

DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

ANÁLISIS GENERAL DEL IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL ANTEPROYECTO DE LA REVISIÓN DE LA NORMA DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES EN FABRICACIÓN DE PULPA KRAFT O AL SULFATO QUE, EN FUNCIÓN DE SUS OLORES, GENERAN MOLESTIA Y CONSTITUYEN UN RIESGO A LA CALIDAD DE VIDA DE LA POBLACIÓN

Octubre 2023

Presentación

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de Normas de Calidad y de Emisión, así como Planes de Descontaminación y Prevención Ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 y en el Reglamento para la dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión (D.S. N° 38/2012 del Ministerio de Medio Ambiente), se requiere de un Análisis de Impacto Económico y Social (AGIES) de las propuestas normativas que sirva como apoyo a la participación ciudadana (PAC) y a la toma de decisiones enfocada principalmente en el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático (CMSyCC), tarea que recae en el Departamento de Economía Ambiental (DEA) del Ministerio del Medio Ambiente.

El proceso de elaboración de una norma desde el desarrollo del Anteproyecto hasta su aprobación contempla la elaboración de un documento AGIES que se realiza en dos etapas:

- Un primer documento para apoyar el proceso de participación ciudadana, denominado AGIES del Anteproyecto (A-AP)
- Y el segundo documento para apoyar al CMSyCC en la toma de decisión, denominado Actualización de Costos y Beneficios del Proyecto Definitivo (A-PD).

El presente AGIES se encuentra en el proceso A-AP (Figura 1, en rojo), y en él se evalúan los beneficios y los costos de la revisión norma nacional de emisión de contaminantes en la fabricación de pulpa Kraft o al sulfato que, en función de sus olores generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de vida de la población.

Figura 1. Etapa del AGIES



A-AP=AGIES Anteproyecto, PAC=Participación Ciudadana, A-PD=Actualización AGIES Proyecto Definitivo, CMS=Consejo de Ministros para la Sustentabilidad

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados presentados corresponden a las medidas definidas a la fecha de cierre de este informe, las que podrían sufrir modificaciones en etapas posteriores, tales como Consejo de Asesores, Participación Ciudadana, Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático.

Resumen

El presente informe presenta los resultados del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de la Revisión de la Norma de Emisión de Contaminantes en Fabricación de Pulpa Kraft o al Sulfato que, en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de vida de la población, a partir de la revisión del Decreto N° 37, de 2012, Ministerio del Medio Ambiente. El Anteproyecto propone modificar los límites de emisión ya existentes de TRS¹, regular la emisión de olores provenientes de la zona de residuos industriales líquidos (RILes) y regular la emisión de los venteos y emisiones provenientes de prácticas operacionales.

En particular, el Anteproyecto hace más estrictos algunos de los límites ya existentes para la emisión de TRS. Incorpora un porcentaje de reducción de Olores provenientes de las plantas de tratamiento de RILes (70% para lagunas, 80% para estanques de neutralización y 75% en las torres de enfriamiento). Adicionalmente, propone la incorporación de prácticas operacionales, entre ellas el seguimiento de la Eficiencia de Reducción de Olor (ERO), contar con un plan de contingencia y emergencias, y la implementación de abatimiento de los venteos para asegurar el tratamiento de estos gases y así disminuir su impacto en la población.

La metodología empleada en la elaboración del AGIES se basa en un Análisis Costo-Beneficio (ACB), donde se traducen a términos monetarios los impactos que implica el cumplimiento de la norma propuesta. Para la evaluación de costos se consideró la implementación de tecnologías de remoción y reducción de emisiones, así como los costos de fiscalización, monitoreo y prácticas operacionales. Para los beneficios, se estima el beneficio económico por la disminución de casos de morbilidad (principalmente bronquitis y bronquiolitis) y el beneficio social que la población afecta tendrá por la disminución y/o reducción de malos olores asociado a un mejoramiento en su calidad de vida.

Los resultados del AGIES indican que:

- La norma mejoraría la calidad de vida de aproximadamente 118.000 personas a nivel nacional.
- La implementación de los nuevos límites normativos generará reducciones de las emisiones debido a la actualización de límites más estrictos para TRS, reducirá la emisión de olores proveniente del tratamiento de RILes y reducirá la emisión generada por venteos (ver Figura A y Figura B).
- La normativa provee beneficios anuales de USD 4,62 millones² (Ver Figura C).
- Los costos anuales alcanzan los USD 4,33 millones (ver Figura C).
- La relación beneficio/costo es de 1,07 veces los beneficios sobre los costos (ver Figura D).
- La norma genera beneficios asociados a justicia ambiental, mejorando las condiciones ambientales en grupos vulnerables de la población.

Este análisis concluye que, junto con permitir el cumplimiento de las normas vigentes del Estado de Chile, la norma es consistente con los compromisos del MMA al crear instrumentos que disminuyen la contaminación y promueven la equidad entre sus habitantes.

¹ TRS: Corresponde a la sigla inglesa de "Total Reduced Sulphur" o "Azufre Total Reducido", y con él se representan los compuestos líquidos y gaseosos organosulfurados formados durante la etapa de cocción de la madera en el proceso de producción de celulosa Kraft.

² Se considera un valor de UF correspondiente a \$36.197 (30 de septiembre 2023) y un dólar de \$843,9 correspondiente al promedio móvil de octubre 2022 a octubre 2023.

Figuras y Tablas

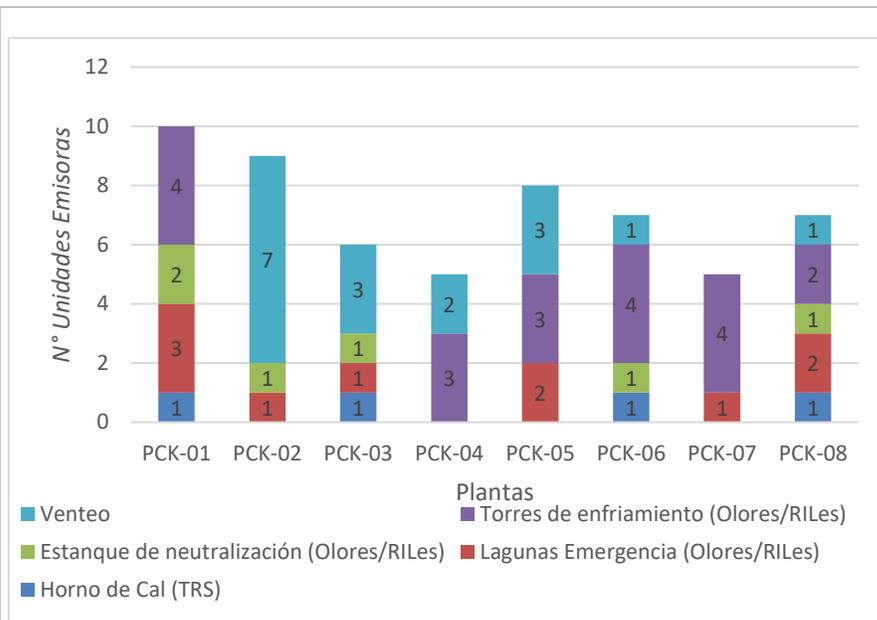


Figura A. Unidades que necesitarán implementar medidas.

Al implementar la norma, un total de 57 unidades deberán implementar tecnologías de abatimiento para reducir sus olores. De estas, 4 son por los nuevos valores de emisión de TRS, 36 por reducciones de emisiones de olores de plantas de RILes y 17 por la implementación de tratamiento de venteo.

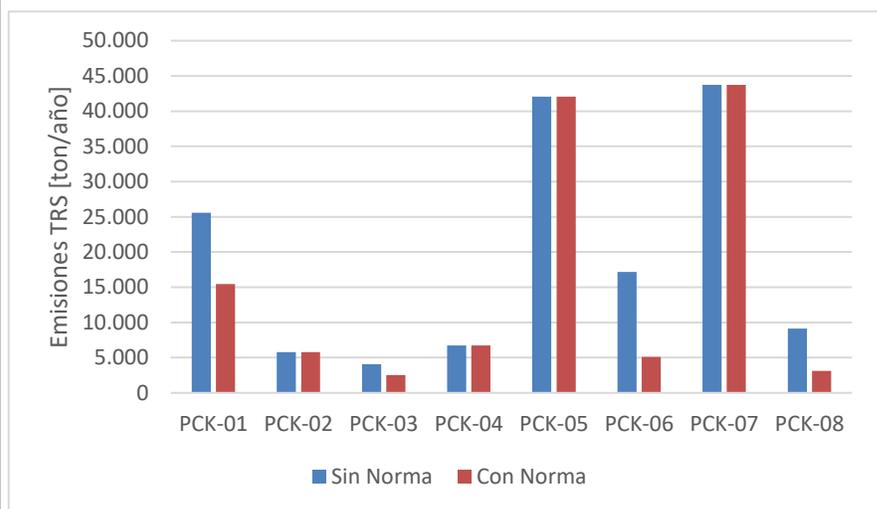


Figura B. Emisiones de compuestos TRS sin y con norma.

Las emisiones totales de compuestos TRS disminuirían de 153.000 a 124.495 toneladas anuales aproximadamente.

Específicamente, las plantas PCK-01,y PCK-03 tendrán una reducción de 40 %, y PCK-06 y PCK-08 un 70%.

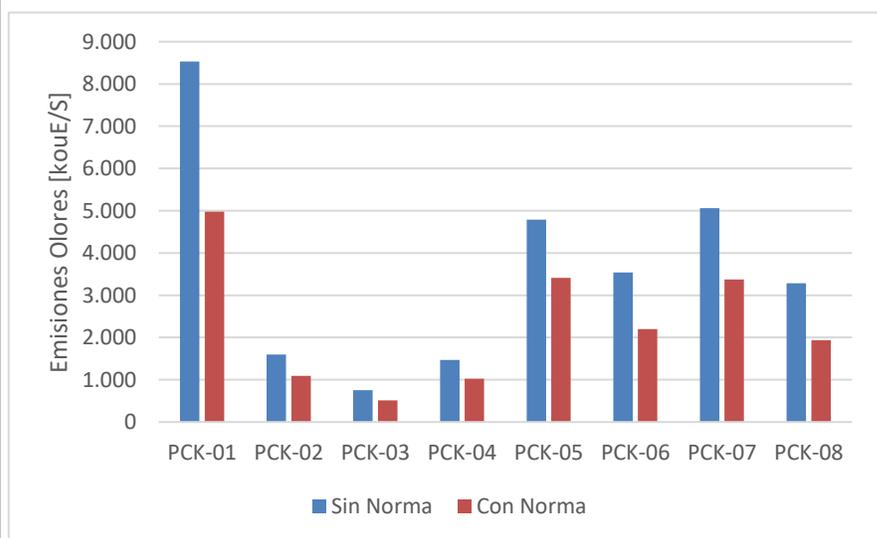


Figura C. Emisiones de olores sin norma y con norma.

Las emisiones totales de olores disminuirían de 28.500 a 18.500 kouE/s aproximadamente.

Las reducciones de emisiones de olores disminuirían entre un 29% a un 42% según la planta.

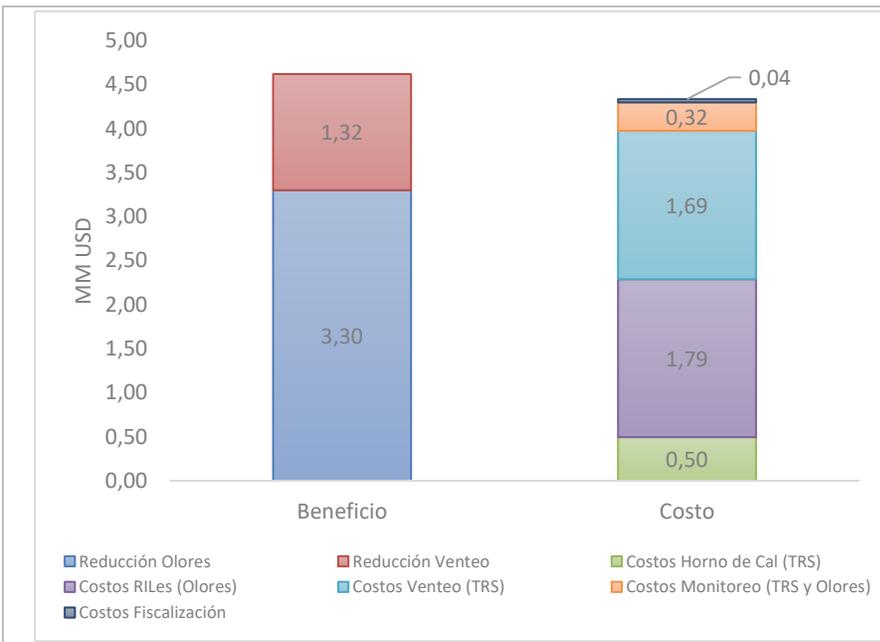


Figura D. Indicadores económicos anualizados (MMUSD).

Los beneficios totales son de 4,62 MMUSD y los costos totales son de 4,33 MMUSD, obteniéndose una relación beneficio/costo de 1,07, lo que sugiere que la regulación es socialmente rentable.

Los mayores costos se observan por la implementación de tecnología y/o medida de abatimiento para la reducción de emisiones.

Los beneficios valorizables se obtienen por la reducción de olores molestos producto de la implementación de la regulación.

ÍNDICE

Resumen	2
1. Antecedentes	7
1.1. Antecedentes del Decreto Supremo N°167/99 de MINSEGPRES.....	7
1.2. Normativa actual para compuestos TRS en Chile	7
1.3. Identificación y localización de las plantas	7
2. Diseño regulatorio	10
3. Metodología general.....	12
3.1. Línea base	15
3.1.1. Emisiones en equipos de oxidación y emisión de TRS	16
3.1.2. Emisiones de olores.....	16
3.1.3. Emisión de venteos.....	17
3.1.4. Emisiones TRS de fuentes difusas	17
3.2. Reducción de emisiones.....	18
3.3. Estimación de costos.....	18
3.3.1. Medidas de abatimiento de emisiones.....	19
3.3.2. Prácticas Operacionales.....	20
3.3.3. Fiscalización.....	20
3.4. Estimación de Beneficios.....	20
3.4.1. Beneficios a la salud.....	21
3.4.2. Beneficios de la reducción de olores	22
3.4.3. Beneficios de la reducción de venteos	24
3.5. Ajuste por inflación	24
4. Resultados	25
4.1. Línea base	25
4.2. Cumplimiento normativo	26
4.2.1. Equipos emisores de TRS	26
4.2.2. Unidades emisoras de olores	28
4.2.3. Puntos de venteo.....	29
4.3. Reducción de emisiones.....	29
4.4. Tiempo de exposición a olores	30
4.5. Población afectada por olores	31
4.6. Costos.....	31
4.7. Beneficios	32
4.7.1. Beneficios a la salud.....	33
4.7.2. Beneficios por reducción de emisiones de olor.....	33
4.7.3. Beneficios por tratamiento de venteos	33

4.8.	Análisis Costo-Beneficio	34
5.	Conclusiones	35
6.	Bibliografía.....	36
7.	Anexos.....	38
7.1.	Medidas de abatimiento	38
7.2.	Factor de emisión TRS	39
7.3.	Factor de emisión de olores	40
7.4.	Número de unidades por planta	42
7.5.	Eficiencias actuales de abatimiento	44
7.6.	Resultados EIO	46
7.7.	Emisión de línea base de compuestos TRS por tipo de fuente	46
8.	Ficha del AGIES	48

1. Antecedentes

1.1. Antecedentes del Decreto Supremo N°167/99 de MINSEGPRES

En el año 2000 entró en vigencia la Norma de emisión para olores molestos (gases TRS por sus siglas en inglés³), el cual está asociado a la fabricación de pulpa sulfatada, a través del Decreto Supremo N°167 de 1999 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Posteriormente durante el 2007, se inició la revisión de esta norma, cuyo proceso concluyó con la dictación del Decreto Supremo N°37 de 2012 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece la Norma de emisión de compuestos TRS, generadores de olor, asociados a la fabricación de pulpa Kraft o al sulfato.

La siguiente evaluación se establece a partir de la revisión de la propuesta de anteproyecto del Decreto Supremo N°37 de 2012. Esta revisión se establece a través del Decreto Supremo N°38 de 2013, Reglamento para la Dictación de Normas de Calidad Ambiental y de Emisión, el cual, en su artículo 38, insta que toda norma de calidad y de emisión será revisada a lo menos cada 5 años.

1.2. Normativa actual para compuestos TRS en Chile

La actual regulación (D.S. N°37/2012 del MMA), establece límites de emisión en equipos de oxidación y emisión de TRS, estableciendo límites de concentración de salida de las principales unidades emisoras de compuestos TRS, los cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Límites de concentración de salida D.S. N° 37

Equipo	Límite de concentración ⁴	Sistema de Medición	Medición
Caldera Recuperadora	5 ppmv	Percentil 98 promedio horario periodo mensual	Continua
Horno de Cal existentes	15 ppmv	Percentil 98 promedio horario periodo mensual	Continua
Horno de Cal nuevos	10 ppmv		
Incinerador Dedicado	20 ppmv	Percentil 98 promedio diario periodo anual	Continua
Caldera de Poder Dedicado	20 ppmv	Percentil 98 promedio diario periodo anual	Continua
Estanque Disolvedor de Licor Verde	16,8 mg/kg sólidos secos	Periodo 3 meses	Discreta

Fuente: Elaboración propia en base a D.S. N° 37.

1.3. Identificación y localización de las plantas

Actualmente, en Chile existen 8 plantas de celulosa Kraft o al sulfato, estas se encuentran entre la Región del Maule y la Región de los Ríos. Las plantas presentan una diversidad de capacidades de producción y años de entrada en vigencia, tal como se presenta en la Tabla 2.

³ TRS: Corresponde a la sigla inglesa de "Total Reduced Sulphur" o "Azufre Total Reducido", y con él se representan los compuestos líquidos y gaseosos organosulfurados formados durante la etapa de cocción de la madera en el proceso de producción de celulosa Kraft.

⁴ En ppmv de H₂S. La condición estándar será de 25°C y 1 atmósfera. Corregido al 8% de oxígeno y base seca.

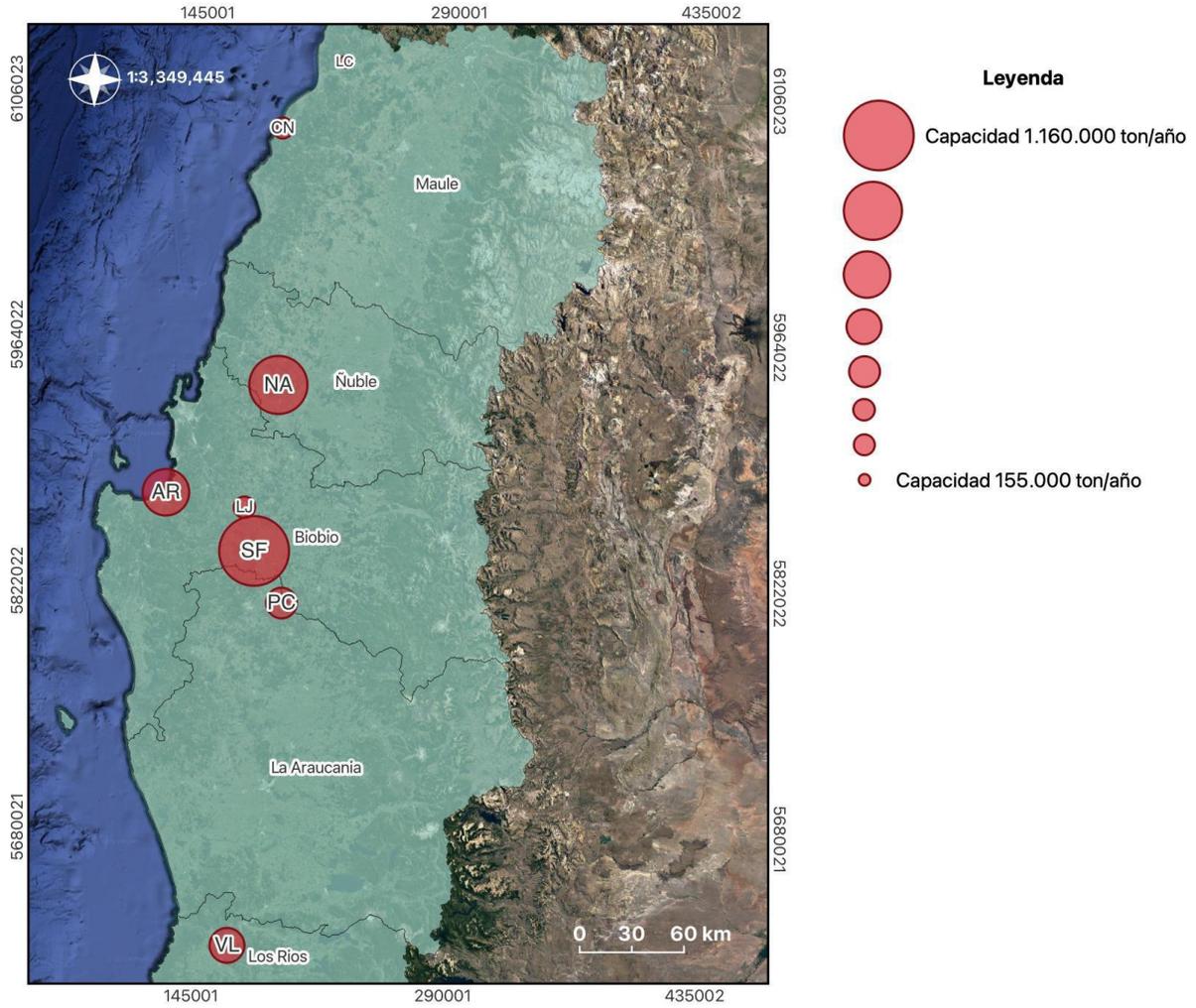
Tabla 2. Plantas de celulosa reguladas

Región	Comuna	Nombre Instalación	Año Inicio Funcionamiento	Capacidad [ADT/año]
Región del Maule	Constitución	Constitución	1976	355.000
Región del Biobío	Arauco	Arauco	1987	800.000
Región del Maule	Licantén	Licancel	1999	154.000
Región de los Ríos	Mariquina	Valdivia	2004	550.000
Región del Ñuble	Ranquil	Nueva Aldea	2006	1.027.000
Región del Biobío	Laja	Laja	1959	330.000
Región del Biobío	Nacimiento	Santa Fe	1991	1.160.000
Región de la Araucanía	Collipulli	Pacífico	1992	500.000

Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC, 2023)

En el informe se identificarán las plantas por medio de códigos, los cuales serán asignados aleatoriamente entre las plantas y considerarán ID únicos que van desde PCK-01 a PCK-08.

Figura 2. Localización y capacidad del sector regulado



Fuente: (DICTUC, 2023)

Nota: LC (Licancel), CN (Constitución), NA (Nueva Aldea), AR (Arauco), LJ (Laja), SF (Santa Fe), VL (Valdivia), PC (Pacífico)

2. Diseño regulatorio

El Anteproyecto tiene por objeto prevenir y controlar la emisión de contaminantes en la fabricación de pulpa Kraft o al sulfato que, en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo para la calidad de vida de la población. Como resultado de su aplicación se espera proteger la salud de la población y mejorar su calidad de vida.

El artículo 4 del Anteproyecto propone nuevos límites para la emisión en concentración de TRS, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación entre normativa actual y normativa del Anteproyecto

Equipo	Límite de concentración Actual ⁵	Límite de concentración Anteproyecto
Caldera Recuperadora	5 ppmv	5 ppmv
Horno de Cal	15 ppmv existente 10 ppmv nuevo	10 ppmv
Incinerador de Poder Dedicado	20 ppmv	10 ppmv
Caldera de Poder Dedicada	20 ppmv	10 ppmv
Estanque Disolvedor de Licor Verde	16,8 mg/kg sólidos secos	-

Fuente: Elaboración propia.

Estos límites entran en vigencia luego de dos años de publicado del decreto para el horno de cal, incinerador de poder dedicado y caldera de poder dedicada. En el caso de la caldera recuperadora, el límite entraría en vigencia al momento de ser publicado el decreto, ya que este no varía. Los límites de la caldera recuperadora y horno de cal se considerarán superados cuando el percentil 98 de los valores promedio horario registrados durante un mes sean mayores a la norma. Por otra parte, los límites del incinerador dedicado y caldera de poder dedicadas se considerarán superados cuando el percentil 98 de los promedios diarios durante un mes superen la norma.

El Anteproyecto también regula la emisión para las principales unidades emisoras de olores del tratamiento de RILes: lagunas de emergencia, estanque de neutralización y torres de enfriamiento. Las reducciones aplicarán en relación a un porcentaje de su Tasa de Emisión de Olores (TEO), como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Límite de emisión de olores para unidades emisoras⁶

Límite de emisión, en TEO [oue /t]	Porcentaje de reducción asociado al límite de emisión
$TEO_{Laguna\ de\ emergencia\ año\ 1} \times (1 - X_L)$	$X_{LE} = 70\%$
$TEO_{Estanque\ de\ neutralización\ año\ 1} \times (1 - X_{EN})$	$X_{EN} = 80\%$
$TEO_{Torres\ Enfriamiento\ año\ 1} \times (1 - X_{TE})$	$X_{TE} = 75\%$

Fuente: Anteproyecto (MMA, 2023)

⁵ En ppmv de H₂S. La condición estándar será de 25°C y 1 atmósfera. Corregido al 8% de oxígeno y base seca.

⁶ X_{LE} , X_{EN} , X_{TE} son los porcentajes de reducción para las tecnologías de abatimiento de las Lagunas de emergencia, Estanques de Neutralización y Torres de Enfriamiento respectivamente.

El plazo para el cumplimiento de estos límites normativos es de 2 años a partir de la publicación del decreto. Luego de la publicación, los titulares deberán medir la TEO⁷ durante el primer año de entrada en vigencia de la normativa. Las fuentes que ya cuenten con tecnologías de abatimiento que cumplan con la reducción porcentual de la TEO deberán entregar la ficha técnica de la tecnología con el porcentaje de reducción de esta y medir la TEO. Con dicha información, la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) en un plazo de 3 meses establecerá la TEO en base a la cual se calculará el límite de emisión de olor para las fuentes emisoras. Cuando deba reducir, para acreditar el cumplimiento de dicha reducción, el titular deberá medir la TEO de las unidades reguladas en un plazo de 6 meses luego de los 2 años en que entran en vigencia los límites del decreto.

Adicionalmente, el Anteproyecto requiere de prácticas operacionales para el control de emisiones (Título IV, Anteproyecto). Dentro de ellas, el Anteproyecto exige que los puntos de venteos de las fuentes existentes deben contar con un sistema de tratamiento de TRS (concentrados y diluidos), lo que deberá ser implementado a partir de 2 años de la vigencia del decreto. En el caso de las fuentes nuevas, estas deberán contar con un sistema de tratamiento de los TRS a partir de la entrada en vigencia del decreto (Artículo 25, Anteproyecto).

Finalmente, el Anteproyecto indica el control y fiscalización por parte de la SMA (Artículo 31, Anteproyecto).

⁷ Anteproyecto Art. 3 j) Tasa de emisión de olor Total (TEO Total) cantidad de sustancias olorosas que pasan a través de un área definida por unidad de tiempo. Lo anterior, es producto de la concentración de olor, de la velocidad y área de salida; o, el producto de la concentración de olor y la pertinente tasa de volumen de flujo, por ejemplo, en [m³/h]. Esta unidad es [ou_E/h] (o [ou_E/min] o [ou_E/s]).

3. Metodología general

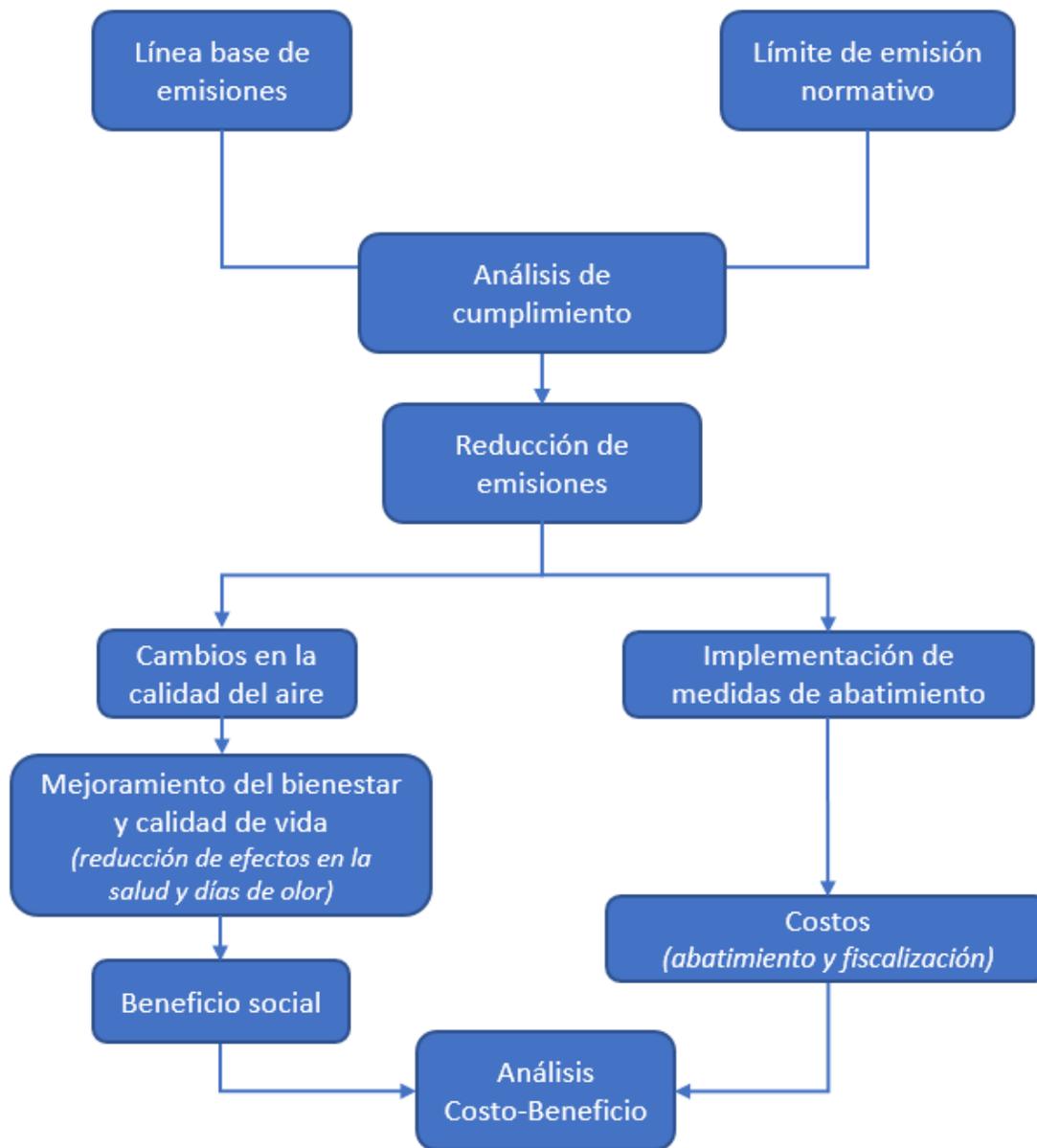
La metodología empleada en la elaboración del AGIES es el Análisis Costo-Beneficio (ACB), donde se generan diferentes indicadores que dan respuesta a los impactos de la implementación de una política pública, aportando antecedentes para el proceso normativo y la toma de decisión.

Es importante recalcar que los resultados del AGIES intentan orientar a los tomadores de decisión mediante el uso de la metodología aquí planteada, sin embargo, esta no debe ser considerada como el único criterio para la aprobación de una política pública (Arrow, y otros, 1996; Lave & Gruenspecht, 1991), ya que se debe tener una visión integral que incorpore otras variables, tales como el riesgo de la población expuesta, consideraciones culturales de la zona regulada, aspectos sociales, aspectos geográficos, entre otras⁸.

Los indicadores son elaborados utilizando una serie de análisis o modelos que permiten relacionar cambios en las emisiones al aire producto de un escenario de norma, con los beneficios y costos percibidos por los diferentes agentes impactados de la regulación. Por ello, el análisis integra (i) una sección de generación de línea base de la emisión de los contaminantes normados, (ii) un modelo que compara la línea base con los límites normativos para evaluar potenciales superaciones de la norma (análisis de cumplimiento), (iii) el cálculo de la reducción de la emisión para el cumplimiento de la normativa, (iv) un modelo de emisión-concentración (v) un modelo de cuantificación y valorización de beneficios. Con respecto a los costos, se integra (vi) la valoración de la reducción de emisiones a través de la implementación de medidas de abatimiento, los costos de monitoreo y fiscalización de la norma, los cuales son independientes del análisis de cumplimiento. En la Figura 3 se muestra el diagrama que representa la metodología utilizada para la evaluación (MMA, 2013).

⁸ D.S. 38 y 39/2012 del MMA incorporan, entre otras cosas, la generación de comités, la Participación Ciudadana y el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y Cambio Climático, los cuales también intentan incorporar los aspectos mencionados.

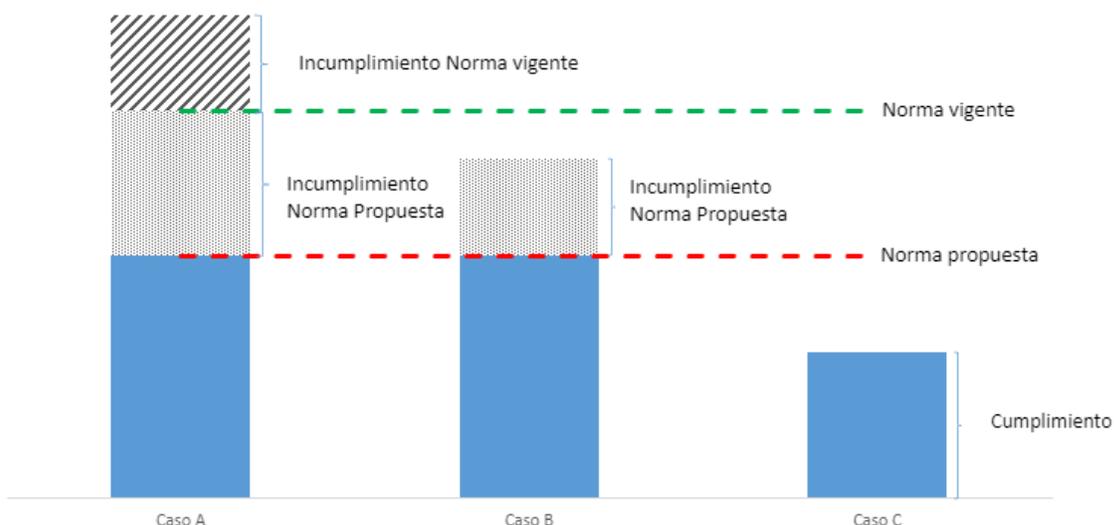
Figura 3. Diagrama metodológico para la evaluación del AGIES



Fuente: Elaboración propia basado en MMA (2013).

De la Figura 3, se desprende entonces que el primer análisis que se debe elaborar es el “análisis de cumplimiento”, el cual establece los cumplimientos y superaciones que se generan al comparar la línea base (calidad actual) versus los límites normativos propuestos. La Figura 4 presenta los posibles escenarios que se pueden dar en el análisis de cumplimiento.

Figura 4. Evaluación de cumplimiento normativo



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Figura 4, al ser una revisión de norma, existen tres potenciales escenarios. El primer escenario “Caso A” es en el cual las emisiones superan la normativa ya vigente. En este caso, la metodología del AGIES considera los costos y beneficios de disminuir las emisiones desde el cumplimiento de la norma vigente al cumplimiento de la norma propuesta, ya que el AGIES evalúa el cambio de normativa (área achurada bajo la recta verde). El segundo caso, “Caso B”, es en el cual las concentraciones sobrepasan el límite impuesto por la nueva norma de emisión, pero cumplen con la norma vigente. En este caso, la metodología del AGIES considerará que se deberán evaluar las potenciales reducciones en emisiones por parte de las unidades emisoras para alcanzar los niveles de emisión requeridos, generando con esto costos y beneficios. El tercer escenario, “Caso C”, establece que las concentraciones actuales cumplen con los límites establecidos por la norma. Por ende, no existirán costos ni beneficios asociados a la reducción de emisiones, y solo se considerarán los potenciales costos de monitoreo y fiscalización de la norma y los beneficios cualitativos que esta pueda generar.

Una vez determinados los potenciales escenarios de incumplimiento, se estima el delta de emisión, el cual corresponde a la diferencia entre el valor emitido por una unidad y el valor de norma, representando el área puntuada en el caso “Caso A” y “Caso B” de la Figura 4.

La reducción de la emisión se logrará a través de la implementación de tecnologías de abatimiento, la aplicación de estas medidas consideran el principio de la costo-efectividad⁹. La reducción en las emisiones genera un cambio o una mejora en la calidad del aire (a menor emisión, menor concentración de contaminantes), esto contribuirá en la disminución del riesgo de afectar la calidad de vida de las personas debido a la presencia de olores molestos, lo cual se cuantificará como un beneficio de la normativa.

⁹ Principio básico en el análisis de los AGIES, en donde se busca lograr las mayores reducciones de emisiones al menor costo.

3.1. Línea base

Las emisiones tanto de TRS como de olores de RILes, se estimaron basados en la metodología del estudio de antecedentes para la realización de la norma, elaborado por DICTUC (DICTUC, 2023), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Em_{i,j} = NA_j \cdot FE_{i,j}$$

Donde:

- $Em_{i,j}$: Emisiones del contaminante j en la fuente i ,
- NA_j : Nivel de actividad en la fuente i ,
- $FE_{i,j}$: Factor de emisión del contaminante j en la fuente i .

La estimación de los factores de emisión se realizó según la mejor información disponible en el momento, considerando 3 distintas metodologías: (1) factor de emisión calculado a partir de emisiones medidas, (2) factor de emisión estimado a partir de emisión en otros puntos y supuestos de abatimiento y (3) factor de emisión extrapolado desde la literatura.

Por otra parte, el nivel actividad de las plantas se estimó en base a la proyección de su producción, la cual considera un horizonte de 10 años, desde el 2025 (año en que se espera que la norma sea aprobada) hasta el 2034. La proyección se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Proyección de la producción de celulosa en kADT¹⁰

ID Planta	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
PCK-01	770	773	775	777	780	782	784	787	789	792
PCK-02	332	334	336	338	340	343	345	347	349	351
PCK-03	150	151	152	152	153	154	155	156	157	158
PCK-04	256	256	256	256	256	257	257	257	257	257
PCK-05	991	995	999	1.003	1.008	1.012	1.016	1.021	1.025	1.029
PCK-06	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495
PCK-07	1.373	1.386	1.398	1.410	1.423	1.435	1.447	1.460	1.472	1.484
PCK-08	504	508	513	517	522	526	531	535	540	544
Total	4.870	4.897	4.923	4.950	4.977	5.004	5.031	5.057	5.084	5.111

Fuente: Elaboración propia basada en (DICTUC, 2023).

¹⁰ kADT = Kilo “Air Dry Ton” que corresponde a tonelada 90% seca.

3.1.1. Emisiones en equipos de oxidación y emisión de TRS

Para la estimación de las emisiones de los equipos de oxidación y emisión de TRS, el factor de emisión puede ser estimado a partir de emisiones medidas como:

$$FE_{i,j} = Q_i \cdot C_{i,j}$$

Donde:

Q_i : Caudal de salida de la fuente i [m³/h],

$C_{i,j}$: Concentración de la fuente i , contaminante j [ppm].

Los caudales fueron obtenidos del informe de antecedentes elaborado por DICTUC (DICTUC, 2023):

Tabla 6. Caudales según producción de celulosa en equipos de oxidación y emisión de TRS

Equipo	Caudal [(m ³ /h)/(ADT/h)]
Caldera Recuperadora	9.100
Horno de Cal	3.550
Estanque Disolvedor	930
Caldera de Poder Dedicado	1.030 ¹¹
Incinerador Dedicado	S/I

Fuente: (DICTUC, 2023).

Con los datos reportados de concentración de salida en el anexo 7.2, se puede estimar la emisión de cada una de los equipos por planta. Los resultados son presentados en el capítulo 4.1 del presente documento.

3.1.2. Emisiones de olores

Los factores de emisión de olores provenientes del tratamiento de RILes se estimaron utilizando la proyección de producción (asumiendo que las unidades emiten olores de manera constante) y el factor de emisión, según lo realizado en el estudio de antecedentes (DICTUC, 2023). Luego, considerando la producción de la planta y la cantidad de unidades generadoras de olores, se calculan las emisiones de olores como:

$$E_{i,j} = \frac{\sum_j FE_{i,j} \cdot NA_i \cdot n_{i,j} \cdot (1 - efi_{i,j})}{pr}$$

Donde:

$E_{i,j}$: Emisión planta i , unidad j ,

$FE_{i,j}$: Factor Emisión planta i , unidad j ,

$n_{i,j}$: Número de unidades j en planta i ,

$NA_{i,j}$: Nivel de actividad en planta i ,

$efi_{i,j}$: Eficiencia abatimiento planta i unidad j ,

pr : Proporción del total de olores característicos provenientes de RILes (57,35%, (DICTUC, 2023)).

¹¹ Para caldera de poder la unidad corresponde a (m³S/h)/MWt.

El factor de emisión promedio se puede encontrar en el anexo 7.3 y el número de unidades emisoras por planta se presenta en el anexo 7.4. Considerando que las emisiones de olores provenientes de RILes representan más de un 50% (a partir de los EIO disponibles) de las emisiones de olores, se llega a una línea base de emisión de olores. Por último, a partir de los EIO, se concluye que las emisiones del horno de cal representan entre un 5% a 6% del total de emisiones de olores, pudiendo así convertir la emisión del horno de cal a emisión de olores.

3.1.3. Emisión de venteos

Las emisiones de TRS provenientes de los venteos se estiman a partir del dato de minutos de venteo reportados por planta (Tabla 7. Minutos y tasa de emisión de venteos), los cuales son ajustados según la producción anual estimada. Para este caso, el factor de emisión utilizado es:

$$FE_i = \frac{FE_j}{1 - EA_{i,j}}$$

Donde:

FE_i : Factor de emisión de la unidad i , que se estima a partir del factor de emisión de la unidad j [ton/h],

FE_j : Factor de emisión de la unidad j , en este caso estimado a partir de primer nivel de factor de emisión, es decir, por medio de mediciones [ton/h],

$EA_{i,j}$: Eficiencia de abatimiento entre unidad i y unidad j (%). Supuesto de 95% basado en propuesta de US-EPA.

Los resultados de minutos de venteo y factor de emisión son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 7. Minutos y tasa de emisión de venteos

ID Planta	Minutos venteo anuales	Tasa de emisión de venteo [kg TRS/min]
PCK-01	362	191,4
PCK-02	392	104,1
PCK-03	109	78,4
PCK-04	943	92,7
PCK-05	46	804,6
PCK-06	116	337,5
PCK-07	688	392
PCK-08	369	169,1

Fuente:Elaboración propia basada en (DICTUC, 2023).

3.1.4. Emisiones TRS de fuentes difusas

La emisión de las fuentes difusas se estima a partir de factores de emisión provenientes de la Environmental Protection Agency (EPA) y que fueron validados en (DICTUC, 2023).

Tabla 8. Factores de emisión de TRS de fuentes difusas

Grupo de fuentes	Fuentes	H ₂ S [kg/ADT pulpa]	MM-DMS-DMDS ¹ [kg/ADT pulpa]	TRS [kg/ADT pulpa]
Difusas	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

Fuente: (DICTUC, 2023)

3.2. Reducción de emisiones

En cada una de las unidades emisoras, se consideró la implementación de la Mejor Tecnología Disponible (MTD) más costo efectivas reportadas en (DICTUC, 2023), las que se presentan en el Anexo 7.1. Las tecnologías consideradas para la reducción de TRS en el tratamiento de venteos son los agentes neutralizantes y scrubbers alcalinos, mientras que para el tratamiento del horno de cal se encuentra el lavado y filtrado mejorados de lodos y el scrubber alcalino. Por otra parte, para el tratamiento de olores provenientes del tratamiento de RILes, se considera una cobertura para la laguna de emergencia, para los estanques de neutralización se consideran biofiltros y filtros de carbón activado, y, finalmente, para las torres de enfriamiento se considera su reemplazo por intercambiadores de calor.

Para el cálculo de la reducción de emisiones debido a la incorporación de medidas de abatimiento se tomaron las eficiencias de remoción para cada medida como lo indica la siguiente ecuación:

$$Reducción_i = \sum_{j=1}^n E_{i,j} \cdot (Efi Red_{i,j})$$

Donde:

- Reducción_i* : Reducción de emisiones por planta *i*, unidad emisora *j*
- E_{i,j}*: Emisiones en línea base en la planta *i*, unidad emisora *j*,
- Efi Red_{i,j}*: Eficiencia de remoción de la tecnología de abatimiento seleccionada en la planta *i*, unidad emisora *j*.

Cabe destacar que, como se mencionó en la sección anterior, el horno de cal representa entre un 5% y 6% de las emisiones de olores. Por lo que una reducción en sus emisiones implica una reducción en emisión de TRS y de olores.

3.3. Estimación de costos

Esta sección presenta la metodología para la evaluación de los costos que recaerían sobre los regulados y el Estado. Se evalúan los costos del cumplimiento las superaciones existentes respecto de la línea base, el monitoreo y reporte por parte del regulado. Adicionalmente, se

estiman los costos incrementales asociados a la fiscalización de la norma de emisión generados por el nuevo escenario regulatorio, los que serán asumidos por el Estado.

3.3.1. Medidas de abatimiento de emisiones

Teniendo en cuenta las características actuales de cada planta y las exigencias de la normativa, se identificaron las plantas que deberán implementar medidas de abatimiento, las que se detallan en la sección 4.2 del presente informe. Luego, para cada una de las medidas de abatimiento, se estimaron costos de inversión, operación y mantenimiento anualizados y se eligió la tecnología con el menor costo que cumpliera con la normativa. Esto, ya que se considera como supuesto que las empresas buscarán la medida más costo-eficiente para cumplir con la norma.

El costo de inversión se estimó a partir de los costos unitarios en la sección 7.1 y luego se calculó su valor anualizado considerando la vida útil del equipo y una tasa social de descuento de un 6%. Dicha anualización se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Costo inversión final}_i = \sum_{j,k} \frac{I_{ijk} * TD * (1 + TD)^{vu_k}}{(1 + TD)^{vu_k} - 1}$$

Donde:

$\text{Costo inversión final}_i$:	Costo de inversión anualizado para cada planta i (USD/año),
I_{ijk} :	Inversión inicial por planta i , unidad emisora j y tecnología k (USD),
TD :	Tasa de descuento MIDESO (6%),
vu_k :	Vida útil de la inversión (años).

3.3.2. Prácticas Operacionales

En el marco del Título IV del Anteproyecto, Prácticas Operacionales para el Control de Emisiones, se consideran los siguientes costos:

Tabla 9. Costos de prácticas operacionales

Detalle	Cantidad	Costo unitario [UF/unidad]	Costo total [UF]	Descripción
Plan de contingencia	8 (plantas)	60	480	Las plantas deben actualizar su plan de contingencia.
Plan de medición de eficiencia de reducción de olor (ERO)	8 (plantas) x 2 (equipos)	70	3.360	Anualmente las plantas deben realizar su ERO para el estanque de neutralización y torres de enfriamiento.
Realizar Estudio de Impacto Odorante (EIO)	8 (plantas)	1500	12.000	Presentar su EIO
Monitoreo en sistemas de recolección de gases	8 (plantas) 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.

Fuente: (DICTUC, 2023).

Los costos de la Tabla 9 se anualizaron (Plan de contingencia y EIO) considerando una vida útil de 10 años y una tasa de descuento del 6%.

3.3.3. Fiscalización

A diferencia de otras normativas relacionadas con el control de emisiones de olores, la presente propuesta implica la revisión de una norma ya existente. Esto significa que el Estado ya cuenta con la capacidad necesaria para regular estas exigencias, por lo que no es necesario establecer nuevas capacidades. Además, no se prevé que los cambios en las regulaciones resulten en un aumento en el número de actividades de fiscalización.

No obstante, debido al número de informes relacionados con la propuesta normativa, se considera esencial contratar personal adicional para supervisar, dar seguimiento y sistematizar esta información. En este sentido, se estima que, desde el punto de vista de los costos para el Estado, se requerirán 860 Unidades de Fomento (UF) anuales en personal adicional a partir del primer año. Esto equivale aproximadamente al costo de contratar a un profesional de grado 10° en la Escala Única de Sueldos (DICTUC, 2023).

3.4. Estimación de Beneficios

Para la estimación de beneficios se emplearon distintos indicadores que permiten cuantificar el efecto de la regulación. En una primera instancia se evaluaron los efectos positivos (reducciones de casos de morbilidad) que la regulación generará. A su vez, se cuantificaron las mejoras en la percepción ambiental asociadas a una reducción en días de malos olores que la población percibe, la cual fue valorizada a través de un ejercicio de valoración contingente. Por último, se identificaron aquellos beneficios que no pueden ser cuantificables y que, sin embargo, son relevantes a la hora de considerar la toma de decisión.

3.4.1. Beneficios a la salud

La OMS determinó un límite tóxico para H₂S, pero no especifica riesgos para concentraciones bajas. Por otra parte, la Agencia para Sustancias Tóxicas y registro de enfermedades (ATSDR) identifica distintos impactos en salud de los TRS a distintas concentraciones, destacando que el tracto respiratorio y el sistema nervioso son particularmente sensibles a la exposición a H₂S. Según la ATSDR, la exposición a concentraciones bajas puede causar irritación en ojos, nariz y garganta, pudiendo incluso ocasionar dificultades respiratorias para asmáticos. En cuanto a los efectos sobre el sistema nervioso, la exposición a concentraciones bajas puede causar dolores de cabeza, afectar la memoria, aumentar el cansancio y provocar problemas de equilibrio. Por su parte, la exposición a altas concentraciones ha causado 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 (ASTDR, 2016).

Para estimar los beneficios a la salud se utilizó la metodología reportada en (DICTUC, 2023), la cual establece relaciones entre venteos y casos de bronquitis y bronquiolitis. Luego de este análisis, se concluyó 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 y bronquiolitis aguda de 3,78% (intervalo de confianza al 80% de confianza: 0,48%-7,19%) y 1,88% (intervalo de confianza al 80%: 0,37%-3,41%).

Luego, de acuerdo con la metodología descrita en la Guía para la elaboración de AGIES (DICTUC, 2013), es necesario contar con información de las tasas de incidencia base. Estas son aproximadas como la tasa de incidencia a nivel regional, las que se presentan a continuación:

Figura 5. 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) Ñuble	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: (DICTUC, 2023).

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 DICTUC (2019).

3.4.2. Beneficios de la reducción de olores

La reducción de emisiones de olor (descrita en la sección 3.2), permitirán reducir los efectos dañinos (desamenidades) en la salud, los efectos ambientales y los efectos sociales, generándose un beneficio social. No obstante, estas externalidades no cuentan con precio de mercado, de modo que no es posible asignar directamente un precio a la disminución de los olores. Al respecto, existe un único estudio en Chile en el que se hacen encuestas que preguntan por la disposición a pago por reducir olores de pesqueras (Cliodinámica, 2021), los que presentan similitudes a los olores de TRS o RILes en términos de su ofensividad, lo que permite que sean comparables. Adicionalmente, al tratarse de un estudio chileno, representa más adecuadamente la disposición a pago que un estudio internacional, por lo que la transferencia de la disposición a pago de olores de pesqueras está justificada.

Se estima la disposición a pago anual por reducción de un día de olor en 0,033 UF. Este valor proviene del estudio de pesqueras (Cliodinámica, 2021) y transferido desde el AGIES de Anteproyecto de Plantas de Aceite y Harina de Pescado y Plantas de Alimento para Peces.

Por otra parte, de acuerdo con la metodología propuesta en el informe de antecedentes de DICTUC (DICTUC, 2023), se pueden estimar los beneficios como:

$$Beneficios = \sum_{i,d} Pob_{i,d} \cdot DAP \cdot Red_Dias_Olor_{i,d}$$

Donde:

$Pob_{i,d}$: población dentro del anillo a una distancia d de la planta i ,

DAP : disposición a pago unitaria por día de olor,

$Red_Dias_Olor_{i,d}$: reducción de días de mal olor a una distancia d de la planta i .

Para estimar la reducción de días de mal olor, se utilizó la información de los EIO disponibles. En estos dos estudios se estima la emisión de olores en [ou_E/s] por cada una de las unidades emisoras de las plantas. Posteriormente, con estos datos se realiza un modelo de dispersión de olores que considera las condiciones climáticas. Como resultado se obtienen las horas con concentración de olores mayores a 3 [ou_E/m³], el que constituye el límite con el cual estos olores se han regulado internacionalmente, este valor representa el punto en que los olores ya serían reconocibles. Los resultados se muestran en el anexo 7.6. Con esta información se estima un factor que relaciona las emisiones de olores con las horas con concentración ≥ 3 [ou_E/m³]:

$$FEC_{i,d} = \frac{Horas_{i,d} \cdot 10^6}{TEO_i}$$

Donde:

$FEC_{i,d}$: factor de relación entre horas sobre ≥ 3 [ou_E / m^3] y emisión de olores a una distancia d de la planta i .

$Horas_{i,d}$: cantidad de horas sobre sobre ≥ 3 [ou_E / m^3] a una distancia d de la planta i .

TEO_i : emisión de olores en [ou_E / s] por planta i .

De este modo, se obtiene la siguiente tabla, en la que se calculan los FEC:

Tabla 10. Resumen horas de olor en estudios de impacto odorífico.

Receptor	Distancia [km]	Horas	TEO [ou_E / m^3]	FEC
R1	0,4	3.595	5.459.505	658
R2	0,69	2.325	6.446.515	361
R3	2,31	637	6.446.515	99
R4	2,6	245	5.459.505	45
R5	5,4	0	5.459.505	0

Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de calcular el efecto de la emisión de olores en función de la distancia con las horas de concentración de olor ≥ 3 [ou_E / m^3], se realiza una regresión entre el FEC y la distancia, llegando a:

$$FEC = -45 + \frac{278}{D}, R^2 = 0,997$$

Con el FEC calculado previamente se puede estimar la cantidad de horas concentración de la siguiente manera:

$$Horas_{i,d} = FEC_{i,d} \cdot \frac{TEO_i}{10^6}$$

Cabe destacar que, si bien la relación se establece con sólo cinco datos disponibles, la asociación encontrada explica el 99% de la variabilidad del FEC y los parámetros de la función se mueven de acuerdo a lo esperable. Es decir, a medida que aumenta la distancia de las plantas, disminuyen las horas con concentración mayor a 3 [ou_E / m^3].

En vista de que la DAP se calcula como la reducción de días de olor, mientras que los datos que podemos estimar están en reducción de horas de olor sobre 3 [ou_E / m^3], se presenta el desafío metodológico de igualar estas unidades, para lo cual es necesario convertir esas horas en días para poder utilizar la DAP adecuadamente.

Una opción es considerar que un día de mal olor son 24 horas de mal olor, sin embargo, tal como se menciona en el estudio de DICTUC (DICTUC, 2023), es poco probable que un día con mal olor tenga 24 horas seguidas de mal olor. Por otra parte, la metodología alemana para medición de olores (GOOA, 2008) establece que una “hora de olor” corresponde a aquella en que se detecta el olor durante al menos un 10% del tiempo medición. Escalando esta metodología, consideraremos entonces que 2,4 horas serán equivalentes a un “día de olor”.

La información que se puede estimar es el total de horas durante un año en que se superan los 3 [ou_E / m^3], pero no se puede saber cómo estas distribuyen durante el año, es decir,

cuántos días tienen 1, 2, 3 o más horas en que se supera el umbral. Para resolver esto, se considera una distribución al azar de las horas en que se superan los 3 [ou_E/m³] (distribución probabilística). De este modo, es posible estimar la cantidad de días con al menos 1 hora de mal olor como:

$$(Días \geq 1 h \text{ olor}) = 365 - \left(\frac{364}{365}\right)^{\text{horas olor}}$$

Para estimar los días con n horas de mal olor, se hace uso de una distribución binomial:

$$(Días = n h \text{ olor}) = 365 \cdot \binom{\text{horas olor}}{n \text{ horas}} \cdot \left(\frac{1}{365}\right)^{n \text{ horas}} \cdot \left(\frac{364}{365}\right)^{\text{horas olor} - (n \text{ horas} - 1)}$$

De este modo, se pueden estimar los días con al menos n horas con olor, como los días con al menos 1 hora de olor menos el total de los días con exactamente i horas de olor:

$$(Días \geq n h \text{ olor}) = (Días \geq 1 h \text{ olor}) - \sum_{i=1}^{n-1} (Días = i h \text{ olor})$$

Como se mencionó anteriormente, se entenderá “un día de olor” a partir de 2,4 horas de olor. Sin embargo, este modelo considera días con 1, 2 y 3 o más horas de olor, por lo que se hace una aproximación de las 2,4 horas a 3 horas de olor. Con esto, los días con 3 o más horas de olor se consideran como reducciones de “días de olor”. Para la reducción de días con 1 y 2 horas de olor, se utiliza una DAP proporcional a la cantidad de horas y la duración de un “día de olor” (2,4 horas). Así, para calcular la reducción de horas de olor, se determinan los “días equivalentes de olor” de la siguiente forma:

$$Días \text{ Equivalente} = (Días \geq 3 h \text{ olor}) + \frac{(Días = 2 h \text{ olor})}{2.4} \cdot 2 + \frac{(Días = 1 h \text{ olor})}{2.4} \cdot 1$$

3.4.3. Beneficios de la reducción de venteos

Para estimar la reducción de días de malos olores por tratamiento de venteos, se utiliza el promedio de minutos de venteos reportados entre los años 2019 a 2021, los cuales son ajustados proporcionalmente según la proyección de producción. Luego, se considera que cada día con venteo es como un día de mal olor y que la duración de los venteos es el promedio de todos los venteos observados entre 2019 y 2021.

La reducción depende de esta cantidad base y de la eficiencia de abatimiento de los agentes neutralizantes. 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 del número de días donde estos días impactan a la población. En este caso en particular, no se realiza una distinción por distancias, por lo que es la misma reducción de días sobre la población total hasta 10 km. de la planta.

3.5. Ajuste por inflación

Todos los costos y beneficios fueron estimados en UF, por lo que no es necesario realizar un ajuste por inflación. Los valores de costos y beneficios son presentados en USD, utilizando la conversión de dólar a UF según corresponda. El valor del dólar utilizado corresponde al

promedio móvil de los últimos doce meses para el dólar observado¹², de acuerdo con los datos de la base estadística del Banco Central.

4. Resultados

4.1. Línea base

A partir de la proyección de producción de celulosa y los factores de emisión en equipos de oxidación y emisión de TRS, fugitivas y venteos se estiman las emisiones totales de TRS. En el anexo 7.7 se presenta el detalle por tipo de fuente, la gran mayoría de las emisiones proviene de los equipos de oxidación y emisión de TRS representando el 98,8% del total. La Tabla 11 presenta la proyección de la producción de TRS total.

Tabla 11. Proyección de emisiones de TRS en toneladas al año

ID Planta	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
PCK-01	25.535	25.597	25.659	25.721	25.783	25.845	25.907	25.969	26.032	26.094
PCK-02	5.721	5.759	5.796	5.833	5.870	5.908	5.945	5.982	6.019	6.057
PCK-03	4.022	4.048	4.075	4.101	4.127	4.153	4.179	4.206	4.232	4.258
PCK-04	6.733	6.736	6.740	6.743	6.747	6.750	6.753	6.757	6.760	6.764
PCK-05	41.737	41.917	42.097	42.277	42.457	42.637	42.817	42.997	43.177	43.356
PCK-06	17.177	17.177	17.177	17.177	17.177	17.177	17.177	17.177	17.177	17.177
PCK-07	42.957	43.342	43.727	44.113	44.498	44.883	45.269	45.654	46.039	46.425
PCK-08	9.000	9.081	9.162	9.243	9.323	9.404	9.485	9.566	9.646	9.727
Total	152.882	153.657	154.432	155.207	155.982	156.757	157.532	158.307	159.082	159.857

Fuente: Elaboración propia basada en (DICTUC, 2023).

Por otra parte, a partir de la producción y los minutos promedio de venteo entre los años 2019 a 2021 (según se explica en sección 3.4.3), en la Tabla 12 se muestra la estimación de los minutos de venteo por planta por año.

Tabla 12. Proyección minutos de venteo anuales

ID Planta	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
PCK-01	367	368	369	370	371	372	373	374	376	377
PCK-02	402	405	408	410	413	416	418	421	423	426
PCK-03	112	113	113	114	115	116	116	117	118	118
PCK-04	946	946	947	948	948	949	950	950	951	952
PCK-05	47	47	47	47	48	48	48	48	48	49
PCK-06	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116
PCK-07	714	720	726	733	739	746	752	758	765	771
PCK-08	383	386	390	393	396	400	403	407	410	414

Fuente: Elaboración propia basada en (DICTUC, 2023).

Las emisiones de olores también fueron proyectadas según la producción de cada planta, lo que se puede ver en la Tabla 13.

¹² Dólar de \$843,9, correspondiente al promedio móvil de septiembre 2022 a septiembre 2023.

Tabla 13. Proyección emisiones de olor en [kouE /s]

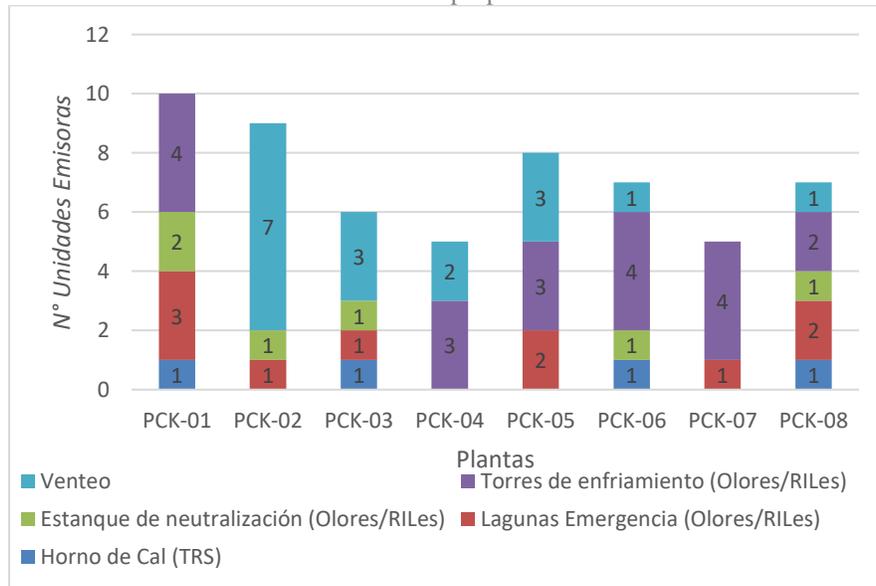
ID Planta	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
PCK-01	8.479	8.505	8.532	8.558	8.584	8.610	8.636	8.663	8.689	8.715
PCK-02	1.576	1.586	1.596	1.607	1.617	1.627	1.637	1.648	1.658	1.668
PCK-03	745	750	755	760	764	769	774	779	784	789
PCK-04	1.468	1.469	1.470	1.471	1.472	1.473	1.474	1.475	1.477	1.478
PCK-05	4.746	4.767	4.787	4.808	4.828	4.848	4.869	4.889	4.910	4.930
PCK-06	3.538	3.538	3.538	3.538	3.538	3.538	3.538	3.538	3.538	3.538
PCK-07	4.969	5.014	5.058	5.103	5.147	5.192	5.237	5.281	5.326	5.370
PCK-08	3.227	3.256	3.285	3.313	3.342	3.371	3.400	3.429	3.458	3.487

Fuente: Elaboración propia basada en (DICTUC, 2023).

4.2. Cumplimiento normativo

Al implementar la norma, 57 unidades deberán implementar medidas de abatimiento para reducir sus emisiones. De estas, 4 están asociadas a los nuevos valores de emisión de TRS, 36 (10 lagunas de emergencia, 6 estanques de neutralización y 20 torres de enfriamiento) por la implementación de medidas asociadas a las plantas de RILes y 17 por una disminución de los venteos producto de su tratamiento. La Figura 6. Número de unidades, que deberán implementar medidas de abatimiento para dar cumplimiento a la normativa propuesta. muestra la cantidad de unidades que deberán implementar medidas para cada una de las plantas para dar cumplimiento a la normativa propuesta:

Figura 6. Número de unidades, que deberán implementar medidas de abatimiento para dar cumplimiento a la normativa propuesta.

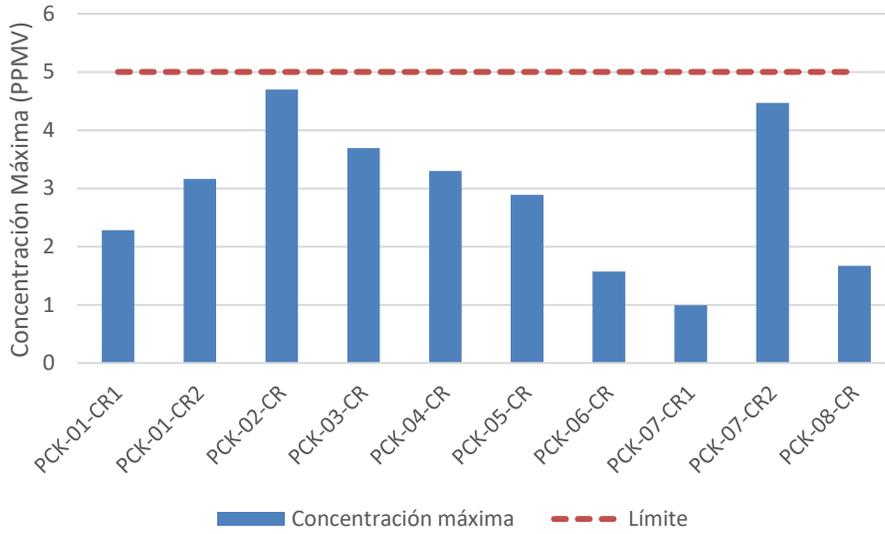


Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Equipos emisores de TRS

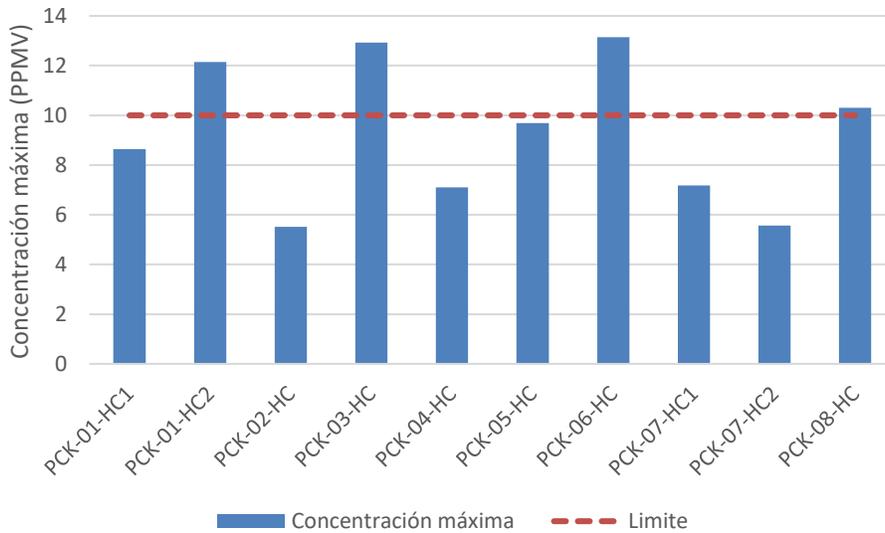
Se evaluó si las plantas cumplirían con la nueva normativa a partir de los datos de los años 2019, 2020 y 2021, considerando que 3 años sería suficiente para tener un periodo representativo. Esto, analizando los percentiles 98 de las concentraciones de salida horarias (caldera recuperadora y horno de cal) y diarias (caldera de poder e incinerador dedicado). A continuación, en la Figura 7, se presentan gráficamente los máximos percentiles 98 de los 3 años analizados, para cada una de las unidades emisoras a las que le aplica la regulación.

Figura 7. Máximo percentil 98 horario de concentración de salida de Calderas Recuperadoras años 2019 al 2021



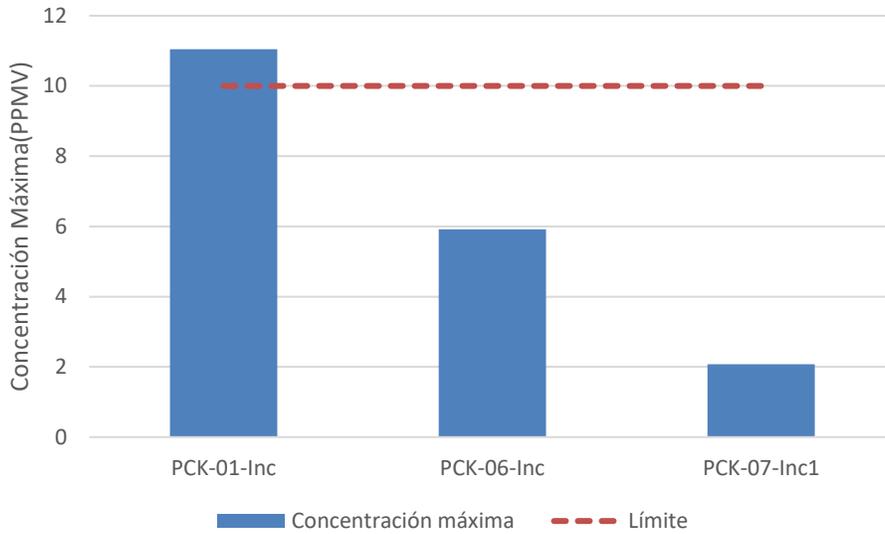
Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC, 2023).

Figura 8. Máximo percentil 98 horario de concentración de salida de Hornos de Cal, años 2019 al 2021



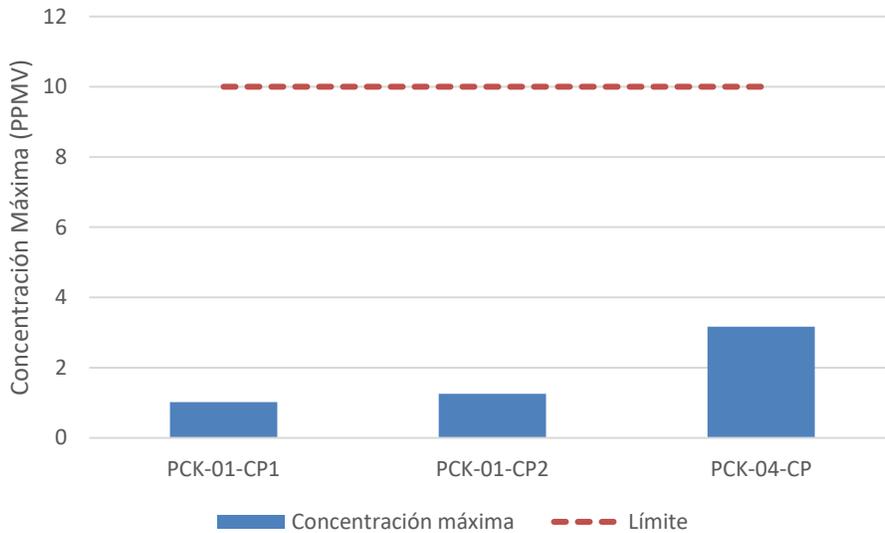
Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC, 2023).

Figura 9. Máximo percentil 98 diario de concentración de salida de Incineradores Dedicados años 2019 al 2021



Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC, 2023).

Figura 10. Máximo percentil 98 diario de concentración de salida de Calderas de Poder Dedicado, años 2019 al 2021



Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC, 2023).

A partir de las figuras anteriores se observa que sólo 5 unidades emisoras de olor no cumplirían con la nueva normativa. Estas corresponden a 4 hornos de cal (PCK-01-HC2, PCK-03-HC, PCK-06-HC, PCK-08-HC) y a un incinerador dedicado (PCK-01-Inc). Sin embargo, este incinerador dejó de ser utilizado como incinerador dedicado a partir del año 2020, por lo que no incumpliría con la futura normativa.

4.2.2. Unidades emisoras de olores

Previo a la norma propuesta, no se requería que las plantas realizaran EIO, por lo que no se tienen antecedentes de la cantidad de olores producidos por cada una de sus unidades emisoras de olor. Sin embargo, se cuenta con información de las tecnologías de abatimiento que tiene cada planta, aportada por el estudio de antecedentes de (DICTUC, 2023). A partir de esto, aquellas unidades que no cuentan a la fecha con tecnologías de abatimiento para

cumplir con las reducciones de especificadas en la Tabla 4 (70%, 80% y 75%), pueden ser consideradas como unidades que incumplen con la normativa propuesta. El detalle de las unidades consideradas por planta se encuentra en el anexo 7.4 y las eficiencias de abatimiento consideradas para cada unidad se presentan en anexo 7.4.

Tabla 14. Unidades de RILes emisoras de olores por planta que necesitarían tecnologías de abatimiento para cumplir con la norma

Unidad Emisora	PCK-01	PCK-02	PCK-03	PCK-04	PCK-05	PCK-06	PCK-07	PCK-08	Total
Laguna de emergencia	3	1	1	0	2	0	1	2	10
Estaque de neutralización	2	1	1	0	0	1	0	1	6
Torres de enfriamiento	4	0		3	3	4	4	2	20
Total	9	2	2	3	5	5	5	5	36

Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC, 2013).

4.2.3. Puntos de venteo

El estudio de antecedentes de DICTUC estimó los puntos de venteo que necesitarían un sistema de abatimiento, considerando que en algunos casos dos puntos de venteo podrían tener un sistema de abatimiento. En la Tabla 15. Puntos de venteo planta que necesitarían tecnologías de abatimiento para cumplir con la norma se presenta la cantidad de unidades que no tendrían tratamiento según este criterio.

Tabla 15. Puntos de venteo planta que necesitarían tecnologías de abatimiento para cumplir con la norma

	PCK-01	PCK-02	PCK-03	PCK-04	PCK-05	PCK-06	PCK-07	PCK-08	Total
Venteo	0	7	3	2	3	1	0	1	17

Fuente: Elaboración propia en base a (DICTUC, 2013).

4.3. Reducción de emisiones

Se estima que la norma entraría en vigencia el año 2025, pero la reducción de emisiones sería a partir del año 2027, año desde el cual se considera una reducción proporcional constante de las emisiones de TRS. En este caso, las reducciones más importantes se darán en las plantas en donde es necesario mejorar las tecnologías de los hornos de cal. En el caso de, las plantas con niveles bajos de reducción son explicadas por la reducción de emisiones provenientes de venteos.

Tabla 16. Reducción porcentual esperada de emisiones de compuestos TRS

PCK-01	PCK-02	PCK-03	PCK-04	PCK-05	PCK-06	PCK-07	PCK-08
39,70%	0,10%	37,90%	0,10%	0,00%	70,20%	0,00%	66,00%

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la emisión de olores considerados como característicos de las plantas, también se reduciría de manera proporcional y constante en el tiempo:

Tabla 17. Reducción porcentual esperada de emisión de olores.

PCK-01	PCK-02	PCK-03	PCK-04	PCK-05	PCK-06	PCK-07	PCK-08
41,66%	31,42%	32,05%	30,40%	28,77%	37,78%	33,27%	41,04%

Fuente: Elaboración propia basada en (DICTUC, 2023).

4.4. Tiempo de exposición a olores

Utilizando la metodología de la sección 3.4.2, es decir, usando los FEC y las emisiones de olor se estimaron las horas en que la concentración de olores sería mayor a 3 [ou_E /m³].

Tabla 18. Horas de olor por distancia estimadas para el año 2027 en situación línea base

Distancia [km]	PCK-01	PCK-02	PCK-03	PCK-04	PCK-05	PCK-06	PCK-07	PCK-08
0-1	4.359,6	815,7	385,7	751,3	2.446,2	1.808,1	2.584,8	1.678,4
1-2	1.196,1	223,8	105,8	206,1	671,1	496,1	709,2	460,5
2-3	563,4	105,4	49,8	97,1	316,1	233,7	334,1	216,9
3-4	292,3	54,7	25,9	50,4	164,0	121,2	173,3	112,5
4-5	141,6	26,5	12,5	24,4	79,5	58,7	84,0	54,5
5-6	45,8	8,6	4,0	7,9	25,7	19,0	27,1	17,6

Fuente: Elaboración propia.

Nota: No se considera hasta 10 km ya que no habría efecto a más de 6 km.

Las celdas destacadas en rojo representan los lugares en que hay población, por lo que la metodología considera beneficios por reducir las horas de olor para dichas celdas. La Tabla 19 muestra la reducción de horas de olor por distancia.

Tabla 19. Reducción horas de olor por distancia estimadas para el año 2027

Distancia [km]	PCK-01	PCK-02	PCK-03	PCK-04	PCK-05	PCK-06	PCK-07	PCK-08
0-1	1.816,4	256,3	123,6	231,8	703,9	696,3	859,9	688,8
1-2	498,4	70,3	33,9	63,6	193,1	191,0	235,9	189,0
2-3	234,7	33,1	16,0	30,0	91,0	90,0	111,1	89,0
3-4	121,8	17,2	8,3	15,5	47,2	46,7	57,7	46,2
4-5	59,0	8,3	4,0	7,5	22,9	22,6	27,9	22,4
5-6	19,1	2,7	1,3	2,4	7,4	7,3	9,0	7,2

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la metodología descrita en la sección 3.4.2 se pueden estimar los días de mal olor equivalentes, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 20. Días equivalente de olor por distancia estimadas para el año 2027 en situación línea base

Distancia [km]	PCK-01	PCK-02	PCK-03	PCK-04	PCK-05	PCK-06	PCK-07	PCK-08
0-1	364,95	258,46	147,92	246,35	361,09	349,80	362,07	344,72
1-2	312,57	90,61	43,90	83,83	228,28	182,81	236,42	171,57
2-3	201,43	44,02	21,06	40,33	124,39	94,63	130,29	87,78
3-4	116,10	22,96	11,18	21,19	67,38	50,26	70,75	46,78
4-5	58,44	11,25	5,49	10,42	33,11	24,88	34,98	22,73
5-6	19,42	3,87	1,70	3,80	11,04	8,48	11,81	7,62

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Reducción de días equivalente de olor por distancia estimadas para el año 2027

Distancia [km]	PCK-01	PCK-02	PCK-03	PCK-04	PCK-05	PCK-06	PCK-07	PCK-08
0-1	3,06	58,45	43,55	56,71	13,58	46,15	15,23	57,28
1-2	77,92	27,57	13,88	24,90	51,23	62,12	61,24	63,59
2-3	72,52	13,66	6,63	12,32	33,44	35,10	40,28	35,07
3-4	46,05	7,23	3,62	6,21	19,01	18,95	22,95	19,04
4-5	24,00	3,66	1,69	2,88	9,38	9,73	12,02	9,51
5-6	7,97	0,94	0,14	1,26	3,30	3,22	3,78	3,15

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Población afectada por olores

Se considera que las personas afectadas por las plantas son aquellas que viven en un radio de 10 km. en torno a las plantas. Este radio considera como justificación el alcance máximo modelado en los EIO disponibles. Y los antecedentes del estudio realizado por (Das & Roy, 2014) que demostró que los precios de las viviendas se veían afectados en un radio de 8 km, ante la presencia de una planta emisora de olores de TRS de similar tamaño a las plantas más pequeñas de Chile.

A través de la información del CENSO 2017 se estimó la población afectada por las plantas y la distancia a la que esta se encuentra.

Tabla 22. Cantidad de personas afectadas por olores de plantas de celulosa Kraft o al Sulfato

Rango de distancia en km.	PCK-01	PCK-02	PCK-03	PCK-04	PCK-05	PCK-06	PCK-07	PCK-08	Total
0-1		5.165		1.427		551	837		7.980
1-2		13.037	16	9.031		1.454	4.835		28.373
2-3		13.376	1.165	4.806			5.595		24.942
3-4	1.902	2.444	1.809	3.649			8.450		18.254
4-5	2.094		190	34	178		3.140		5.636
5-6	1.610		129		59			4.586	6.384
6-7	2.097				559		693	2.794	6.143
7-8	1.151				1.615		1.047	2.387	6.200
8-9	172				2.199		1.323		3.694
9-10	4.475				5.440		444		10.359
Total	13.501	34.022	3.309	18.947	10.050	2.005	26.364	9.767	117.965

Fuente: (DICTUC, 2023).

Adicionalmente, las comunas con plantas de fabricación de pulpa Kraft o al sulfato registraron en 2022 una tasa promedio de pobreza por ingresos de 11,8%, en comparación con el promedio nacional de 10,8%. En el caso de la pobreza multidimensional, en 2017, las comunas con estas instalaciones registraron un 23,7% de incidencia, frente a un 20,7% a nivel nacional. Finalmente, un 38,7% de los hogares está liderado por mujeres y un 11% de la población son adultos mayores.

4.6. Costos

En base a la metodología explicada en la sección 3.3 se seleccionaron las tecnologías de abatimiento detalladas en la sección 7.1 de Anexos. Los costos anualizados de las tecnologías

de abatimiento, para el año 2027 ascienden a los USD 3,97 millones, como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Costos por medida en dólares

Planta	Tratamiento venteos	Mitigación Horno de Cal	Mitigación en Torres Enfriamiento	Mitigación en Lagunas de Emergencia	Mitigación en Estanque Neutralización	Total
PCK-01	0	0,72	0,08	0,006	0,02	0,82
PCK-02	0,39	0	0	0,003	0,01	0,41
PCK-03	0,29	0,14	0	0,003	0,01	0,44
PCK-04	0,20	0	0,06	0,000	0	0,26
PCK-05	0,14	0	0,06	0,004	0	0,21
PCK-06	0,08	0,45	0,08	0,000	0,01	0,63
PCK-07	0	0	0,08	0,003	0	0,08
PCK-08	0,59	0,48	0,04	0,007	0,01	1,13
Total	1,69	1,79	0,41	0,026	0,06	3,97

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se estima que los costos de las practicas operacionales ascenderían a USD 0,34 millones (8.080 UF) y los costos de fiscalización serían de USD 0,03 millones (860 UF) anuales. Con esto, se obtiene un costo total anualizado de USD 4,33 millones anuales. De este modo los costos de inversión, operación y mantención representarían un 91,2%, las medidas de control un 7,9% y las fiscalizaciones un 0,8%.

Cabe destacar que la metodología de evaluación de costos trabaja bajo el supuesto de que se elige la medida más costo-efectiva de abatimiento para cada unidad emisora. Es por esto que, en cada caso, la evaluación asignó la tecnología de abatimiento clasificada como “económica” según se muestra en la sección 7.1 de Anexos.

4.7. Beneficios

Los beneficios totales de la norma son de 4,62 MM USD anualmente (año base 2017), los cuales fueron calculados según la metodología de las secciones (3.4.1, 3.4.2 y 3.4.3), estos son presentados a continuación

Tabla 24. Beneficios totales de la normativa por planta en MM USD

ID Planta	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
PCK-01	0,000	0,000	0,217	0,217	0,218	0,220	0,220	0,222	0,223	0,224
PCK-02	0,000	0,000	1,609	1,603	1,623	1,620	1,629	1,641	1,646	1,647
PCK-03	0,000	0,000	0,034	0,033	0,033	0,033	0,034	0,034	0,036	0,034
PCK-04	0,000	0,000	1,320	1,321	1,322	1,323	1,323	1,324	1,325	1,326
PCK-05	0,000	0,000	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018
PCK-06	0,000	0,000	0,176	0,176	0,177	0,177	0,178	0,178	0,179	0,180
PCK-07	0,000	0,000	1,093	1,101	1,105	1,111	1,116	1,124	1,125	1,133
PCK-08	0,000	0,000	0,150	0,152	0,153	0,150	0,152	0,153	0,155	0,160
Total	0,000	0,000	4,617	4,622	4,648	4,654	4,671	4,695	4,706	4,722

Fuente: Elaboración propia.

4.7.1. Beneficios a la salud

A continuación, se presentan los beneficios a la salud según la metodología especificada en la sección 3.4.1.

Tabla 25. Beneficios a la salud USD por año

2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
0	0	1.056	1.057	1.058	1.060	1.061	1.063	1.064	1.066

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de beneficios a la salud serían pequeños respecto a los beneficios totales de la norma, sin embargo, es la primera vez que se cuenta con evidencia estadística de los efectos en salud de los compuestos TRS en Chile, es posible que a medida que aumente el conocimiento se descubran más efectos. Además, hay que considerar también los beneficios por reducción de olores, lo que se presenta a continuación.

4.7.2. Beneficios por reducción de emisiones de olor

A continuación, se presentan los beneficios por reducción de olores de días con concentración mayor a 3 ou_E/m³, según la metodología descrita en la sección 3.4.2.

Tabla 26. Beneficios por reducción de olores en MM USD

ID Planta	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
PCK-01	0	0,000	0,217	0,217	0,218	0,220	0,220	0,222	0,223	0,224
PCK-02	0	0,000	1,235	1,229	1,248	1,245	1,254	1,265	1,270	1,271
PCK-03	0	0,000	0,021	0,020	0,020	0,020	0,021	0,022	0,023	0,021
PCK-04	0	0,000	0,544	0,545	0,546	0,547	0,547	0,547	0,549	0,549
PCK-05	0	0,000	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
PCK-06	0	0,000	0,165	0,166	0,166	0,167	0,167	0,168	0,168	0,169
PCK-07	0	0,000	1,093	1,101	1,105	1,111	1,116	1,124	1,125	1,133
PCK-08	0	0,000	0,022	0,022	0,023	0,020	0,020	0,021	0,021	0,026
Total	0	0,000	3,300	3,303	3,328	3,333	3,349	3,371	3,381	3,396

Fuente: Elaboración propia.

4.7.3. Beneficios por tratamiento de venteos

Se estimaron los beneficios que traen las reducciones de días de olor por tratamiento de venteos, siguiendo la metodología de la sección 3.4.3, obteniéndose beneficios anuales de 1.317.204 USD.

Tabla 27. Beneficios por reducción de olores al tratar venteos en MM USD

ID Planta	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
PCK-01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCK-02	0	0	0,374	0,374	0,375	0,375	0,375	0,375	0,376	0,376
PCK-03	0	0	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
PCK-04	0	0	0,776	0,776	0,776	0,776	0,776	0,776	0,777	0,777
PCK-05	0	0	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
PCK-06	0	0	0,010	0,010	0,010	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
PCK-07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCK-08	0	0	0,128	0,129	0,130	0,131	0,132	0,133	0,133	0,134
Total	0	0	1,317	1,318	1,320	1,321	1,322	1,323	1,325	1,326

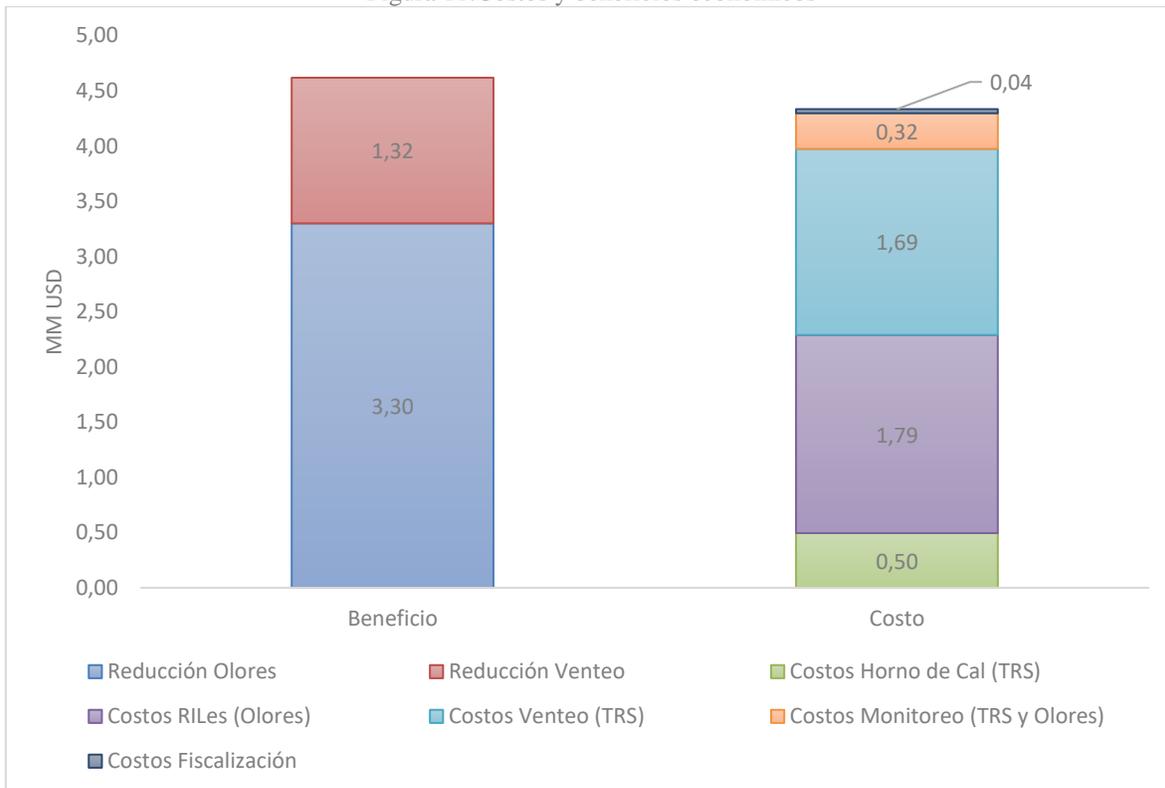
Fuente: Elaboración propia.

4.8. Análisis Costo-Beneficio

La relación costo/beneficio nos indica que si un proyecto es socialmente rentable o no. En este caso los costos son mayores a los beneficios, teniendo una relación beneficio/costo de 1,07, lo que indica que el proyecto es socialmente rentable. Además, hay beneficios que no fueron valorizados como la justicia ambiental y mejora en la dignidad de las personas que trae este proyecto.

A continuación, se muestra gráficamente la relación entre los costos y beneficios, cabe destacar que los beneficios del abatimiento serían mayores a los costos del abatimiento.

Figura 11. Costos y beneficios económicos



Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones

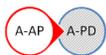
La presente evaluación determina que, la implementación de la normativa traerá la reducción de la emisión de olores para la población afecta, lo que se traducirá en un beneficio para aproximadamente 118.000 habitantes, mejorando su calidad de vida.

De acuerdo con los resultados estimados por este AGIES los beneficios valorizados debido a la implementación de la regulación ascienden a USD 4,62 MM por año, mientras que sus costos corresponden a USD 4,33 MM anuales, obteniéndose una relación beneficio costo favorable, lo que indica desde el punto de vista económico que la propuesta de anteproyecto es socialmente rentable.

Adicionalmente, destaca el aporte que esta norma genera en términos de justicia ambiental. El concepto de justicia ambiental hace referencia al “tratamiento justo y el involucramiento significativo de todas las personas (...) respecto al desarrollo, implementación y ejecución de políticas, regulaciones y leyes ambientales” (US EPA, 2022). Esto tiene que ver, por una parte, con que ningún grupo reciba una carga desproporcionada de las consecuencias ambientales de acciones de privadas o gubernamentales y, por otra, con que todas las personas tengan la oportunidad de participar en la toma de decisiones ambientales. De este modo, la norma propuesta reduce la carga ambiental desproporcionada que padecen grupos vulnerables de la población.

De igual manera, la dignidad con la que viven las personas o el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, son dimensiones de los beneficios normativos que difícilmente pueden ser valorizados en términos monetarios, incluso a pesar de la existencia de técnicas de valoración especializadas. Debido a la naturaleza abstracta e inconmensurable de la dignidad humana (Martínez, 2011), estos beneficios normativos escapan de la evaluación técnica realizada y están más allá del alcance del presente AGIES. El análisis normativo de los proyectos, pues permite tener una mirada más integral que ayude a evitar conflictos socioambientales y promueva mejores estándares de calidad de vida.

Es importante señalar que los resultados obtenidos en este análisis obedecen a los límites regulatorios establecidos por la Normativa, a la metodología y supuestos considerados en esta evaluación, y deben ser considerados como un antecedente más para la toma de decisiones, a la cual se debe incorporar otros elementos relevantes para la discusión del instrumento, como los antes mencionados.



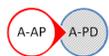
6. Bibliografía

- Arrow, K., Cropper, M., Eads, G., Hahn, R., Lave, L., Noll, . . . Stavins, R. (1996). Is There a Role for Benefit-Cost Analysis in Environmental, Health, and Safety Regulation? *Science*, 272(5259), 221-222.
- ASTDR. (2016). *Appendix E Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Hydrogen Sulfide Fact Sheet. 1–2.*
- ATSDR. (2016). *Appendix E Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Hydrogen Sulfide Fact Sheet. 1–2.*
- Cardemil. (2021). *Industria Forestal en Chile*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Serie Minutas, n° 68, 21.
- Cliodinámica. (2021). *LEVANTAMIENTO DE ENCUESTA PARA LA ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS AMBIENTALES PARA REGULACIÓN DE OLORES DEL RUBRO CENTROS DE CULTIVO Y PLANTAS PROCESADORAS DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS.*
- 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.
- DICTUC. (2013). *Guía Metodológica. Para la Elaboración de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire*. Solicitado por el Ministerio de Medio Ambiente.
- DICTUC. (2023). *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.*
- EPA. (1990). Fifth Edition, Volume I Chapter 10: Wood Products Industry, section 10.2 Chemical Wood Pulping. Visitado el 21 de diciembre del 2022. En *Environmental Protection Agency, United States*. Obtenido de <https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-10/documents/c10s02.pdf>
- FAO. (2019). *Forestry Production and Trade*. Obtenido de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
- GOOA. (2008). *Detection and Assessment of Odour in Ambient Air*. German.
- Instituto Forestal. (2022). *Anuario Forestal Chilean Statistical Yearbook Of Forestry*. Santiago.
- Lave, L., & Gruenspecht, H. (1991). Increasing the Efficiency and Effectiveness of Environmental Decisions: Benefit-Cost Analysis and Effluent Fees A Critical Review. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 41(5), 680-693.
- Martínez, A. (2011). *El ecologismo de los pobres: conflictos ambientales y lenguajes de valoración*. Quinta Edi. ed. Espiritrompa.
- MMA. (2017). *Manual para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones Atmosféricas*. Obtenido de 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). *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.*

*MMA. (2023). ANTEPROYECTO DE NORMA DE EMISIÓN ELABORADO A PARTIR DE
LA REVISIÓN DEL DECRETO SUPREMO N°37, DE 2012, DEL MINISTERIO DEL
MEDIO AMBIENTE.*



7. Anexos

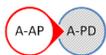
7.1. Medidas de abatimiento

Tabla 28. Costos unitarios de las medidas de abatimiento

Unidad emisora	MTD	Costo inversión	Unidad	Costo operación	Unidad	Costo mantención	Unidad	Clasificación	Eficiencia
Horno de cal	Instalación de lavado y filtración mejorados en los lodos de cal	94	[UF/kADT cap]	9,363	[UF/kADT prod]	0,942	[UF/kADT cap-año]	Económico	0,8
	Scrubber alcalino	659	[UF]/kADT cap]	47,76	[UF/kADT prod]	5,042	[UF/kADT cap-año]	Costoso	0,8
Venteos	Agentes neutralizantes	2.143	[UF/punto de venteo]	38,19	[UF/min]	264.2	[UF/punto-año]	Económico	0,65
	Scrubber alcalino	263.710	[UF/scrubber]	58,15	[UF/día venteo]	19.102	[UF/punto-año]	Costoso	0,8
Laguna de emergencia	Cobertura de lagunas	0,006	[UF/m ²]	0	-	0	0	Económico	0,7
		0,055		0	-	0	0	Costoso	0,7
Estanque de neutralización	Biofiltro	766	[UF/ estanque]	41,9	[UF/ estanque-año]	4,192	[UF/estanque-año]	Económico	0,8
	Filtro de carbón activado	3.325	[UF/ estanque]	4.768	[UF/ estanque-año]	4772	[UF/estanque-año]	Costoso	0,88
Torres de enfriamiento	Reemplazo de torres de enfriamiento por intercambiador de calor	352	[UF/1.000 m ³ h]	353	[UF/ 1.000 Nm ³ h]	42	[UF/ 1.000 Nm ³ h]	-	0,75

Fuente: Elaboración propia basada en (DICTUC, 2023).

Nota: En vista del principio de costo-efectividad, para cada planta se consideró la aplicación de la medida de abatimiento de clasificación “económica”.



7.2. Factor de emisión TRS

Tabla 29. Factor de emisión de los equipos de oxidación y emisión de TRS

ID Unidad de Emisión	Concentración promedio reportada [ppm]	Tasa Emisión [kg TRS/minuto]
PCK-01-CR1	0,50	3,26
PCK-01-CR2	0,50	5,87
PCK-02-CR	1,13	8,81
PCK-03-CR	1,09	3,83
PCK-04-CR	0,37	2,29
PCK-05-CR	0,43	10,22
PCK-06-CR	0,31	3,71
PCK-07-CR1	1,02	9,87
PCK-07-CR2	1,85	41,20
PCK-08-CR	0,23	2,73
PCK-01-HC1	1,31	3,34
PCK-01-HC2	5,14	23,71
PCK-02-HC	0,53	1,60
PCK-03-HC	2,56	3,52
PCK-04-HC	2,67	6,40
PCK-05-HC	7,36	67,52
PCK-06-HC	6,15	28,66
PCK-07-HC1	1,69	6,39
PCK-07-HC2	2,41	20,92
PCK-08-HC	2,96	13,55
PCK-01-CP1	0,53	1,95
PCK-01-CP2	1,21	8,47
PCK-04-CP	0,23	1,81
PCK-01-Inc	2,39	
PCK-06-Inc	2,34	
PCK-07-Inc1	1,86	

Fuente: Elaboración propia basada en (DICTUC, 2023).

7.3. Factor de emisión de olores

Unidad	Factor de Emisión (ouE /s)/(kADT/año)
Agua de cola	3,5
Biorreactor AST	27,5
Biorreactor MBBR1	11,4
Biorreactor MBBR2	14,1
Bunker de lodos (a efluentes primarios)	37,8
Cámara de llegada efluentes parciales	0,1
Cámara de neutralización	19,0
Cámara de rejillas con drenado ADC	23,4
Canaleta Parshall secundario	6,4
Clarificador primario centro	20,9
Clarificador primario centro 1	1,8
Clarificador primario centro 2	1,4
Clarificador primario espejo	133,7
Clarificador primario espejo 1	24,0
Clarificador primario espejo 2	51,6
Clarificador secundario centro	4,1
Clarificador secundario centro 1	0,5
Clarificador secundario centro 2	0,6
Clarificador secundario espejo	499,7
Clarificador secundario espejo 1	14,6
Clarificador secundario espejo 2	19,4
Clarificador secundario rebalse 1	89,2
Clarificador secundario rebalse 2	81,1
Estanque de lodos (cont)	0,8
Edificio de prensa de lodos	0,2
Estanque de lodos	1,4
Estanque de neutralización	1706,3
Harnero de barras	2,3
Laguna de emergencia	303,0
Laguna de regulación	37,2
Parshall 4	1,6
Pozo 1 alto sólidos	1,7
Pozo de bombeo Sur/Este/Oeste	11,7
Prensa de lodos	4,8
Salida de tratamiento frotolítico (TK neutralización)	36,8

Torre de enfriamiento 1-extracción	560,3
Torre de enfriamiento 2-extracción	359,7
Torre de enfriamiento 3-extracción	350,7
Torre de enfriamiento 4-extracción	251,8
Torre de enfriamiento-rebalse	4,1
Torres de enfriamiento rebalse 1	0,5
Torres de enfriamiento rebalse 2	0,5
Torres de enfriamiento rebalse 3	0,6
Torres de enfriamiento rebalse 4	0,7

Fuente: Elaboración propia basada en (DICTUC, 2023).

7.4. Número de unidades por planta

Tabla 30. Número de unidades consideradas por planta.

Unidad de emisión	PCK-01	PCK-02	PCK-03	PCK-04	PCK-05	PCK-06	PCK-07	PCK-08
Agua de cola	0	0	0	1	0	0	0	0
Biorreactor AST	0	0	0	0	0	1	1	1
Biorreactor MBBR1	1,5	1	1	1	1	1	0	1
Biorreactor MBBR2	1,5	0	0	1	1	0	1	0
Bunker de lodos (a efluentes primarios)	0	0	0	0	0	0	1	0
Cámara de llegada efluentes parciales	0	0	0	1	0	0	0	2
Cámara de neutralización	0	0	0	0	1	0	1	0
Cámara de rejas con drenado ADC	1	3	3	0	1	0	1	1
Canaleta Parshall secundario	0	0	0	0	0	1	1	0
Clarificador primario centro	0	1	1	1	1	1	0	1
Clarificador primario centro 1	1	0	0	0	0	0	1	0
Clarificador primario centro 2	1	0	0	0	0	0	1	0
Clarificador primario espejo	0	0	1	1	1	1	0	1
Clarificador primario espejo 1	1	0	0	0	0	0	1	0
Clarificador primario espejo 2	1	0	0	0	0	0	1	0
Clarificador secundario centro	0	1	1	1	0	1	0	0
Clarificador secundario centro 1	1,5	0	0	0	1	0	1	1
Clarificador secundario centro 2	1,5	0	0	0	1	0	1	1
Clarificador secundario espejo	0	1	1	1	0	1	0	0
Clarificador secundario espejo 1	1,5	0	0	0	1	0	1	1
Clarificador secundario espejo 2	1,5	0	0	0	1	0	1	1
Clarificador secundario rebalse 1	1,5	0,5	0,5	0	1	0,5	1	1
Clarificador secundario rebalse 2	1,5	0,5	0,5	0	1	0,5	1	1
Estanque de lodos (cont)	1	3	3	1	1	1	0	1
Edificio de prensa de lodos	0	0	0	0	0	0	1	0
Estanque de lodos	1	1	1	1	3	1	1	1
Estanque de neutralización	2	1	1	1	1	1	0	1
Harnero de barras	0	1	1	1	0	0	0	0
Laguna de emergencia	3	1	1	0	2	0	1	2
Laguna de regulación	0	0	0	1	0	2	0	0
Parshall 4	0	0	0	1	0	0	0	0
Pozo 1 alto sólidos	0	0	0	1	0	0	0	0
Pozo de bombeo Sur/Este/Oeste	1	1	1	1	0	0	0	1
Prensa de lodos	1	1	1	1	2	1	0	1
Salida de tratamiento fotolítico (TK neutralización)	0	0	0	0	0	0	1	0
Torre de enfriamiento 1-extracción	1	0	0	1	1	1	1	1

Torre de enfriamiento 2-extracción	1	0	0	1	1	1	1	1
Torre de enfriamiento 3-extracción	1	0	0	1	1	1	1	0
Torre de enfriamiento 4-extracción	1	0	0	0	0	1	1	0
Torre de enfriamiento-rebalse	0	0	0	1	0	0	0	0
Torres de enfriamiento rebalse 1	1	0	0	0	1	1	1	1
Torres de enfriamiento rebalse 2	1	0	0	0	1	1	1	1
Torres de enfriamiento rebalse 3	1	0	0	0	1	1	1	0
Torres de enfriamiento rebalse 4	1	0	0	0	0	1	1	0

Fuente: Elaboración propia basada en (DICTUC, 2023)

Nota: Los destacados son los que se regulan en el anteproyecto.

7.5. Eficiencias actuales de abatimiento

Tabla 31. Eficiencias actuales de abatimiento.

Unidad de emisión	PCK-01	PCK-02	PCK-03	PCK-04	PCK-05	PCK-06	PCK-07	PCK-08
Agua de cola	0	0	0	0	0	0	0	0
Biorreactor AST	0	0	0	0	0	0	0	0
Biorreactor MBBR1	0	0	0	0	0	0	0	0
Biorreactor MBBR2	0	0	0	0	0	0	0	0
Bunker de lodos (a efluentes primarios)	0	0	0	0	0	0	0	0
Cámara de llegada efluentes parciales	0	0	0	0	0	0	0	0
Cámara de neutralización	0	0	0	0,88	0	0	0,982	0
Cámara de rejas con drenado ADC	0	0	0	0	0	0	0	0
Canaleta Parshall secundario	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador primario centro	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador primario centro 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador primario centro 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador primario espejo	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador primario espejo 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador primario espejo 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador secundario centro	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador secundario centro 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador secundario centro 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador secundario espejo	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador secundario espejo 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador secundario espejo 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador secundario rebalse 1	0	0	0	0	0	0	0	0
Clarificador secundario rebalse 2	0	0	0	0	0	0	0	0
Estanque de lodos (cont)	0	0	0	0	0	0	0	0
Edificio de prensa de lodos	0	0	0	0	0	0	0	0
Estanque de lodos	0	0	0	0	0	0	0,75	0
Estanque de neutralización	0	0	0	0,88	0,75	0	0,982	0
Harnero de barras	0	0	0	0	0	0	0	0
Laguna de emergencia	0	0	0	0	0	0	0	0
Laguna de regulación	0	0	0	0	0	0	0	0
Parshall 4	0	0	0	0	0	0	0	0

Pozo 1 alto sólidos	0	0	0	0	0	0	0	0
Pozo de bombeo Sur/Este/Oeste	0	0	0	0	0	0	0	0
Prensa de lodos	0	0	0	0	0	0	0,85	0
Salida de tratamiento fotolítico (TK neutralización)	0	0	0	0	0	0	0	0
Torre de enfriamiento 1-extracción	0	1	1	0	0	0	0	0
Torre de enfriamiento 2-extracción	0	1	1	0	0	0	0	0
Torre de enfriamiento 3-extracción	0	1	1	0	0	0	0	0
Torre de enfriamiento 4-extracción	0	1	1	0	0	0	0	0
Torre de enfriamiento-rebalse	0	1	1	0	0	0	0	0
Torres de enfriamiento rebalse 1	0	1	1	0	0	0	0	0
Torres de enfriamiento rebalse 2	0	1	1	0	0	0	0	0
Torres de enfriamiento rebalse 3	0	1	1	0	0	0	0	0
Torres de enfriamiento rebalse 4	0	1	1	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia basada en (DICTUC, 2023)

7.6. Resultados EIO

 Tabla 32. Frecuencia de percepción horaria $CP_{98\ 1-h} \geq 3[ou_E / m^3]$

Hora del día	R1	R2	R3	R4
0	231	151	54	13
1	228	157	52	19
2	224	165	50	20
3	232	168	55	14
4	239	160	44	24
5	233	157	41	17
6	212	137	36	25
7	181	127	20	27
8	143	93	15	11
9	100	60	10	3
10	68	45	10	1
11	63	36	5	0
12	51	28	1	0
13	41	16	0	1
14	40	19	2	0
15	41	18	6	0
16	57	33	11	0
17	78	47	11	0
18	105	80	17	5
19	142	99	18	4
20	186	122	32	8
21	223	127	41	13
22	240	146	55	14
23	237	134	51	26
Total	3.595	2.325	637	245

Fuente: Elaboración propia basada en EIO disponibles

7.7. Emisión de línea base de compuestos TRS por tipo de fuente

Tabla 33. Emisiones de línea base de compuestos TRS en ton/año proveniente de equipos de oxidación y emisión de TRS.

Planta	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
PCK-01	24.732	24.791	24.851	24.911	24.970	25.030	25.089	25.149	25.208	25.268
PCK-02	5.619	5.656	5.693	5.729	5.766	5.802	5.839	5.875	5.912	5.949
PCK-03	3.964	3.990	4.016	4.042	4.067	4.093	4.119	4.145	4.171	4.196
PCK-04	6.485	6.489	6.492	6.495	6.498	6.502	6.505	6.508	6.511	6.515
PCK-05	41.577	41.756	41.936	42.115	42.294	42.473	42.653	42.832	43.011	43.190
PCK-06	17.010	17.010	17.010	17.010	17.010	17.010	17.010	17.010	17.010	17.010
PCK-07	42.730	43.114	43.497	43.880	44.264	44.647	45.030	45.414	45.797	46.180
PCK-08	8.877	8.956	9.036	9.116	9.195	9.275	9.354	9.434	9.514	9.593
Total	150.995	151.763	152.530	153.298	154.065	154.833	155.600	156.367	157.135	157.902

Fuente elaboración propia.

Tabla 34. Emisiones de línea base de compuestos TRS en ton/año proveniente de venteos.

Planta	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
PCK-01	17,4	17,4	17,4	17,5	17,5	17,6	17,6	17,6	17,7	17,7
PCK-02	11,4	11,4	11,5	11,6	11,6	11,7	11,7	11,8	11,8	11,9
PCK-03	8,8	8,9	8,9	9,0	9,0	9,1	9,1	9,1	9,2	9,2
PCK-04	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
PCK-05	35,5	35,6	35,7	35,8	35,9	36,0	36,2	36,3	36,4	36,5
PCK-06	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
PCK-07	47,2	47,5	47,9	48,2	48,5	48,8	49,2	49,5	49,8	50,1
PCK-08	40,4	40,7	41,0	41,3	41,6	41,8	42,1	42,4	42,7	43,0
Total	183,5	184,3	185,2	186,1	187,0	187,8	188,7	189,6	190,4	191,3

Fuente elaboración propia.

Tabla 35. Emisiones de línea base de compuestos TRS en ton/año proveniente de fuentes difusas.

Planta	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
PCK-01	718,5	720,7	722,9	725,1	727,4	729,6	731,8	734,0	736,2	716,3
PCK-02	83,5	84,0	84,6	85,1	85,7	86,2	86,7	87,3	87,8	83,0
PCK-03	46,7	47,0	47,3	47,6	47,9	48,2	48,5	48,8	49,1	46,4
PCK-04	237,9	238,1	238,3	238,4	238,6	238,8	238,9	239,1	239,3	237,7
PCK-05	109,4	109,9	110,4	110,9	111,3	111,8	112,3	112,7	113,2	109,0
PCK-06	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4	153,4
PCK-07	180,1	181,7	183,4	185,0	186,6	188,2	189,8	191,4	193,0	178,5
PCK-08	66,1	66,6	67,2	67,8	68,4	69,0	69,6	70,2	70,8	65,5
Total	1.595,6	1.601,5	1.607,4	1.613,3	1.619,2	1.625,0	1.630,9	1.636,8	1.642,7	1.589,7

Fuente elaboración propia.

8. Ficha del AGIES

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Análisis General de Impacto Económico y Social del Anteproyecto de la Revisión de la Norma de Emisión de Contaminantes en Fabricación de Pulpa Kraft o al Sulfato que, en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de vida de la población .
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	Anteproyecto de Norma de Emisión de Contaminantes en Fabricación de Pulpa Kraft O al Sulfato que, en función de sus olores, generan molestia y constituyen un riesgo a la calidad de Vida de la Población.
	Tipo de regulación	Norma de emisión
	Fecha de término del AGIES	31/10/2023
	Alcance geográfico	Nacional
	Instrumento nuevo o revisión	Revisión
	Área de aplicación	Asuntos Atmosféricos
Metodología	Metodología	Análisis Costo-Beneficio
	Normativas consideradas de línea base	Decreto Supremo N°37, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece la Norma de emisión de compuestos TRS, generadores de olor, asociados a la fabricación de pulpa Kraft o al sulfato
	Nivel de evaluación de costos	Se valoraron costos por tecnologías de abatimiento, costos de reporte y monitoreo, costos de fiscalización
	Nivel de evaluación de beneficios	Se valoraron beneficios monetarios por reducción de horas de Olor. Se identificaron beneficios no monetarios asociados a justicia ambiental.
	Tasa de descuento	6%
	Años de evaluación	2025-2034
Parámetros	Valor del dólar	843,9 pesos/dólar (promedio móvil de octubre 2022 a octubre 2023)
	Valor de la UF	36.197,53 pesos/UF (30 de septiembre 2022)
Resultados	Costos anualizados estimados en MMUSD	Millones USD 4,33
	Beneficios anualizados estimados en MM USD	Millones USD 4,62
	Razón beneficio costo	1,07
	Beneficio neto anualizado	Millones USD 0,28