **Total Escenario 1** | | | **20.944** | |
| **Total Escenario 2 y 3** | | | **31.024** | |

(1) De acuerdo con la sección 8, el escenario 1 no incluye estos reportes y/o monitoreo. Los escenarios 2 y 3 incluyen todos los ítem detallados.

Fuente: Elaboración propia

## 10.4 Costos de fiscalización y otros costos para el Estado

A diferencias de otras normas asociadas al control de emisiones de olores, la presente propuesta está asociada a la revisión de una norma ya existente. Lo anterior se traduce en que la capacidad estatal para el control de las exigencias a regular ya existiría y no es necesario la instalación de nuevas capacidades. De la misma forma, no se considera que los escenarios regulatorios vayan a implicar un aumento en el número de actividades de fiscalización.

Sin perjuicio de lo anterior, dado el alto número de reportes asociados a la propuesta normativa se considera que es necesario la contratación de personal suficiente para su supervisión, seguimiento y sistematización. Dado lo anterior se considera que, desde el punto de vista de costos para el Estado, se requieren 860 UF anuales en personal adicional desde el primer año. Esto equivale al costo aproximado de contratación de un Estamento Profesional Grado 10° en la Escala Única de Sueldos.

# 11. Evaluación de la costo-efectividad de la propuesta normativa

En el presente Capítulo se presentan los beneficios estimados de la propuesta de normativa. Para ello, siguiendo las bases técnicas, se presenta la cuantificación de la población beneficiada, así como la identificación, cuantificación y valorización de los beneficios. Tras esto se realiza una estimación de la costo-efectividad de alternativas tecnológicas para el cumplimiento de los escenarios normativos presentados anteriormente. Por último, se realiza un análisis costo-beneficio, respecto a sus magnitudes, distribución temporal e incertidumbres. Adicionalmente, las bases técnicas solicitan un foco en particular respecto a los efectos de la normativa sobre empresas de menor tamaño, sin embargo, ninguno de los titulares califica bajo esa categoría. De todos modos, se analiza brevemente el tamaño de la industria para poner el contexto los costos de la regulación.

## 11.1 Población beneficiada

Para el presente estudio, como población beneficiada se va a considerar la proyección de la población que actualmente tiene riesgo de ser impactada por las emisiones de TRS y olores de los establecimientos regulados. En la presente sección se presentan dos descripciones complementarias de los beneficiarios, por un lado, se presenta la descripción cuantitativa de la población y viviendas y, por otro lado, se presenta una descripción cualitativa de la situación de los beneficiados.

El primer grupo de estos descriptores (cuantitativos presentados en la sección 11.1.1) es de especial relevancia para la cuantificación de los beneficios, dado que los beneficios y co-beneficios son directamente proporcional a la población y/o viviendas expuestas. En otras palabras, una reducción equivalente en una zona con una alta densidad poblacional resultará en mayores beneficios en comparados con la misma reducción en una zona de baja densidad poblacional. Esta consideración es relevante al momento de interpretar los resultados del análisis costo-beneficio. Es recomendable complementar estos análisis con una descripción cualitativa de los beneficiarios bajo criterios complementarios a la costo-efectividad de la política como la justicia ambiental, por ejemplo, como lo descrito recientemente por el MMA (2022) en el AGIES del anteproyecto de la norma de olores para plantas de aceite y harina de pescado y plantas de alimentos de peces. Si bien, un análisis de este tipo se escapa de los alcances del presente proyecto, la sección 11.1.2 busca entregar antecedentes al respecto.

### 11.1.1 Cuantificación de beneficiarios

Los impactos de la emisión de olores por los establecimientos regulados se ven determinados tanto por las características de los establecimientos (e.g. tecnologías, niveles de producción, materias primas, o características constructivas), como por características de las zonas donde se ubican (e.g. topología, meteorología, o densidad poblacional). Adicionalmente, también incidirá en la cuantificación la definición de que se entiende por impacto, como los niveles de olores (e.g.

1 [$OU_E$] o 3 [$OU_E$]) y/o la frecuencia de los eventos (e.g. p98, máximo). Ante esto se propone dos escalas para determinar la distribución: la primera que sea consistente con todos los potenciales beneficiarios ante la norma, y una segunda escala con aquellos dentro de la zona que es consistente con el criterio de calidad de la normativa colombiana.

La primera definición de área de impacto es consistente con una visión más expansiva, que busca identificar una zona donde la población es susceptible a percibir los impactos de los olores al menos durante alguna hora del día. Ante la falta de información disponible respecto a mediciones y modelaciones de escenarios consistentes con esta normativa se considera un radio de 10 [km] en torno a los establecimientos, correspondiente al alcance máximo modelado en los EIO disponibles. Este supuesto tiene niveles alto de incertidumbre, y en la práctica va a variar de planta según lo descrito anteriormente. Sin embargo, como antecedentes para definir este umbral se encuentra un estudio de precios hedónicos para los efectos del olor de una planta de celulosa, donde se observó que los precios de viviendas aumentaban a medida que las viviendas se alejaban de la planta hasta los 8 [km] (Das & Roy, 2014). Esta planta tiene una capacidad similar a las plantas más pequeñas en Chile.

La Tabla 11.1 presenta los resultados de esta estimación. Para ello se comienza desde la población identificada en la sección 6.3. Esta proyección se proyecta a futuro utilizando la tasa de crecimiento anual por comuna entre los años 2035 y 2017, según la proyección realizada por el INE (2021).

**Tabla 11.1 Población y viviendas en radio de 10km**

| Establecimiento | Población 2017 | Tasa proyección población | Población 2030 | Viviendas 2017 | Densidad poblacional [hab/km$^2$] | Densidad viviendas [viv/km$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **PCK-03** | 4.937 | -0,04% | 4.909 | 1.362 | 16 | 4 |
| **PCK-02** | 35.730 | 0,08% | 36.103 | 12.873 | 115 | 41 |
| **PCK-05** | 15.947 | -0,02% | 15.912 | 4.932 | 51 | 16 |
| **PCK-01** | 28.011 | 0,11% | 28.410 | 5.056 | 90 | 16 |
| **PCK-04** | 20.323 | 0,01% | 20.348 | 7.067 | 65 | 22 |
| **PCK-07** | 27.372 | 0,03% | 27.487 | 9.411 | 87 | 30 |
| **PCK-06** | 2.562 | 0,31% | 2.666 | 722 | 8 | 2 |
| **PCK-08** | 11.337 | 0,65% | 12.327 | 3.353 | 39 | 11 |
| **Total o promedio** | **146.219** | **0,10%** | **148.161** | **44.776** | **59** | **18** |

Fuente: Elaboración en base a datos de Censo 2017. Tasa proyección población (INE, 2021)

Para el segundo alcance, se considera el umbral utilizado en la normativa colombiana de calidad, es decir, percentil 98 (p98) horario con 3 [$OU_E$]. Esta norma es equivalente a que los niveles de olor pueden superar las 3 [$OU_E$] 175 horas anuales. Esta definición más estricta del impacto se traduce en una zona de impacto menor. Para estimar dicho impacto, se consideran las modelaciones realizadas en estudios de impacto odorante a los cuales el equipo consultor tuvo acceso de forma confidencial. A partir de dichos EIO se elabora un supuesto de la relación entre la tasa de emisión, medida en [$OU_E$/s], y el promedio radio de impacto hasta la isodora definida

por la definición anterior. El supuesto seleccionado es que dicha ratio es de 750 x$10^{-6}$ [m/$OU_E$/s], el cual se modela como una variable aleatoria que sigue una distribución uniforme entre 550 y 950 x$10^{-6}$ [m/$OU_E$/s]. La población y viviendas dentro de cada radio se calcula en base a la densidad poblacional y de viviendas presentada en la tabla anterior.

**Tabla 11.2 Estimación de población y viviendas beneficiadas dentro de isodora p98h de 3[$OU_E$].**

| Establecimiento | Radio [km] | Población 2030 | Rango población | Vivienda | Rango Vivienda |
|---|---|---|---|---|---|
| **PCK-03** | 0,29 | 4 | (2-8) | 1 | (1-2) |
| **PCK-02** | 0,62 | 137 | (67-263) | 49 | (24-94) |
| **PCK-05** | 3,74 | 2.229 | (1.091-4.268) | 691 | (338-1.323) |
| **PCK-01** | 4,95 | 6.969 | (3.411-13.344) | 1.240 | (607-2.375) |
| **PCK-04** | 1,94 | 763 | (373-1.461) | 265 | (130-507) |
| **PCK-07** | 5,31 | 7.737 | (3.787-14.815) | 2.649 | (1.297-5.072) |
| **PCK-06** | 1,74 | 81 | (39-154) | 22 | (11-42) |
| **PCK-08** | 2,06 | 523 | (256-1.002) | 142 | (70-272) |
| **Total o promedio** | **2,58** | **18.443** | **(9.027-35.314)** | **5.059** | **(2.476-9.687)** |

Fuente: Elaboración propia con densidades de Censo 2017.

### 11.1.2 Descripción cualitativa de los beneficiarios

A continuación, se presenta una descripción cualitativa de los beneficiarios la cual complementa el análisis costo efectividad. En su mayoría buscan comparar cómo es cierto componente de vulnerabilidad social en la comuna beneficiada en comparación a los promedios regionales o nacionales. En específico, los componentes analizados son: pobreza (tanto de ingreso como multidimensional), composición de jefas de hogar, adultos mayores, población indígena y materialidad de las viviendas.

#### 11.1.2.1 Pobreza de ingreso

En la Tabla 11.3 se muestra la cantidad de personas en situación de pobreza por ingresos para las comunas donde se encuentran los establecimientos. Esta información proviene de las estimaciones realizadas para 2020, y revisadas en 2022 por el Ministerio de Desarrollo Social. Se observa que por lo general la tasa de pobreza por ingreso es mayor en estas comunas que el promedio nacional. La única comuna que estaría bajo el promedio nacional es la comuna donde se encuentra PCK-08. Si bien la mayoría está sobre el nivel, existe gran heterogeneidad entre ellas, siendo la tasa de la comuna de PCK-06 más del doble que la de PCK-08.

**Tabla 11.3 Descripción de población en situación de pobreza por ingresos**

| Establecimiento | Número de personas proyectado | Número de personas en situación de pobreza por ingresos | Porcentaje de personas en situación de pobreza por ingresos 2020 |
|---|---|---|---|
| **PCK-01** | 38.717 | 5.052 | 13,0% |
| **PCK-02** | 50.368 | 5.555 | 11,0% |
| **PCK-03** | 6.992 | 909 | 13,0% |
| **PCK-04** | 23.882 | 3.223 | 13,5% |
| **PCK-05** | 6.261 | 956 | 15,3% |
| **PCK-06** | 26.201 | 5.139 | 19,6% |
| **PCK-07** | 27.969 | 4.065 | 14,5% |
| **PCK-08** | 177.298 | 17.366 | 9,8% |
| **Total** | **357.688** | **42.266** | **11,8%** |
| **Nacional** | **19.544.880** | **2.110.645** | **10,8%** |

Fuente: Elaboración propia en base a Ministerio de Desarrollo Social (2022).

#### 11.1.2.2 Pobreza multidimensional

En la Tabla 11.4 se presenta el número y porcentaje de personas en situación de pobreza multidimensional para las comunas donde se encuentran los establecimientos. Se observa gran diferencia entre comunas, presentado porcentajes mayores y menores que el porcentaje nacional. La comuna con mayor pobreza multidimensional es la asociada al establecimiento PCK-06, la cual llega a un 36,6% de su población en situación de pobreza.

**Tabla 11.4 Descripción de población en situación de pobreza multidimensional**

| Establecimiento | Número de personas en situación de pobreza multidimensional | Porcentaje de personas en situación de pobreza multidimensional 2017 | Límite inferior | Límite superior |
|---|---|---|---|---|
| **PCK-01** | 8.255 | 18,4% | 13,2% | 25,5% |
| **PCK-02** | 11.730 | 20,8% | 17,5% | 23,9% |
| **PCK-03** | 1.647 | 24,3% | 17,7% | 30,1% |
| **PCK-04** | 4.572 | 25,1% | 19,4% | 32,4% |
| **PCK-05** | 1.015 | 24,3% | 16,6% | 28,2% |
| **PCK-06** | 7.028 | 36,6% | 29,7% | 44,3% |
| **PCK-07** | 6.159 | 25,7% | 21,1% | 33,4% |
| **PCK-08** | 22.201 | 14,1% | 12,2% | 15,8% |
| **Promedio comunas** | **62.607** | **23,7%** | **18,4%** | **29,2%** |
| **Promedio comunal nacional** | | **26,1%** | **21,2%** | **32,0%** |
| **Nacional** | **3.530.891** | **20,7%** | | |

Fuente: Elaboración propia en base a Ministerio de Desarrollo Social (2017).

#### 11.1.2.3 Jefas de hogar

En la Tabla 11.5 se muestra el porcentaje de hogares con jefatura femenina para cada comuna donde se encuentran los establecimientos. No se ve una tendencia clara al comparar las comunas

de los establecimiento con el promedio nacional, pero al comparar con las tablas anteriores se observa que la comuna del establecimiento PCK-08 la cual resaltó por tener un porcentaje de pobreza bajo, resalta en este caso por tener una jefatura femenina alta.

**Tabla 11.5 Descripción de hogares con jefatura de hogar femenina**

| Establecimiento | Porcentaje de jefatura de hogar Mujer |
|---|---|
| **PCK-01** | 38,6% |
| **PCK-02** | 36,3% |
| **PCK-03** | 37,6% |
| **PCK-04** | 39,0% |
| **PCK-05** | 38,2% |
| **PCK-06** | 39,9% |
| **PCK-07** | 36,5% |
| **PCK-08** | 43,6% |
| **Promedio comunas** | **38,7%** |
| **Promedio comunal nacional** | **37,8%** |

Fuente: Elaboración propia en base a INE (2017)

#### 11.1.2.4 Adultos mayores

En la Tabla 11.6 se presenta la distribución de adultos mayores (65+ años) en las comunas donde están ubicados los establecimientos, de acuerdo a las proyecciones demográficas realizadas por el INE (2021). En general se observa que todas las comunas en tornos a estos establecimientos están envejeciendo aceleradamente, lo cual se refleja en que la tasa de crecimiento de los adultos mayores es mayor que la tasa de crecimiento promedio presentada en la Tabla 11.2. Esto se refleja en que el porcentaje de adultos mayores en el año 2017 se movía entre 10%-19%, mientras que para el año 2030, esta distribución se mueve entre 16% y 29%. Sin perjuicio de lo anterior, se observa que la trayectoria de envejecimiento de la población no es significativamente diferente de las tendencias nacionales, donde las ocho comunas de forma agregada se comportan de forma similar a los resultados nacionales.

**Tabla 11.6 Descripción de población de adultos mayores (65+ años)**

| Establecimiento | % adultos mayores 2017 | Tasa Crecimiento adultos mayores | % adultos mayores 2030 |
|---|---|---|---|
| **PCK-03** | 15% | 3,5% | 23% |
| **PCK-02** | 10% | 3,9% | 16% |
| **PCK-05** | 19% | 3,3% | 29% |
| **PCK-01** | 11% | 3,8% | 17% |
| **PCK-04** | 13% | 3,6% | 21% |
| **PCK-07** | 12% | 3,7% | 19% |
| **PCK-06** | 12% | 3,7% | 18% |
| **PCK-08** | 11% | 4,2% | 17% |
| **Promedio** | **11%** | **4,0%** | **18%** |
| **Nacional** | **11%** | **4,0%** | **17%** |

Fuente: Elaboración propia en base a INE (2021)

#### 11.1.2.5 Pertenencia a etnia

En la Tabla 11.7 se presentan la población que se declara perteneciente a alguna etnia por cada comuna. Los resultados son aún más disimiles entre comunas que en los indicadores anteriores. Lo porcentajes entre las comunas de los establecimientos oscilan desde un 4,17% a un 26,78%, de esta forma la mitad estarían bajo el promedio nacional y la otra mitad sobre la media.

**Tabla 11.7 Descripción de población perteneciente a etnias**

| Establecimiento | Población con etnia declarada | Porcentaje de población que declara etnia |
|---|---|---|
| **PCK-01** | 363 | 16,67% |
| **PCK-02** | 461 | 5,23% |
| **PCK-03** | 67 | 14,84% |
| **PCK-04** | 224 | 7,59% |
| **PCK-05** | 58 | 4,17% |
| **PCK-06** | 246 | 26,78% |
| **PCK-07** | 263 | 6,24% |
| **PCK-08** | 1.661 | 17,38% |
| **Total o promedio** | **3.341** | **12,36%** |
| **Nacional** | **2.185.792** | **12,44%** |

Fuente: Elaboración propia en base a INE (2017)

## 11.2 Identificación, cuantificación y valorización de beneficios y co-beneficios

En la presente sección se discuten los beneficios y co-beneficios de las medidas regulatorias propuesto. Para esto, primero se presentan los potenciales beneficios identificados en a la literatura. Luego, se detalla la argumentación para elegir tipo de beneficios a cuantificar: uno más directo pero acotado para salud y uno más extenso para calidad de vida. Por último, se detalla la metodología empleada y los resultados obtenidos para la aplicación de cada método.

### 11.2.1 Identificación de beneficios

Para estimar los beneficios generados por una reducción en las emisiones, el primer paso consiste en “identificar los impactos que producen los contaminantes a evaluar“ (MMA, 2013). En este caso, los contaminantes que se reducirán son los compuestos TRS y olores, producto de las medidas de control para cumplir con la regulación. En el caso del estudio de DSS (2009) los beneficios de una reducción de emisiones de TRS son identificados distinguiendo entre sistemas impactados, como se muestra en la Tabla 11.8 y Tabla 11.9.

**Tabla 11.8 Identificación y descripción de impactos en sistemas vivos**

| | | |
|---|---|---|
| **Salud Humana** | Enfermedades y síntomas asociados | Se ha mostrado que existe una relación entre aumento gases TRS en el ambiente, con el aumento de síntomas de infecciones respiratorias, problemas de la vista y neuropsicológicos, entre otros. En Chile no existen estudios específicos para relacionar los síntomas presentados por personas con las emisiones de los gases TRS de las plantas de |

| | | |
|---|---|---|
| | | celulosa. Sin embargo, existen variados estudios en Finlandia, EE.UU y Canadá. Estos estudios son específicos a cada zona y son puntuales a cada caso. |
| **Productividad Económica de los Sistemas Ecológicos** | Agricultura y Silvicultura | Este beneficio se asocia a aquellos casos en que la calidad del aire pueda afectar rendimientos en la agricultura, por ejemplo, se sabe que ácido sulfúrico, puede generar daños al follaje y esto tener efectos en el rendimiento de cultivos específicos. |
| **Productividad Económica Asociada a Actividades Recreativas** | Turismo | Este beneficio se asocia a la posibilidad que puede una comunidad de explotar el desarrollo de actividades turísticas y recreativas en un entorno de aire limpio, siempre y cuando esta característica permita potenciar el desarrollo turístico. |
| **Otros Efectos en Sistemas Ecológicos que Hacen Impacto Directamente en Actividades Humanas (no comerciales)** | Observación de Flora y Fauna | Este beneficio se asocia a las actividades en las que la calidad del aire es parte integral del desarrollo y fortalecimiento de la actividad. Es decir, se puede considerar que, si el control de los contaminantes potencia el crecimiento de la flora y fauna del sector, entonces este beneficio es efectivo. |

Fuente: DSS (2009)

**Tabla 11.9 Identificación y descripción de impactos a sistemas carentes de vida**

| | | |
|---|---|---|
| **Productores** | Daño a los Materiales | La contaminación del aire puede causar un deterioro físico de los materiales, principalmente en las edificaciones ocasionando un aumento en los costos de mantenimiento y reparación y un reemplazo en las partes más frecuentes. |
| **Residencias Familiares (No comerciales)** | Daño a los materiales | Al igual que en el caso de las industrias, las residencias familiares tienen un impacto semejante respecto al daño en los materiales y reemplazo de elementos de las estructuras. |
| | Mercado | La mejora en la calidad del aire genera un aumento en los precios de las viviendas. |

Fuente: DSS (2009)

Si bien en ese estudio se identifican muchos tipos de beneficios, la clasificación entre sistema vivos y carentes de vida no agrega mucho valor e incluso puede generar confusiones. Por ejemplo, el impacto en el mercado de viviendas se clasifica como un efecto a sistemas carentes de vida, sin embargo, este impacto es solo un indicador de cómo se afecta el bienestar de las personas que viven en esas viviendas. Por esto, además de los beneficios identificados en el estudio de DSS (2009), se profundiza en los efectos a la salud humana y al bienestar de las

personas. Potencialmente también existen co-beneficios de la implementación de estas medidas de control, los cuales se discuten en la sección 11.2.5.

#### 11.2.1.1Salud Humana

Los impactos a la salud humana suelen ser los efectos que causan mayor preocupación por lo que tienen una alta prioridad a la hora de analizar beneficios. Si bien TRS y olores están muy correlacionados, existen diferentes efectos con distintas gravedades, que van desde efectos leves como nauseas a intoxicación.

Respecto a los TRS, la OMS determina un límite tóxico para $H_2S$ (Chou *et al.,* 2003) pero no riesgos para concentraciones bajas. Por su parte, la agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades (ATSDR, por sus siglas en inglés) identifica (2016) una serie de impactos en salud de los TRS a distintas concentraciones, identificando que el tracto respiratorio y el sistema nervioso son particularmente sensibles a la exposición a $H_2S$. Según la ATSDR (ATSDR, 2016), la exposición a concentraciones bajas puede causar irritación en ojos, nariz y garganta, pudiendo incluso ocasionar dificultades respiratorias para asmáticos. En cuanto a efectos sobre el sistema nervioso, exposición a concentraciones bajas puede causar dolores de cabeza, afectar la memoria, aumentar cansancio y provocar problemas de equilibrio. Por su parte, exposición a altas concentraciones ha provocado problemas respiratorios, e incluso pérdida de la conciencia. Respecto a esto último, no pareciera haber problemas al recuperarse, sin embargo, se advierte que podría haber alteraciones al sistema nervioso mayores en algunas personas.

Respecto del efecto de olores en la salud humana, existe amplia evidencia de su existencia (Government of Alberta, 2017; Schiffman & Williams, 2005), más allá de las concentraciones de TRS a las cuales podrían estar correlacionadas. Uno de los estudios más completos es el meta-análisis de Guadalupe *et al.,* (2021), en el cual se recopilan todos los estudios que evalúan el efecto en la salud de los olores provenientes de distintas fuentes industriales. En base a la evidencia encontrada, se observa una asociación estadísticamente significativa para tres efectos: jaqueca, nauseas/vómitos y enfermedades de las vías respiratorias inferiores. En particular el estudio determina la Razón de Chance[18] (OR por sus siglas en inglés) para estos tres efectos equivalentes: Jaqueca: 1,15 (1,01-1,29); nauseas/vómitos: 1,09 (0,88-1,30); y enfermedades de las vías respiratorias inferiores: 1,27 (1,10-1,44). Si bien, esta evidencia es relevante al sistematizar y comparar la evidencia disponible, cuenta con limitaciones, por ejemplo, comparan estudios sobre olores de distintos orígenes que presumiblemente cuentan con diferente tono hedónico.

[18] Más comúnmente utilizado en inglés como *OddsRatio*, compara la chance de ocurrencia de cierto efecto entre los expuestos y los no expuestos. Valores mayores a 1 implican que los expuestos presenta mayor chance de sufrir el efecto.

#### 11.2.1.2 Calidad de vida de la personas o bienestar humano

Si bien el daño a la salud genera mucha preocupación, no siempre posee el valor más alto. La emisión de TRS y olores genera molestia en quienes los perciben, esta molestia puede no terminar en efectos agudos a la salud, pero sí genera un pérdida de bienestar que se podría cuantificar. Como el valor de un ambiente libre de malos olores no es un bien que se pueda comercializar en el mercado, se debe recurrir a diferentes métodos para descifrar cuánto valora la población ese bien. Es importante notar que, el valor económico total no es solo para quienes están afectados (valor de uso directo) sino que también es valorado por el resto de la población ya sea porque perciben su valor de uso indirecto, opción, existencia, legado, etc (Martín-López *et al.,* 2013). La existencia teórica de estos otros valores más allá del valor de uso directo, también se ha observado en la práctica en encuestas nacionales, donde personas no afectadas por olores presentan de igual manera disposición a pagar por una reducción de olores (Cliodinámica, 2021).

Para cuantificar este beneficio se utilizan principalmente dos tipos de métodos: precios hedónicos (PH) y valoración contingente (VC). El primero corresponde a un método de preferencias reveladas, donde el valor económico es reflejado a través del precio de las propiedades o viviendas cercanas a la industria que provoca un impacto ambiental negativo. El segundo corresponde a un método de preferencias declaradas en base a encuestas realizadas a individuos sobre su disposición a pagar (DAP) para la reducción del impacto de olores molestos. Existen otros métodos, como el método de costos evitados (CE) que corresponde también a preferencias reveladas, pero que es poco utilizado en los estudios internacionales.

A pesar de existir estudios recientes y completos de precios hedónicos para malos olores (Chen, Cornwall, & Wentland, 2022; Schütt, 2021), solo se encontró uno para planta de celulosa (Das & Roy, 2014), lo cual es relevante considerando que existen diferencias entre tipos fuentes (e.g. tono hedónico). Este estudio estima el precio hedónico del olor ocupando como proxy de olor la distancia de cada vivienda con respecto a la planta. Se encuentra que el precio de las viviendas aumenta un 8% por cada kilómetro que se aleja de la planta, aumento que disminuye hasta los 8 kilómetros, donde estaría el alejamiento óptimo.

Existen también varios estudios donde se estima la disposición a pago mediante preferencias declaradas, pero en general con un enfoque más amplio que para particularmente olores. Un ejemplo es el estudio realizado en el año 1997, donde los resultados muestran que los encuestados están dispuestos a pagar impuestos adicionales a la propiedad con el fin de lograr una mejora en la calidad del aire. Para los olores generados por emisión de compuestos TRS se encuentra una disposición a pagar $14,4 USD mensuales para una reducción de días de malos olores de 4 a 3. Los resultados no son significativos y tampoco del todo representativos, ya que quienes participaron son más jóvenes y con mayor educación que la media local (Diener, Muller, & Robb, 1998). El resto de los estudios están enfocados en otras fuentes como plantas de tratamiento de agua, vertederos, diésel, industrias animales, etc. En un estudio realizado en Crawcrook Quarry, que presenta olores generados por vertederos, se observó que la gente tendía a elegir siempre la opción de menor costo en los intervalos entregados, sin importar realmente el monto. Con esto se concluyó que hay disposición por reducción de olor, pero de baja magnitud

(Garrod & Willis, 1998). Para un estudio que analiza olores provocados por diésel (Laureau & Rae, 1989), se definieron 2 olores, el olor A que se caracteriza como un olor suave y olor B, más intenso. Los resultados mostraron que para el olor A, había una DAP de entre $5,86 USD y $7,96 USD, y para el B, entre $15,53 USD y $20,97 USD, en ambos casos por reducir en una exposición a la semana durante un año.

Los resultados obtenidos en los estudios recién mencionados indican que existe una valoración por la reducción de olores, pero no ser encuentran valores robustos específicamente para olores provenientes de celulosa.

### 11.2.2 Elección de beneficios a cuantificar y valorizar

En función de los descrito en el apartado anterior, se determinó cuantificar dos tipos de beneficios: el directo por salud de las personas y el de calidad de vida.

Siguiendo los beneficios en salud identificados, se decidió explorar la relación entre los venteos de las plantas y la salud de la población aledaña. Si bien existen un metaanálisis de la asociación entre olores y salud (Guadalupe-Fernández *et al.,* 2021), para utilizar esos resultados se requiere de una estimación detallada de la exposición odorífica de la población. Al no contar con estos datos (provenientes generalmente de modelaciones), se optó por encontrar la asociación directa entre venteos y atenciones a urgencia.

Dado que la cuantificación de salud considera solo una fracción menor de todos los potenciales beneficios, se debe complementar con otro tipo de enfoque. Como se comentó en la subsección anterior los enfoques más utilizados para valorar un bien ambiental son los de precios hedónicos y valoración contingente. El único estudio encontrado específicamente para plantas de celulosa es el de Das & Roy (2014). Este estudio estima el precio hedónico del olor ocupando como proxy de olor la distancia de cada vivienda con respecto a la planta. Ocupar estos resultados sería problemático dado que no permitiría ajustar sus resultados a los niveles de mitigación ni a el tamaño de cada planta chilena, ya que la magnitud del efecto solo se describiría en función de la distancia. Es por esto por lo que se opta por el método de valoración contingente, utilizando una metodología similar a la utilizada en "*Análisis general del impacto económico y social del anteproyecto de norma de emisión de contaminantes en plantas de aceite y harina de pescado y plantas de alimento para peces, que en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de vida de la población*" (MMA, 2022). Si bien la disposición a pago estimada para ese estudio es para olores de pesqueras, lo que estrictamente no es transferible a olores de plantas de celulosa, es la mejor información disponible y tiene la ventaja de haber sido estimada con encuestas aplicadas en Chile.

### 11.2.3 Cuantificación de beneficios en salud de las personas

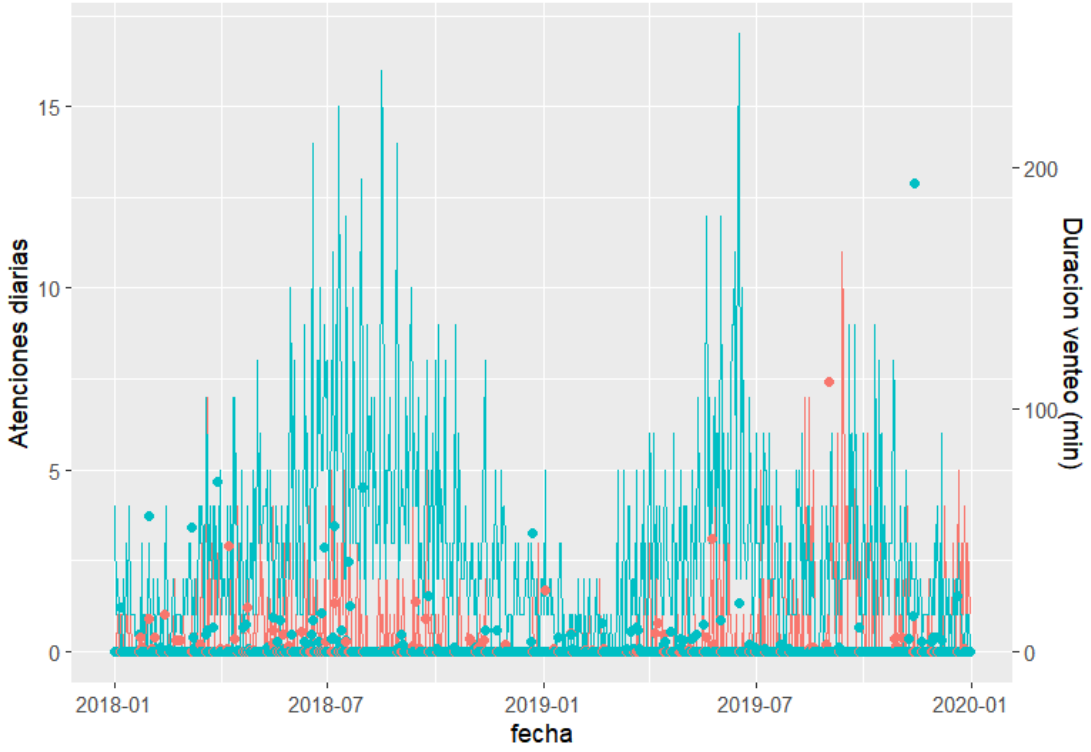
En la presente subsección se presenta la metodología y los resultados de la estimación de los beneficios asociados a la reducción de TRS en la salud de las personas.

#### 11.2.3.1 Metodología

El horizonte de evaluación del análisis epidemiológico realizado corresponde a dos años: entre 2018 y 2019. Se seleccionan estos años, puesto que representan la condición tecnológica actual de la planta, mientras que al mismo tiempo los datos de salud no se ven afectados por la pandemia. Para el análisis se sistematizó la duración total diaria de venteos para las diferentes plantas, asimismo se obtuvieron las atenciones a urgencia por Bronquitis/bronquiolitis aguda (CIE10 J20-J21), del establecimiento de salud público más cercano a cada planta a partir de los datos del Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS).

Para dar robustez estadística al análisis se realizó un filtro previo, donde se seleccionaron las plantas que tuvieran al menos 200 minutos de venteos al año y con establecimientos de salud a menos de 5 kilómetros de distancia. A modo de ejemplo de los datos disponibles, en la Figura 11.1 se muestran las series de tiempo de atenciones a urgencia por Bronquitis/bronquiolitis aguda y la duración de venteos para dos plantas.

**Figura 11.1 Ejemplo de atenciones a urgencia por causa J20-21 y duración total diaria de venteo**



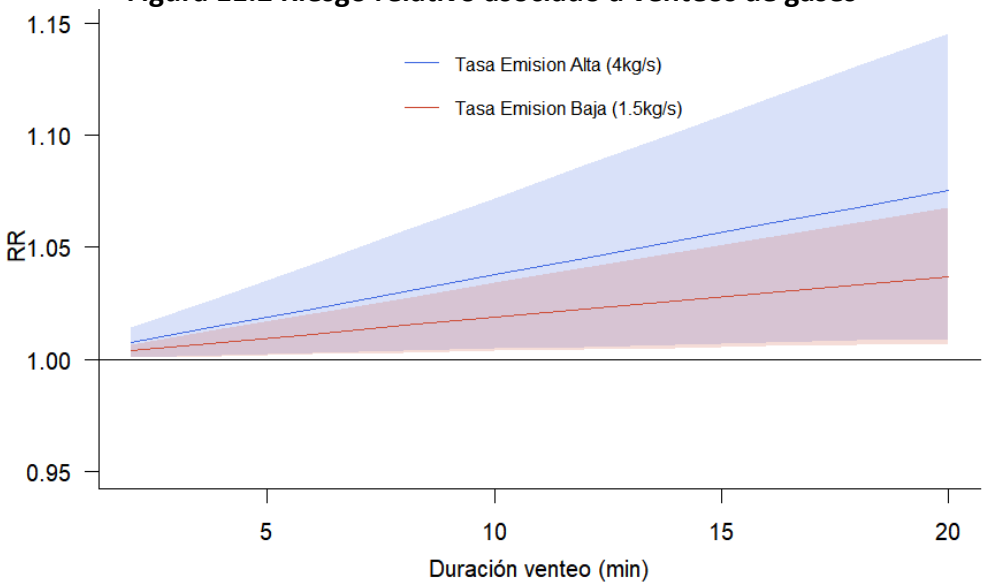

Fuente: Elaboración propia

Para estimar la asociación entre estas dos variables se utilizó un modelo Poisson No-Lineal de Rezagos Distribuidos (Poisson DLNM) con 3 rezagos, una spline con 6 grados de libertad por año, efectos fijos de feriados y día de la semana. Además, se agregó una interacción entre la duración del venteo y la tasa de emisión de cada planta, entendiendo que el efecto en urgencias debería

variar en función del tamaño de la planta. Se decidió simplificar la interacción en dos niveles, obteniéndose con ello dos curvas de riesgo relativo, una para tasa de emisión alta y otra para baja. De esos resultados se utiliza puntualmente el riesgo relativo (RR) de un venteo de 10 minutos, asumiendo linealidad para venteos de distinta duración.

Las curvas de riesgos relativos encontradas se presentan en la Figura 11.2, se observa que el riesgo para plantas de emisión alta es mayor que para emisión baja, como es de esperar. Esto implica que un día con un tiempo total venteado de 10 minutos, está asociado a un aumento de riesgo relativo de atenciones a urgencia por Bronquitis/bronquiolitis aguda de 3,78% (Intervalo de confianza al 80% de confianza: 0,48%-7,19%) y 1,88% (IC80%: 0,37%-3,41%).

**Figura 11.2 Riesgo relativo asociado a venteos de gases**




Fuente: Elaboración propia

Siguiendo la metodología descrita en la Guía para la elaboración de AGIES (MMA, 2013), para la aplicación de las tasas de RR es necesario contar con información respecto a las tasas de incidencia base. Estas son aproximadas como la tasa de incidencia a nivel regional. En la Tabla 11.10 se pueden ver los casos, la población estimada y la tasa de incidencia resultante para las atenciones de urgencia por bronquitis/bronquiolitis en el 2019. Estos datos fueron obtenidos del estudio “Actualización de tasas de incidencia base para efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana” (GreenLab-DICTUC, 2022).

**Tabla 11.10 Atenciones de urgencia por bronquitis/bronquiolitis aguda 2019**

| Región | Casos | Población | Tasa de incidencia (por 100.000 hab) |
|---|---|---|---|
| **(VII) Maule** | 56.476 | 894.340 | 6.315 |
| **(XVI) Nuble** | 27.571 | 368.401 | 7.484 |
| **(VIII) Biobío** | 130.829 | 1.615.494 | 8.098 |
| **(IX) La Araucanía** | 29.858 | 596.521 | 5.005 |
| **(XIV) Los Ríos** | 26.332 | 396.033 | 6.649 |

Fuente: GreenLab-DICTUC (GreenLab-DICTUC, 2022)

Respecto a la población expuesta, se considera la población en las localidades próximas a las plantas (ver localidades en Tabla 6.7). Un supuesto relevante es que los casos evitados por la reducción de las emisiones de venteos, es proporcionalmente equivalente a la reducción en el tiempo de venteo.

Por último, para monetizar la cantidad de atenciones se utiliza un costo unitario de atención de 2,67 [UF/evento], en base a la actualización de estos costos realizada en GreenLab-DICTUC (2019).

#### 11.2.3.2 Resultados

En la Tabla 11.11 se presentan los resultados de casos evitados de visitas a salas de emergencia por bronquitis y su correspondiente valorización. Se observa que los resultados agregados son escasos alcanzando el orden de decenas de UF por año. Lo anterior responde, al limitado alcance de los beneficios cuantificados, atendiendo solo efectos de salud y aquellos con un diagnóstico específico. De esta forma, los valores presentados son una subestimación con respecto al total de los beneficios de reducir las emisiones de venteos.

**Tabla 11.11 Cuantificación y valorización de casos evitados en Esc. 2, para el año 2030**

| Establecimiento | Casos evitados | | Valorización casos [UF] | |
|---|---|---|---|---|
| | Neutralizante | Scrubber | Neutralizante | Scrubber |
| **PCK-03** | 0,10 | 0,13 | 0,26 | 0,35 |
| **PCK-02** | 2,49 | 3,42 | 6,65 | 9,13 |
| **PCK-05** | 0,27 | 0,40 | 0,71 | 1,06 |
| **PCK-04** | 5,26 | 6,47 | 14,04 | 17,28 |
| **PCK-07** | - | 6,83 | - | 18,24 |
| **PCK-06** | 0,10 | 0,13 | 0,28 | 0,34 |
| **PCK-08** | 1,31 | 2,10 | 3,50 | 5,60 |
| **Total** | **9,53** | **19,48** | **25,45** | **52** |

Fuente: Elaboración propia

Si bien, durante el análisis epidemiológico se observó insinuaciones de efectos para otros efectos diferentes a bronquitis, tales como causas respiratorias o todas las causas, estas aun cuentan con limitada potencia estadística. Es posible que futuros análisis que cuenten con mayor número de datos puedan encontrar evidencia estadísticamente significativa para otros efectos y diagnósticos. Sin perjuicio de lo anterior, se considera relevante destacar que el presente es el primer antecedente del cual el equipo consultor tenga conocimiento que vincule estadísticamente la emisión de TRS con efectos en la salud en Chile.

### 11.2.4 Cuantificación de beneficios en calidad de vida de la población

En la presente subsección se presenta la metodología y los resultados de la cuantificación de los beneficios en la calidad de vida de las personas asociados a la reducción de olores.

#### 11.2.4.1 Metodología

La presente metodología es similar a la utilizada en el "*Análisis general del impacto económico y social del anteproyecto de norma de emisión de contaminantes en plantas de aceite y harina de pescado y plantas de alimento para peces, que en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de vida de la población*" (AGIES-Pesqueras) (MMA, 2022), en donde se utiliza la disposición a pago estimada a partir del método de valoración contingente. La metodología del presente estudio posee ciertas diferencias en cómo se estima el impacto en diferentes personas, lo cual se detalla más adelante. Esta se encuentra limitada por la información disponible, y utiliza supuestos para sobrepasar diferentes brechas. Sin perjuicio de lo anterior, se destaca que la metodología podría ser beneficiada con mayor información tales

como una modelación detallada de la dispersión de los olores, o valores específicos de disposición a pago por reducción de olores de plantas de celulosa.

Respecto a la disposición a pago (DAP), en el AGIES-Pesqueras utilizan los resultados de las encuestas realizadas por Cliodinámica (2021), en donde, entre distintas preguntas, se consultó a personas si estarían dispuestos a pagar ciertas cantidades mensuales por una reducción de días con malos olores. Con estos resultados, en el AGIES-Pesqueras se estima que la disposición a pago (DAP) sería en promedio de 2.063 [CLP-2021] mensuales por una reducción promedio de 31,3 días de malos olores al año[19]. Luego, se estima la cantidad de días reducidos de malos olores asociados a la normativa[20]. La población utilizada para estimar el beneficio total es la población dentro de las isodoras 1 [$OU_E/m^3$] percentil horario 99.5 para las plantas que tienen modelación y dentro de un radio de 2 [km] para las que no.

Para esta cuantificación se utilizará la misma DAP individual por día reducido, a pesar de que, como se comentó en el informe, no son estrictamente equivalentes por tratarse de tonos de olor distintos. En la población afectada, es donde se encuentra la mayor diferencia. Considerando que no se cuenta con resultados de modelación y entendiendo que ellos impactos no son homogéneos dentro de área de influencia, se propone analizar el impacto desagregando la población a diferentes distancias de la planta. Esto se logra dividiendo las áreas en anillos concéntricos cada 1 kilómetro de radio.

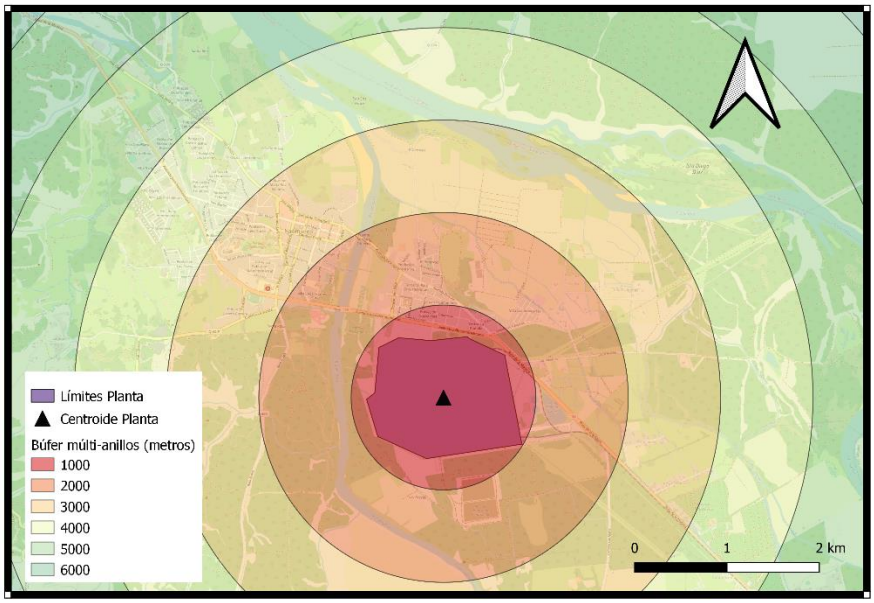
En la Figura 11.3 se muestra una figura esquemática de la discretización del espacio en torno a la planta, donde se divide el área en anillos de 1 kilómetro groso. Para un mismo nivel de emisiones, es esperable que los anillos más cercanos a la planta (más rojizos) tengan una mayor cantidad de días con concentraciones odorantes altas, por lo que una reducción en la emisión generaría una reducción de días con malos olores considerable. Por ejemplo, una reducción de 50% en la emisión podría reducir los días con olores molestos de 20 a 10. Las áreas más alejadas (más verdes) poseen una concentración menor de olores, por lo que una reducción idéntica generaría una menor disminución de días (por ejemplo, de 2 a 1). Si se valora cada día reducido con el mismo monto (como se propone en este estudio), los beneficios en las personas cerca de la planta serán mayores.

Se podría discutir que las personas que se ven afectadas a pocos días de malos olores por estar alejadas (más verdes)), son más sensibles a los olores y podrían valorar más esos pocos días reducidos, donde incluso se podría pasar de 1 a 0 días con malos olores. Sin embargo, utilizar valores distintos puede considerarse injusto y actualmente no se posee información suficiente para DAP unitario desagregada por distancia a la planta.

[19] Si bien en el cuerpo del informe se utiliza el valor oficial considerado en el AGIES del anteproyecto descrito, en el Anexo 1.10 se presenta una breve discusión en la cual se propone otro valor para sensibilizar los resultados.

[20] 35 días de acuerdo con las estimaciones realizadas en el AGIES-Pesqueras

**Figura 11.3 Esquema de impacto de olores**




Fuente: Elaboración propia

Una vez hechos los supuestos anteriores, la dificultad radica en estimar la cantidad de días de malos olores reducidos para cada medida, lo cual tendrá un impacto distinto para cada distancia. Para cada una de las medidas se utiliza una metodología levemente distinta, las cuales se presentan a continuación.

a) Medida 2: Venteos

Para estimar la reducción de días de malos olores por tratamiento de venteos, se asume que cada día con venteo es un día de mal olor. Bajo este supuesto, se utiliza el promedio observado entre 2019 y 2021 para obtener la cantidad de días con malos olores sin regulación. Luego, la reducción depende de esta cantidad base y la eficiencia de abatimiento de los agentes neutralizantes o scrubber según el caso. Si bien, la normativa restringe el nivel de las emisiones, se realiza el supuesto de que la reducción de la intensidad de las emisiones es proporcional a la reducción de número de días donde estos días impactan a la población. En este caso particular, no se realiza distinción a diferentes distancias, por lo que es la misma reducción de días sobre la población total hasta 10 km de la planta.

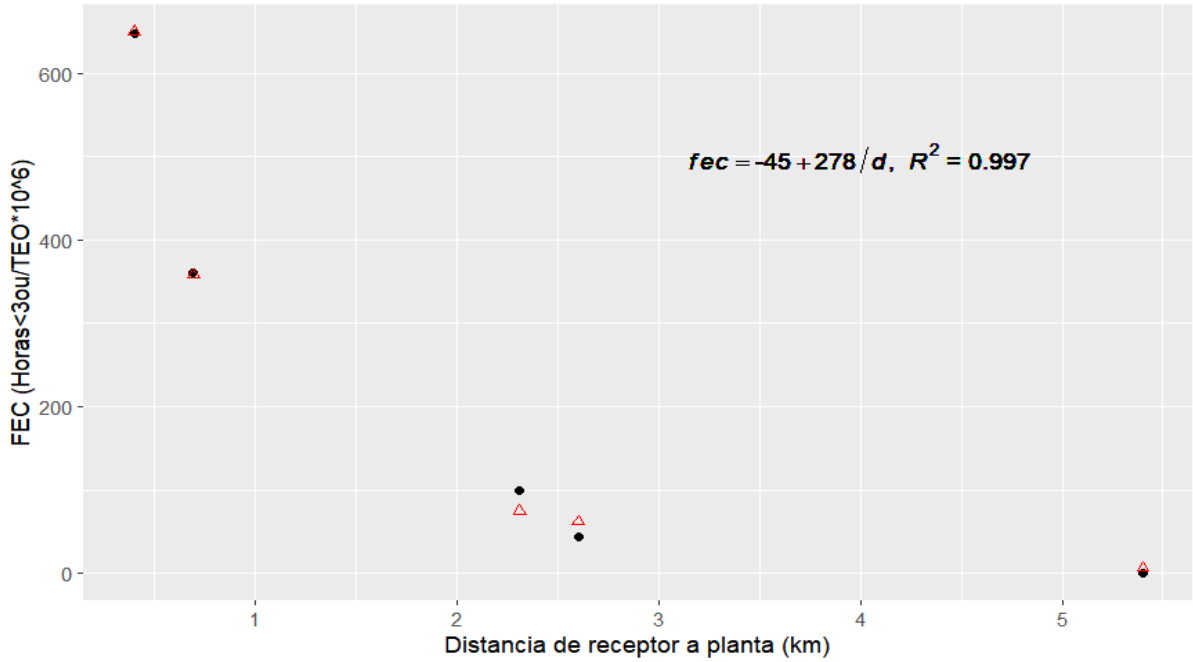
b) Medida 3: Horno de Cal

En el caso del Horno de Cal la regulación propuesta modelada implica la instalación de tecnología para reducir los niveles de TRS, impactando tanto su percentil 98 (parámetro regulado) como la media de las emisiones. Ante esto, el supuesto principal es que la disminución de los TRS implica una reducción en la misma proporción de las emisiones odorantes. En los EIO a los cuales se tuvo acceso se observó que el Horno de Cal es responsable entre el 5% a 6% de la tasa total de emisión

de olores de una planta. Por lo tanto, una reducción de los olores de los Hornos de Cal implicaría una reducción sólo sobre entre 5% y 6% de los olores emitidos por los establecimientos.

Para estimar la relación entre la variación de la tasa de emisión y la variación de los días de malos olores se estimó un factor de emisión concentración (FEC) que relaciona las horas sobre 3 [$OU_E/m^3$] con la tasa de emisión de olores. A partir de la información de dos EIO disponibles se pudo ajustar una función como se muestra en la Figura 11.4. Razonablemente, la relación depende de la distancia a la que los receptores se encuentran de la planta. Cabe destacar que si bien, la relación se realiza con sólo cinco datos disponibles, la asociación encontrada es bastante consistente y los parámetros de la función se mueven de acuerdo a lo esperable.

**Figura 11.4 Estimación de factor emisión concentración (FEC) en función de la distancia**




Nota: Los puntos negros son los valores obtenidos de los dos EIO con estos tipos de datos y los triángulos rojos son los valores predichos por la función ajustada.

Fuente: Elaboración propia

A partir de la distancia de cada anillo y la variación de las tasas de emisión en cada establecimiento producida por la regulación, se pueden estimar las horas sobre umbral utilizando la ecuación ajustada para cada anillo concéntrico, como se muestra en la Ecuación 6.

$$\Delta \mathrm{HorasSobre3ou_{di}} = \Delta \mathrm{TEO_i} \cdot \left(\frac{278{,}1}{dist_d} - 45.2\right)$$

**Ecuación 6 Estimación de reducciones de horas sobre umbral en función de la distancia y la reducción de TEO**

Donde,

- $\Delta \mathrm{H}orasSobre3ou_{di}$ es la reducción de horas en la población cercana a la planta *i* que se encuentra a una distancia *d.*
- $\Delta TEO_i$ es la reducción en la tasa de emisión de olores, en ($OU_E$/s)/$10^6$.
- $\mathrm{d}ist_d$ es la distancia en kilómetros entre la población y la planta.

Por último, se debe pasar de horas anuales a días de malos olores, ya que la DAP disponible es para reducción de días. Si bien en el AGIES-Pesquera se utiliza un factor de 24 horas para hacer esta transformación, a partir de los EIOs se observó que este supuesto es poco plausible, considerando que hay periodos del día que comúnmente superan el umbral y otras que casi nunca lo hacen. Esto quiere decir que, si en un receptor hubo 24 horas al año con superación del umbral, es más probable que haya varios días con superaciones de duración moderada, que solo un día del año con superación en cada una de sus horas. En base a la información de los EIO se estima un factor de 0,87 días con superación por cada hora de superación[21][22]. Con esto, la estimación de beneficios se realizaría con la Ecuación 7.

$$\text{Beneficios} = \sum_{i,d} \frac{\Delta \mathrm{H}orasSobre3ou_{di}}{HorasPorDia} * Pob_{di} * DAP$$

**Ecuación 7 Estimación de beneficios**

Donde,

- $\Delta \mathrm{H}orasSobre3ou_{di}$ es la reducción de horas en la población cercana a la planta *i* que se encuentra a una distancia *d.*
- $HorasPorDia$ es el factor de 1,15 horas sobre umbral por cada día de olores molestos (o equivalentemente 0,87 días por horas).
- $Pob_{di}$ es la población dentro del anillo a una distancia *d* de la planta *i.*
- $DAP$ es la disposición a pago unitaria obtenido del AGIES-Pesqueras, la cual corresponde a 0,02721 UF anuales por día de olor molesto reducido.

[21] La situación más similar presentó 218 horas sobre umbral, repartidas en aproximadamente 190 días, lo que da 190/218=0,87.

[22] Este parámetro es especialmente sensible. A modo de ejemplo, en el AGIES realizado por el MMA para plantas de recursos hidrobiológicos, se utiliza el supuesto de que las horas *peak* ocurren de manera consecutiva. De utilizar el mismo supuesto los beneficios de estos escenarios se reducirían en un factor de 24*0.87= 20,9.

c) Medidas 4 y 5: Control de emisiones y reemplazo de torres de enfriamiento

Las medidas 4 y 5 siguen la misma metodología propuesta para la medida 2, utilizando la Ecuación 6 y la Ecuación 7. La única diferencia radica en que no es necesario tomar supuestos de cómo la concentración de TRS se traduce en una reducción de olores, ya que, con el inventario y las eficiencias de abatimiento, se calcula directamente la reducción de la tasa de emisión de olores.

#### 11.2.4.2 Resultados

En la Tabla 11.12 se presentan los beneficios valorizados por este método de disposición a pago para el año 2030, para cada medida. En la Tabla 11.13 se muestra la misma información, pero agregada a nivel de escenario. Se observa que las medidas regulatorias que regulan la emisión de olores asociados a tratamiento de RILes son las que presentan los mayores beneficios. Esto es consistente con lo observado en los EIO, donde de las fuentes que se propone regular son las que más contribuyen. Por el contrario, la disminución del límite para los hornos de cal (Medida 3) presenta los menores beneficios. Es relevante destacar, que estas fuentes ya han sido reguladas por las versiones previas de la norma de emisión, y es esperable que en dichas regulaciones se hayan obtenido los principales beneficios.

**Tabla 11.12 Valorización de beneficios [UF/año] según disposición a pago para el año 2030, por medida.**

| Medida: fuente | Costoso | Económico |
|---|---|---|
| **M2: Venteos** | 45.228 | 26.886 |
| **M3: HC** | 3.401 | 3.401 |
| **M4: Lagunas y estanques** | 121.967 | 107.733 |
| **M5: Torres de enfriamiento** | 99.118 | 99.118 |
| **Total** | **269.715** | **237.138** |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11.13 Valorización de beneficios [UF/año] según disposición a pago para el año 2030, por escenario.**

| Escenario regulatorio | Costoso | Económico |
|---|---|---|
| **Escenario 1** | 3.401 | 3.401 |
| **Escenario 2** | 266.314 | 233.737 |
| **Escenario 3** | 269.814 | 237.234 |

Fuente: Elaboración propia

### 11.2.5 Identificación de co-beneficios

Por co-beneficios de la norma se entienden aquellos beneficios diferentes a los beneficios por reducción de la emisión de olores. Estos podrían guardar relación con bienes de mercado (e.g. reducción en el consumo energético) o con bienes no transados en el mercado (e.g. reducción de emisiones de contaminantes locales). Al respecto, en un estudio previo de beneficios de olores en plantas de procesamiento de recursos hidrobiológicos (GreenLab-DICTUC, 2021), se identifican dos clases de co-beneficios. Por un lado, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y, por otro, reducción de emisiones de contaminantes locales como material particulado (MP) y gases de combustión como $NO_x$ y $SO_2$. En el caso de las plantas de celulosa estos co-beneficios son de una escala menor, o incluso pueden ser negativos.

En primer lugar, respecto a las emisiones de GEI la industria de la celulosa si bien es intensiva en el consumo de energía, esta es mayoritariamente generada en base a biomasa. Desde el punto de vista de las emisiones de GEI, la combustión de biomasa tiene la particularidad de que las emisiones de dióxido de carbono son consideradas biogénicas y luego, neutrales en término de su impacto en cambio climático[23] (IPCC, 2019). Si bien, este supuesto no es aplicable a otros GEI que pueden ser co-emitidos durante la combustión de biomasa, notablemente el metano, los niveles de emisión son sustancialmente menores a los niveles de emisión del $CO_2$ (IPCC, 2006). De esta forma, las plantas de celulosa tienen una baja intensidad de emisiones GEI.

Por lo demás, las plantas de celulosa utilizan su exceso de generación eléctrica en inyecciones al sistema eléctrico nacional, siendo reconocidas como fuentes renovables de energía por la legislación. En este sentido, se podría argumentar que esta generación desplaza generación de fuentes fósiles más costosas, teniendo un impacto positivo en término de emisiones GEI.

Respecto a co-beneficios por potenciales reducciones en emisiones de contaminantes locales, cabe destacar que las fuentes fijas de las plantas de celulosa cuentan con tecnologías de abatimiento de este tipo de contaminantes. Más aún existe una relación entre la emisión de TRS y las emisiones de $SO_2$, el cual es, en parte, emitido al oxidar los TRS como una forma de evitar dichas emisiones. De esta forma, mayores reducciones en los niveles de TRS pueden resultar en aumento en las emisiones de $SO_2$.

## 11.3 Análisis costo eficiencia de las medidas

La costo-efectividad es una métrica de análisis que permite la comparación de diferentes medidas que tienen un objetivo común. En esta métrica se considera los costos de cada tecnología para un mismo nivel de impacto, permitiendo la comparación de la efectividad económica de las medidas. Cabe destacar que dentro de las limitaciones de este análisis es que este tipo de métrica no permite capturar efectos en diferentes parámetros, así como no

[23] Técnicamente las emisiones son contabilizadas en el sector de AFOLU.

considera el potencial total de cada medida. Dado lo recién descrito, se presentan los resultados de costo-efectividad para dos impactos diferentes: reducción anual de emisiones TRS y reducción de olores.

### 11.3.1 Costo-efectividad de medidas para reducción de TRS

La Tabla 11.13 muestra el análisis de costo-efectividad de medidas para reducción de TRS por venteos en diferentes establecimientos. La tabla presenta los resultados en términos de kilogramo de TRS reducido por cada UF de costo [kg TRS/UF] para dos tecnologías: Scrubbers y agentes neutralizantes. Los resultados indican que la tecnología de Scrubbers presenta un peor rendimiento en términos de costo-efectividad promedio que los neutralizantes, ya que reducen menos TRS por cada UF. Si bien el scrubber es siempre menos efectivo que el agente neutralizante es importante destacar que los valores de costo efectividad varían entre los diferentes establecimientos, por lo que es necesario analizar las condiciones específicas de cada uno para tomar una decisión adecuada.

**Tabla 11.14 Costo efectividad [kg TRS/UF] de medidas para reducción de TRS por venteos**

| Establecimiento | Scrubber | Neutralizante |
|---|---|---|
| **PCK-02** | 0,20 | 0,86 |
| **PCK-03** | 0,13 | 0,77 |
| **PCK-04** | 0,28 | 1,37 |
| **PCK-05** | 0,86 | 4,76 |
| **PCK-06** | 0,38 | 4,78 |
| **PCK-07** | 0,39 | No aplica |
| **PCK-08** | 0,87 | 1,08 |
| **Promedio** | **0,38** | **1,48** |

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 11.14 presenta los resultados de costo-efectividad de medidas para reducción de TRS en el horno de cal utilizando Scrubbers y filtros LMD. Los valores se expresan en términos de kilogramo de TRS reducido por cada UF de costo anualizado [kg TRS/UF]. Los resultados muestran que los filtros LMD presentan un mejor rendimiento en términos de costo efectividad promedio en comparación con los Scrubbers. Es importante destacar que solo algunas plantas presentan costos en esta medida, debido a que la mitad de las plantas no requerirán esfuerzos adicionales para cumplir con la disminución del límite de concentración propuesto.

**Tabla 11.15 Costo efectividad [kg TRS/UF] de medidas para reducción de TRS en HC**

| Establecimiento | Scrubber | Filtros LMD |
|---|---|---|
| **PCK-01** | 77 | 616 |
| **PCK-03** | 60 | 477 |
| **PCK-06** | 143 | 1.144 |
| **PCK-08** | 69 | 551 |
| **Total** | **90** | **718** |

Fuente: Elaboración propia

### 11.3.2 Costo-efectividad de medidas para reducción de olores

La Tabla 11.15 muestra el análisis de costo-efectividad de medidas para reducción de olores comparando tres tecnologías diferentes: cubiertas con filtro de carbón activado en lagunas o estanques, cubiertas geotextiles en lagunas o estanques, e intercambiadores de calor en lugar de torres de enfriamiento. Para este caso, los valores se presentan en términos de tasa de emisión (OUE/s) reducida por cada UF de costo anualizado para cada tecnología. Los resultados indican que las cubiertas geotextiles en lagunas o estanques presentan un mejor rendimiento en términos de costo efectividad promedio que las otras dos tecnologías. Sin embargo, como en las otras tablas, los valores varían ampliamente entre los diferentes establecimientos, por lo que se deben considerar las condiciones específicas de cada uno para tomar una decisión adecuada. Vale la pena resaltar que plantas donde no aplica la tercera tecnología se debe a que actualmente cuentan con intercambiadores de calor en vez de torres de enfriamiento.

**Tabla 11.16 Costo efectividad [$OU_E$/s/UF] de medidas para reducción de olores**

| Establecimiento | Cubierta con filtro de carbón activado en estanques | Cubierta geotextil en lagunas | Intercambiadores de calor en lugar de torres de enfriamiento |
|---|---|---|---|
| **PCK-01** | 234 | 3.459 | 239 |
| **PCK-02** | 98 | 1.608 | N/A |
| **PCK-03** | 44 | 725 | N/A |
| **PCK-04** | 32 | 523 | 237 |
| **PCK-05** | 73 | 1.443 | 346 |
| **PCK-06** | 63 | 1.011 | 149 |
| **PCK-07** | 52 | 967 | 389 |
| **PCK-08** | 86 | 1.423 | 198 |
| **Promedio** | **61** | **1.073** | **264** |

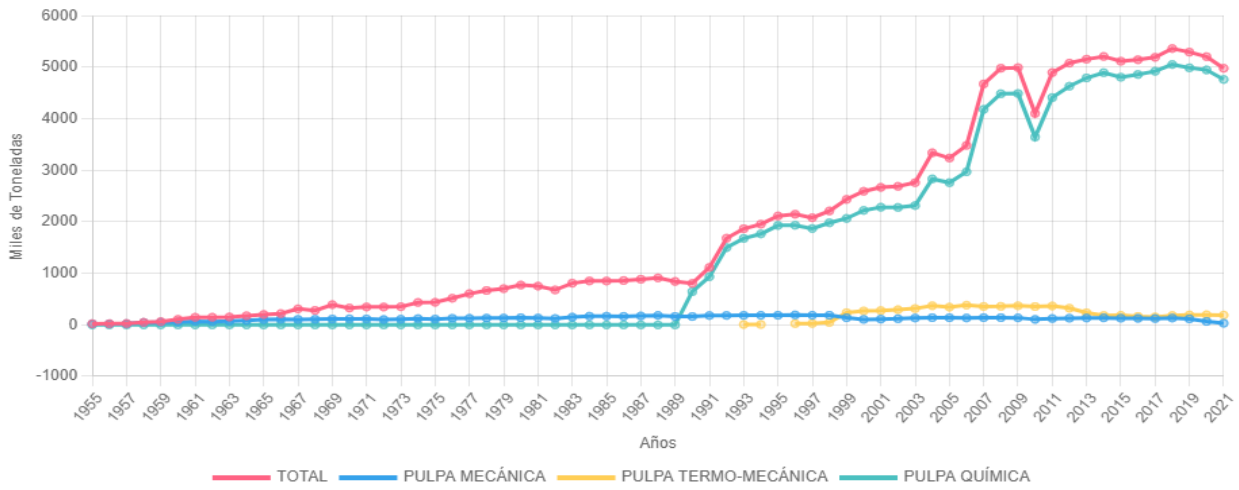
Nota: N/A: No aplica, por no tener actualmente torres de enfriamiento.

Fuente: Elaboración propia

## 11.4 Efectos sobre empresas

Los ocho establecimientos que estarían regulados por la propuesta de normativa se concentran en dos titulares. De estos ninguno clasifica como una empresa de menor tamaño (EMT). De acuerdo a los datos de INFOR (2022) la producción de celulosa al año 2021 alcanzó los 4,7 millones de toneladas, un 5,8% menor que el *peak* de producción alcanzado el año 2018: 5,05 millones de toneladas.

**Figura 11.5 Producción de celulosa en Chile, 1955 a 2021**




Fuente: Infor, 2022

En cuanto a los ingresos del sector, en la Tabla 11.16 se presentan las exportaciones de pulpa química en UF. Se observa que en los últimos años las exportaciones han sido superiores a 60 millones de UF anuales, llegando a cerca de 80 millones de UF el año 2018. Considerando el promedio de 69 millones de UF anuales, los costos de implementar todas las medidas (Escenario 3) varían entre 0,2% y 1,5% de las exportaciones anuales (ver Tabla 11.17).

**Tabla 11.17 Exportaciones FOB en [UF] entre años 2017 a 2022**

| Nombre Producto | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Pulpa Blanqueada** | 56.685.730 | 70.707.576 | 60.353.823 | 49.886.991 | 52.652.884 | 60.205.940 |
| **Pulpa Cruda** | 6.910.141 | 9.175.334 | 7.221.022 | 6.426.427 | 8.227.080 | 10.532.202 |
| **Pulpa Fluff Blanqueada** | 1.496 | 1.547 | | | 1.892 | 1.900 |
| **Pulpa Fluff Cruda** | 1.243 | | | | | |
| **Pulpa textil** | | | | 1.174.334 | 8.442.755 | 6.616.762 |
| **Otras Pulpas** | 13.250 | 18.684 | 24.489 | 15.828 | | 3.733 |
| **Total general** | **63.611.861** | **79.903.141** | **67.599.334** | **57.503.581** | **69.324.611** | **77.360.536** |

Nota: Datos originales en USD, transformados a UF considerando la conversión equivalente en el primer día de cada año.

Fuente: Información disponible en Infor, 2022

La Tabla 11.17 muestra los costos anualizados como una fracción del promedio de exportaciones de celulosa química para diferentes medidas. Se observa que el costo total anualizado varía entre 0,34% y 0,39% del promedio de exportaciones de celulosa química anuales, dependiendo de la medida considerada. Como se puede observar, los costos anualizados para cada medida son diferentes y van desde menos de 0,01% hasta el 0,18% del promedio de exportaciones de celulosa química. Estos costos son relativamente bajos en comparación con las exportaciones anuales del sector de la celulosa química, que oscilan en torno a los 69 millones de UF.

**Tabla 11.18 Costos anualizados como fracción del promedio de exportaciones de celulosa química**

| Medida: fuente | Costoso | Económico |
|---|---|---|
| **M2: Venteos** | 0,07% | 0,04% |
| **M3: HC** | 0,00% | 0,00% |
| **M4: Lagunas y estanques** | 0,18% | 0,16% |
| **M5: Torres de enfriamiento** | 0,14% | 0,14% |
| **Total** | **0,39%** | **0,34%** |

Fuente: Elaboración propia

## 11.5 Análisis de costos y beneficios

En la presente sección se presentan de forma conjunta los resultados del análisis de costos y beneficio. Se muestra una comparación de los beneficios y costos de las medidas desagregadas y agregadas en sus escenarios y se discute la temporalidad de los costos y beneficios. Además, se realizó un análisis de sensibilidad e incertidumbre para destacar la importancia de considerar la incertidumbre en el análisis de costos y beneficios.

### 11.5.1 Comparación costos y beneficios

La Tabla 11.18 presentan los beneficios y costos totales en UF para el año 2030, para el Escenario regulatorio 3 que considera todas las medidas. Se exponen desagregados por los escenarios de costos denominados "Costoso" y "Económico". Los costos de reporte y monitoreo son menores a los asociados a las reducciones de TRS y olores, pero en el escenario económico son de una magnitud considerable, siendo equivalente al 29% de los costos de reducción. Por su parte, los costos de fiscalización son considerablemente menores, lo que es esperable teniendo en cuenta que es la segunda revisión de la normativa y que por tanto los componentes más costosos de la fiscalización ya se llevan a cabo actualmente.

Se puede observar que, dependiendo del escenario de costos, los beneficios son mayores o menores a los costos. Para el escenario costoso se obtiene una razón beneficio costo de 0,36, lo que implica que los beneficios de una magnitud menor a los costos. El caso contrario ocurre en el escenario económico, donde los beneficios son casi el doble que los costos, con una razón de 1,73.

**Tabla 11.19 Costos y beneficios [UF] para el año 2030, Escenario 3**

| Escenarios de costo | Costoso | | Económico | |
|---|---|---|---|---|
| **Tipo de medida** | **Beneficios** | **Costos** | **Beneficios** | **Costos** |
| **Reducción de TRS y olores** | 269.814 | 724.381 | 237.234 | 105.525 |
| **Reporte y monitoreo** | . | 31.024 | . | 31.024 |
| **Fiscalización** | - | 860 | - | 860 |
| **Razón B/C** | **0,36** | | **1,73** | |

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11.19 se presenta una comparación de beneficios y costos anuales para todos los escenarios regulatorios evaluados para el año 2030. Se muestran también desagregados por los escenarios de costos "Costoso" y "Económico". Los beneficios y costos están separados para cada opción de escenario y se muestra la razón beneficio-costo (B/C). Se puede observar que en el escenario de costo “Costoso” los beneficios de todos los escenarios regulatorio son menores a los costos. El escenario 1 (asociados a reducción de TRS) presentan costos mayores a los beneficios en ambos escenarios de costos, siendo en casos los costos muy superiores. Esta diferencia entre los escenarios enfocados en TRS u olores, es esperable considerando que para TRS esta sería la tercera propuesta regulatoria mientras que para olores sería la primera. Esto hace que las medidas más costo efectivas y con mayores beneficios para la reducción de TRS ya se encuentren operativas, teniendo que implementar en esta versión medidas más costosa y con menos rango para aumentar los beneficios.

**Tabla 11.20 Comparación de beneficios y costos [UF] para el año 2030**

| Escenario regulatorio | Costoso | | | | Económico | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Beneficios | Costos medidas | Costos RMF | Razón B/C | Beneficios | Costos medidas | Costos RMF | Razón B/C |
| **Escenario 1** | 3.401 | 338.265 | 21.804 | **0,0** | 3.401 | 42.341 | 21.804 | **0,1** |
| **Escenario 2** | 266.314 | 386.116 | 31.884 | **0,6** | 233.737 | 63.185 | 31.884 | **2,5** |
| **Escenario 3** | 269.814 | 724.381 | | **0,4** | 237.234 | 105.525 | | **1,7** |

Nota: Costos RMF: Costos de reporte, monitoreo y fiscalización. Escenario 1 excluye algunos ítems asociados al control de olores.

Fuente: Elaboración propia

### 11.5.2 Temporalidad de los costos y beneficios

Los costos presentados en subsecciones anteriores corresponden al costo anualizado, lo que permite comparar de mejor manera costos que están fuertemente influenciados por inversiones en años específicos, con beneficios que son relativamente constantes entre años. Matemáticamente los resultados del ratio B/C son equivalentes a un análisis temporal con valor presente, pero reduce el impacto del largo de horizonte de evaluación, así como hace innecesario supuestos arbitrarios sobre los años de inversión de las medidas de control.

También permite comparar medidas con altos niveles de inversión con medidas altas de costos de operación (ver sección Tabla 10.2). Un ejemplo de esto es la tecnología utilizada para tratar venteos, por un lado, el scrubber requiere de una inversión alta pero un costo de operación menor, en cambio los agentes neutralizantes implican principalmente costos de operación. Para hacerlos comparables es útil utilizar el costo anual equivalente.

A pesar de las ventajas recién descritas, también este tipo de métrica dificulta la visibilidad de algunas variables de interés. Si bien en términos de valor presente puede ser equivalente una inversión alta a un costo de operación alto, la inversión alta en un tiempo específico puede requerir de un esfuerzo de liquidez mayor. Por lo que se debe tener en cuenta a la hora de exigir límites o prácticas que requieran tecnologías de ese tipo.

### 11.5.3 Análisis de sensibilidad e incertidumbre

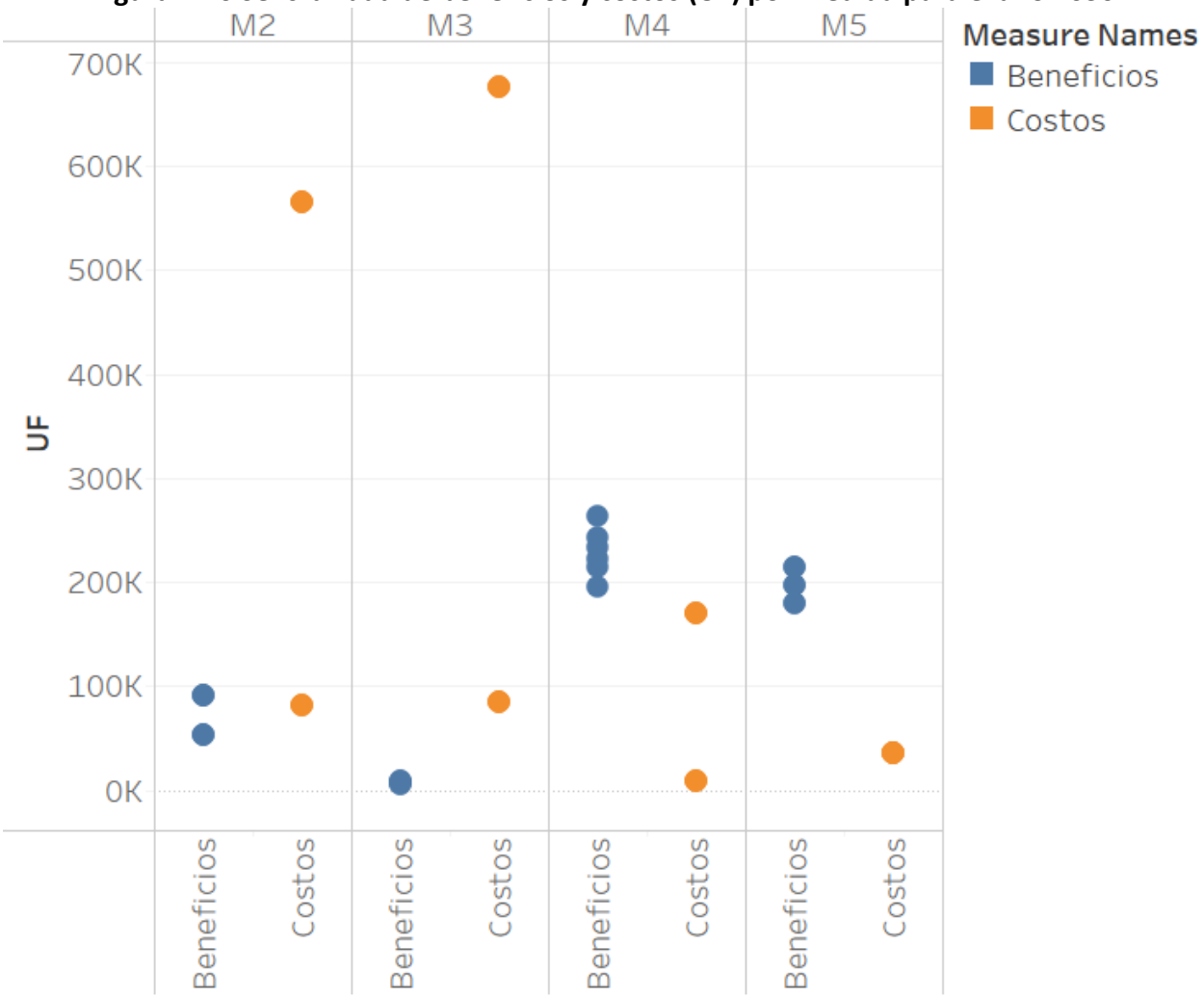
Para analizar la robustez de los resultados obtenido se realizaron dos tipos de sensibilización, primero están los escenarios de costos, los cuales son expuestos a lo largo todo el informe. Pero en segunda instancia se sensibilizaron algunos parámetros claves en el cálculo de los beneficios. Los parámetros claves que fueron sensibilizados son los siguientes:

- Concentración media de los TRS emitidos por la fuente fija, considerando la media y desviación estándar de la media en base a los datos del periodo 2019-2021
- Porcentaje de tasa de olores total correspondiente al horno de cal: distribución uniforme entre 5% y 6%, según los EIO disponibles[24].
- Factor de días por horas sobre umbral: distribución normal con media 0,87 y desviación 0,046.
- Porcentaje de la tasa de emisión asociada al tratamiento de RILes con respecto a la tasa del resto de las fuentes: distribución uniforme entre 46% y 81%, según los EIO disponibles

En base a los escenarios de costos y los parámetros sensibilizados en los beneficios, la Figura 11.5 muestra las distintas estimaciones de costos y beneficios. Para los costos solo hay dos escenarios, por lo que hay dos instancias por medida. En cambio, para los beneficios además de mostrarse los dos escenarios tecnológicos (o de costos) se muestra el percentil 5 y 95 de los resultados. Se observa que los costos presentan mayor variabilidad, pero es algo esperable porque corresponden a distintas tecnologías. Los beneficios presentan un rango proporcionalmente más amplio para la medida 2 (venteos) que, para el resto, lo cual está dado principalmente por el escenario tecnológico. Por su parte, es interesante observar que el rango esperado de los beneficios de las medidas de control de olores por tratamiento de RILes, se encuentran por sobre los escenarios de costo.

[24] Si bien la medida en el Horno de Cal exige reducción de TRS, como se explicó en la metodología, para monetizar el beneficio se trasforman en olores con este supuesto.

**Figura 11.6 Sensibilidad de beneficios y costos (UF) por medida para el año 2030**




Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar, que si bien en la Figura 11.5 se captura una parte de la incertidumbre asociada a la modelación, existe una multiplicidad de otros supuestos metodológicos con incertidumbre para los cuales no se cuenta con información suficiente para modelar su incertidumbre. Entre ellos, se destacan parámetros como el valor de la DAP, o de los supuestos realizados para traducir la variación en la emisión de olores, en reducción de días con olores molestos. Otros supuestos inciertos, cuya incertidumbre no es modelada corresponde a la proyección de los niveles de actividad de las plantas o el supuesto de que, de no mediar una nueva regulación, las emisiones futuras se comportarán como las emisiones observadas en el periodo 2019-2021.

# 12. Conclusiones

A continuación, se presentan los principales hallazgos realizados asociados a cada uno de los objetivos específicos interpuestos por la consultoría, así como una discusión respecto de sus limitaciones e implicancias.

**Se evaluó satisfactoriamente el nivel de cumplimiento de la normativa vigente por parte de los regulados.** De acuerdo con el análisis de cumplimiento, las exigencias del DS37/2013 del MMA han sido mayoritariamente cumplidas por los establecimientos afectos, con excepción de algunos eventos ocurridos en el año 2019, con equipos de respaldo. Dicho análisis denota los esfuerzos realizados por los regulados para el cumplimiento de la norma nacional vigente, lo cual va de la mano con el decrecimiento de las denuncias de las localidades cercanas en relación con la generación de olores molestos, las cuales tuvieron máximos en los años 2015 y 2016. De hecho, al comparar las concentraciones de TRS en las fuentes fijas reguladas contra los límites establecidos por el decreto se observan márgenes de sobrecumplimiento relevantes en los últimos años (ver Tabla 12.1), los cuales abren paso a posibles actualizaciones de la norma, las cuales fueron propuestas como recomendaciones y evaluadas en los escenarios.

**Tabla 12.1 Márgenes de sobrecumplimiento por unidad regulada**

| Unidad | Rango de sobrecumplimiento[3] | Rango de concentraciones informadas [ppmv] | Límite DS37/2013 [ppmv] |
|---|---|---|---|
| **Caldera recuperadora** | 6% – 94% | 5 – 0,28 | 5 [1] |
| **Horno de cal** | 12% – 97% | 13,15 – 0,4 | 15 [1] (existentes) |
| **Caldera de poder (dedicados)** | 84% – 98% | 3,17 – 0,31 | 20 [2] |
| **Incineradores (dedicados)** | 45% – 97% | 11,05 – 0,69 | |

Nota 1: Indicado como percentil 98 de emisión $H_2S$ al 8% de oxígeno en base seca
Nota 2: Indicado como percentil 98 de los datos promedios diarios en un periodo anual
Nota 3: Ver análisis de sobrecumplimiento Anexo 1.2.

Fuente: Elaboración propia

Si bien, el análisis ha indicado que se cumple con las exigencias de venteo en cuanto a su duración máxima, se recomendó insistir en el requerimiento de adjuntar las causas de venteos, ya que cerca del 55% de los reportes analizados no las incluían.

**Se revisó la normativa internacional respecto del control de olores y TRS en el sector de la celulosa, contrastando con la normativa vigente.** Si bien, las exigencias del DS37/2013 del MMA se encuentran dentro del orden en comparación con otros países, se demostró que existe un margen de mejora de dichos límites, asociados principalmente a los hornos de cal, calderas de poder e incineradores dedicados, para los cuáles se propone el límite de 10 [ppmv]. Dicho límite, para hornos de cal es más cercano a los utilizados por países más desarrollados como Canadá y EE.UU. Por otro lado, con respecto a las disposiciones normativas asociadas en particular al olor, a pesar de existir diferentes alternativas, solo unas cuantas están definidas particularmente al sector de las celulosas y papeleras, destacando las pertenecientes a países como España y Colombia.

**Se identificaron MTD con potencial de reducir las emisiones de TRS y olores, siendo caracterizadas técnicamente.** De las 22 MTD identificadas para el control de emisiones TRS y/o olores, un 77% de estas han sido implementada a nivel nacional. De los antecedentes disponibles, se estima que el 100% de los regulados cuentan con alguna MTD implementada, enfocada en la reducción de gases TRS, especialmente en áreas como la línea de fibra, sistema de recuperación química, ciclo de cal y venteos. Sin embargo, sólo 50% de las plantas cuentan con alguna MTD asociada al tratamiento de emisiones odorantes provenientes de la planta de tratamiento de RILes. Con esto, se observa que aún existen ciertas brechas tecnológicas en el control de olores entre los regulados. Por otro lado, se determinó que el 43% de los puntos de venteo informados cuentan con un tratamiento previo a la liberación al ambiente.

**Se inventariaron las emisiones de TRS y olores, estas últimas asociadas al tratamiento de RILes.** El inventario de TRS se benefició de la información monitoreada y reportada según lo regulado en la normativa vigente. Este aspecto da cuenta de la importancia de contar con mejor información descriptiva de las emisiones para hacer seguimiento a las mismas, siendo recomendable la inclusión de los descriptores del caudal de las emisiones. Junto con las emisiones de las fuentes fijas reguladas, se complementa con estimaciones de emisiones de TRS por venteos y emisiones fugitivas. En total se estiman en torno a 150 mil toneladas anuales emitidas de TRS. Los resultados de estas estimaciones sugieren que las fuentes fijas son responsables de la mayor parte (>98%) de las emisiones anuales de TRS en todos los establecimientos. Pese a lo anterior no implica que las emisiones asociadas al venteo sean despreciables, por el contrario, estas ocurren durante periodos cortos de tiempo resultando en un impacto agudo en términos de emisiones.

El inventario de emisiones odorantes asociado al tratamiento de RILes sugiere que fuentes específicas, como lagunas, estanques de almacenamiento de lodos y las torres de enfriamiento, representan la mayor parte de las emisiones de olor. Sin perjuicio de esto, los resultados del inventario correspondiente a olores presentan mayores niveles de incertidumbre que el inventario de TRS. Lo anterior puesto que, al no ser fuentes reguladas anteriormente, se cuenta con menor información disponible respecto a la caracterización de los sistemas de tratamiento de RILes de cada establecimiento la cual se hizo a través de la construcción o recreación de las plantas por medio de las RCAs disponibles y de imágenes satelitales. Adicionalmente, las emisiones fueron estimadas de acuerdo a los antecedentes disponibles en los escasos EIOs a los cuales el equipo consultor tuvo acceso. La estimación de emisión de olores estima en torno a 17 millones de [$OU_E$/s].

Cabe destacar que, si bien la incertidumbre de esta estimación es relevante, se espera que la contribución de las fuentes específicas identificadas como intensivas en la emisión de olores se mantengan como las principales fuentes independiente de la incertidumbre de la estimación.

**Se propusieron recomendaciones para la revisión del DS 37/2013 del MMA**. Si bien, se recomendó la mantención de algunos límites de equipos como calderas recuperadoras, incinerador de respaldo y caldera de poder de respaldo. Para otros equipos, se identificó cierto margen de disminución de los límites como el horno de cal, incinerador y caldera de poder (estos

2 últimos dedicados), ajustándose al nivel de 10 [ppmv], límite cercano a las normativas de TRS de otros países como Estados Unidos y Canadá para el caso del horno de cal. Lo anterior, dado que existen tecnologías disponibles para llevar las emisiones del horno de cal a los límites recomendados según la bibliografía y la experiencia internacional y, por otro lado, los límites recomendados para los equipos dedicados ya son alcanzados con gran margen de cumplimiento, por lo cual dicho límite es recomendado para conservar la calidad de emisión actual.

Adicionalmente, existen nuevas recomendaciones sobre aspectos a regular. Por una parte, se propone regular las emisiones odorantes asociadas solamente al área de tratamiento de RILes, dada su relevancia en las emisiones y la heterogeneidad en términos de compuestos odorantes de las plantas de celulosa, por medio de la implementación de MTD asociadas a las principales fuentes (estanque de neutralización, laguna de emergencia, estanque de almacenamiento de lodos y torres de enfriamiento), priorizadas según la metodología definida en este estudio (indicado en Anexo 1.8).

Y finalmente, se propuso que los venteos sean tratados previamente a ser liberados a la atmósfera (en cual constituye el escenario evaluado 2), dado que se estimó que sólo un 43% de los puntos de venteos a nivel nacional cuentan con algún tratamiento previo a su liberación, al mismo tiempo se denota la importancia de contar con el monitoreo de gases TRS en los sistemas de recolección de gases. Dicha medida se integra como una práctica operacional, junto con una serie de medidas del mismo tipo, que buscan asegurar el correcto funcionamiento de las MTD implementadas en cada planta.

**Se consolidó información sobre propuesta de exigencias para anteproyecto de norma.** Analizándose cada escenario regulatorio propuesto, en este caso 3, para los cuales se definieron las fuentes a regular, a excluir, metodologías de medición, de evaluación de cumplimiento y posibles modificaciones al articulado existente en el DS 37/2013 del MMA. Además, se realizó un análisis de instrumentos que pudiesen converger con lo propuesto, de los cuales solo se pudieron identificar un convenio entre un regulado y entidades públicas territoriales y las propias RCAs de los proyectos ingresados al SEIA, además del impuesto verde.

**Se proyectaron las emisiones bajo cumplimiento de los escenarios regulatorios propuestas, junto con las proyecciones bases del inventario.** Dada la metodología de estimación de emisiones, la proyección de emisiones es directamente proporcional a la proyección de los niveles de actividad. Para la proyección de la actividad se considera un escenario optimista donde la producción aumenta linealmente hasta alcanzar factores de plantas consistentes con los niveles más altos observados actualmente. El objetivo de esta proyección no es predecir el comportamiento futuro, sino dar cuenta de un escenario futuro de operación razonable, para evaluar el efecto de los escenarios regulatorios. Bajo estos supuestos, el escenario base donde no se incorporan medidas de control adicionales tiene emisiones cercanas a 160 mil toneladas anuales de TRS, mientras que las emisiones de olores superan las 18 millones de toneladas [$OU_E$/s].

Respecto a las reducciones, se observa que las condiciones base ya cumplen con las exigencias regulatorias asociadas a la medida 1, razón por la cual no existe una modificación de las emisiones

asociadas a esta medida. Las medidas 2 y 3 presentan reducciones de las emisiones de TRS mientras que el control de los venteos se asocia a reducciones pequeñas en las emisiones anuales, lo cual es consistente con las estimaciones realizadas en el inventario. Sin embargo, estas emisiones se concentran en eventos específicos de periodos cortos y luego pueden evitar efectos agudos perjudiciales. Por su parte, la modelación de la medida 3 presenta mayores reducciones de las emisiones anuales de TRS (~19%), concentradas en cuatros establecimientos que han superado el umbral propuesto en los últimos años. Cabe destacar, sin embargo, que en el mismo periodo de tiempo se observa que los mismos establecimientos han cumplido la mayor parte del tiempo con el umbral propuesto. Lo anterior sugiere que es posible que los establecimientos puedan cumplir con los límites propuestos, sin necesidad de instalar nuevas tecnologías según lo modelado. En dicho caso, es esperable que las reducciones, costos y beneficios de este escenario sean menores.

Respecto a las reducciones de las medidas para el control de emisiones de olores se observan reducciones significativas. En la medida 4 (lagunas y estanques) se observan reducciones en el rango del 40% de la TEO, mientras que la medida 5 (torres de venteo) alcanzarían reducciones cercanas al 15% de la TEO. Nuevamente se destaca que la incertidumbre de las emisiones, y consiguientes reducciones de olores tienen una incertidumbre mayor, por lo cual, el desarrollo de EIOs y la disponibilidad de las bases de datos resultantes de ellos, podrían mejorar significativamente las estimaciones futuras de estas fuentes.

**Se cuantificaron los costos de cada uno de los escenarios regulatorios.** Para el análisis de los escenarios regulatorios se consideran diferentes alternativas tecnológicas que combinan diferentes medidas las cuales fueron sistematizadas en dos escenarios de costos: un escenario costoso y uno económico. Estos escenarios se diferencian en la alternativa tecnológica para dar cumplimiento a los escenarios regulatorios, distinguiendo únicamente por el nivel de costo de la tecnología. De esta forma el escenario costoso considera el conjunto de medidas con mayores costos que permiten dar cumplimientos a las exigencias propuestas, mientras que el otro escenario, al contrario, contiene el conjunto de medidas de valores inferiores.

La estimación de los costos da cuenta de un amplio rango de valores, variando entre medidas y escenario de costo. Para aquellas medidas enfocadas en el control de olores los costos anualizados son menores ubicándose en las decenas de miles de UF. Por su parte, para el control de venteos y de las emisiones TRS de hornos de cal los costos son significativamente mayores. Mientras en el escenario económico los costos anualizados encuentran en el orden de las 40 mil UF, en el escenario costos se encumbra al orden de las 300 mil UF.

Respecto a los costos de las exigencias de reporte y monitoreo, estos se traducen en costos anuales en el orden de las 30 mil UF. La provisión de información respecto de variables de operación es relevante no sólo por su contribución a los análisis expost y futuras revisiones, sino que también permiten una fiscalización más acuciosa, entregando a la autoridad información más completa sobre el estado ambiental de cada establecimiento. Respecto a los costos para el Estado de los escenarios regulatorios propuestos, se considera que con la norma vigente se cuenta con la capacidad instalada para la correcta fiscalización y monitoreo, aun así, dado el

volumen de las nuevas exigencias se considera necesario el aumento del personal a cargo de la fiscalización, con un costo anual equivalente a 860 UF.

**Se cuantifican los beneficios asociados a la normativa y se evalúa la costo-efectividad de la propuesta.** La reducción de emisiones de TRS y olores tiene beneficios en la salud y calidad de vida de las personas. La magnitud de estos beneficios es un ejercicio complejo de aproximar y está limitado por la información y metodologías disponibles. Al respecto, uno de los resultados a destacar del estudio corresponde a la correlación positiva en el incremento de riesgo de efectos en salud y la duración de los venteos. A partir de técnicas epidemiológicas se encontraron indicios de este efecto para distintos diagnósticos de salud, según las visitas registradas a los centros de salud más cercanos a las plantas. Al respecto cabe destacar que el análisis cuenta con una potencia estadística limitada, dado que sólo se consideran los datos entre los años 2018 y 2019. El horizonte seleccionado es elegido para dar cuenta de las condiciones actuales de operación de los establecimientos, pero excluye datos más recientes para evitar incluir los efectos de la pandemia de Covid-19 sobre las visitas a los centros médicos. Aun con esta potencia estadística limitada, se observa el venteo en las plantas se relaciona con un aumento de riesgo relativo de atenciones de urgencia por bronquitis/bronquiolitis con resultados estadísticamente significativos al 80%.

De forma complementaria, más no aditiva, se consideran los beneficios por reducción de olores utilizando una metodología consistente con la metodología utilizada por el MMA en el AGIES del anteproyecto de la Norma de Emisión de plantas de recursos hidrobiológicos (MMA, 2022). Esta metodología se basa en la disposición a pago por día de olores molestos evitados para lo cual requiere una serie de supuestos. En base a la información disponible se proponen y justifican los supuestos seleccionados. Aun así, los supuestos son sujetos de discusión, revisión y, potencialmente, mejora. En particular se destacan algunos supuestos que podrían verse afectados a futuras mejoras en vista de nuevos antecedentes:

- Total de población beneficiada: sólo para la evaluación de los beneficios de la reducción de los venteos y ante la falta de detalle respecto de la dispersión de olores, se considera que la población beneficiada es aquella que se encuentra dentro de un radio de 10 km. Este radio fue seleccionado considerando los EIOs y estudios internacionales, pero presumiblemente podría ser menor. Además, no solo las personas directamente afectadas presentan beneficios, ya que en encuestas se observó disposición a pago (menor) de personas no afectadas. Para el resto de las medidas se utilizaron los antecedentes disponibles para para proponer una metodología que estima los beneficios a partir de la discretización del espacio.
- Valor de disposición a pago: los presentes resultados utilizan el mismo valor diario utilizado por el AGIES. Si bien se considera que es el mejor antecedente disponible, se destaca que el valor proviene de un estudio realizado para otro sector, lo cual podría resultar en variaciones en el valor aplicable al caso real. Más aún existen aspectos metodológicos de su aplicación que requieren mayor discusión.
- Días de malos olores por venteos: para los beneficios del escenario regulatorio asociado a venteos, se hizo el supuesto que cada día con venteo no tratado es un día con mal olor.

Esto podría estar sobre estimando los beneficios, pero no se cuenta con mejor información para contrastar los venteos con percepción de olores.

- Factor emisión concentración (FEC): en ausencia de modelación se tuvo que utilizar un FEC en función de la distancia a la planta utilizando muy pocos datos obtenidos de dos EIO. Esto posee gran incertidumbre considerando que hay diferencias meteorológicas que influyen en la dispersión de cada planta.
- Horas de olor por día: A partir de una aproximación matemática de los resultados de unos de uno de los EIO, se estimó que en promedio por cada día de mal olor hubo cerca de 1,15 horas (o equivalentemente 0,87 días por horas). Los beneficios son sensibles a este parámetro, pues mientras mayor sea, menor serán los beneficios esperados. El caso extremo es que los malos olores se mantengan por 24 horas, en cuyo caso los beneficios estimados serían cerca de 21 veces menores.

Las limitaciones del análisis, así como los supuestos realizados son relevantes al momento de interpretar los resultados. Considerando todo lo anterior, de los resultados del ratio Beneficios: Costos (B/C) se observa que en el escenario regulatorio 1, los beneficios son considerablemente menores que los costos tanto en el escenario costos como en el escenario de costo económico. Por su parte, en los otros escenarios regulatorios un escenario tecnológico costoso resulta en costos que a grueso modo duplican los beneficios, mientras que en el caso del escenario económico los beneficios superan por un factor de 2,5 y 1,7 a los costos del escenario.

# 13. Bibliografía

Acosta, J. (1997). Dinámica del nivel en los evaporadores de múltiple efecto. Tecnología Química, 18(1 y 2), 102. Visitado el 05 de abril de 2023 desde: https://www.academia.edu/31639775/Din%C3%A1mica_del_nivel_en_los_evaporadores_de_m%C3%BAltiple_efecto

Administrative Code of Texas, State of Texas (2022). SECTION 112.51. Emissions Limits for TRS Compounds from Kraft Pulp Mills. Visitado el 05 de diciembre de 2022 desde: http://txrules.elaws.us/rule/title30_chapter112_sec.112.51

Air Clean. (2022). Biotrickling. Visitado el 05 de diciembre de 2022 desde: https://aircleansrl.com/es/tecnologieDettaglio/91/biotrickling.html

Ajuntament de Sarriá de Ter. (2021). Aprovació definitiva de la modificació de L'Ordenanca Municipal D'Olors de Sarriá de Ter. Visitado el 05 de enero de 2022 desde: https://ssl4.ddgi.cat/bopV1/pdf/2021/196/202119608539.pdf

Alberta Enviroment. (2008). Technical and Regulatory Review and Benchmarking of Air Emissions from Alberta's Kraft Pulp Mills. Visitado 05 de enero de 2022 desde: https://open.alberta.ca/dataset/5eb712cd-ddb0-43db-a161-bfcd65b14d13/resource/f411ce13-92d7-425a-99c4-ab0b93e2a72c/download/aenv-technical-and-regulatory-review-and-benchmarking-of-air-emissions-kraft-pulp-mills-8021.pdf

Amador-Díaz, A., Veliz-Lorenzo, E., & Bataller-Venta, M. (2015). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. Revista CENIC. Ciencias Químicas, 46, 1-10.

AMEC. (2004). Independent advice on the development of environmental guidelines for any new bleached eucalypt kraft pulp mill in Tasmania. Emission limit comparison for selected jurisdictions, Tasmania, Apendice G.

ANDI. (2015). Informe de sostenibilidad. Visitado el 09 de enero de 2023 desde: https://www.andi.com.co/Uploads/Informe%20sostenibilidad%20%202014-2015.pdf

Aqualogy (2014). Generación de antecedentes para la elaboración de una regulación para el control y prevención de olores en Chile. Visitado el 22 de diciembre de 2022 de https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/Informe-Final-Aquology-2014.pdf.

Arauco. (2015). Reporte de Sustentabilidad. Visitado el 12 de diciembre de 2022 en: https://www.arauco.cl/chile/wp-content/uploads/sites/14/2017/07/Relat%C3%B3rio-de-Sustentabilidade-2015.pdf

Arauco. (2020). Planta Celulosa Licancel. Visitado el 12 de diciembre de 2022 en: https://www.arauco.cl/chile/planta-celulosa-licancel/

Arauco. (2021). Reporte de Sustentabilidad del año 2021. Visitado el 11 de enero de 2023 en: https://www.arauco.cl/chile/wp-content/uploads/sites/14/2017/07/REPORTE_2021.pdf

Arauco. (2022). Reporte de Sustentabilidad del año 2021. Visitado el 11 de enero de 2023 en: https://www.arauco.cl/chile/situacion-planta-valdivia/

Arcadis. (2012). Estudio de Impacto Ambiental proyecto Modernización Ampliación Planta Arauco.

ATSDR. (2016). Appendix E Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Hydrogen Sulfide Fact Sheet. 1–2. Visitado el 02 de mayo de 2023 desde: http://www.atsdr.cdc.gov/toxFAQs

Barbusinski, K., Kalemba, K., Kasperczyk, D., Urbaniec, K., & Kozik, V. (2017). Biological methods for odor treatment–A review. Journal of cleaner production, 152, 223-241.

Barkve, K., & Andersen, K. B. (2013). Title: Chemical assessment of non-thermal plasma for reduction of odour emissions from pig houses CHEMICAL ASSESSMENT OF NON-THERMAL PLASMA FOR REDUCTION OF ODOUR EMISSIONS FROM PIG HOUSES. http://www.eng.au.dk

Bermeo Garay, M., Bonilla Bermeo, S., & Coloma Coloma, T. (2017). Neutralización: aplicado a aguas residuales. Guayaquill-Ecuador: Grupo Compás. http://142.93, 18, 8080.

Biblioteca del Congreso Nacional. (2018). Técnicas y métodos de tratamiento para diferentes tipos de aguas residuales. Visitado el 11 de mayo de 2023 desde: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25552/2/Informe_Tratamiento_Aguas_Residuales.pdf

Billerud. (2022). Our production units Rockhammar. Visitado el 21 de noviembre del 2022 en: https://www.billerud.com/about-us/our-production-units/frovirockhammar

Bindra, N., Dubey, B., & Dutta, A. (2015). Technological and life cycle assessment of organics processing odour control technologies. Science of the Total Environment, 527, 401-412.

Biofiltro. (2022). Biofiltro Sistema Bida ®. Visitado el 02 de diciembre de 2022: https://www.biofiltro.cl/

Bokowa, A., Diaz, C., Koziel, J. A., McGinley, M., Barclay, J., Schauberger, G., ... & Wahe, L. (2021). Summary and overview of the odour regulations worldwide. Atmosphere, 12(2), 206.

Bordado, J. C., & Gomes, J. F. (2003). Emission and odour control in Kraft pulp mills. Journal of Cleaner Production, 11(7), 797-801.

Brancher, M., Griffiths, K. D., Franco, D., & de Melo Lisboa, H. (2017). A review of odour impact criteria in selected countries around the world. Chemosphere, 168, 1531-1570.

Brinkmann, T., Santonja, G., Yüksele, H., Roudier, S., & Delgado, S. (2016). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas

Treatment/Management Systems in the Chemical Sector. In Official Journal of the European Union.

Brunaud, B. (2008). Desarrollo de un Modelo Predictivo para el Tratamiento Biológico de RILES en una Planta de Celulosa con Blanqueo ECF.

Bull, M. (2018). IAQM Guidance on the assessment of odour for planning – version 1.1, Institute of Air Quality Management, London. www.iaqm.co.uk/text/guidance/ odour-guidance-2014.pdf

Carreño, M. (2017). Informa y solicita pronunciamiento sobre mejora en el sistema de tratamiento de efluentes en Planta Valdivia. SEA. Visitado el 20 de diciembre de 2022 de https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=5d/54/5fb70f674bc8956ec570a298acfb9fd76780

Carreño, S. (2010). Informa y solicita pronunciamiento sobre cambios en la configuración de la Laguna de derrames de Planta Valdivia. SEA. Visitado el 20 de diciembre de 2022 de https://seia.sea.gob.cl/pertinencia/verPertinencia.php?id_pertinencia=5329827

Casey J. (1990). Pulpa y Papel. Química y Tecnología Química. V1. 1ª ed. Editorial LIMUSA. México. 950 p.

CENIBRA. (2022). Emisiones Atmosféricas. Visitado el 09 de enero de 2023 desde: https://www.cenibra.com.br/emissoes-atmosfericas/

CENIBRA. (2022). Relatório de Sustentabilidade. Visitado el 21 de noviembre del 2022 en: https://www.cenibra.com.br/wp-content/uploads/2022/08/CENIBRA_RS2021_PORT_2.pdf

Chen, J., Cornwall, G., & Wentland, S. (2022). It's the Smell: How Resolving Uncertainty about Local Disamenties Affects the Housing Market. Available at SSRN 4123386.

Chou, C. H., Selene, J., & World Health Organization. (2003). Hydrogen sulfide: human health aspects. In International Programme on Chemical Safety (p. First draft prepared by C.-H. Selene J. Chou). World Health Organization.

Cisternas, C. (2011). Evaluación técnico económica de un nuevo horno de cal para una empresa productora de celulosa [Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Industrial]. Universidad de Chile.

Cliodinámica. (2021). Levantamiento de encuesta para la estimación de beneficios ambientales para regulación de olores del rubro centros de cultivos y plantas procesadoras de recursos hidrobiológicos.

CMPC. (2015a). Planta Laja. Visitado el 23 de diciembre del 2022 en: https://www.cmpccelulosa.cl/CMPCCELULOSA/interior.aspx?cid=526&

CMPC. (2015b). Planta Pacífico. Visitado el 23 de diciembre del 2022 en: https://www.cmpccelulosa.cl/cmpccelulosa/interior.aspx?cid=525&leng=es

CMPC. (2015c). Planta Santa Fe. Visitado el 23 de diciembre del 2022 en: https://www.cmpccelulosa.cl/CMPCCELULOSA/interior.aspx?cid=524&leng

Codelco Chile, división Ventanas. (2020). PROPUESTA METODOLÓGICA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO. SOLICITADO EN D.S. N°105/2018 DEL MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE.

Constanzo, M. (2015). Resoluciones N°76/2005, N°25/2000 y N°42/2010, todas de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región del Bío Bío, y Resolución Exenta N°09/2001, de la Dirección Ejecutiva de CONAMA. SEA. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://seia.sea.gob.cl/pertinencia/archivos/Consulta_pert_Arauco.pdf

Corey, K., & Zappa, L. (2016). Odor Control "ABC' s " How to Compare and Evaluate Odor Control Technologies. Control, 14.

Cubiertas Tensadas. (2021). Textiles. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://www.cubiertastensadas.cl/textiles/

Cusano, G., Licotti, C., Sironi, S., Capelli, L., & Nicola, A. (2010). Odour regulation in Italy: the regional guidelines on odour. CHEMICAL ENGINEERING, 23, 19.

Das, S., & Roy, N. (2014). Property price and proximity to paper mill: A hedonic pricing analysis of Cachar Paper Mill. Journal of Economics and Finance, 3(6), 7-13.

Decreto Supremo N°37, Ministerio de Medio Ambiente. Establece norma de emisión de compuestos TRS, generadores de olor, asociados a la fabricación de pulpa kraft o al sulfato, elaborada a partir de la revisión del decreto Nº 167, de 1999, MINSEGPRES, que establece norma de emisión para olores molestos (compuestos sulfuro de hidrógeno y mercaptanos: gases TRS) asociados a la fabricación de pulpa sulfatada. 22 de marzo 2013.

Degrémont. (1979). Manual Técnico del Agua (4 ed., Vol. 4). Bilbao, España: Artes Gráficas Grijelmo,S.A.

Departament of Natural Resources, Air Conservation Commission (2022). Division 10 - Air Conservation Commission, Chapter 6 - Air Quality Standards, Definitions, Sampling and Reference Methods and Air Pollution Control Regulations for the Entire State of Missouri (10 CSR 10-6.165). Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://regulations.justia.com/states/missouri/title-10/division-10/chapter-6/section-10-csr-10-6-165/

Departamento de Normas y Políticas, Ministerio del Medio Ambiente. (2016). Minuta técnica: Regulación de emisiones de plantas de celulosa. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2017/proyectos/Folio_238_-249.pdf

Department of Energy and Environmental Protection, State of Connecticut (1990). Control of Odors; Department of Energy and Environmental Protection, State of Connecticut:

Hartford, CT, USA, 1990. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://portal.ct.gov/-/media/DEEP/air/regulations/proposed_and_reports/historical/HearingReportJuly181990Section23ControlofOdorsPDF.PDF

Department of Environmental Protection, Division of Air Quality, State of Kentucky (2007). Air Regulations, Chapter 53, Ambient Air Quality (401 KAR 53.005). State of Kentucky, USA. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://apps.legislature.ky.gov/law/kar/titles/401/053/010/

Department of Environmental Quality, State of Wyoming (2016). Air Quality Division Standards and Regulations, Chapter 2: Ambient Standards, Section 11: Ambient Standards for Odors. State of Wyoming, USA. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://eqc.wyo.gov/Public/ViewPublicDocument.aspx?DocumentId=12592

Department of natural Resources and environmental control, division of air quality State of Delaware (2014). TITLE7 NATURAL RESOURCES & ENVIRONMENTAL CONTROL DELAWARE ADMINISTRATIVE CODE. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://regulations.delaware.gov/AdminCode/title7/index.shtml

Department of Public Health and Environment, State of Colorado (2013). 5 CCR 1001–4: Regulation No. 2 Odor Emissions; 24–4-103 C.R.S; Department of Public Health and Environment, State of Colorado: Denver, CO, USA, 2013. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://www.sos.state.co.us/CCR/DisplayRule.do?action=ruleinfo&ruleId=2336&d.

Diaz, C., Izquierdo, C., Capelli, L., Arias, R., & Salas Seoane, N. (2019). Analysis of existing regulations in odour pollution, odour impact criteria 1. D-NOSES, H2020SwafS-23-2017-789315.

Diener, A., Muller, R., & Robb, L. (1998). Willingness-to-Pay for Improved Air Quality in Hamilton-Wentworth: A Choice Experiment.

Division of Environmental Protection, State of Nevada (2016). Nevada Administrative Code, Chapter 445B Air Controls, Air Pollution, Odors (NAC 445B.22087). State of Nevada, USA. Visitado el 22 de diciembre de 2022 desde: https://www.law.cornell.edu/regulations/nevada/Nev-Admin-Code-SS-445B.22087

Domtar. (2021). Sustainability priorities, 2030 and beyond. Visitado el 21 de noviembre del 2022 desde: https://www.domtar.com/sites/default/files/2022-05/Domtar_SGR2021_ENG.pdf

DSS. (2009). Análisis técnico-económico de revisión de la norma de emisión para olores (compuestos sulfuro de hidrógeno y mercaptanos: Gases TRS) Asociados a la fabricación de pulpa sulfatada (SG-41-22893897/2289396).

Electro Química Mexicana. (s.f.). Control de H2S - Control de olor y corrosión en plantas de tratamiento de aguas residuales con Peróxido de Hidrógeno. Visitado el 21 de

noviembre del 2022 desde: https://docplayer.es/70453244-Control-de-h-2-s-control-de-olor-y-corrosion-en-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-con-peroxido-de-hidrogeno.html

Envirometrika. (2019). Generación de antecedentes técnicos para la elaboración de la norma de emisión de olores para la crianza intensiva de animales. Visitado el 10 de enero del 2023 desde: https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2019/proyectos/acb_075_P5605-MMA-RF10-28mar19-Publicado.pdf

Environmental Protection Agency of Illinois, State of Illinois. Title 35: Environmental Protection, Subtitle B: Air Pollution, Chapter I: Pollution Control Board, Subchapter 1: Air Quality Standards and Episodes, Part 245 Odors. State of Illinois, USA. Visitado el 20 de diciembre del 2022 desde: https://pcb.illinois.gov/documents/dsweb/Get/Document-11940/

Environmental Protection Agency of Ireland [EPA]. (2019). Odour Emissions Guidance Note (Air Guidance Note AG9). En EPA. Environmental Protection Agency. Visitado el 20 de diciembre del 2022 desde: https://www.epa.ie/publications/compliance--enforcement/air/air-guidance-notes/odour-emissions-guidance-note-air-guidance-note-ag9.php

Environmental Protection Agency, United States. (1990). AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 10: Wood Products Industry, section 10.2 Chemical Wood Pulping. Visitado el 21 de diciembre del 2022 desde: https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/c10s02.pdf

Environmental Protection Agency, United States. (s. f. a). Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire. Visitado el 21 de diciembre del 2022 desde: https://www3.epa.gov/ttn/catc/cica/files/fdesppis.pdf

Environmental Protection Agency, United States. (s. f. b). Hoja de Datos - Tecnología de Control de Contaminantes del Aire Ciclones. Visitado el 18 de diciembre del 2022 desde: https://www3.epa.gov/ttncatc1/dir1/fcyclons.pdf

Estudios y Gestión Ambiental S.A. (2006). Declaración de Impacto Ambiental, Sistema de tratamiento de efluentes de planta Constitución. Visitado el 11 de enero de 2023 desde: https://www.e-seia.cl/archivos/49b_DIA_PTR_Constitucion_6_01_06_con_Portada.pdf

European Comission. (2005). Integrated Pollution Prevention and Control Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Slaughterhouses and Animal By-products Industries Final draft September 2003. September.

FAO. (2019). Estadísticas de productos forestales. Visitado el 21 de noviembre del 2022 desde: https://www.fao.org/forestry/statistics/80938@180723/es/

Fernández. (2010). Evaluación de los costes de construcción y operación de un biofiltro [Proyecto final de carrera]. Universitat autónoma de Barcelona.

Fluke Process Instruments. (s. f.). Monitoreo de temperatura de procesamiento de pulpa de papel. Visitado 12 de diciembre de 2022 desde: https://www.flukeprocessinstruments.com/es/industry/paper-and-converting/paper-pulp-processing

Garrod, G., & Willis, K. (1998). Estimating lost amenity due to landfill waste disposal. Resources, conservation and recycling, 22(1-2), 83-95.

Generalitat Valenciana. (2008). Guía Técnica para la Gestión de las Emisiones Odoríferas Generadas por las Explotaciones Ganaderas Intensivas. En Olores.mma.gob.cl. Centro de tecnologías Limpias de la Comunitat Valenciana. Recuperado 21 de diciembre de 2022, de https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/Guia-tecnica-para-la-gestion-de-las-emisiones-odoriferas.pdf

Geotécnica. (1995). Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Valdivia (Celulosa Arauco y Constitución).

Germán, S., Georgitzikis, K., Scalet, B. M., Montobbio, P., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2017). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs (Issue Final Draft).

Gestión Ambiental. (2001). Estudio de Impacto Ambiental proyecto Optimización Planta Pacífico PROPAC.

González, M (2020). GPV 037/2020-C ''Solicita pronunciamiento sobre la pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental del Proyecto ''Mejoras tecnológicas para el manejo de emisiones atmosféricas''. SEA. Visitado el 20 de Diciembre de 2022 desde: https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=42/3e/ec5f741fcefb36f31017a9d173b0ed744b22

Government of Alberta. (2017). Odours and Human Health. Visitado el 18 de abril de 2023 desde: https://open.alberta.ca/dataset/04b23f8e-eec1-48bb-b69c-2625ab6a2a08/resource/b87aeb58-f1f7-4c70-a07e-6440f0b1d613/download/odours-and-human-health-2017-final.pdf

GreenLab-DICTUC. (2016). ANTECEDENTES PARA LA ELABORACIÓN DE LA NORMA NACIONAL DE CALDERAS Y PROCESOS DE COMBUSTIÓN (HORNOS DE VIDRIO Y CEMENTERAS).

GreenLab-DICTUC. (2019). Actualización de Tasas de Incidencia Base de Mortalidad Y Morbilidad para Contaminación Atmosférica y Creación de un Modelo Automático para la Actualización.

GreenLab-DICTUC. (2021). Antecedentes para la Elaboración de Análisis Económico de la Norma de Emisión de Olores para Sector de Procesamiento de Recursos Hidrobiológicos. En MMA (N°1564098). Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://pras.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/12/IF_ANTECEDENTES-PARA-LA-ELABORACION-DE-ANALISIS-ECONOMICO-DE-LA-NE-DE-OLORES-PARA-SECTOR-DE-PROCESAMIENTO-RECURSOS-HIDROBIOLOGICOS.pdf

GreenLab-DICTUC. (2022). Actualización de tasas de incidencia base para efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana.

Guadalupe-Fernández, V., De Sario, M., Vecchi, S., Bauleo, L., Michelozzi, P., Davoli, M., & Ancona, C. (2021). Industrial odour pollution and human health: a systematic review and meta-analysis. Environmental Health: A Global Access Science Source, 20(1), 1–21. https://doi.org/10.1186/s12940-021-00774-3

Haarslev. (s. f.). Intercambiador de calor de carcasa y tubos. En Haarslev Processing Technology. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://es.haarslev.com/products/shell-tube-heat-exchanger/

Heber, A., & Jones, D. (1999). Métodos y prácticas para reducir el olor de las instalaciones porcinas. Recuperado 22 de mayo de 2023, de https://www.extension.purdue.edu/extmedia/AE/AQ-2/AQ-2.html

Hernaíz, B. (2013). Informa acerca de instalación e implementación de nuevo incinerador de respaldo en Planta Nueva Aldea. SEA. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://seia.sea.gob.cl/pertinencia/archivos/Nuava_Aldea.pdf

Herrera, F. (2013). Informa acerca de instalación e implementación de nuevo incinerador de respaldo en Planta Constitución. SEA. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://seia.sea.gob.cl/pertinencia/archivos/Pertinencia_Celulosa_Arauco_Constitucion_Nuevo_Incinerador_190713.pdf

Hovikorpi, K. S., & Vakkilainen, E. K. (2019). Sources, collection, and handling of noncondensible gases in modern kraft pulp mills. Tappi Journal, 18(5), 297-305.

Huamayalli, E. (2015). Diseño de los evaporadores de una planta evaporadora de agua de cola con recuperación de calor para la empresa Don Fernando SAC.

INDH. (2022). Mapa de conflictos Socioambientales en Chile. Visitado el 12 de diciembre de 2022 desde: https://mapaconflictos.indh.cl/#/

Induambiente. (2020). Un carbón sofisticado, filtros de carbón catalítico activado de TSF Environmental aseguran alta eficiencia en remoción de olores. Visitado el 02 de diciembre de 2022 desde: https://www.induambiente.com/informe-tecnico/filtracion/un-carbon-sofisticado

Induambiente. (2021). Desodorización Avanzada. Visitado el 02 de diciembre de 2022 desde: https://www.induambiente.com/especial/calidad-del-aire/desodorizacion-avanzada#:~:text=La%20resistencia%20mec%C3%A1nica%20es%20muy,habituales%20en%20los%20biofiltros%20convencionales

INE. (2017). División Político Administrativa y Censal 2017. Visitado el 15 de enero de 2023 desde: https://ine-chile.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=d0bff7af90384faa98d6ff69faa0d6d2

INE. (2021). Estimaciones y proyecciones de la población de chile 2002-2035, comuna urbano-rural. documento metodológico. Visitado el 15 de enero de 2023 desde: https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/proyecciones-de-poblacion/publicaciones-y-anuarios/base-2017/ine_estimaciones-y-proyecciones-2002-2035_base-2017_reg_%C3%A1rea_s%C3%ADntesis.pdf?sfvrsn=aaeb88e7_5

InfoMil (2003). NeR Nederlandse Emissie Richtlijn. (Netherlands Emissions Guideline), Abril 2000, p. 121

Infor. (2022). Estadísticas forestales. Visitado el 17 de abril de 2023 desde: https://wef.infor.cl/index.php/sector-forestal/industria-forestal/produccion/produccion-de-celulosa?view=comercio_ind_pro_celulosa en abril 2023

International Paper. (2022). Reducción de emisiones. Visitado el 21 de noviembre del 2022 desde: https://www.internationalpaper.com/es/planeta/emisiones

IPCC. (2006). Volumen 2- Chapter 2: Stationary combustion. In 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

IPCC. (2019). Volume 2: Energy. Chapter 2: Stationary Combustion. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas InventorieS, 5.

Jaime Illanes y Asociados. (2004). Estudio de Impacto Ambiental proyecto OBRAS NUEVAS Y ACTUALIZACIONES DEL COMPLEJO FORESTAL INDUSTRIAL ITATA.

Jiménez, A. (2013). Informa Acerca de Instalación e implementación de nuevo incinerador de respaldo en Planta Licancel. SEA. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://seia.sea.gob.cl/pertinencia/archivos/Carta_CELCO_Planta_Licanten_1206.PDF

Jiménez, A. (2020). GPA 20-049-C ''Solicita pronunciamiento sobre ajustes en sistema de quemado de gases TRS en Planta Arauco''. SEA. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=bb/d5/d6d05df9af72e4cac301a4ab8317d7532fea

Jiménez, A. (2021a). GPA 21-019-C ''Solicita pronunciamiento sobre renovación de equipo y habilitación de instalaciones para el sistema de quemado de gases de Planta Arauco''. SEA. Visitado el 20 de Diciembre de 2022 desde: https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=0f/bc/d0eccc4364b1163605258920873d8ac3d3a9

Jiménez, A. (2021b). Solicita pronunciamiento sobre mejora en sistema de abatimiento (lavado de gases) del área de blanqueo de L2 de Planta Arauco. SEA. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=91/c0/35bf38f28e3dc81eca4c918d5e19a3e270bd

Kang, J. H., Song, J., Yoo, S. S., Lee, B. J., & Ji, H. W. (2020). Prediction of odor concentration emitted from wastewater treatment plant using an artificial neural network (ANN). Atmosphere, 11(8), 784.

Know Pulp. (s. f.). Planta de Blanqueo ECF con prensas de lavado. knowpulp. Visitado el 16 de noviembre de 2022 desde: https://www.knowpulp.com/www_demo_version/spain/pulping/bleaching/2_principle/ecf_valkaisu_suom.htm

Labaqua. (2018). Labaqua desodorización EDAR, Jornada AEAS – 17 de octubre 2018. Visitado el 20 de noviembre de 2022 desde: https://besos-tordera.cat/blog/wp-content/uploads/2018/10/3-SilviaNadal_LABAQUA.pdf

Lareau, T. J., & Rae, D. A. (1989). Valuing WTP for diesel odor reductions: an application of contingent ranking technique. Southern Economic Journal, 728-742.

Liang, C. C. V. (2008). Reduced sulphur compounds in ambient air and in emissions from wastewater clarifiers at a Kraft pulp mill (Doctoral dissertation).

Loyon, L. (sf.). Overview of Mure Tratment in France, Université Bretagne Loire, France.

Mariño, O. (2017). Diseño de un Intercambiador de calor de tubos y carcasa (1-2) para una planta química asociada a una fundición pirometalúrgica [Proyecto de fin de grado]. Universidad Politécnica de Madrid.

Martín, R. (2012). Integración del proceso Kraft de obtención de pasta de celulosa en el esquema de una biorrefinería [Memoria para optar al grado de doctor]. Universidad Complutense de Madrid.

Martín-López, B., González, J. A., Vilardy Quiroga, S. P., Montes, C., García-Llorente, M., Palomo, I., & Agudelo, M. (2013). Ciencias de la sostenibilidad. Guía docente. Universidad del Magdalena, Instituto Humboldt, Universidad Autónoma de Madrid.

Mesa, J. (2021). Solicita pronunciamiento sobre la pertinencia de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, respecto de las actividades asociadas a la mantención preventiva general de la laguna de emergencias o derrames de Planta de Celulosa Licancel. SEA. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=04/9d/23034547fb044dabc382dcffb05481aaed1e

Metsä Group. (2022a). Responsible production and supply chain. Visitado el 21 de noviembre del 2022 desde: https://www.metsagroup.com/metsafibre/sustainability/responsible-production-and-supply-chain/

Metsä Group. (2022b). Proactive environmental work in Joutseno. Visitado el 21 de noviembre del 2022 desde: https://www.metsagroup.com/metsafibre/about-metsafibre/pulp-production/joutseno-pulp-mill/local-environment-at-the-joutseno-pulp-mill/

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible., República de Colombia (2013). Resolución 1541:2013. Visitado el 21 de noviembre del 2022 desde: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/resolucion-1541-de-2013.pdf

Ministerio de Desarrollo Social y de Familia (2017). Estimaciones de la tasa de pobreza por ingresos y multidimensional a nivel comunal. Visitado el 18 de abril de 2023 desde: http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/pobreza-comunal-2017

Ministerio de Desarrollo Social y de Familia-CEPAL (2022). Estimaciones Comunales de Pobreza por ingresos en Chile Mediante Métodos de Estimación en Áreas Pequeñas - Informe Metodológico. Visitado el 18 de abril de 2023 desde: http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/pobreza-comunal/2020/Informe_SAE_2020.pdf

Ministerio de Hacienda. (2014) Ley 20780, Reforma Tributaria que modifica el sistema de tributación de la renta e introduce diversos ajustes en el sistema tributario. Visitado el 13 de abril de 2023 desde: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1067194

MMA. (2013). Guía Metodológica para la Elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire.

MMA. (2017). Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas. Visitado el 21 de diciembre del 2022 desde: http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=399874fc-f2d3-466f-9460-a3eb9d76a30f&fname=Libro_Manual%20de%20MMA_def_online.pdf&access=public

MMA. (2022). AGIES del anteproyecto de norma de emisión de contaminantes en plantas de aceite y harina de pescado y plantas de alimentos para peces, que en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de la vida de la población.

Morales, J. (2022). Tratamiento de aire – Prevención y eliminación de olores y gases tóxicos. VITAQUA Tratamiento y Depuración de Aguas. Visitado 12 de diciembre de 2022 desde: https://vitaqua.es/blog-tratamiento-de-aire/

Nautilus. (2022). Intercambiador de calor: qué es y cómo se instala. Equipamientos Para Piscinas | Filtros e Bombas Nautilus. Visitado 20 de diciembre de 2022 desde: https://nautilusbr.com/es/blog/intercambiador-de-calor-que-es-y-como-se-instala/

Odour solution. (2022a). Carbón activado. Visitado el 02 de diciembre de 2022 desde: https://odoursolution.com/carbonactivado.html

Odour solution. (2022b). Biotrickling. Visitado el 02 de diciembre de 2022 desde: https://odoursolution.com/biotrickling.html

Olores.org. (2020). TSG Environmental adquiere unidad de filtro de carbón catalítico activado. Visitado 6 de noviembre de 2022 desde: https://www.olores.org/es/noticias/notas-de-

prensa/1020-tsg-environmental-adquiere-unidad-de-filtro-de-carbon-catalitico-activado

Perga Ingenieros. (2023). Productos. Visitado el 11 de enero de 2023 desde: https://www.cieperga.com/productos.php

Petinelli, E. (2021). Solicita pronunciamiento sobre ''Renovación del sistema de impermeabilización de laguna de contención de derrames de Planta Nueva Aldea''. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=2a/a0/abaf339c6199adf69aad24b7444eda624f97

Petinelli. (2011). Investigación de causas de altas emisiones de TRS en calderas recuperadoras [Memoria para optar al Título de Magister en ciencias.]. Universidad federal de Vicosa.

Petre, C. (2007). Alkaline oxidation of hydrosulflde and methyl mercaptide by iron/cerium oxide-hydroxide in presence of dissolved oxygen. Possibleapplication for removal of Total reduced Sulfur (TRS) emissions in the Pulp & Paper industry, Universidad de Laval Canada.

Powers, W. J., Wilkie, A. C., Van Horn, H. H., & Nordstedt, R. A. (1997). Effects of hydraulic retention time on performance and effluent odor of conventional and fixed-film anaerobic digesters fed dairy manure wastewaters. Transactions of the ASAE, 40(5), 1449-1455.

Proterm Ambiente y Energía (2019). Estudio de Impacto Odorante Depósito de residuos industriales sólidos no peligrosos Planta Constitución-Viñales. En SEA (Inf.O-18-032). https://seia.sea.gob.cl/archivos/2019/10/17/Anexo_6._Estudio_de_emisiones_odorificas.rar

Proterm Ambiente y Energía. (2018). Estudio de Impacto Odorante "Nuevo Depósito de residuos industriales sólidos no peligrosos Planta Licancel". En SEA (Inf.O-18-025).

Queiroz-Sperotto, F. (2018). La formación de paraísos de contaminación: un estudio de caso de la producción de celulosa en el Cono Sur. EURE (Santiago), 44(132), 213-237.

R.E N°076 del 2018 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Resuelve consulta de pertinencia de ingreso al SEIA, proyecto ''Mejoras en caldera recuperadora de planta valdivia''. 3 de septiembre de 2018.

R.E N°098 del 2019 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Resuelve alzamiento de medida provisional, según artículo 32 de la ley N°19.880 y acoge desistimiento de consulta de pertinencia y de recurso de reposición presentado por Celulosa Arauco y Constitución S.A, en contra de la Resolución Exenta N°065/2017. 10 de septiembre de 2019.

R.E N°110 del 2016 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Se pronuncia sobre naturaleza de la modificación propuesta al proyecto ''Modernización de Planta Laja'', calificando

ambientalmente favorable mediante Resolución Exenta N°203/2009 de fecha 29 de julio de 2009. 9 de marzo de 2016.

R.E N°143 del 2018 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Resuelve consulta de pertinencia de ingreso al SEIA del proyecto ''Equipo de respaldo gases TRS, Área caustificación Santa Fe Línea 2''. 8 de agosto de 2018.

R.E N°149 del 2018 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Resuelve consulta de pertinencia de Ingreso al SEIA, del proyecto ''Mejora en la configuración del sistema de quemado de gases no condensables (CNCG) en Planta Arauco''. 21 de agosto de 2018.

R.E N°161 del 2013 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Respuesta de pertinencia que indica. 19 de agosto de 2013.

R.E N°1628 del 2022 [Ministerio del Medio ambiente]. Fija listado de establecimientos que se encuentran con obligación de reportar de acuerdo al inciso primero del artículo 8° de la ley N°20.780 y de las comunas que han sido declaradas como saturadas o latentes para efectos del impuesto establecido en esta ley. 30 de diciembre de 2022.

R.E N°163 del 2013 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Respuesta a consulta de pertinencia que indica. 11 de Septiembre de 2013.

R.E N°177 del 2016 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Se pronuncia sobre naturaleza de la modificación propuesta, denominada ''Cambios menores al proyecto MPL e informa programa de construcción de estos'', al proyecto ''Modernización de Planta Laja'', calificado ambientalmente favorable mediante Resolución Exenta N°203/2009 de fecha 29 de julio de 2009. 17 de mayo de 2016.

R.E N°181 del 2013 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Rectifica Resolución Exenta N°163/2013. 11 de septiembre de 2013.

R.E N°20200810161 del 2020 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Se pronuncia sobre consulta de pertinencia ''Ajuste en Sistema de Quemado de Gases''. 23 de julio de 2020.

R.E N°202014101105 del 2020 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Resuelve Consulta de pertinencia de ingreso al SEIA, ''Mejoras tecnológicas para el manejo de emisiones atmosféricas''. 27 de noviembre de 2020.

R.E N°202108101264 del 2021 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Se pronuncia sobre naturaleza de la modificación propuesta al proyecto ''Modernización Ampliación Planta Arauco''. Calificado Mediante R.E. N°37/2014, denominada ''Renovación de equipo y habilitación de instalaciones para el sistema de quemado de gases''. 09 de Junio del 2021.

R.E N°20210810170 del 2021 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Resuelve consulta de pertinencia de ingreso al SEIA, ''Renovación de sistema de abatimiento de gases''. 23 de febrero de 2021.

R.E N°223 del 2015 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Resuelve sobre naturaleza de la modificación propuesta al proyecto ''Obras Nuevas y Actualizaciones del Complejo

Forestal Industrial Itata'', calificado mediante Resolución Exenta N°076/2005, de fecha 10 de marzo de 2005 y sus modificaciones asociadas. 10 de junio de 2015.

R.E. N°363 del 2013 [Servicio de Evaluación Ambiental]. Se pronuncia sobre naturaleza de la modificación propuesta al proyecto ''Obras Nuevas y Actualizaciones del Complejo Forestal Industrial Nueva Aldea'', de Celulosa Arauco y Nueva Aldea S.A., calificado ambientalmente por la Resolución Exenta N°076 de fecha 10 de marzo de 2005. 18 de diciembre de 2013.

Ramírez, M., Fernández, M., Almengló, F., Gómez, J. M., & Cantero, D. (2011). Biofiltros percoladores. Una tecnología emergente para el tratamiento de olores y desulfuración de biogás. Retema: Revista técnica de medio ambiente, 24(155), 44.

Ramos, L., & Sepúlveda, F. (2013). Evaluación del sistema transporte de ceniza de una caldera de poder [Seminario de título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de Ejecución en Mecánica]. Universidad del Bío Bío.

Riffo, E. (2011). Determinación y mitigación del azufre total reducido (TRS) en planta de celulosa [Trabajo para optar al título profeisonal de Ingeniero Ejecución Químico mención Control]. Universidad Técnica Federico Santa María.

Rimkus, R. R., Ziols, R., & Shaikh, A. (1985). Computer control of raw sewage chlorination for odor control. In Instrumentation and Control of Water and Wastewater Treatment and Transport Systems (pp. 297-302). Pergamon.

Romero-Flores, A., De Clippeleir, H., Garrido, M., deBarbadillo, C., Torrents, A., & Murthy, S. (2016, September). Controlling ORP as the key to reduce odor emission in secondary systems. In WEFTEC 2016. Water Environment Federation.

Sánchez, C. (s. f.). Optimización del nivel de inventarios de pulpa de celulosa en el proceso productivo [Memoria para optar al título de Ingeniera Civil Química]. Universidad de Chile.

Santoja, G. G., Karlis, P., Brinkmann, T., & Roudier, S. (2019). Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Food, Drink and Milk Industries. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/brefdownload/download_FDM.cfm

Schenk, E., Mieog, J., & Evers, D. (2009). Fact sheets on air emission. February, 1–152. www.infomil.nl

Schiffman, S. S., & Williams, C. M. (2005). Science of odor as a potential health issue. Journal of environmental quality, 34(1), 129-138.

Schütt, M. (2021). Systematic variation in waste site effects on residential property values: a meta-regression analysis and benefit transfer. Environmental and Resource Economics, 78(3), 381-416.

Schütt, M. (2021). Systematic variation in waste site effects on residential property values: a meta-regression analysis and benefit transfer. Environmental and Resource Economics, 78(3), 381-416.

SEA. (2017). Guía para la predicción y evaluación de impactos por olor en el SEIA. Visitado el 08 de enero de 2023 desde: https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2017/12/21/guia_pye_impactos_por_olor_171221.pdf.

SEA. (2018a). Consulta de pertinencia de ingreso al SEIA del proyecto "Mejora en la configuración del sistema de quemado de gases no condensables (CNCG)" de Celulosa Arauco y Constitución. Visitado el 11 de enero de 2023 desde: https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=d4/ea/7faaf137a8422a26b05a8f3a282546e13af4

SEA. (2018b). Consulta de pertinencia de ingreso al SEIA del proyecto "Equipo de respaldo de gases TRS, área caustificación Santa Fe Línea 2" de CMPC Pulp S.A. Visitado el 11 de enero de 2023 desde: https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=69/66/6cbaafa87ea5b4aedf05eb0a739eb6e11c80

SEA. (2018c). Consulta de pertinencia de ingreso al SEIA del proyecto "Mejoras en caldera recuperadora" de Celulosa Arauco y Constitución S.A. Visitado el 11 de enero de 2023 desde: https://infofirma.sea.gob.cl/DocumentosSEA/MostrarDocumento?docId=21/5f/19358ad7df7fba9b298996692537e69fb2c2

Sebbas (1988). Reuse of kraft mill secondary condensates', Tappi Journal, Vol. July 1988, 1988.

Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-105-SEMARNAT1996 que establece los niveles máximos permisibles de emisiones a la atmósfera de partículas sólidas totales y compuestos de azufre reducido total provenientes de los procesos de recuperación de químicos de las plantas de fabricación de celulosa. Extraído desde: https://olores.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/03/Norma-Oficial-Mexicana-NOM-105-SEMARNAT-1996.pdf

Secretário do Meio Ambiente e Infraestructura, República Federativa do Brasil (2006). RESOLUÇÃO SEMA Nº 54. Visitado el 20 de diciembre de 2022 desde: https://ficem.org/normas/Brasil/resolucion_054.pdf

Senatore, V., Zarra, T., Galang, M. G., Oliva, G., Buonerba, A., Li, C. W., ... & Naddeo, V. (2021). Full-scale odor abatement technologies in wastewater treatment plants (WWTPs): A review. Water, 13(24), 3503.

Silva, A., Monge, S. B., Bengoa, C., Torres-Pinto, A., & Ribeiro, R. S. (2018). Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales.

Silvo, K., Jouttijärvi, T., & Melanen, M. (2009). Implications of regulation based on the IPPC directive–A review on the Finnish pulp and paper industry. Journal of cleaner production, 17(8), 713-723.

SIMTECH. (s. f.). Filtro de carbón activado. Visitado 12 de diciembre de 2022 desde: https://simtech.cl/wp-content/uploads/2020/11/FICHA-TECNICA-CARBON-ACTIVADO-V2.0.pdf

Stanley, W. B. M., & Muller, C. O. (2002). Choosing an odor control technology–effectiveness and cost considerations. Proceedings of Odors and Toxic Air Emissions.

Suhr, M., Klein, G., Kourti, I., Gonzalo, M. R., Santonja, G. G., Roudier, S., & Sancho, L. D (2015). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of pulp, paper and board. En JRC Science and Policy Reports (N.o JRC95678).

Sun S.A. (2022). Productos Sun S.A. Visitado el 02 de diciembre de 2022 desde: https://sunsa.cl/productos/

Superintendencia de Servicios Sanitario, Ministerio del Medio Ambiente. (2019). PR023001 Control Gases Odorantes en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas. Visitado el 02 de diciembre de 2022 desde: https://www.siss.gob.cl/586/articles-8961_recurso_3.pdf

Tavares, R. (2008). Aplicación de la ozonización en el tratamiento de aguas: descripción y funcionamiento. Visitado el 27 de marzo de 2023 desde: https://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/01/16/82477

Tecfluid. (2022). Zona de proveedores: Visitado el 06 de diciembre de 2022 desde: https://www.tecfluid.cl/proveedores

Terrazas Pastor, R. (2011). Planificación y programación de operaciones. Revista Perspectivas, (28), 7-32.

The European IPPC Bureau. (2003). Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector. February, 472.

Vaisala. (2023). Pulpa Kraft (sulfato): lavado de pasta de celulosa. Visitado el 11 de enero de 2023 desde: https://www.vaisala.com/es/industries-applications/pulp-paper-and-wood/kraft-sulfate-pulp-brown-stock-washing

Vakkilainen, E. (2005). Kraft recovery boilers–Principles and practice.

Valmet. (2018). Technical Paper Series. Visitado el 06 de abril de 2023 desde: https://www.valmet.com/globalassets/media/downloads/white-papers/power-and-recovery/sulfuric_acid_from_pulp_mill_ncg_whitepaper.pdf

Valmet. (2022). Chemical pulping. Visitado el 05 de diciembre de 2022 desde: https://www.valmet.com/pulp/chemical-pulping/

Van der Auweraert, R., & Brouwer, A. (2022). Air Pollution Control Technologies Fact Sheets. En Infomil (N.o R001-1277907BRA-V03-los-NL-ENG). Visitado el 05 de diciembre de 2022 desde: https://www.infomil.nl/publish/pages/196013/air-pollution-control-technologies_fact-sheets_april-2022.pdf

Varnero, M. T., Carú, M., Galleguillos, K., & Achondo, P. (2012). Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica. Información tecnológica, 23(2), 31-40.

Varnero, María T, Carú, Margarita, Galleguillos, Karina, & Achondo, Patricio. (2012). Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica. Información tecnológica, 23(2), 31-40.

Vega, E., & Martin, M. (2018). Minimización y Eliminación de Olores mediante Tratamientos Físico-Químicos. Visitado el 27 de marzo de 2023 desde: https://olores.org/index.php?option=com_content&view=article&id=845:minimizacion-y-eliminacion-de-olores-mediante-tratamientos-fisico-quimicos&catid=90&Itemid=608&lang=es

Vernal, M. (2019). Inspección de Columnas Stripper y Metanol en Operación en plantas de Celulosa mediante la técnica de Gamma Scan. Celulosa y papel. Visitado el 05 de abril desde: https://www.linkedin.com/pulse/inspecci%C3%B3n-de-columnas-stripper-y-metanol-en-operaci%C3%B3n-vernal/?originalSubdomain=es

Villén. (s. f.). Diseño de un biofiltro. Visitado el 05 de abril de 2023 desde: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10427/Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=1&isAllowed=y

VITO [LUSS | EMIS]. (2020). Visitado el 08 de diciembre de 2022 desde: https://emis.vito.be/en/bat/tools-overview/luss

Wysocka, I., Gębicki, J., & Namieśnik, J. (2019). Technologies for deodorization of malodorous gases. Environmental Science and Pollution Research, 26, 9409-9434.

Yáñez, R. (2017). Análisis del proceso de producción de celulosa para el ensuciamiento prematuro de concentradores [Memoria de titulación para optar al título de Ingeniero Civil Químico]. Universidad Técnica Federico Santa María.