



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 PARA LA REGULACIÓN DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES (D.S. N°90/2000)

Diciembre 2020

Presentación

En conformidad a lo dispuesto en el artículo 70 letra c) de la Ley N°19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el órgano encargado de coordinar el diseño y establecimiento de normas de calidad y de emisión, así como planes de descontaminación y prevención ambiental. En dicho marco, de acuerdo con lo establecido en los artículos 32 y 40 de la Ley N°19.300 y en el artículo 15 del Decreto Supremo N° 38, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba el Reglamento para la dictación de normas de calidad y emisión, se requiere de un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) de la presente propuesta normativa, de tal forma que el AGIES sirva como apoyo a la Participación Ciudadana (PAC) y a la toma de decisiones enfocada principalmente en el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS). Es tarea del Departamento de Economía Ambiental (DEA) del MMA realizar el AGIES.

El proceso de elaboración (o revisión) de una norma de emisión, desde el desarrollo del Anteproyecto hasta su aprobación, contempla la elaboración de dos documentos:

- AGIES del Anteproyecto (A-AP) para ser insumo y apoyar el proceso de participación ciudadana.
- AGIES para el Proyecto Definitivo (A-PD), que corresponde a una actualización de los valores del AGIES del Anteproyecto, según los cambios establecidos después del proceso de PAC, de tal forma de apoyar al CMS en la toma de decisión.

Si bien el A-AP y A-PD constituyen un antecedente para nutrir y complementar los procesos de toma de decisión, se debe destacar que los AGIES no deben ser considerados como el único criterio para la toma de decisión. Tanto el A-AP como la actualización para el Proyecto Definitivo, corresponden a uno de los múltiples elementos que deben ser ponderados en la toma de decisión. Otros antecedentes pueden ser, por ejemplo, antecedentes geográficos y demográficos, datos históricos y culturales; situación política y la percepción pública respecto a la contaminación; prevalencia de conflictos socioambientales.

El presente documento corresponde a la elaboración del AGIES del Anteproyecto (en rojo, Figura A) de la Revisión de la Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales (D.S. N°90/2000).



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

En este documento se evalúa económicamente el cumplimiento de la Norma de Emisión propuesta por el Anteproyecto, respecto de los valores de emisión establecidos en la norma vigente¹ (D.S. N°90/2000 de MINSEGPRES). Por ende, en este análisis se identifican y cuantifican los costos y beneficios, que implica el cumplimiento del Anteproyecto, según la mejor información disponible por el MMA a la fecha de evaluación.

¹ Cuando se evalúa la revisión de una norma, la “situación actual” corresponde a un escenario de línea base donde ya existe la norma (*norma existente*), mientras que la situación con anteproyecto simula el cumplimiento del anteproyecto de revisión de norma respecto de la “situación actual” (*con norma revisada vs con norma existente*) independiente del estado de cumplimiento de la norma vigente. Es decir, la línea base de comparación es el ‘ambiente normativo’ vigente. Este razonamiento permite que no exista un doble conteo en los costos y beneficios estimados en las evaluaciones económicas de los instrumentos de gestión ambiental dictados por el MMA.

Resumen

El presente documento corresponde al AGIES del Anteproyecto (A-AP) de la revisión de la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales D.S. N°90/2000, la que tiene por objeto prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales en todo el territorio nacional, estableciendo límites² de emisión para contaminantes en los residuos líquidos, de acuerdo con el tipo de cuerpo de agua receptor (ver Tabla 1).

El AGIES evalúa los costos y beneficios asociados al cumplimiento del Anteproyecto (AP), adicionales a la norma vigente (D.S. N°90/2000). A continuación, se sintetizan los principales cambios en el diseño regulatorio respecto a la norma vigente, y que inciden en la evaluación económica:

- Se incorpora la T6, que establece límites de emisión para descargas en estuarios.
- Modificación en la Zona de Protección Litoral (ZPL), lo que conlleva, según la ubicación de la fuente emisora, que deba cumplir T4 en vez de T5.
- Se define de “Cuerpo fluvial afluente de cuerpo de agua lacustre”, lo que implica que fuentes emisoras regidas por T1 o T2 deberán cumplir los límites máximos de emisión establecidos en la T3.
- Se regulan nuevos contaminantes para descargas en todos los cuerpos de agua: Cloro Libre Residual (CLR) y Trihalometanos (THMs). Para descargas en cuerpos de agua lacustres y estuarinos (T3 y T6, respectivamente), se incluyen los cloruros como contaminante regulado.
- Se incorporan los Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios (ECMPO) como áreas de resguardo, para los que se establece un límite de Coliformes Fecales más estricto en la T4.
- Modificación en criterios de tolerancia de excedencia (T9 AP, ver Tabla 2).
- Exigencia de monitoreo anual completo (Art. 27) e inclusión de monitoreo anual de contaminantes adicionales (Tabla 10 AP).
- Disminución en el umbral del volumen de descarga que define frecuencia de monitoreo y diferenciación en frecuencia de monitoreo (ver Tabla 2).
- Los artefactos navales deben someterse a calificación de fuente emisora y cumplir con la tabla que les corresponda en función de su ubicación geográfica.
- Se modifican plazos de implementación de la regulación.

² Máximos o mínimos, según corresponda.

En cuanto a la evaluación económica, se destaca lo siguiente:

- La línea base de fuentes emisoras se construye para el año 2018 con datos reportados por las fuentes emisoras a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).
- El Anteproyecto implicaría que 121 de las 865 fuentes emisoras deban cumplir con nuevos límites máximos de emisión, 72 de las cuales cambian desde T5 a T4 (ver detalle en Tabla 13).
- Para la mayoría de los parámetros, las cargas (ton/día) de línea base (año 2018) se concentran en la zona centro (zona C) y centro-sur (zona D) del país (ver Figura 7).
- Debido a la implementación de la norma, se reducirán mayoritariamente cargas (en toneladas diarias) de contaminantes no-metálicos, contaminantes orgánicos y físicos (Tabla A).
- El anteproyecto de la revisión de esta norma de emisión generará la mayor reducción de emisiones en la zona sur del país (zona D), especialmente en cuerpos de agua marinos (dentro de la ZPL) y estuarinos (ver Figura 11). Esta zona cuenta con una gran cantidad de especies acuáticas en categorías de conservación³ (ver Figura 11). Además, se observa el mayor desembarque (toneladas/año) de especies hidrobiológicas comerciales (Figura 12), lo que implica que la reducción de emisiones beneficiaría la conservación de especies y habitats.
- En plena vigencia de la regulación, es decir cuando se estén aplicando plenamente las 6 tablas, los costos asociados a la implementación de la norma se estiman en US\$6,69 millones al año. Estos recaen principalmente en los titulares de las fuentes emisoras (US\$6,63 millones al año) y en menor medida en el Estado por medio de la fiscalización y monitoreo (ver Tabla 19 y Figura C).
- Los beneficios económicos, calculados mediante tres metodologías independientes, se estiman en un rango entre MM US\$32,6 y MM US\$293,5 al año (ver, Figura C).

A partir de los resultados, se concluye que el anteproyecto de la revisión de la norma D.S.90/2000 reduce la carga de contaminantes en los cuerpos de agua superficiales del país, generando importantes beneficios sociales y económicos a través de la protección de ecosistemas y contribuyendo a la provisión de los servicios ecosistémicos que éstos entregan. Además, y en base a los costos y beneficios valorizados, se concluye que la norma evaluada es socialmente rentable.

Adicionalmente, se considera que la norma contribuye a la protección de la biodiversidad a nivel nacional, y a una importante cantidad de especies con valor comercial, sustento de pescadores artesanales. En consecuencia, beneficia a grupos sociales particularmente vulnerables a la pobreza multidimensional, como lo son los pescadores artesanales

³ Con especies en alguna categoría de conservación se entienden especies: “en peligro”, “en peligro crítico”, “amenazada”, “vulnerable” y “rara”, según la categoría de conservación más vigente (diciembre 2018) del MMA. Se considera el 14° Proceso de Clasificación de Especies (<http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/decimo-cuarto-proceso.htm>). Se utiliza el término en categoría de conservación, porque es la terminología empleada por el Ministerio en estas materias.

(Huenchuleo & De Kartzow, 2018; Mondaca-Schachermayer et al., 2011; ver Tabla 14). Estos elementos contribuyen a que Chile cumpla con los lineamientos establecidos por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, UN⁴), en particular con los objetivos número 1⁵, 6⁶ y 14⁷, relacionados al término de la pobreza y la protección de los ecosistemas acuáticos. Por ende, el anteproyecto de norma propuesto es consistente con el compromiso de reducir la contaminación y promover el desarrollo económico sustentable.

⁴ UN: Naciones Unidas, por sus siglas en inglés. <http://www.onu.cl/es/sample-page/odm-en-chile/>

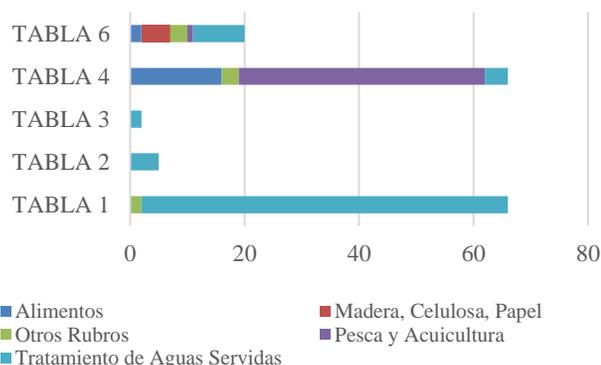
⁵ Objetivo 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo

⁶ Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos

⁷ Objetivo 14: Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos

Figuras y Tablas

Figura B. Número de fuentes emisoras que superarían la norma propuesta en al menos un parámetro al AP, diferenciado por rubro y tabla.



La Figura B da cuenta de la cantidad de fuentes emisoras que incumplirían en al menos un parámetro la norma propuesta, las que ascienden a 159. En esta figura se puede observar que serían las plantas de tratamiento de aguas servidas las que presentan una mayor cantidad de incumplimientos, especialmente cuando descargan a cuerpos de agua sin capacidad de dilución, asociados a la T1. Por otro lado, en T4 son las fuentes del rubro Pesca y acuicultura las que lideran en el número de incumplimientos. Noo hay incumplimientos asociados a T5.

Tabla A. Distribución de cargas (ton/día) a nivel nacional y reducción de emisiones por tipología de contaminante.

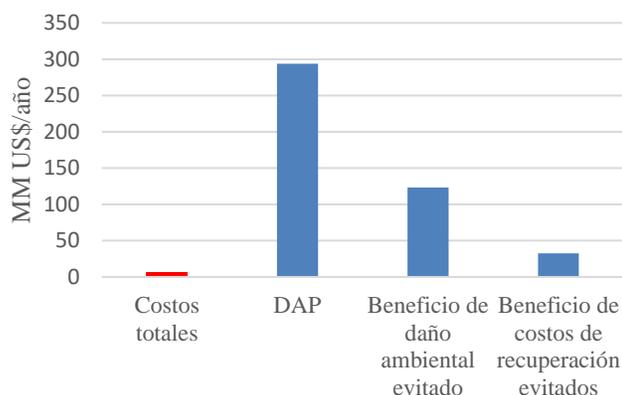
Tipo de contaminante	Carga actual de línea base	Carga norma propuesta	Reducción por norma propuesta
No Metal	728,78	644,20	84,58
Orgánico	1.290,95	1.260,58	30,37
Físico	1.012,90	962,47	50,43
Nutriente	1.450,04	1.440,49	9,55
Compuesto de azufre	3.680,75	3.679,89	0,87
Metal	8,25	8,22	0,03
Halogenado	12,29	12,29	0,00
Inorgánico	0,24	0,24	0,00
Total	8.184,20	8.008,38	175,82

La Tabla A muestra, según clasificación por tipo de parámetro, la carga actual de línea base (2018)⁸, la carga que debiera existir al cumplirse la norma propuesta y el diferencial entre ambas (para detalle de cada parámetro y su clasificación, ver Tabla 4).

Según la Tabla A, los compuestos que más debieran reducir emisiones son los No Metales, seguidos por los contaminantes orgánicos.

En total, considerando todos los contaminantes, se necesitan reducir 175,8 toneladas de contaminantes al día a lo largo del territorio nacional.

Figura C. Costos y Beneficios asociados al anteproyecto de norma en MM USD/año



La Figura C muestra los costos y beneficios económicos asociados al anteproyecto de norma. Los costos de abatimiento y monitoreo se muestran agrupados, mientras que los beneficios se diferencian según metodología

Los costos son estimados en US\$6,69 millones al año y corresponden a los costos que incurrirían el Estado y los titulares de las fuentes emisoras en plena vigencia de la regulación. Los beneficios, calculados mediante tres metodologías, se estiman en un rango de entre US\$32,63 y US\$293,5 millones al año.

Estos costos y beneficios corresponden al momento de plena vigencia de la regulación.

⁸ Se considera cumplimiento total de normativa vigente (D.S.N°90/2000)

ÍNDICE

RESUMEN	3
ÍNDICE	7
1. ANTECEDENTES	8
1.1 DISEÑO NORMATIVO	8
1.2 FUENTES EMISORAS REGULADAS Y NUEVOS CONTAMINANTES A NORMATAR.....	13
2. METODOLOGÍA DEL AGIES	15
2.1 METODOLOGÍA GENERAL	15
2.2 LÍNEA BASE DE EMISIONES	16
2.3 ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO	18
2.4 REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	20
2.5 COSTOS.....	21
2.5.1 <i>Costos de abatimiento</i>	22
2.5.2 <i>Costos de monitoreo y caracterización de Fuente Emisora</i>	24
2.5.3 <i>Costos de fiscalización</i>	26
2.6 BENEFICIOS.....	27
2.6.1 <i>Beneficios a especies y ecosistemas</i>	28
2.6.2 <i>Beneficios al bienestar humano</i>	29
2.7 GRADUALIDAD TEMPORAL DE LA REGULACIÓN	37
3. RESULTADOS	39
3.1 LÍNEA BASE DE EMISIONES	39
3.2 ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO	41
3.3 REDUCCIÓN DE EMISIONES.....	43
3.4 COSTOS.....	44
3.4.1 <i>Costos de abatimiento</i>	45
3.4.2 <i>Costos de monitoreo y caracterización de Fuente Emisora</i>	46
3.4.3 <i>Costos de fiscalización</i>	46
3.5 BENEFICIOS.....	46
3.5.1 <i>Beneficios a especies y ecosistemas</i>	47
3.5.2 <i>Beneficios al bienestar humano</i>	52
3.6 INDICADORES ECONÓMICOS	57
4. CONCLUSIONES	58
5. ANEXOS	60
5.1 CAMBIOS EN EL DISEÑO NORMATIVO	60
5.2 ASIGNACIÓN DE ZONAS SEGÚN CUENCAS	71
5.3 COSTOS DE ABATIMIENTO	72
5.3.1 <i>Tecnologías de Abatimiento</i>	72
5.3.2 <i>Eficiencias de remoción</i>	75
5.3.3 <i>Curvas de Costo de Abatimiento</i>	83
5.4 COSTOS DE MONITOREO	90
5.5 PARÁMETROS DE ANÁLISIS Y USO DE SOFTWARES.....	91
6. REFERENCIAS	92

1. Antecedentes

El Anteproyecto de revisión de la norma modifica diversos aspectos claves a esta respecto de su versión vigente, en vista de la necesidad de efectuar cambios para su adecuada interpretación, implementación y control, además de la necesidad de incorporar nuevas herramientas dirigidas al mejor cumplimiento de su objetivo, contribuyendo a una mejor aplicación de la misma, lo anterior genera, a su vez, impactos en los costos y beneficios asociados al cumplimiento de la misma. En este capítulo se describen las modificaciones entre la norma vigente (D.S. 90/2000) y el Anteproyecto de revisión de norma que inciden en la evaluación económica. En la sección 1.2 se describen las fuentes reguladas, así como los nuevos contaminantes que incorpora la revisión de norma.

1.1 Diseño normativo

Algunos cambios entre la norma vigente y el Anteproyecto evaluados en este análisis se relacionan con la inclusión de estuarios como cuerpo de agua sujeto a la norma y la delimitación cartográfica de la Zona de Protección Litoral (ZPL) desde Punta Puga a Cabo de Hornos. Tanto estos límites como los demás regulados, están tabulados en el Anteproyecto, según resume la Tabla 1.

Tabla 1. Tabulación de límites normativos según cuerpo de agua receptor. ZPL: Zona de Protección Litoral.

Cuerpo de agua receptor	Tabla del Anteproyecto
Fluviales sin capacidad de dilución	Tabla 1 (T1)
Fluviales con capacidad de dilución	Tabla 2 (T2)
Lacustres naturales y cuerpo fluvial afluente de cuerpo de agua lacustre	Tabla 3 (T3)
Marino dentro de la ZPL	Tabla 4 (T4)
Marino fuera de la ZPL	Tabla 5 (T5)
Estuarino	Tabla 6 (T6)

Otras modificaciones son la definición de cuerpos de agua afluente de cuerpos lacustres que impacta en fuentes emisoras que actualmente están regidas por T1 o T2 y que, producto del AP, serían regidas por T3; adecuaciones en la clasificación de fuente emisora y Artefactos Navales; cambios en los contaminantes regulados (inclusión de Trihalometanos y Cloro Libre Residual); modificación de límites máximos de emisión (ver Tabla 28-Tabla 33); además de cambios en la frecuencia de monitoreo. En la Tabla 2 se detallan cambios en el diseño normativo respecto a la norma vigente que impactan en esta evaluación.

Tabla 2. Cambios en el diseño normativo del Anteproyecto en relación a la norma vigente.

Aspecto	Norma vigente (D.S. N°90/2000)	Anteproyecto de revisión de Norma																																				
Incorporación de Tabla para estuarios	<ul style="list-style-type: none"> No regula explícitamente límites para contaminantes descargados a estuarios. 	<ul style="list-style-type: none"> Según Art. 17, del AP se definen límites de emisión para estuarios (T6). Límites detallados en Anexo 5.1, Tabla 33). 																																				
Modificación y ajuste de la Zona de Protección Litoral (ZPL)	<p>Según Art. 3.3 se define para todo el territorio nacional, el ancho de la ZPL (A, mts) en conformidad a la siguiente fórmula:</p> $A = \left[\frac{(1,28 * H_b)}{m} \right] * 1,6$ <p>Donde, H_b : altura media de la rompiente (mts).</p> <ul style="list-style-type: none"> m : pendiente del fondo. 	<p>Según Art.5, letra q), el ancho de la ZPL se define de dos formas distintas, diferenciando en base a las particularidades del territorio.</p> <ul style="list-style-type: none"> Desde el extremo norte del país hasta Punta Puga, con la misma fórmula planteada en la norma vigente Desde Punta Puga al Cabo de Hornos, el ancho de la ZPL estará determinado por vértices geográficos establecidos en el Art.5, letra r) del Anteproyecto. 																																				
Contaminantes regulados	<ul style="list-style-type: none"> 42 contaminantes, según Tabla Fuente Emisora del decreto original (Anexo 5.1,Tabla 27). 	<ul style="list-style-type: none"> 44 contaminantes según Tabla Anteproyecto Fuente Emisora (Anexo 5.1,Tabla 27). Se agregan: Trihalometanos y Cloro Libre Residual a Tablas 1 a 6 del Anteproyecto, y Cloruros a T3 del Anteproyecto (ver Anexo 5.1). 																																				
Límites máximos permisibles	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tabla D.S.90/2000</th> <th>Contaminante</th> <th>Límite permisible (mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">T3</td> <td>Cadmio</td> <td>0,020</td> </tr> <tr> <td>Cromo hexavalente</td> <td>0,200</td> </tr> <tr> <td>Manganeso</td> <td>0,500</td> </tr> <tr> <td>Mercurio</td> <td>0,005</td> </tr> <tr> <td>Níquel</td> <td>0,500</td> </tr> <tr> <td>Plomo</td> <td>0,200</td> </tr> <tr> <td>Zinc</td> <td>5,000</td> </tr> </tbody> </table>	Tabla D.S.90/2000	Contaminante	Límite permisible (mg/L)	T3	Cadmio	0,020	Cromo hexavalente	0,200	Manganeso	0,500	Mercurio	0,005	Níquel	0,500	Plomo	0,200	Zinc	5,000	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tabla AP</th> <th>Contaminante</th> <th>Límite permisible (mg/L)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="7">T3</td> <td>Cadmio</td> <td>0,010</td> </tr> <tr> <td>Cromo hexavalente</td> <td>0,050</td> </tr> <tr> <td>Manganeso</td> <td>0,300</td> </tr> <tr> <td>Mercurio</td> <td>0,001</td> </tr> <tr> <td>Níquel</td> <td>0,200</td> </tr> <tr> <td>Plomo</td> <td>0,050</td> </tr> <tr> <td>Zinc</td> <td>3,000</td> </tr> </tbody> </table>	Tabla AP	Contaminante	Límite permisible (mg/L)	T3	Cadmio	0,010	Cromo hexavalente	0,050	Manganeso	0,300	Mercurio	0,001	Níquel	0,200	Plomo	0,050	Zinc	3,000
Tabla D.S.90/2000	Contaminante	Límite permisible (mg/L)																																				
T3	Cadmio	0,020																																				
	Cromo hexavalente	0,200																																				
	Manganeso	0,500																																				
	Mercurio	0,005																																				
	Níquel	0,500																																				
	Plomo	0,200																																				
	Zinc	5,000																																				
Tabla AP	Contaminante	Límite permisible (mg/L)																																				
T3	Cadmio	0,010																																				
	Cromo hexavalente	0,050																																				
	Manganeso	0,300																																				
	Mercurio	0,001																																				
	Níquel	0,200																																				
	Plomo	0,050																																				
	Zinc	3,000																																				
Nuevas definiciones	No se presenta definición específica para Cuerpo de agua lacustre y fluvial.	Se definen Cuerpo de agua lacustre y Cuerpo fluvial afluente de cuerpo de agua lacustre (Art. 5 h y j del Anteproyecto). Esto implica que fuentes emisoras regidas por las Tablas																																				

Aspecto	Norma vigente (D.S. N°90/2000)	Anteproyecto de revisión de Norma
		N°1 o N°2 del D.S.90/2000) cambiarían a T3 de Anteproyecto.
Nuevas zonas de resguardo	Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios (ECMPO) no establecida.	Se incorporan los Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios (ECMPO) como área de resguardo, para los cuales se establece (Art.15) un límite de emisión de Coliformes Fecales o Termotolerantes. más estricto que el establecido en T4, limitándolo a no sobrepasar los 70 NMP/100 ml.
Cumplimiento y Tolerancia	<p>Según Art. 6.4.2, no se considerarán sobrepasados los límites máximos establecidos en las Tablas 1, 2, 3, 4 y 5 del D.S.90/2000 (ver Anexo 5.1) si:</p> <p>a) Analizadas 10 o menos muestras mensuales, incluyendo los remuestreos, sólo una de ellas excede, en uno o más contaminantes, hasta en un 100% el límite máximo establecido en las referidas tablas.</p> <p>b) Analizadas más de 10 muestras mensuales, incluyendo los remuestreos, sólo un 10% o menos, del número de muestras analizadas excede, en uno o más contaminantes, hasta en un 100% el límite máximo establecido en esas tablas.⁹.</p>	<p>Para los contaminantes establecidos en el Art. 48, se mantienen los mismos criterios de la norma vigente a) y b), pero se añade la restricción de que la muestra Compuesta (condición a) o el $\leq 10\%$ de las muestras Compuestas (condición b) que estén en superación en ningún caso debe exceder las tolerancias establecidas en la Tabla N°9 del AP (ver Tabla 5), a diferencia del 100% del límite máximo establecido en esas tablas según norma vigente), de lo contrario será considerada una superación del límite de emisión.</p> <p>Además, para los contaminantes establecidos en el Art. 49¹⁰, se diferencia la tolerancia de cumplimiento antes descrita, para cada uno ellos por separado. Para ellos se mantienen los mismos criterios a) y b), pero se añade la restricción de que la muestra puntual (condición a) o el $\leq 10\%$ de las muestras Puntuales que estén en superación (condición b) en ningún caso debe exceder las tolerancias establecidas en la Tabla N°9 del AP (ver Tabla 5), a diferencia del 100% del límite máximo establecido en esas tablas según norma vigente), de lo contrario será</p>

⁹ De acuerdo a la Norma Vigente (D.S. N°90/2000), en el caso que el remuestreo se efectúe al mes siguiente, se considerará realizado en el mismo mes en que se tomaron las muestras excedidas.

¹⁰ pH, Coliformes fecales o Termotolerantes, Cloro libre residual, Sólidos sedimentables y Temperatura.

Aspecto	Norma vigente (D.S. N°90/2000)	Anteproyecto de revisión de Norma																						
		considerada una superación del límite de emisión. Ver sección 2.3																						
Control de la norma y medición de contaminantes adicionales	<ul style="list-style-type: none"> Según Art. 6.2 los contaminantes que deben ser considerados en el monitoreo serán los que se señalen en cada caso por la autoridad competente, atendido a la actividad que desarrolle la fuente emisora, los antecedentes disponibles y las condiciones de la descarga. No se exige el monitoreo de contaminantes adicionales 	<ul style="list-style-type: none"> Según Art. 27, uno de los monitoreos del programa de autocontrol de cada año, durante el mes de máxima producción, deberá considerar todos los contaminantes contenidos en la tabla que le corresponda cumplir según en cuerpo de agua donde descargue. Según Art. 50, se agrega el monitoreo de contaminantes adicionales Tabla N°10 (Anexo 5.1, Tabla 34), que las fuentes emisoras deberán realizar con una frecuencia al menos anual. 																						
Frecuencia de Monitoreo	<ul style="list-style-type: none"> Según Art. 6.3.1, el número mínimo de días del muestreo en el año calendario, se determina según el volumen de descarga: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Volumen de descarga (m³/años*10³)</th> <th>N° mínimo de días de monitoreo anual</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><5.000</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>5.000-20.000</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>>20.000</td> <td>48</td> </tr> </tbody> </table>	Volumen de descarga (m ³ /años*10 ³)	N° mínimo de días de monitoreo anual	<5.000	12	5.000-20.000	24	>20.000	48	<ul style="list-style-type: none"> Según Art. 36, el número mínimo de días de muestreos para las fuentes emisoras se determinará, de acuerdo al volumen mensual de descarga y si requieren o no sistema de tratamiento: <p>Frecuencias de monitoreo para descargas de fuentes emisoras que requieren sistema de tratamiento.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Volumen de descarga (m³/mes)</th> <th>N° mínimo de días de muestras / mes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><100.000</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>100.000 a 1.000.000</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>>1.000.000</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table> <p>Frecuencias de monitoreo para descargas de fuentes emisoras que no requieren sistema de tratamiento.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Volumen de descarga (m³/mes)</th> <th>N° mínimo de días de muestras / año</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><100.000</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>100.000 a 1.000.000</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Volumen de descarga (m ³ /mes)	N° mínimo de días de muestras / mes	<100.000	1	100.000 a 1.000.000	2	>1.000.000	4	Volumen de descarga (m ³ /mes)	N° mínimo de días de muestras / año	<100.000	1	100.000 a 1.000.000	2
Volumen de descarga (m ³ /años*10 ³)	N° mínimo de días de monitoreo anual																							
<5.000	12																							
5.000-20.000	24																							
>20.000	48																							
Volumen de descarga (m ³ /mes)	N° mínimo de días de muestras / mes																							
<100.000	1																							
100.000 a 1.000.000	2																							
>1.000.000	4																							
Volumen de descarga (m ³ /mes)	N° mínimo de días de muestras / año																							
<100.000	1																							
100.000 a 1.000.000	2																							

Aspecto	Norma vigente (D.S. N°90/2000)	Anteproyecto de revisión de Norma																		
		>1.000.000	3																	
Inclusión de Artefactos Navales como posible Fuente Emisora	<ul style="list-style-type: none"> No se presenta definición específica para artefactos navales como fuente emisora. 	<ul style="list-style-type: none"> Según Art.5 1 1.3, deberán someterse a calificación de Fuente Emisora los artefactos navales, inscritos o no en los registros de la autoridad marítima, que permanezcan fijos y descarguen residuos líquidos al mar, por procesos industriales o lavado de sistemas de cultivo de recursos hidrobiológicos¹¹. 																		
Gradualidad temporal en la obligación	<ul style="list-style-type: none"> Establece gradualidad temporal en función de la actividad económica realizada por las fuentes emisoras y su calidad de “nueva” o “existente”. 	<ul style="list-style-type: none"> Se establece gradualidad temporal contando desde la entrada en vigencia de la regulación, de la siguiente manera: 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Obligación</th> <th>Plazo para cumplimiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T6</td> <td>60 meses</td> </tr> <tr> <td>T3</td> <td>42 meses</td> </tr> <tr> <td>T4</td> <td>60 meses</td> </tr> <tr> <td>Límites para THMs y CLR</td> <td>42 meses</td> </tr> <tr> <td>Caracterización artefactos navales</td> <td>9 meses</td> </tr> <tr> <td>Cumplimiento límites para artefactos navales</td> <td>33 meses</td> </tr> <tr> <td>Caracterización emisiones CLR y THMs</td> <td>12 meses</td> </tr> </tbody> </table>		Obligación	Plazo para cumplimiento	T6	60 meses	T3	42 meses	T4	60 meses	Límites para THMs y CLR	42 meses	Caracterización artefactos navales	9 meses	Cumplimiento límites para artefactos navales	33 meses	Caracterización emisiones CLR y THMs	12 meses
			Obligación	Plazo para cumplimiento																
			T6	60 meses																
			T3	42 meses																
			T4	60 meses																
			Límites para THMs y CLR	42 meses																
			Caracterización artefactos navales	9 meses																
			Cumplimiento límites para artefactos navales	33 meses																
Caracterización emisiones CLR y THMs	12 meses																			

Fuente: Elaboración propia.

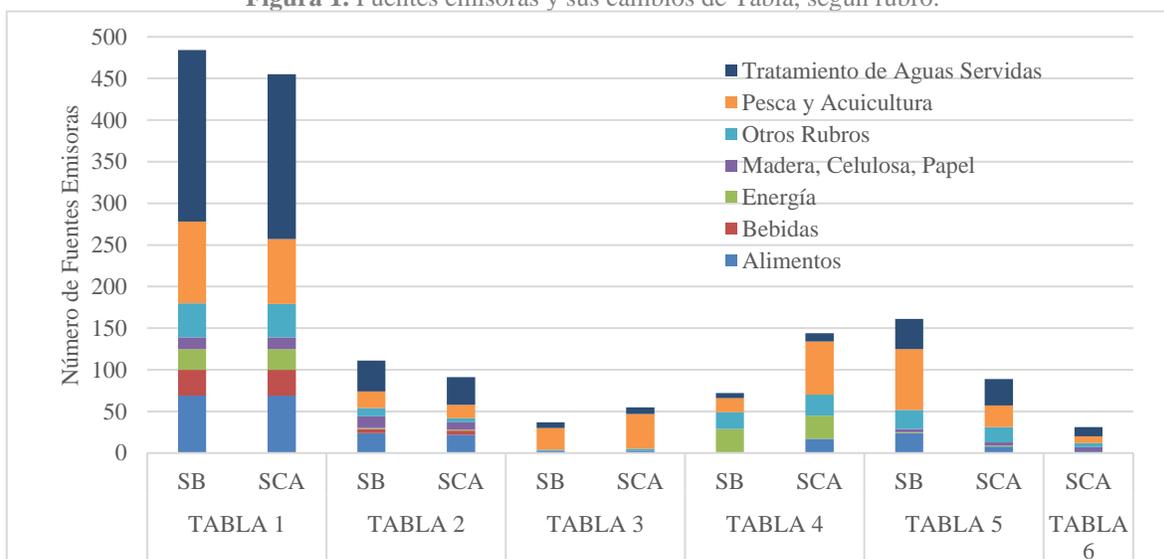
¹¹ Se evalúa la condición de Fuente Emisora para artefactos navales según caracterización de los residuos líquidos en los parámetros correspondientes de la Tabla 4 de Anteproyecto (Anexo 5.1, Tabla 31).

1.2 Fuentes emisoras reguladas y nuevos contaminantes a normar

Para el año 2018, sobre el que se construye la línea base para esta evaluación, se identificaron un total de 865 fuentes emisoras reguladas por el D.S. N°90/2000. Éstas se encuentran concentradas mayoritariamente (83%) en la zona centro y sur del país (entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos). Dichas fuentes realizan diversas actividades económicas tales como Tratamiento de aguas servidas, Elaboración de alimentos, Pesca y acuicultura, Producción de madera, celulosa y papel, entre otros.

De acuerdo a la Figura 1, se observa que los rubros que concentran la mayor cantidad de fuentes emisoras corresponden a 1) Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, 2) Pesca y Acuicultura y 3) Alimentos. A continuación, se detallan estas actividades, contexto e implicancia.

Figura 1. Fuentes emisoras y sus cambios de Tabla, según rubro.



Fuente: Elaboración propia. “Otros rubros” agrupa los siguientes: Agricultura, almacenamiento y depósito, Comercio, Curtiembres, educación, metalurgia, minería, refinera, textil, y química.

La principal actividad económica de las fuentes emisoras es el tratamiento de aguas servidas (ver, Figura 1) localizándose entre la zona A y la zona E (ver Anexo 5.2, Figura 14). En ella se incluyen los subrubros de generación de agua potable, desalación, servicios de vertederos, tratamientos de aguas servidas y tratamiento y reciclaje de residuos oleosos.

La pesca y acuicultura se desarrolla como la actividad económica entre las zonas A y E (ver Anexo 5.2, Figura 14), asociada a los rubros de cultivos de especies acuáticas en cuerpos de agua dulce, reproducción y crianza de peces marinos, cultivo, reproducción y crecimiento de vegetales acuáticos, fabricación y lavado de redes de agua dulce, pesca industrial, reproducción y cría de moluscos y crustáceos y servicios relacionados con la acuicultura, no incluye servicios profesionales y de extracción.

El rubro de la madera, celulosa y papel se ubica entre las zonas C y D (ver Anexo 5.2, Figura 14), lo cual es representado por la existencia de fuentes asociadas a los rubros específicos de

explotación de bosques, fabricación de celulosa y otras plantas de madera, fabricación de otros artículos de papel y cartón, fabricación de otros productos de madera, artículos de corcho, paja y materiales trenzables, fabricación de papel y cartón N.C.P., fabricación de papel y cartón ondulado y envases de papel y cartón y fabricación de tableros, paneles y hojas de maderas en enchapado, por lo que son asociados a la emisión de contaminantes en residuos líquidos tales como aluminio, aceite y grasas, sulfatos, SST y Zinc⁸.

Las fuentes del rubro Energía, se distribuyen entre la zona A y D (ver Anexo 5.2, Figura 14) estando principalmente asociadas a la generación de electricidad. Entre los principales contaminantes emitidos por este rubro se encuentran sulfatos, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas⁸.

El rubro de las bebidas se encuentra localizado principalmente en las zonas B y C (ver Anexo 5.2, Figura 14), este comprende la elaboración de bebidas alcohólicas y de alcohol etílico a partir de sustancias fermentadas y otros, la elaboración de bebidas malteadas, cervezas y maltas, la elaboración de bebidas no alcohólicas y elaboración de vinos, estando estos ligados principalmente a mayores emisiones de cloruros, Nitrógeno total Kjeldahl y DBO₅⁸.

Las fuentes emisoras relacionadas con la elaboración de alimentos se extienden desde la zona A hasta la zona E (ver Anexo 5.2, Figura 14). Por una parte, las industrias alimentarias son clasificadas en el rubro de la elaboración de azúcar, elaboración y conservación de frutas, legumbres y hortalizas, producción y exportación de frutos secos o deshidratados. Además, se encuentran aquellas cuyo rubro es elaboración de alimentos preparados para animales, elaboración de cecinas, embutidos y carnes en conserva, elaboración de congelados de pescados y mariscos y elaboración de leche y mantequilla, productos lácteos y derivados, entre otros.

Por otra parte, en “otros rubros”, se reúnen industrias dedicadas a la agricultura, sector pecuario, almacenamiento y depósito, comercio, curtiembres, educación, aquellas de gobierno central, metalurgia, minería, químicas, textiles, refinerías y otras fuentes, localizándose entre la Zonas A y E (ver Anexo 5.2, Figura 14).

2. Metodología del AGIES

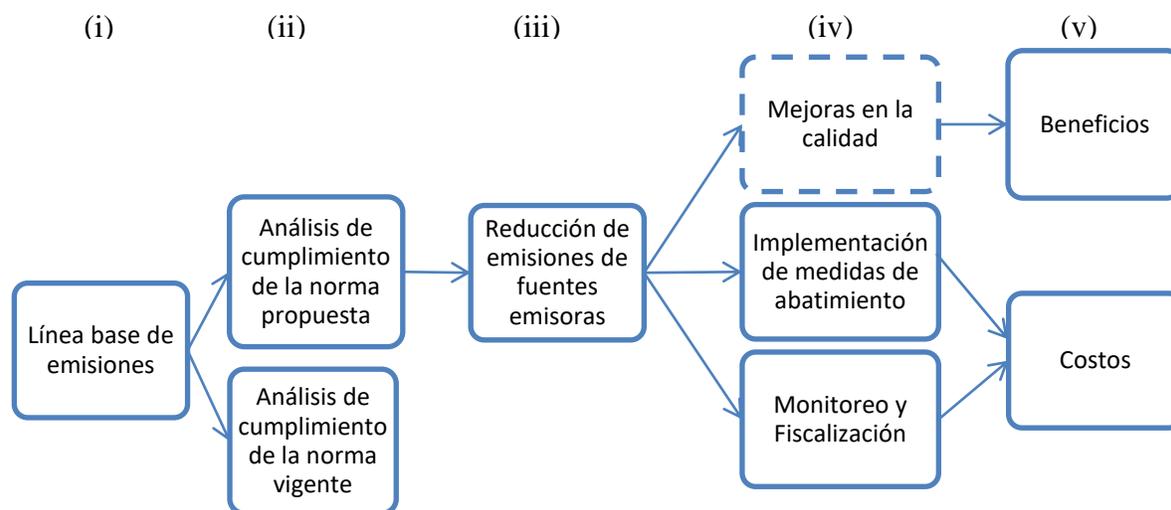
A continuación, se detalla la metodología utilizada en el presente AGIES para obtener una estimación del impacto general del Anteproyecto de la revisión de la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Superficiales (D.S. N°90/2000).

2.1 Metodología general

El objetivo del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) es determinar los costos y beneficios que produciría la aplicación del anteproyecto de norma de emisión en evaluación. Este impacto económico se estima tanto para los emisores afectados a la norma; el Estado como responsable de la fiscalización del cumplimiento, la población y ecosistemas que se verían beneficiados y protegidos por este cambio normativo norma (D.S. N°38/2012 del MMA).

La metodología general empleada en la elaboración del AGIES consiste en (i) estimar las emisiones generadas considerando cumplimiento de la normativa ambiental vigente (elaboración de línea base); (ii) evaluar el cumplimiento de la nueva norma propuesta¹²; (iii) simular mejoras tecnológicas para los casos con incumplimiento y reducción de emisiones; (iv) determinar cualitativa y cuantitativamente los beneficios de la norma¹³; y finalmente (v) evaluar costos asociados al cumplimiento de la norma propuesta (ver Figura 2).

Figura 2. Esquema metodológico AGIES D.S N°90



Fuente: Elaboración Propia

¹² Se considera como línea base del proyecto el cumplimiento total de la normativa vigente; dado que la presente revisión no puede hacerse cargo, ni en beneficios ni costos, de incumplimientos de la normativa vigente.

¹³ Respecto a la valorización de los beneficios generados por la modificación de la norma, Keeler et al., 2012 exponen la compleja red de relaciones existentes entre los cambios de calidad del agua y cambios en el valor que la sociedad le asigna a los servicios ecosistémicos. La cuantificación de dichos cambios implica conocer las relaciones biofísicas y funciones económicas entre todas las variables que interactúan. La carencia de éstas, por falta de información o metodologías, implica que no podrá relacionarse de manera directa, la política o acción evaluada con los beneficios que esta proporciona.

Los elementos mencionados en el esquema metodológico (Figura 2) fueron representados y trabajados en un modelo matemático desarrollado por el DEA, utilizando el software *Analytica 64-bit Optimizer 5.4*. El procesamiento de datos espaciales y generación de cartografía fue realizado con el software de Sistema de Información Geográfica (SIG), *ArcGIS 10.5.1*.

A continuación, se detalla la metodología específica para cada etapa del análisis.

2.2 Línea base de emisiones

La línea base de emisiones considera los datos informados por las fuentes emisoras existentes a la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) durante el año 2018. Para efectos de este AGIES, se considera como supuesto que las fuentes emisoras existentes mantienen su condición de fuente emisora por el periodo de tiempo de evaluación y no se considera una proyección de nuevas fuentes emisoras.

A partir de estas fuentes de información se estiman las emisiones (toneladas/año) de cada fuente emisora a partir de las concentraciones y el caudal de la descarga, según Ecuación 1.

$$W_{FE_{i,j}} = \frac{C_{Desc_{i,j}} \cdot Q_j \cdot NA_j}{FCU} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

$W_{FE_{i,j}}$: Emisión del contaminante i en la fuente emisora j (ton/año)

$C_{Desc_{i,j}}$: Concentración de la descarga del parámetro i en la fuente j (mg/L)

Q_j : Caudal de descarga de la fuente j (m³/día)

NA_j : Nivel de actividad de la fuente j según rubro al que pertenece (días/año)

FCU : Factor de conversión de unidades (10⁶ para mg/L)

A las fuentes emisoras que no reportaban caudal de descarga, pero sí informaban emisión de parámetros con determinado nivel de concentración, se le asignó el valor del caudal representativo del rubro al que pertenece dicha fuente emisora¹⁴.

Para estimar valores anuales característicos de emisión por punto de descarga y parámetro normado, se realizó un análisis de datos extremos de la concentración ($C_{Desc_{i,j}}$). Para todos los parámetros, excepto Cloro Libre Residual (CLR), se estableció el criterio de eliminar valores mayores a tres desviaciones estándar. Para CLR el criterio establecido fue eliminar valores mayores a 10 mg/l considerando la dispersión de los datos y criterio experto.

De manera similar, se asignó un nivel de concentración representativo a las fuentes emisoras que producto del cambio en la delimitación de la Zona de Protección Litoral (ZPL) deberán

¹⁴ Promedio del percentil 95 anual del caudal de cada una de todas las fuentes emisoras de un mismo rubro.

reportar los límites máximos permisibles de T4 en vez de T5. Esta asignación responde a que, por normativa vigente, algunas fuentes emisoras que reportan actualmente a T5 no reportan los parámetros que se indican en la Tabla 3 a continuación. En esta tabla se detallan niveles de concentración representativos por parámetro, según rubro determinados mediante los promedios de emisiones de las fuentes que reportan.

Tabla 3. Concentraciones representativas por parámetro según rubro

Rubro	Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/l)	Fósforo total (mg/l)	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	DBO ₅ (mg/l)
Aguas Servidas	35	7	1x10 ⁷	-
Curtiembre	-	-	-	400
Pesca y Acuicultura	-	-	-	118
Alimentos	-	-	7.500	375
Textil	-	-	16.000	-

Fuente: Departamento de Ecosistemas acuáticos, MMA. “-“no se asigna valor de concentración representativa por no considerarse emisión propia del rubro, según justificación.

En la Tabla 4 se presentan los contaminantes considerados por la propuesta regulatoria. Estos han sido clasificados en 9 categorías, agrupándolos según características fisicoquímicas para facilitar el manejo de la información y la presentación de resultados.

Tabla 4. Clasificación de contaminantes regulados por la normativa del Anteproyecto de revisión de norma vigente. SAAM: sustancias activas al azul de metileno.

Tipo de contaminante	Contaminante
Compuesto de azufre	Súlfuros
	Sulfato
Halogenado	Cloro Libre Residual
	Trihalometanos
	Triclorometano
Inorgánico	Cianuro
Metal	Aluminio
	Cadmio
	Cromo
	Cromo Hexavalente
	Cobre
	Hierro disuelto
	Mercurio
	Manganeso
	Molibdeno
Níquel	

Tipo de contaminante	Contaminante
	Plomo
	Estaño
	Zinc
No Metal	Arsénico
	Boro
	Cloruros
	Fluoruro
	Selenio
Nutriente	Nitrógeno
	Nitrógeno total Kjeldahl
	Fósforo
Orgánico	Aceites y Grasas
	Coliformes fecales
	Demanda Biológica de Oxígeno
	Hidrocarburos Fijos
	Hidrocarburos Volátil
	Hidrocarburos Totales
	Índice Fenol
	Penta Cloro Fenol
	SAAM
	Tetracloroetano
	Tolueno
	Xileno
pH	pH máximo
	pH mínimo
Físico	Poder Espumógeno
	Sólidos Sedimentables
	Sólidos suspendidos totales
	Temperatura

Fuente: Elaboración propia.

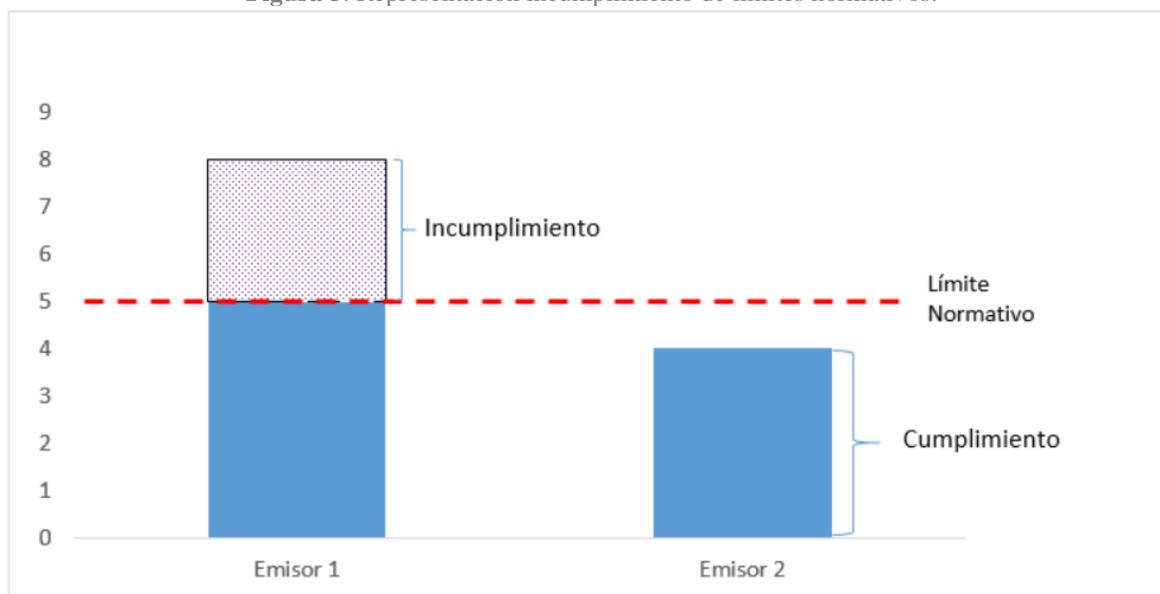
2.3 Análisis de cumplimiento

Para analizar el cumplimiento de la norma propuesta se debe considerar que esta regulación es una revisión de una norma ya existente. Esto significa que en primer lugar debe existir un análisis del cumplimiento asociado a la norma vigente (Situación Base: SB, D.S.90/2000),

para luego evaluar el cumplimiento de la nueva propuesta de norma (Situación Con Anteproyecto: SCA). De esta manera, se pueden diferenciar los costos que son imputables al incumplimiento de la norma vigente, en caso de que esté ocurriendo, y el Anteproyecto de manera separada.

De acuerdo con las emisiones de cada fuente emisora se evalúa el cumplimiento de los límites máximos establecidos, según la Tabla del Anteproyecto por la cual se rige cada fuente emisora. De manera genérica, tal como se representa en la Figura 3, aquellas fuentes que sobrepasen alguno de los límites de emisión establecidos por el Anteproyecto de norma serán considerados como incumplimientos. Para efectos del análisis, sólo se consideraron las fuentes emisoras que presenten incumplimientos reiterados durante el año calendario (más de tres meses en el año, independiente de los contaminantes que generaron los incumplimientos, siempre y cuando la fuente emisora opere por más de un trimestre).

Figura 3. Representación incumplimiento de límites normativos.



Fuente: Elaboración propia.

Para esta normativa los incumplimientos se evalúan considerando además cierto grado de tolerancia, es decir, no se consideran sobrepasados los límites establecidos cuando se tienen las condiciones de cantidad de muestras y excedencias como indica en el Art. 48 y 49 del Anteproyecto (ver Tabla 2) que sintetizan a continuación.

- a) Si analizadas diez o menos muestras¹⁵ mensuales, incluyendo los remuestreos, más de una muestra excede en uno o más parámetros, la tolerancia permitida (en la SB corresponde al 100 (%) del valor normado, y en el SCA es de acuerdo con Tabla de tolerancias (Tabla 5).
- b) Si analizadas más de diez muestras en el mes, incluyendo los remuestreos, más de un 10 (%) de las muestras¹⁴ excede en uno o más parámetros, la tolerancia permitida

¹⁵ Puntuales o Compuesta, según corresponda.

(en la SB corresponde al 100 (%) del valor normado, y en la SCA es de acuerdo con Tabla de tolerancia (Tabla 5).

Tabla 5. Tolerancias de excedencia respecto a valores establecidos en las Tablas 1 a 6 del Anteproyecto.

Parámetros	Unidad	Tolerancia respecto a valores establecidos en T1 T2, T3, T4, T5 y T6
pH en T1, T2, T3 y T6	Unidad de pH	5,5 – 9,0
pH en T4 y T5	Unidad de pH	5,5 – 9,5
Coliformes Fecales (límite 1.000)	NMP/100 mL	5.300
Coliformes Fecales (límite 70)	NMP/100 mL	250
Temperatura	°C	T máxima + 2°C
Poder espumógeno	mm	Límite máximo + 2mm
Sólidos sedimentables	mL/L/h	Límite máximo + 5 mL/L/h
Otros	mg/L	El doble de la concentración establecida en la tabla respectiva

Fuente: Anteproyecto de Revisión de D.S. 90/2000.

2.4 Reducción de emisiones

Considerando el análisis de cumplimiento detallado en el punto anterior, se identifican las fuentes emisoras que deberán incorporar medidas de abatimiento para reducir los contaminantes en los que se excede, para así alcanzar los límites definidos por el Anteproyecto de norma.

La reducción de emisiones, para cada fuente que incumpliría los nuevos límites, se calcula utilizando la eficiencia equivalente detallada en la Ecuación 2. Con ella, se determina la concentración una vez aplicadas las tecnologías de abatimiento ($C_{Desc\ FINAL\ i,j}$) en la Ecuación 3. La variable de decisión del problema de optimización ($x_{j,m}$) selecciona la fracción de la tecnología (m) que debería implementar la fuente emisora (j) para cumplir con la norma al mínimo costo posible (ver sección 2.5.1). Las eficiencias de abatimiento ($\varepsilon_{i,m}$) empleadas se indican en el Anexo 5.3.2.

$$\varepsilon_{eq\ i,j} = 1 - \prod_{m=1}^M (1 - \varepsilon_{i,m})^{x_{j,m}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde,

- $\varepsilon_{eq\ i,j}$: Eficiencia equivalente de reducción de emisiones del contaminante i para la fuente j .
- $x_{i,j}$: Variable de decisión del modelo de optimización. Indica la proporción en la que se asigna la tecnología i en la fuente emisora j para cumplir con la normativa (adimensional).
- $\varepsilon_{i,m}$: Eficiencia de abatimiento del contaminante i para la tecnología de abatimiento m .

La reducción en concentraciones corresponde a la diferencia entre $C_{Desc\ INICIAL\ i,j}$ y $C_{Desc\ FINAL\ i,j}$. Con esta última concentración se estima la carga final emitida por cada fuente emisora para cada parámetro, en base a la Ecuación 1. La carga cumpliendo la norma vigente corresponde a la carga estimada con la concentración inicial.

$$C_{Desc\ FINAL\ i,j} = C_{Desc\ INICIAL\ i,j} \cdot (1 - \varepsilon_{eq\ i,j}) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde,

- $C_{Desc\ FINAL\ i,j}$: Concentración tras la aplicación de las tecnologías de abatimiento para la reducción de emisiones del contaminante i para la fuente j .
- $C_{Desc\ INICIAL\ i,j}$: Concentración antes de la aplicación de las tecnologías de abatimiento para la reducción de emisiones del contaminante i para la fuente j .

2.5 Costos

Como se mencionó anteriormente, la evaluación de la norma propuesta se realiza a partir de la línea base considerando el cumplimiento total de la norma vigente (SB). Es decir, identificándose o no incumplimientos actuales¹⁶, se evalúan los costos y beneficios generados por pasar de la situación actual donde el 100% de las fuentes emisoras cumplen la norma vigente, a una nueva situación de implementación del Anteproyecto (SCA).

Los costos adicionales que implica la implementación de la normativa propuesta con relación a la norma actual corresponden a:

- i) Costos de tecnologías de abatimiento: costos de instalar tecnologías de abatimiento para cumplir con los límites de emisión de cada fuente emisora. Estas medidas de abatimiento estiman cada uno de los contaminantes a abatir y se calcula considerando los costos de inversión, operación y mantención.
- ii) Costos de monitoreo: corresponden a todos los costos asociados a monitoreo adicional a las fuentes emisoras existentes.

¹⁶ Se refiere a excedencias del nivel normativo de emisión.

- iii) Costos de fiscalización: el Estado, a través de los organismos encargados de fiscalizar el cumplimiento del D.S. N°90/2000, incurrirá en costos adicionales asociados a esta actividad.

A continuación, se describe detalladamente la metodología empleada para la evaluación de costos.

2.5.1 Costos de abatimiento

Las fuentes que incumplirían los límites establecidos en el anteproyecto de norma deben reducir la concentración de los contaminantes excedidos a través de modificaciones en sus sistemas productivos, insumos que estas utilizan o aplicando sistemas de tratamiento de residuos líquidos. La evaluación de costos de abatimiento considera la inversión en tecnologías que permitan reducir la carga contaminante y dar cumplimiento a los límites establecidos por el Anteproyecto de la Norma (ver Anexo 5.3).

Para estimar estos costos se utiliza un modelo de optimización, el que simula las tecnologías de abatimiento que reduzcan los contaminantes superados y que sean menos costosas a aplicar en cada fuente emisora. Se consideran solo a aquellas fuentes que incumplen por más de tres meses en el año, independiente de los contaminantes que generaron los incumplimientos, siempre y cuando la fuente emisora opere por más de un trimestre anual, ya que se asume que podrían modificar operacionalmente sus emisiones, sin costos de inversión adicionales por tecnologías de abatimiento.

La expresión matemática del problema corresponde a la siguiente:

$$\text{Min}_{(x_{ij})} CT_j = \sum_i C_{ij} \cdot x_{ij} \quad \text{Ecuación 4}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} EF_{jp} &\leq N_{jp}, \forall (j, p) \\ x_{ij} &\geq 0 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

- CT_j : Costo total (inversión, operación y mantención) anualizado de las tecnologías para la fuente emisora j (USD/año)
 C_{ij} : Costos anualizado de la tecnología i en la fuente emisora j (USD/año)
 x_{ij} : Variable de decisión del modelo de optimización. Indica la proporción en la que se asigna la tecnología i en la fuente emisora j para cumplir con la normativa (adimensional).

- EF_{jp} : Emisión final de la fuente emisora j y del parámetro p , normalmente (mg/L)¹⁷
 EI_{jp} : Emisión inicial de la fuente emisora j y del parámetro p , normalmente (mg/L)
 N_{jp} : Límite de emisión (norma) para la fuente emisora j el parámetro p (mg/L)

La aplicación de este procedimiento se basa en los siguientes supuestos:

- No existen impedimentos para instalar las tecnologías requeridas: Establece que la solución óptima (resultante del modelo de optimización) es factible de instalar por parte de la fuente emisora y tampoco se considera una limitante de aplicabilidad de tecnologías según el rubro de la fuente emisora, salvo en el caso de aquellas que operan por un periodo superior a un trimestre anual, las que no podrán aplicar la tecnología “wetlands” (también conocida como humedal artificial).
- Las empresas se guiarán por el criterio de mínimo costos de inversión indicado con anterioridad.
- La variable de decisión del modelo x_{ij} es un número continuo mayor o igual a 0 que se ajusta según la exigencia del cumplimiento normativo que redonda proporcionalmente en los costos. Esto se hace con el fin de simular de mejor manera la elección de instalar nuevas tecnologías de abatimiento como también de mejorar operacionalmente su proceso, de manera de evitar hacer inversiones mayores si la brecha para cumplir es menor.

Los costos se estiman según las funciones de costos elaboradas por AMPHOS 21 (2014); ECOTEC (2017); Fundación Chile (2010) y revisadas por el DEA. La evaluación considera un total de 54 tecnologías diferentes, detalladas en el Anexo 5.3.1. La Ecuación 6 y la Ecuación 7 representan las funciones de la inversión y de la operación & mantenimiento, respectivamente (ver Anexo 5.3.3). Estas dependen del caudal descargado.

$$CI_{ij} = a_i \cdot Q_j^{b_i} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$COyM_{ij} = c_i \cdot Q_j^{d_i} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde,

- CI_{ij} : Costo de inversión de abatimiento de la tecnología i en la fuente emisora j (USD/año)
 $COyM_{ij}$: Costo de operación y mantención de abatimiento de la tecnología i en la fuente emisora j (USD/año)
 a, b : Parámetros de costos de inversión por tecnología i
 c, d : Parámetros de costos de operación y mantención por tecnología i
 Q_j : Caudal de la fuente emisora j (m³/h)

¹⁷ La unidad de mg/L es la más común, pero existen otros contaminantes como coliformes fecales, sólidos sedimentables, entre otros, que tienen otras unidades de medidas.

Finalmente, el costo de abatimiento corresponde a la suma de los costos de inversión anualizados y los costos de operación y mantención. La anualización de los costos de inversión se realiza considerando la vida útil de cada una de las tecnologías (ver Anexo 5.3, Tabla 35) y tasa de descuento social de 6% de acuerdo a MIDESO (2018).

2.5.2 Costos de monitoreo y caracterización de Fuente Emisora

Se considerará como costo de monitoreo el costo del análisis en laboratorio de los parámetros adicionales a medir, considerando el cambio en la frecuencia, el cambio de Tabla (tanto en los parámetros regulados actualmente como la consideración de Cloro libre residual y Trihalometanos), el monitoreo de la Tabla completa una vez al año, y los parámetros adicionales (T10 del Anteproyecto, una vez al año). El costo unitario de análisis de laboratorio se obtiene de cotizaciones en laboratorios acreditados en análisis de aguas residuales según NCh2313¹⁸ (anexo 5.4).

Además, se evalúa la condición de fuente emisora, para lo cual las fuentes deben caracterizar sus descargas. En el caso de los artefactos navales se incluyen todos los contaminantes que debieran caracterizarse (según T4¹⁹ del Anteproyecto). Para las fuentes existentes²⁰ se considera solo el costo para caracterizar emisión de Cloro libre residual y Trihalometanos.

Se adicionan, los costos de medición de caudal que corresponden a los costos adicionales en que tendrán que incurrir las fuentes por concepto de monitoreo de caudal de salida (efluente), según cambios en la frecuencia de monitoreo de caudal²¹ (ver Tabla 2).

El costo total de monitoreo se calcula según la Ecuación 8. Esta considera la adición de los costos de monitoreo asociados a la caracterización de las fuentes (ver Ecuación 9), los costos de monitoreo asociados al cambio en las frecuencias de monitoreo de los contaminantes normados (ver Ecuación 10) y costos de frecuencia de monitoreo por caudal de descarga (ver Ecuación 11).

$$C_{Monitoreo\ total} = \sum_{k,i,t} (C_{caract_{k,i}}) + (Frec_k \cdot C_{mon_{i,k,t}}) + C_{frec_k} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde,

$C_{Monitoreo\ total}$:	Costo de muestreo de la norma (USD/año)
$C_{caract_{k,i}}$:	Costo anualizado de caracterizarse según fuente emisora k y el contaminante i (USD/año)
$Frec_k$:	Frecuencia de monitoreo para la fuente emisora k (veces/año)

¹⁸ Norma Chilena Oficial 2313 Aguas Residuales- Métodos de análisis.

¹⁹ Tabla que les regiría por la ubicación de las descargas de RILes.

²⁰ Que establece el art.22 del AP.

²¹ Establecidas en art. 36 del AP.

- $C_{mon_{i,k,t}}$: Costo de monitoreo para la fuente emisora k según los contaminantes i de la Tabla N° t que le corresponde informar. Este costo considera los parámetros que se mantienen más los nuevos a monitorear, menos los que dejan de medirse (USD/año)
- C_{frec_k} : Costo de frecuencia de monitoreo por volumen de caudal de descarga para la fuente emisora k (USD/año)

Donde,

$$C_{caract_{k,i}} = \frac{V_{UF}}{V_D} \cdot \left[\left(N_A \sum_i CP_i \right) + (NFE_k (C_{CLR} + C_{THM})) \right] \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde,

- V_{UF} : Valor UF año 2020 (CLP/UF)
- V_D : Valor dólar año 2020 (CLP/US\$)
- N_A : Número de artefactos navales
- CP_i : Costo contaminante i en T4 (UF)
- NFE_k : Número de Fuentes emisoras k
- C_{CLR} : Costo de contaminante Cloro libre Residual (UF)
- C_{THM} : Costo de contaminante Trihalometano (UF)

Donde,

$$C_{mon_{i,t,k}} = \frac{V_{UF}}{V_D} \cdot (C_{i,t,k} + C_{h,t,k}) \quad \text{Ecuación 10}$$

- $C_{i,t,k}$: Costo de monitoreo de contaminante i por Tabla N° t para fuente emisora k
- $C_{h,t,k}$: Costo de monitoreo de contaminante adicional h por Tabla N° t para fuente emisora k

$$C_{frec_k} = \frac{V_{UF}}{V_D} \cdot \left(\sum_j (DFrec_{j,k} \cdot Ca_j + \sum_i Frec_{i,k} \cdot Cm_i) \right) \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde,

- $DFrec_{j,k}$: Delta de frecuencia de monitoreo para contaminante j actual y futuro para fuente emisora k (n)
- Ca_j : Costo de monitoreo de contaminante j actual por la norma en SB (UF)
- $Frec_{i,k}$: Frecuencia de monitoreo para contaminante i para fuente emisora k (n)
- Cm_i : Costo de monitoreo de contaminante i futuro considerado por la norma en SCA (UF)

2.5.3 Costos de fiscalización

La actividad fiscalizadora comprende la toma de muestras de RILes (control directo) de un número determinado de fuentes emisoras para ser analizadas en laboratorio de acuerdo con los contaminantes que le corresponda a cada una, para así contrastar con lo informado en los monitoreos o autocontroles efectuados por las fuentes emisoras. Se consideran los costos que el Anteproyecto generaría para la fiscalización de nuevos parámetros en relación a la normativa vigente, ya sea por cambio de tabla o por la inclusión de nuevos contaminantes.

Los costos de fiscalización consideran 560 fiscalizaciones a fuentes emisoras informadas por la SMA para el año 2020²² y 157 informadas para el mismo periodo de tiempo por la SISS a plantas de tratamiento de aguas servidas.

La Ecuación 12 representa los cálculos de los costos de fiscalización por contaminante en consideración de la Tabla que rige a la fuente emisora y norma en SB y SCA. La Ecuación 13 representa los costos totales de fiscalización por norma s (i.e. SB o SCA) y la Ecuación 14 representa el método de cálculo de los costos adicionales de fiscalización producto del Anteproyecto.

$$CF_{it}^s = \frac{C_i \cdot FF_t^s \cdot N_F \cdot V_{UF}}{V_D} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde,

- CF_{it}^s : Costo de fiscalizar contaminante i en Tabla t de acuerdo con la norma s (el índice s toma dos valores: SB y SCA).
 C_i : Costo de análisis de laboratorio del contaminante i
 FF_t^s : Fracción de fiscalizaciones a ser realizadas con Tabla t de acuerdo con la norma s
 N_F : Número total de fiscalizaciones (560)

$$CF^s = \sum_{i,t} CF_{it}^s \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde,

- CF^s : Suma del costo total de fiscalización de todos contaminantes y Tablas, de acuerdo con la norma s (SB y en SCA)

$$\Delta CF = CF^{SCA} - CF^{SB} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde,

- ΔCF : Diferencia de costo entre normas (i.e. SCA *versus* SB).

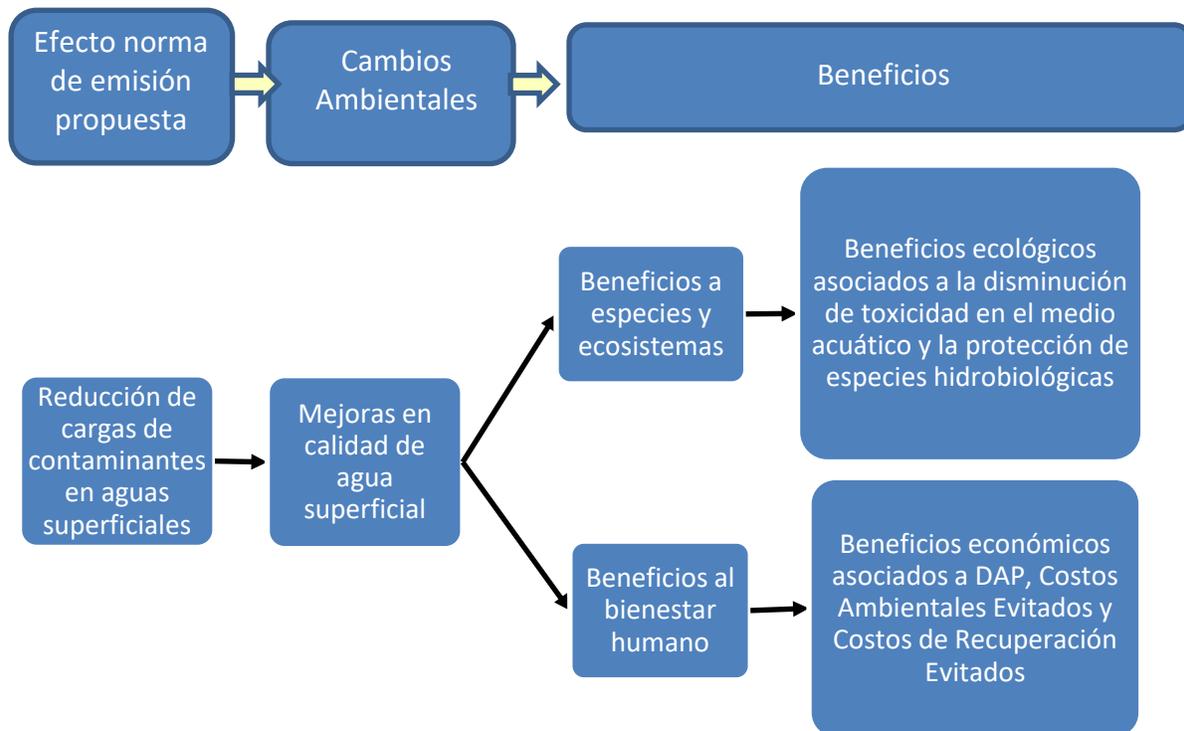
²² Res Exenta 1946/2019 Fija Programa y Subprogramas de Fiscalización ambiental de normas de emisión para el año 2020 en https://transparencia.sma.gob.cl/doc/resoluciones/RESOL_EXENTA_SMA_2019/RESOL%20EXENTA%20N%201946%20SMA.PDF

2.6 Beneficios

Considerando que las reducciones de emisiones de contaminantes derivadas de la implementación del Anteproyecto se traducen en una mejora en la calidad de las aguas superficiales (EPA, 2013), se generan beneficios adicionales en los ecosistemas acuáticos y el bienestar humano.

Por ende, la estimación de beneficios asociados a la implementación del Anteproyecto consideró aquellos beneficios relacionados a la salud de los ecosistemas y al bienestar humano, siguiendo los planteamientos de EPA, (2013) y Keeler et al. (2012). La conceptualización de esta lógica se representa, en términos generales, en la Figura 4. El Anteproyecto generaría una reducción de cargas contaminante que conlleva a un cambio ambiental asociado a una mejora en la calidad del agua superficial. La mejora en calidad es evaluada como un beneficio a las especies debido a una disminución de concentraciones ambientales que podrían resultar tóxicas para esas especies (receptores) que habitan los cuerpos de agua, y a la protección de éstos; además, se cuantifica el beneficio antropogénico por medio de tres aproximaciones complementarias.

Figura 4. Conceptualización del efecto de una norma de emisión en la calidad del agua, los beneficios sobre los ecosistemas y la valoración de SSEE.



Fuente: Elaboración propia basado en EPA (2013) y Keeler et al.(2012).

2.6.1 Beneficios a especies y ecosistemas

a) Efectos de contaminantes en ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas acuáticos continentales exhiben una enorme diversidad hidrológica y morfológica, factores clave en la evolución de los peces dulceacuícolas de Chile, caracterizados por su riqueza específica y alto endemismo (25%) (Dyer, 2000). A pesar de la relevancia ambiental de estos sistemas, éstos han sido sometidos a diversas perturbaciones antrópicas causando alteraciones en la estructura y composición de las comunidades acuáticas (Andreoli et al., 2012), generando impactos con implicancias actuales y futuras en su conservación, y en la provisión de servicios ecosistémicos (SS.EE) fundamentales que contribuyen al bienestar de la población.

Los beneficios de las mejoras en calidad de agua superficial relacionados con los ecosistemas y especies acuáticas fueron identificados mediante un análisis cualitativo de los efectos que tienen los diversos contaminantes de la norma sobre la vida acuática, a partir de una síntesis de información basada en los siguientes estudios: ATSDR (2011); Auer et al. (2013); Barba (2002); Bilotta & Brazier (2008); Camargo. & Alonso (2007); Camargo & Alonso (2006); CCOO (n.d.); Geurts. et al. (2009); Gutiérrez & Gagnetten (2011); ITOPF (2013); Jimenez (2012); MacDonald Environmental Sciences Ltd. (1997); Marín (2003); Muniz et al.(n.d.); Rodríguez-Serrano et al. (2008); Sánchez (2008); USEPA (2015, 2003) (ver Tabla 21).

b) Relación entre emisiones, especies en categoría de conservación y desembarques artesanales

Se analizó la relación entre la reducción de emisiones generada por el Anteproyecto (ver sección 2.4) y la distribución geográfica de los hábitats de especies amenazadas en Chile, así como también los desembarques de especies hidrológicas de interés comercial.

El análisis de especies amenazadas se realizó por medio de la agregación del número de especies acuáticas (marinas o dulceacuícolas) en alguna categoría de conservación: “en peligro”, “en peligro crítico”, “amenazada”, “vulnerable” y “rara”, según la categoría de conservación del MMA en base a el 14° Proceso de Clasificación de Especies (diciembre 2018)²³. Se excluyó de este análisis las especies que se encontraban en categorías de Preocupación Menor, Casi Amenazada o con Datos Insuficientes. Las especies cuantificadas fueron reagrupadas según macrozonas (A, B, C, D, E) utilizadas para la visualización de resultados (ver Anexo 5.2, Figura 14).

Para las especies hidrológicas de interés comercial se consideraron las toneladas desembarcadas utilizando las mismas macrozonas para visualizar los resultados. Las especies se agruparon en categorías funcionales o comerciales como algas, cnidarios, crustáceos, equinodermos, moluscos peces o urocordados. Los datos corresponden a toneladas de pesca artesanal desembarcadas el año 2017, según datos proporcionados por SERNAPESCA (2017). Es importante destacar que se escogió hacer el análisis sobre los datos de

²³ Ver en <https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/procesos-de-clasificacion/14o-proceso-de-clasificacion-de-especies-2017-2018/>

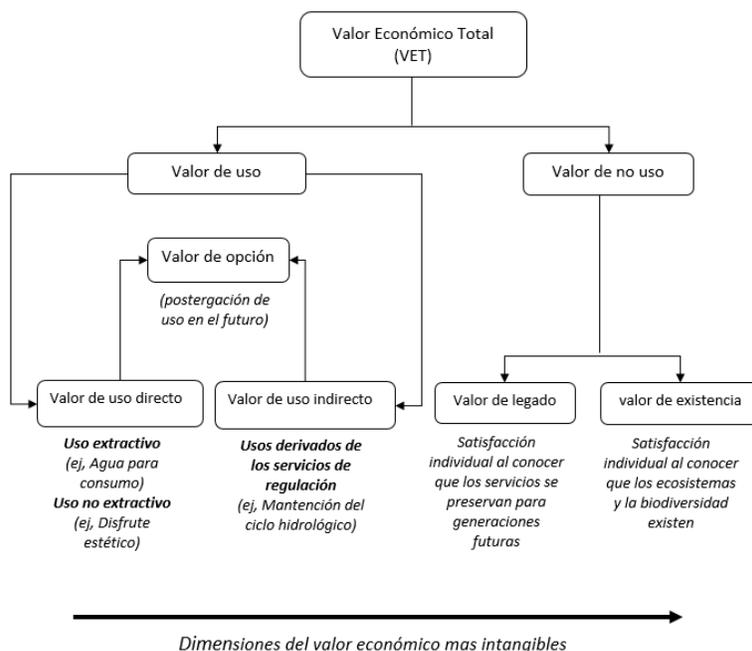
desembarque artesanal porque es en las primeras 5 millas reservadas a la pesca artesanal donde la regulación tendrá un mayor efecto (estuarios y ZPL). En esta área se distribuyen especies bentónicas sésiles o de movilidad limitada, de alto valor comercial (e.g. Loco o erizo²⁴).

2.6.2 Beneficios al bienestar humano

Mediante la reducción de emisiones contaminantes al medio acuático, el Anteproyecto generará diversos beneficios al bienestar humano vinculados a la mejora en la provisión de SSEE. Por definición, los SSEE corresponden al beneficio directo o indirecto que el ser humano obtiene de los ecosistemas (MEA, 2005), sus estructuras y/o funciones.

En consideración de lo anterior, y con el objetivo de evaluar el beneficio para la sociedad producto de la normativa, se deben identificar las dimensiones del valor en las que el ser humano puede beneficiarse de los ecosistemas que están presentes en la cuenca, de tal forma de conocer el Valor Económico Total (VET). En la Figura 5 se muestran las tipologías de valor que forman el VET, que podrían verse afectadas por variaciones en la cantidad de emisiones contaminantes vertidas al medio acuático.

Figura 5. Tipologías de valor en el Valor Económico Total de los ecosistemas.

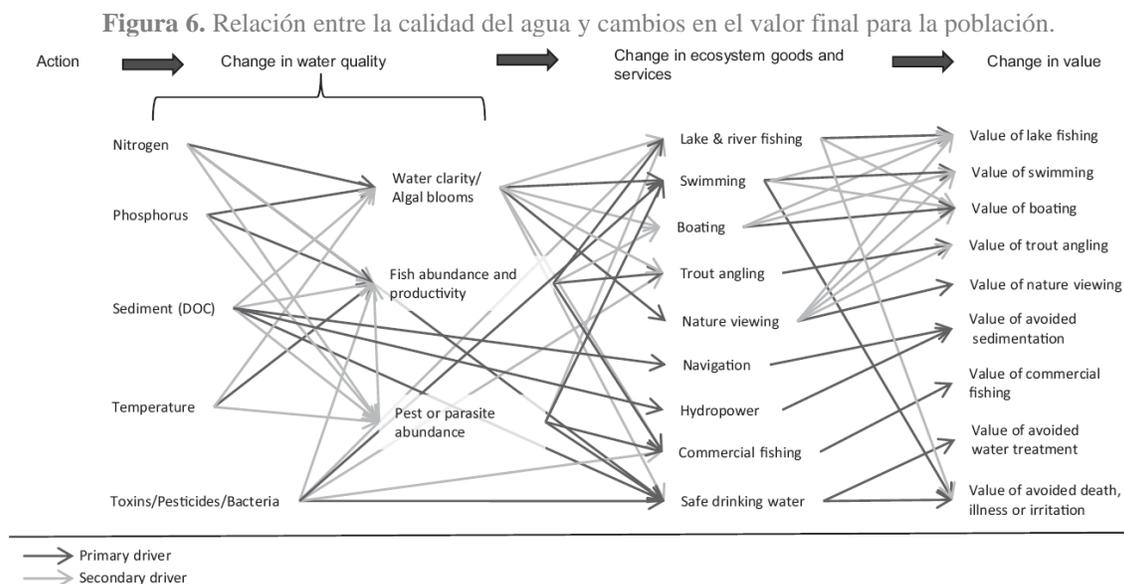


Fuente: Adaptado de Martín-López, González y Vilardy (2012).

²⁴ *Concholepas concholepas* & *Loxechinus albus*

Las emisiones de contaminantes, la calidad del agua, los SSEE y el VET están estrechamente relacionados²⁵. Esto se debe a que calidad ambiental subyace y sostiene la estructura y función de los ecosistemas, que a su vez, proporcionan una contribución al bienestar multidimensional de los seres humanos a través de los SS.EE (Díaz et al., 2018). A causa de esta relación, se asume que mejoras en la calidad del agua influirán positivamente en la provisión de SS.EE y con ello se esperan aumentos en el VET.

Sin embargo, la posibilidad de establecer relaciones que permitan cuantificar claramente diferencias en la provisión del servicio asociado a cambios en las emisiones de un contaminante son escasas y sitio-específicas. Esto debido a que las relaciones cuantitativas entre biodiversidad, los componentes de los ecosistemas, sus procesos y servicios no están claramente establecidas a la fecha (de Groot et al., 2010). Más aún, los ecosistemas presentan comportamientos no lineales en sus variables respuesta; propiedades emergentes de los sistemas que no pueden ser consideradas *a priori*; y puntos de quiebre donde la resiliencia de los ecosistemas se interrumpe y ocurren cambios de estado (*“phase-shifts”*; Wegner & Pascual, 2011) que no pueden ser relacionados de manera sencilla a cambios en las emisiones de uno o más contaminantes. Keeler et al. (2012) se refiere a la compleja red de relaciones existentes entre cambios en calidad de agua y cambios en el valor asignado a los servicios ecosistémicos socialmente (Figura 6).



Fuente: Keeler et al. (2012).

Por ende, la relación entre una política o acción evaluada y los beneficios que esta genera se evalúa de manera indirecta. En economía ambiental, se han desarrollado distintas metodologías para estimar el valor monetario de estos beneficios mediante instrumentos de

²⁵ Por ejemplo, dentro de los valores de uso se encuentran servicios de provisión, como el agua para consumo humano, o el uso físico del paisaje, uso recreacional de una cuenca o la extracción de peces, los valores de uso indirecto pueden estar relacionados con servicios de provisión tales como la regulación del clima local por un río, o el control de enfermedades del agua limpia.

valoración específicos y apropiados para el contexto en el que se lleva a cabo la toma de decisiones. En base a ello, se estiman los beneficios con tres aproximaciones diferentes:

- Disposición a pagar por mejorar la calidad de las aguas.
- Método de costos evitados por vertido de contaminantes que generan algún impacto negativo daño al medio ambiente.
- Método de costos evitados por recuperación de cuerpos de agua dañados.

Éstas se explicarán con más detalle a continuación:

a) Disposición a pagar por mejorar la calidad de las aguas

En el presente análisis se intenta aproximar el VET a través de la Disposición a Pagar (DAP) por cambios en calidad de las aguas superficiales a nivel nacional. La metodología general para la transferencia de beneficios se basa en la guía “Guía metodológica para la transferencia de beneficios” (MMA, 2017).

Para la realización de la transferencia se considera la compatibilidad entre los sitios de estudio, lugares donde se ha realizado un estudio de valoración económica (estudios internacionales), y sitios de política, lugar de interés donde se quiere aplicar la política (MMA, 2017). En este caso, se definió al sitio de política como: estuario (vinculado a T6), lagos (vinculado a T3) y ríos nacionales (vinculado a T1 y T2), particularmente aquellos afectos a las emisiones generadas por las fuentes emisoras identificadas en este análisis²⁶. Además, se identificó a la población beneficiada como usuarios y no usuarios, definidos a continuación:

- Usuarios: personas que residen en las comunas del país donde, producto del Anteproyecto, se reduciría la carga de alguno de los contaminantes emitidos.
- No usuarios: personas que residen en las provincias del país donde, producto del Anteproyecto, se reduciría la carga de alguno de los contaminantes emitidos. Excluye a los usuarios.

La consideración de comuna y provincia para la determinación de los usuarios y no usuarios se basa en la proximidad geográfica que en el caso de los usuarios permitiría poder acceder fácilmente al curso de agua, y con mediana facilidad en el caso de los no usuarios.

En la Tabla 6 se presenta la población de usuarios y no usuarios estimada a partir del cruce de información demográfica del CENSO 2017 proyectado para el año 2018²⁷ (INE, 2018), separados por cuerpo de agua donde se identifica a los usuarios o no usuarios de acuerdo, según definiciones anteriores.

²⁶ Dado que las valoraciones de los estudios de Disposición a pago disponibles referencian a cuerpos de agua distintos de mar, no se considera este dentro de los beneficios calculados.

²⁷ Se considera la población del mismo año que la línea base de emisiones.

Tabla 6. Número de hogares beneficiados por usuario y no usuario.

Tipo	Río (T1+T2)	Lago (T3)	Estuario (T6)
Usuario	1.168.206	2.849	460.948
No usuario	1.734.009	0	673.952
Totales	2.902.215	2.849	1.134.900

Fuente: Elaboración propia. Nota: T1=Tabla N°1 AP, T2=Tabla N°2 AP, T3=Tabla N°3AP, T6=T6 AP.

La estimación de beneficios económicos derivados de la DAP por cambios en la calidad del agua relaciona la cantidad monetaria dispuesta a pagar por hogar y la cantidad de hogares beneficiados por la regulación, en este caso los Usuarios y No usuarios.

Los valores unitarios de DAP fueron obtenidos de 3 referencias internacionales (Tabla 7) revisadas por pares (*peer-reviewed*; Johnston et al., 2017, (Johnston et al., 2005), Van Houtven et al., 2007) que sintetizan un conjunto 47 estudios con valores de DAP distintos.

Tabla 7. Estudios seleccionados para la transferencia de beneficios.

Año	Autor	Título del estudio	Descripción de estudio
2005	Johnston et al. (2005)	Systematic Variation in Willingness to Pay for Aquatic Resource Improvements and Implications for Benefit Transfer: A Meta- Analysis.	Análisis de valoración de calidad de aguas superficiales.
2007	Van Houtven et al. (2007)	Valuing water quality improvements in the United States using meta-analysis: Is the glass half-full or half-empty for national policy analysis?	Análisis de meta-regresión de estudios de valoración económica de cambios en calidad de agua superficial.
2017	Johnston et al. (2017)	Enhanced Geospatial Validity for Meta-analysis and Environmental Benefit Transfer: An Application to Water Quality Improvements.	Análisis de meta-regresión de estudios sobre de valoración económica de cambios en calidad de agua superficial.

Fuente: Elaboración propia.

Estos 47 estudios fueron clasificados de acuerdo con el tipo de cuerpo de agua donde se había realizado el estudio, para diferenciar las DAP según cuerpo de agua. Luego, fueron ajustados por Paridad de Poder Adquisitivo (PPA) e inflación para transferirlos a la realidad nacional, según los lineamientos contenidos en la guía “Guía metodológica para la transferencia de beneficios” (MMA, 2017).

Para ello, cada valor de DAP se convirtió utilizando el factor de conversión de PPA propuesto por el Banco Mundial²⁸, para el año correspondiente a la referencia original, para representar la cantidad de pesos chilenos que se requieren para adquirir la misma cantidad de bienes y servicios en el mercado nacional que se podrían adquirir con dólares de los Estados Unidos en ese país. Luego se ajustó el valor de DAP por la inflación promedio de Chile para del período 2000-2020, según la cantidad de años que le corresponde, desde el año reportado en la publicación original del metanálisis hasta el año 2020. Finalmente, estos valores de DAP

²⁸ <https://datos.bancomundial.org/indicador/PA.NUS.PRVT.PP>

fueron reconvertidos al promedio del dólar observado en los últimos doce meses según datos del Banco Central. Los valores de DAP (USD/hogar-año) ajustados se presentan en Tabla 8.

Tabla 8. Resultados de DAP (USD/hogar-año) ajustada por cambio de moneda, paridad de compra e inflación

Percentil	Río (T1+T2)	Lago (T3)	Estuario (T6)
5%	15,2	21,6	43,7
50%	68,5	61,9	68,2
95%	134,7	97,8	246,6

Fuente: Elaboración propia.

Las Ecuación 15 y Ecuación 16 representan los beneficios económicos para los Usuarios y No Usuarios, respectivamente. En ellas el valor promedio DAP por Tipo de Cuerpo de Agua se multiplicó por el número de hogares beneficiados totales para el año 2018, bajo el supuesto de 3,1 habitantes por hogar (INE, 2017). Se establece un valor de valorización diferente para los hogares que hacen uso directo del recurso y para aquellos que no lo utilizan, asumiendo que los usuarios poseen una DAP tres veces mayor que los no usuarios (Van Houtven et al., 2007).

La Ecuación 17 representa el cálculo del beneficio total estimando mediante esta metodología, diferenciado por Tipo de Usuario (Usuario – No Usuario) y Tipo de Cuerpo de Agua (TCA).

$$Beneficio\ Usuarios_{TCA} = DAP_{TCA} \cdot Hogares_{C,TCA} \cdot Factor \frac{personas}{hogar} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$Beneficio\ No\ Usuarios_{TCA} = DAP_{TCA} \cdot \frac{1}{3} \cdot Hogares_{P,TCA} \cdot Factor \frac{personas}{hogar} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$Beneficio_{DAP} Tot_{TU,TCA} = Beneficio\ usuarios + Beneficio\ No\ Usuarios \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde,

$Beneficio\ Usuarios_{TCA}$: Beneficio económico para usuarios por Tipo de Cuerpo de Agua (TCA)

$Beneficio\ No\ Usuarios_{TCA}$: Beneficio económico para usuarios por Tipo de Cuerpo de Agua (TCA)

DAP_{TCA} : Valor de Disposición A Pago (CLP o USD/hogar-año) por Tipo de Cuerpo de Agua (TCA)

$Hogares_{C,TCA}$: Número de hogares en las Comunas (C) con reducciones de emisiones por Tipo de Cuerpo de Agua (TCA)

$Hogares_{P,TCA}$: Número de hogares en las Provincias (P) con reducciones de emisiones por Tipo de Cuerpo de Agua (TCA)

$Factor \frac{personas}{hogar}$:	Número de personas por hogar a nivel nacional (3,1)
$Beneficio_{DAP} Tot_{TU,TCA}$:	Beneficio total por Tipo de Usuario (TU) por Tipo de Cuerpo de Agua (TCA)

b) Método de costos evitados por vertido de contaminantes que generan daño ambiental.

En el presente análisis se emplea el Precio Sombra de los contaminantes para asignar un valor a bienes que no tienen un precio de mercado, tal como es el caso de bienes relacionados con el medio ambiente. Los precios sombra pueden ser considerados como un *proxi* del valor que la sociedad le proporciona a la emisión de contaminantes, siendo posible emplearlos para el análisis económico de normativas medioambientales (Bruyn et al., 2010).

En este caso, específicamente se utiliza el costo económico de las emisiones de contaminantes (USD/kg) para reflejar el valor de la externalidad producto de las emisiones. En este sentido las reducciones de emisión son un ahorro de costos ambientales, lo cual representa un beneficio para la sociedad. Para ello se utilizó como referencia el estudio de Hernández-Sancho et al. (2010).

En el citado estudio, utilizando una aproximación en base al costo de tratamiento de las emisiones de contaminantes en agua y ajustes de eficiencia a la producción, se obtiene un valor monetario por unidad de masa de nitrógeno (N), fósforo (P), sólidos suspendidos totales (SST), demanda biológica de oxígeno (DBO₅) por tipo de cuerpo de agua²⁹.

Los precios sombra de las emisiones estimadas por Hernández-Sancho et al. (2010) para la región de Valencia, España fueron transferidos a Chile según inflación y Paridad del Poder Adquisitivo (PPA) y se presentan en Tabla 9.

Tabla 9. Precios sombra contaminantes por tipo de cuerpo de agua transferido a Chile (USD/kg).

Contaminante	Río (T1+T2)	Mar (T4+T5)	Humedal (T6)
Nitrógeno	32,12	9,06	128,07
Fósforo	60,77	14,79	203,12
Sólidos suspendidos totales	0,01	0,00	0,02
Demanda biológica de oxígeno	0,06	0,01	0,23

Fuente: Elaboración propia. Nota: T1=Tabla N°1 AP, T2=Tabla N°2 AP, T3=Tabla N°3AP, T4=Tabla N°4AP, T5=Tabla N°5AP.

²⁹ Esto está relacionado con las exigencias diferenciadas en la localidad española, donde existen diferencias en las emisiones según cuerpo de agua. A mayor exigencia, mayor es el precio sombra, e indirectamente, mayor es el valor que la sociedad le atribuye a dichos cuerpo de agua.

Finalmente, los costos evitados por el tratamiento de aguas se obtuvieron considerando el delta de emisiones (toneladas) a reducir con la aplicación del Anteproyecto y los precios unitarios para cada contaminante³⁰ (USD/ton), como se muestra en Ecuación 18.

$$Beneficio_{Precio\ Sombra} = \sum_{i,TCA} \Delta\ emisión_{i,TCA} \cdot PS_{i,TCA} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde,

$Beneficio_{Precio\ Sombra}$: Beneficio económico derivado de la reducción de contaminantes estimado mediante sus precios sombra

$\Delta\ emisión_{i,TCA}$: Delta de emisiones para el contaminante (i) derivado de la implementación del Anteproyecto por Tipo de Cuerpo de Agua (TCA)

$PS_{i,TCA}$: Precio Sombra (PS) por contaminante (i) por Tipo de Cuerpo de Agua (TCA)

c) Costos de costos evitados por recuperación de cuerpos de agua dañados.

La presente valoración permite obtener una aproximación de los beneficios de una norma que tiene un objetivo preventivo, mediante información de un programa de recuperación seleccionado (ver Tabla 10), que tiene por objetivo disminuir la contaminación de una bahía/estuario y la afectación del ecosistema y servicios ecosistémicos asociados a estos. A pesar de que la extrapolación de costos obedece a variables sitio específicas tales como el tipo de contaminante, el número de fuentes emisoras o el grado de contaminación, entre otras, se escoge el programa de la Tabla 10 ya que pertenece a una inversión de gran envergadura y de amplio periodo de aplicación, condiciones potencialmente similares a las características de la norma en evaluación.

Tabla 10. Programa de recuperación cuerpo de agua superficial.

Programa	Contaminantes	Duración del proyecto (años)	Superficie (ha)
Chesapeake Bay Program (EE.UU.)	Nutrientes Pesticidas Metales Productos farmacéuticos	6	11.601

Fuente: Elaboración propia basado en Chesapeake Bay Commission, 2003.

En la evaluación económica se emplea la metodología de la transferencia de beneficios del *Chesapeake Bay Program*, lo que implicó un ajuste de los valores de por la inflación promedio de Estados Unidos para del período 2000-2020, según datos del Banco Mundial³¹.

³⁰ Sólo se consideraron parámetros que serían regulados por la presente normativa y para los cuales existe información respecto de sus costos evitados por tratamiento de aguas.

³¹ Banco Mundial (2021). Inflation, consumer prices (annual %). Documento En Línea, disponible en URL: <https://datos.bancomundial.org/indicador/FP.CPI.TOTL.ZG>

Los costos evitados por recuperación de aguas se obtuvieron considerando la Ecuación 19, y la superficie de los estuarios del río Biobío y Valdivia, con una superficie aproximada de 17 y 57 km respectivamente.

$$\text{Beneficio}_{\text{costo de recuperación}} = \frac{\text{Factor Inflación}_t}{\text{Factor Inflación}_k} \cdot \text{Costo de recuperación}_k \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde,

Beneficio_{costo de recuperación}: Beneficio económico derivado de la recuperación de cuerpo de agua (USD/año)
Factor Inflación_t: Factor inflación desde el año 2000 a año *t*
Factor Inflación_k: Factor inflación desde el año 2000 a año *k*
Costo de recuperación_k: Costo de recuperación del *Chesapeake Bay Program* en año *k* (USD/año)

Para la evaluación económica se emplea la metodología de transferencia de beneficios sobre los costos totales del programa de recuperación de aquella bahía- estuario o *Chesapeake Bay Program*. Los costos totales de recuperación del programa fueron estandarizados por el área total de la bahía (aproximadamente 11.600 km²) y ajustados por la inflación promedio de Estados Unidos para del período 2000-2020, según datos del Banco Mundial³², para obtener un valor unitario por km². Esto equivale a un valor de MM US\$ 0,44 por km² al año.

Posteriormente, los costos evitados de recuperación de aguas se obtuvieron utilizando la superficie de los estuarios del río Biobío y Valdivia, con una superficie aproximada de 17 y 57 km² respectivamente, según expresa la Ecuación 19.

$$\text{Beneficio}_{\text{costo de recuperación}} = \text{Factor Inflación}_t \cdot \frac{\text{Costo de recuperación}_k}{A_{CB}} * A_{BV} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde,

Beneficio_{costo de recuperación}: Beneficio económico derivado de la recuperación de cuerpo de agua (USD/año)
Factor Inflación_t: Factor inflación desde el año 2000 a año *t*
Costo de recuperación_k: Costo de recuperación del *Chesapeake Bay Program* en año *k* (USD/año)
A_{CB}: Área total aproximada del estuario de Chesapeake (11.600 km²)
A_{BV}: Área total aproximada de los estuarios de los ríos Biobío y Valdivia (74 km²)

³² Banco Mundial (2021). Inflation, consumer prices (annual %). Documento En Línea, disponible en URL: <https://datos.bancomundial.org/indicador/FP.CPI.TOTL.ZG>

Por último, se debe considerar que los costos de recuperación no son los únicos costos asociados a la contaminación de los cuerpos de agua, sino que también la pérdida de servicios ecosistémicos, por ejemplo, aquellos recreacionales provistos por los cuerpos de agua y asociados con el desarrollo turístico de la zona afectada.

Por último, se debe considerar que los costos de recuperación no son los únicos costos asociados a la contaminación de los cuerpos de agua, sino que también la pérdida de servicios ecosistémicos, por ejemplo, aquellos recreacionales provistos por los cuerpos de agua y asociados con el desarrollo turístico de la zona afectada.

2.7 Gradualidad temporal de la regulación

Tal como se mencionó anteriormente, el Anteproyecto de norma evaluada propone la implementación de un esquema de gradualidad temporal para la exigencia de las obligaciones establecidas. En la tabla 11 se describen los supuestos considerados en la evaluación para incluir esta gradualidad temporal en los resultados.

Tabla 11. Supuestos para inclusión de gradualidad temporal de la norma en el AGIES

Obligación	Entrada en vigencia según AP	Entrada en vigencia supuesto en el AGIES
Plazo para cumplir con límites de concentración de emisiones en estuarios (T6)	60 ³³ meses	42 meses
Plazos para cumplir con cambios en tabla de cuerpo de agua lacustre y afluentes a cuerpos de agua lacustre (T3)	42 meses	
Plazos de cumplimiento para fuentes emisoras que cumplen actualmente T5 y deberán cumplir T4	60 meses	
Cumplimiento límites de emisión para THMs y CLR	42 meses	
Plazo caracterización para artefactos navales	9 meses	9 meses
Plazo caracterización emisiones CLR y THMs	12 meses	12 meses
Plazo cumplimiento límites de emisión para artefactos navales	33 ³⁴ meses	No evaluado

Fuente: Elaboración propia.

Por limitaciones técnicas en la evaluación realizada, dadas por la conceptualización del modelo matemático utilizado, que no permite evaluar el cumplimiento de manera separada para parámetros en particular y que considera tecnologías de abatimiento para grupos de contaminantes dados, no es posible evaluar los impactos del establecimiento de límites de emisión para parámetros específicos de manera separada del cumplimiento de la tabla

³³ Considera 18 meses para determinación de límites y 42 meses adicionales para cumplir con los límites normativos

³⁴ Considera 9 meses para calificación de fuente emisora y 24 meses adicionales para cumplir los correspondientes límites normativos

completa que atañe a cualquier fuente, como sería la obligación de cumplir normas para CLR y THMs 6 meses antes del cumplimiento de la tabla en su totalidad. Considerando lo anterior, y asumiendo que las fuentes implementarán aquella(s) tecnología(s) que les permitan reducir la totalidad de emisiones que sobrepasan la norma en un mismo momento, para el AGIES se considera como plazo de obligación para todas las tablas y parámetros el menor tiempo de cumplimiento, equivalente a 42 meses desde la entrada en vigencia. Respecto del cumplimiento específico de los límites de emisión establecidos para artefactos navales y obligatorios a los 33 meses de entrada en vigencia de la regulación, como señala la tabla anterior, no son evaluados por falta de información dado que hoy en día (línea base) no se encuentran obligados al monitoreo de sus RILes por no tener la calidad de fuentes emisoras.

Para las obligaciones de caracterización de emisiones de CLR y THMs, y de artefactos navales se considera el mismo plazo que establece la norma.

Adicionalmente, para la presentación y análisis de los resultados obtenidos se considera como año de realización de la evaluación el año 2020 y como primer año de entrada en vigencia el año 2023³⁵.

Es importante señalar que, considerando los supuestos detallados en la Tabla 11 y el supuesto de año de entrada en vigencia antes señalado, será desde el año 2027 en adelante cuando todas y cada una de las obligaciones indicadas en el Anteproyecto se encuentren en vigencia total (en adelante *año de plena vigencia*).

³⁵ Se asume el 2021 como año de tramitación, promulgación durante 2022 y la entrada en vigencia el día de su publicación que se considera materializada en 2023.

3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados, según la metodología detallada en el capítulo anterior. Para las secciones 3.1, 3.2 y 3.3 se presentan los resultados asumiendo una situación de plena vigencia de la regulación, mientras que para los costos y beneficios se detallarán los valores considerando los plazos de entrada en vigencia señalados en el capítulo anterior.

3.1 Línea base de emisiones

A nivel nacional el número de fuentes es desagregado por zona geográfica y Tabla a la cual las fuentes reportan sus emisiones para SB y SCA. Las fuentes ubicadas en las zonas A y B no sufren modificaciones, tal como se muestra en la Tabla 12. La modificación de la ZPL y su aplicación en fuentes existentes genera una migración de 72 Fuentes hacia la T4. Además, se observa que 31 fuentes migran de T1 o T2 a reportar en T6.

Tabla 12. Número de fuentes emisoras según zona geográfica para situación actual (con norma vigente) “SB” y situación con Anteproyecto (norma propuesta) “SCA”.

Zona*	T1		T2		T3		T4		T5		T6		Total
	SB	SCA	SB	SCA	SB	SCA	SB	SCA	SB	SCA	SB	SCA	
Zona A	1	1	0	0	0	0	20	20	21	21	N.A.	0	42
Zona B	23	23	6	6	0	0	12	12	16	16	N.A.	0	57
Zona C	276	273	20	19	1	1	12	12	18	18	N.A.	4	327
Zona D	166	142	82	65	34	51	25	82	91	34	N.A.	24	398
Zona E	18	16	3	1	2	3	3	18	15	0	N.A.	3	41
Total	484	455	111	91	37	55	72	144	161	89	0	31	865

Fuente: Elaboración propia.

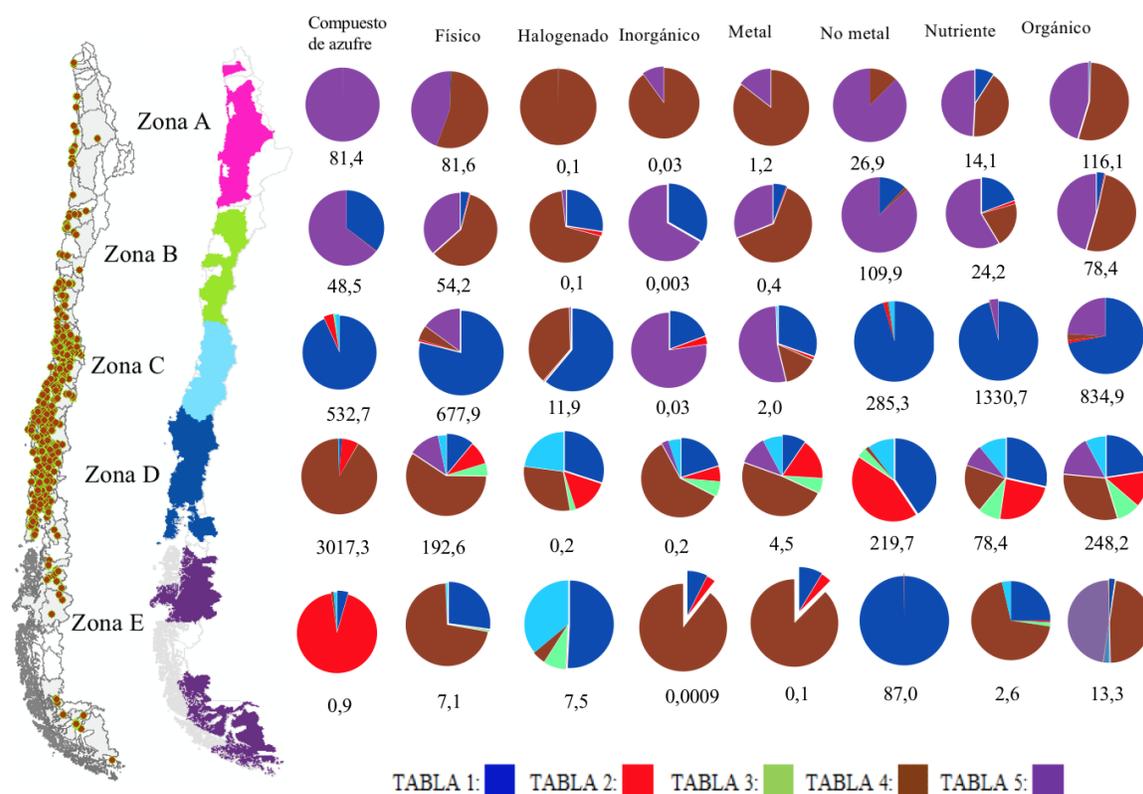
N.A: No aplica, ya que en SB no existe la Tabla N°6

*Zona A: desde Arica hasta Taltal, Zona B: desde Diego de Almagro hasta Salamanca, Zona C: desde Petorca hasta Tucapel, Zona D: desde Tomé hasta Palena, Zona E: desde Cisnes hasta Cabo de Hornos.

Existe un patrón latitudinal en las descargas de las fuentes emisoras (ver Tabla 12 y Figura 7). En el norte del país (zonas A y B) las fuentes descargan principalmente en Tablas 4 y 5. En el centro (zonas C y D) las descargas ocurren en T1 y T2, mientras que en el extremo sur (zona E) las descargas se concentran en T1 y T5. La nueva T6 regularía principalmente a fuentes emisoras que se encuentran ubicadas en el sur del país, en zona D.

Las zonas C y D tienen el mayor número de fuentes emisoras a nivel nacional (ver Tabla 12), esto se condice con que son las zonas en que se presenta la mayor carga emitida en línea base, como se observa en Figura 7. Específicamente, en la zona C predomina la descarga de Nutrientes en T1 (1.281,6 ton/día); mientras que en zona D predominan la descarga de compuestos de azufre en T4 (2.747 ton/día).

Figura 7³⁶. Cargas de línea base (toneladas/d) por zona Geográfica, tipo de contaminante y Tabla. Los números bajo los gráficos representan el total de carga de línea de base para cada zona-compuesto (en toneladas/día).



Fuente: Elaboración propia.

Los rubros que concentran la mayor cantidad de fuentes emisoras con cambio de Tabla corresponden a: Pesca y Acuicultura (71 fuentes), Alimentos (18 fuentes) y Tratamiento de aguas servidas (16 fuentes). En la Tabla 13 se detalla esta información.

Tabla 13. Fuentes emisoras que cambiarían de Tabla (SCP) según rubro.

Rubros	T1 a T3	T1 a T6	T2 a T6	T4 a T5	Total
Alimentos	-	-	2	16	18
Tratamiento de Aguas Servidas	1	7	4	4	16
Pesca y Acuicultura	16	4	4	47	71
Otros Rubros	1	-	5	5	11
Madera, Celulosa, Papel	-	-	5	-	5
Total	18	11	20	72	121

Fuente: Elaboración propia. Nota SCA=Situación con Anteproyecto.

³⁶ Solo se muestran contaminantes con igual unidad de medida por permitir la agrupación de los datos

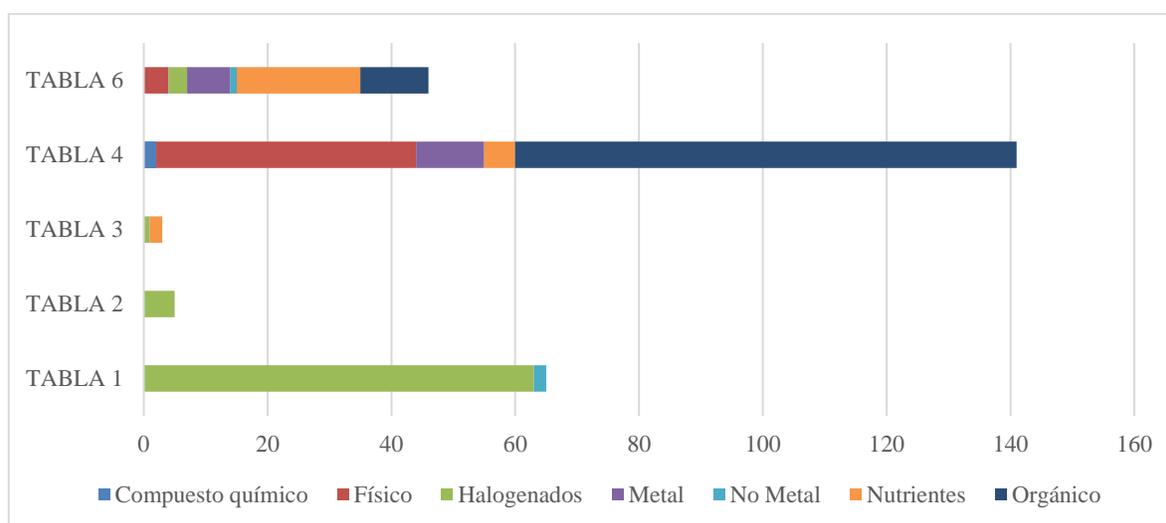
3.2 Análisis de cumplimiento de la normativa propuesta en relación a la situación actual de las fuentes

Para evaluar el impacto del Anteproyecto de la norma, se asumió el cumplimiento total de la norma vigente. Los contaminantes que generarían incumplimientos, es decir, que necesitarían ajustar su funcionamiento actual para adaptarse a la normativa propuesta en el presente anteproyecto de norma, fueron clasificados en nueve categorías según se muestra en Tabla 4.

La Figura 8 detalla el número de fuentes que superarían algún tipo de contaminante de acuerdo a la tabla según la cual deben regirse en la norma propuesta, contrastando su situación actual. Es importante señalar que una misma fuente puede incumplir más de un contaminante en una Tabla, sin embargo, si se considera el número de fuentes distintas que incumplen al menos un contaminante, el total asciende a 160 fuentes emisoras que considera tanto a fuentes que cambian de tabla como a fuentes que se mantienen en la tabla actual pero están sujetas al cumplimiento de límites normativos más estrictos o a la inclusión de nuevos parámetros.

La Tabla de norma con mayor cantidad de superaciones respecto de la norma propuesta, corresponde a la T4 (con parámetros orgánicos), y los valores corresponden en su mayoría a fuentes que cambiaron de tabla³⁷; en segundo lugar, la T1 con contaminantes halogenados y en menor medida contaminantes no metálicos. Conjuntamente, las T1, T4 y T6 concentran casi el 73% de las empresas que superan los nuevos límites máximos permisibles establecidos en el anteproyecto para los distintos grupos de contaminantes.

Figura 8. Fuentes emisoras incumpliendo por Tabla según tipo de contaminante en SCA.

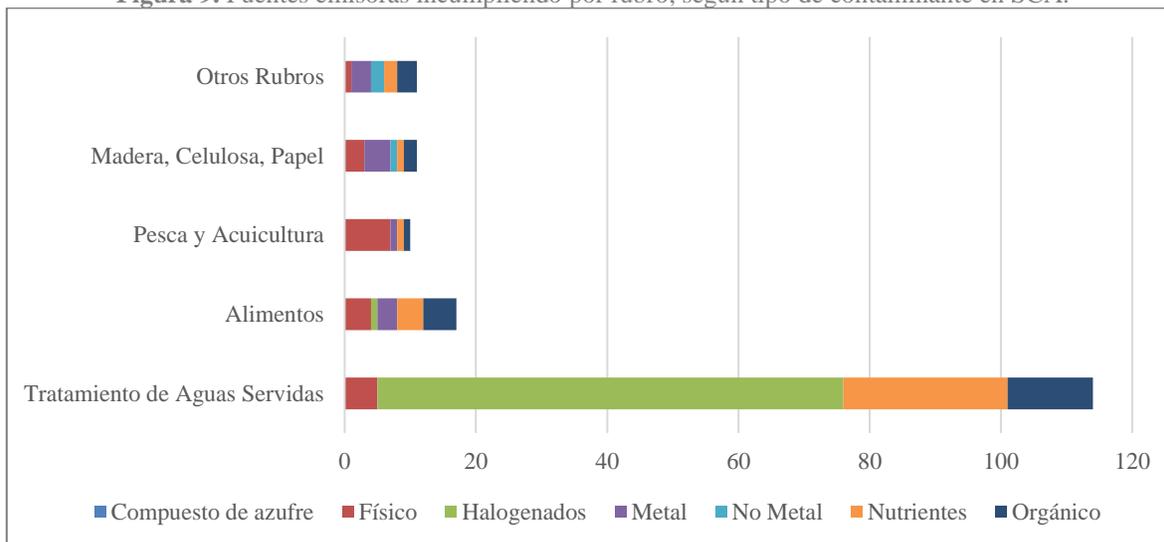


Fuente: Elaboración propia

³⁷ De Tabla 5 a Tabla 4, debido a la modificación de la ZPL desde Punta Puga al sur.

La Figura 9 muestra a las fuentes emisoras, según rubro, que incumplen de acuerdo al tipo de contaminante. En dicha figura el Rubro de Tratamiento de Aguas Servidas presenta los mayores incumplimientos principalmente asociados a la emisión de contaminantes halogenados, seguidos por nutrientes y contaminantes orgánicos.

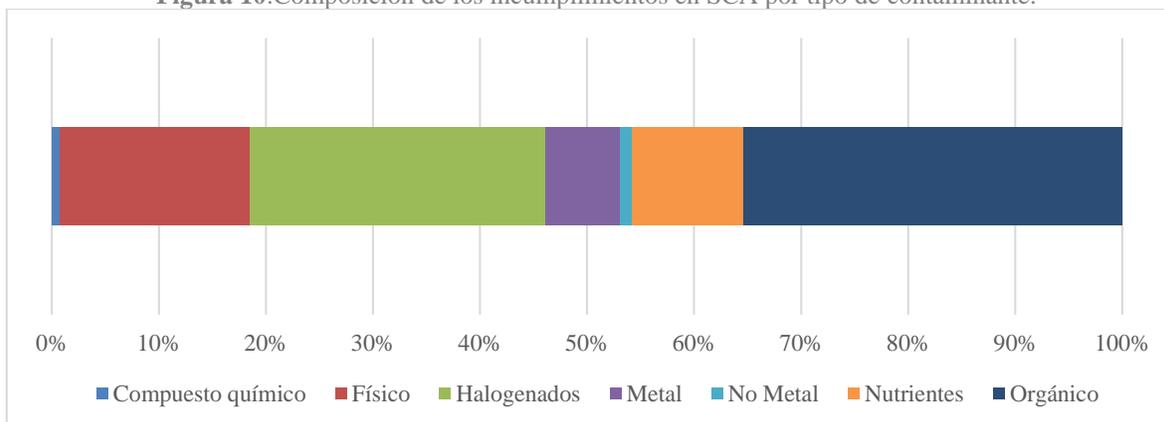
Figura 9. Fuentes emisoras incumpliendo por rubro, según tipo de contaminante en SCA.



Fuente: Elaboración propia

Al realizar un análisis de los contaminantes para todos los rubros, los incumplimientos (ver, Figura 10) principalmente corresponden a orgánicos y compuestos halogenados (Cloro Libre Residual, Trihalometanos y Triclorometano).

Figura 10. Composición de los incumplimientos en SCA por tipo de contaminante.



Fuente: Elaboración propia

3.3 Reducción de emisiones

Como resultado de la evaluación del cambio de concentraciones requeridas para el cumplimiento de los límites establecidos en el Anteproyecto de revisión de la norma y sus tolerancias, se obtiene la reducción de emisiones (ver Tabla 14). Para cada contaminante que está en incumplimiento se muestran las reducciones asociadas al cumplimiento de las diversas tablas.

Tabla 14. Reducciones necesarias para cumplir con la SCA, por contaminante y Tabla (kg/día)
(Solo se muestran los parámetros que deben ser disminuidos en más de 1 kg/día)

Parámetro	TABLA 1	TABLA 3	TABLA 4	TABLA 6
Coliformes Fecales*	381,7		1.099.131.809,5	
Demanda Biológica de Oxígeno		13,2	35.630,4	8.889,8
Sólidos Suspendidos Totales		21,1	19.520,0	3.780,4
Aceites y Grasas		7,7	2.662,0	2.012,1
Nitrógeno		8,0		2.111,4
Fosforo			772,0	258,9
Cloruro				319,9
Cloro Libre Residual	98,6			
Índice de Fenol			43,3	
Aluminio			3,4	32,2
Manganeso				9,6
Cobre				4,7

Fuente: Elaboración propia.
*medido en NMP/día

Al analizar las reducciones asociadas a las Tablas del Anteproyecto, las mayores, en términos absolutos y en kg/día, ocurren por implementación de límites de Tabla 4, seguido de Tabla 6. Además, las mayores reducciones corresponden a *Demanda Biológica de Oxígeno* (44.533,5 kg/d) y *Sólidos Suspendidos Totales* (23.321,5 kg/d),

Por otro lado, al observar la distribución geográfica de las fuentes emisoras que generarían estas reducciones, se puede ver que en las zonas D y E se generaría la mayor reducción de emisiones (Tabla 15), sin embargo, es importante señalar que dadas las corrientes y el movimiento de los contaminantes es posible que estas reducciones superen los límites establecidos para las diferentes zonas.

Tabla 15. Reducciones de contaminantes necesarias para cumplir con la SCA, según parámetro y zona (kg/d)
(Solo se muestran los parámetros que deben ser disminuidos en más de 1 kg/día)

Parámetro	ZONA B	ZONA C	ZONA D	ZONA E
Coliformes Fecales*			771.062.831,5	328.069.359,7
Demanda Biológica de Oxígeno		317,1	33.283,8	10.932,5
Sólidos Suspendidos Totales		266,8	18.361,9	4.692,8
Aceites y Grasas		233,2	4.316,7	131,9
Nitrógeno		66,1	2.045,3	8,0
Fosforo		9,7	788,8	232,4
Cloruro			319,9	
Cloro Libre Residual	1,4	97,2		
Índice de Fenol				43,3
Aluminio		1,3	34,3	
Manganeso		1,4	8,2	
Cobre			4,7	

Fuente: Elaboración propia.

*medido en NMP/día

3.4 Costos

Los costos totales de la norma fueron estimados en US\$ 6,69 millones anuales considerando plena vigencia del diseño regulatorio. Se desglosan los costos que el Anteproyecto (SCA) generaría para los titulares de las fuentes emisoras debido las medidas de abatimiento, al monitoreo de la norma³⁸ y caracterización de Fuente Emisora, y para el Estado en cuanto a su fiscalización (considera cambio de parámetros a monitorear por cambio de tabla y el monitoreo de nuevos parámetros) en el tiempo.

En la Tabla 16 se observa que la gradualidad de implementación en la regulación repercute en los costos totales de esta. Asumiendo 2023 como el año de entrada en vigencia, se obtienen valores que parten en 2,84 MM USD anuales y ascienden hasta 6,69 MM USD de costos totales por año, en vigencia plena de la regulación.

³⁸ Inclusión de nuevos parámetros, ya sea por cambio de Tabla o por los parámetros nuevos a regular, por el monitoreo de la Tabla completa una vez al año, por el cambio de frecuencia de monitoreo según caudal de descarga.

Tabla 16. Costos de cumplimiento Anteproyecto según gradualidad temporal (MM USD/año)

Costo	2023	2024	2025	2026	Desde 2027 en adelante
Abatimiento	-	-	-	1,92	3,84
Caracterización y Monitoreo de Fuentes emisoras	2,78	2,79	2,79	2,79	2,79
Fiscalización	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Total	2,84	2,85	2,85	4,77	6,69

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados por tipo de costo, según las metodologías descritas en la sección 2.5.

3.4.1 Costos de abatimiento

Los costos de abatimiento se estiman en MM US\$ 3,84 al año una vez la regulación esté en plena vigencia. Los costos anualizados de la implementación de tecnologías de abatimiento se basan en la información de curvas de costos provista por tres estudios (Anexo 5.3.3). En la Tabla 17 se presentan los costos de la norma por rubro desde el año 2027 en adelante, se estima que los principales costos recaen sobre los rubros de Tratamiento de aguas servidas (MM US\$ 2,38 al año) y Alimentos (MM US\$ 0,98 al año).

Tabla 17. Costos de abatimiento asociados a la SCA, según rubro.

Rubros	Costo anualizado [MM USD/año]*	Porcentaje
Alimentos	0,98	25,54%
Energía	0,01	0,28%
Madera, Celulosa, Papel	0,11	2,88%
Otros Rubros	0,08	2,12%
Pesca y Acuicultura	0,27	7,08%
Tratamiento de Aguas Servidas	2,38	62,09%
Total general	3,84	100,00%

Fuente: Elaboración propia. * Otros rubros corresponden a: Energía, Educación, Curtiembres, Textil, Terminal marítimo, Fabricación de productos de arcilla y cerámicas, Preparación del terreno, excavaciones y movimientos de tierra, Otros servicios de esparcimiento.

En la Tabla 18, al analizar el costo anualizado por Tabla, se tiene que T2 y T5 no producirían costos, mientras que la T4 generaría el 68,5% de los costos de abatimiento, seguida de la T6 con un 28,1%. El 3,3% restante se divide entre T1 y T3.

Tabla 18. Costos de abatimiento asociados a la SCA, según la Tabla de descarga del Anteproyecto

Tabla	Costo anualizado [MM USD/año]	Porcentaje
T1	0,11	3,0%
T2	0,00	0,0%
T3	0,01	0,3%
T4	2,62	68,5%
T5	0,00	0,0%
T6	1,08	28,1%
Total	3,84	100,0%

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Costos de monitoreo y caracterización de Fuente Emisora

Los costos de monitoreo y evaluación de condición de fuente emisora para el periodo de vigencia plena de la regulación se resumen en la Tabla 19.

Tabla 19. Desagregación de costos de monitoreo y caracterización para titulares de las fuentes emisoras.

Motivo	Valor anualizado [MM USD/año]
Monitoreo	2,779
Caracterización de fuentes emisoras	0,011
Total	2,790

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se concluye que al adicionar todos los costos para los titulares de las fuentes emisoras, los costos ascienden a 6,63 MM USD/año, si se suma a los costos de abatimiento presentados anteriormente.

3.4.3 Costos de fiscalización

Los costos adicionales de fiscalización atribuibles al Estado fueron estimados en US\$ 60.774 anuales desde la entrada en vigencia de la regulación. Estos costos están dados tanto por el cambio de tabla de las fuentes emisoras como por la inclusión de nuevos contaminantes a la regulación.

3.5 Beneficios

En este capítulo se describen los resultados de la identificación y cuantificación de los beneficios asociados al Anteproyecto, además de una aproximación al valor económico relacionado con la mejora en calidad de agua de los cursos de agua superficiales.

Los beneficios cuantificables se estimaron mediante tres distintas aproximaciones metodológicas, las que, en función de la reducción de contaminantes asociados a la implementación de la norma, presentan los siguientes flujos temporales en razón de la gradualidad de las obligaciones partiendo en el año 2023, de acuerdo a los supuestos antes explicitados.

Tabla 20. Beneficios de cumplimiento Anteproyecto según gradualidad temporal y metodología (MM USD/año)

Aproximación para la estimación	2023	2024	2025	2026	Desde 2027 en adelante
Beneficios Disposición a pago	-	-	-	146,80	293,50
Beneficios Costos evitados	-	-	-	61,62	123,21
Beneficios Costos de recuperación	-	-	-	16,32	32,63

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los resultados para cada una de las aproximaciones metodológicas consideradas.

3.5.1 Beneficios a especies y ecosistemas

Cualquier degradación de la calidad del agua, ya sea un flujo excesivo de agua que erosiona las riberas o los productos químicos que impactan a los organismos acuáticos (Tabla 21), puede reducir la salud del ecosistema limitando su capacidad de auto depuración, soporte y regulación de procesos hidrobiológicos, así como el disfrute que los seres humanos reciben al estar en presencia de las diversas cadenas de servicios ofrecidos por estos ecosistemas acuáticos. Las altas concentraciones de nitratos, metales, contaminantes orgánicos e inorgánicos, los sedimentos, los cloruros, los patógenos, las toxinas y otros, tienen el potencial de causar daños graves en las distintas especies, pudiendo afectar las cadenas tróficas y la salud del ecosistema (Baby et al., 2011).

Los humedales son ecosistemas acuáticos que sostienen una rica biodiversidad y proveen importantes elementos para la vida. Los humedales chilenos se caracterizan por su singularidad, belleza y fragilidad, alojando una biodiversidad con alto valor para la conservación. Las variadas condiciones climáticas y geológicas de Chile permiten la existencia de más de 20 tipos de humedales. De acuerdo a estimaciones recientes del Ministerio del Medio Ambiente, se han catastrado que los humedales en Chile comprenden una superficie aproximada de 5,6 millones de hectáreas, lo que representa cerca del 5,9% del territorio nacional (Edáfica-MMA, 2020).

Entre los servicios ecosistémicos que prestan los humedales están: suministro de servicios, regulación de servicios, servicios culturales y servicios de soporte (Vivanco, 2017). Pese a ello, son ecosistemas de alta vulnerabilidad, particularmente amenazados por la contaminación difusa vinculada al uso de agroquímicos en la agricultura, actividades de

drenaje, relleno y otra intervenciones físicas e hidromorfológicas, entre otros (Vivanco, 2017, MMA, 2020a).

A continuación se describen los efectos identificados de los parámetros que regula el AP.

Tabla 21. Efectos cualitativos en el ecosistema de parámetros normados por el AP.

Parámetro	Efecto en el ecosistema
Aceites y Grasas	Genera una película impermeable que impide el intercambio gaseoso entre la atmósfera y el agua lo que produce una disminución del oxígeno disuelto en el agua, lo que puede provocar la muerte de la biota.
Boro	Es un elemento esencial para el desarrollo de plantas, sin embargo, el agua para riego no debiera contener más de 0,75 [mg/L]. Descarga de RILes pueden afectar negativamente la fauna acuática incluso podría provocar la muerte.
Cadmio	El Cd es fácilmente absorbido por las plantas y bioacumulable provocándole desequilibrios nutricionales e hídricos. En relación a la biota acuática, se ha estudiado a que en general es tolerante a este metal, sin embargo, se va traspasando en la cadena trófica debido a su potencial de bioacumulación.
Cloro Libre Residual	El CLR es tóxico para la biota acuática, puede combinarse con la materia orgánica del agua y producir Trihalometanos.
Cianuro	El rango de afectación por CN ⁻ en especies de agua dulce es amplio, entre 44,73 – 2.490 [(µg/L)], siendo las especies más sensibles las correspondientes a invertebrados. Las plantas acuáticas de agua dulce son afectadas por CN ⁻ en un rango de concentración que va desde 30 a 26.000 [µg/L]. La toxicidad para especies de ambientes marinos varía entre 4,8 – 10.000 µg/L. La presencia de CN ⁻ en orden de magnitud de 0,1 [mg/L] inhibe el metabolismo microbiano, así como la inhibición de la reproducción de los peces
Cobre	Algunos compuestos químicos que contienen cobre son efectivos para la eliminación de microorganismos y algas, esto es perjudicial en el ambiente acuático pues produce obstrucción en la pared celular de los microorganismos impidiéndoles la captura de oxígeno para su metabolismo. Niveles moderados de cobre tienen efectos negativos en varias especies de peces, por ejemplo, la trucha.
Coliformes Fecales	Corresponden a un indicador de la presencia de contaminación fecal y por lo tanto de la probable presencia de patógenos para las personas.
Cloruros	Los cloruros, siendo uno de los componentes de la salinidad, afectan la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos. Contribuyen a la liberación de metales desde los sedimentos. Inducen la toxicidad de metales en peces y plantas (resultando en muerte por hipoxia). Concentraciones crónicas de cloruro (~150 mg/l (concentración media en 30d) y 600 mg/l (concentración máxima)) han sido reconocidas como dañinas para la vida acuáticas (ecosistemas continentales).
Cromo	Se ha detectado efectos en zooplancton en variables de aspectos ecológicos como la diversidad, riqueza y densidad. El Cr se acumula en muchas especies, especialmente en peces de fondo y en bivalvos.
Cromo Hexavalente	El Cr+6 tiene características toxicológicas relevantes para la biota acuática (traspasa fácilmente membranas biológicas), disminuyen el crecimiento de algas. Se ha reportado bioacumulación en moluscos y anélidos, alteraciones en estructura de poblaciones y diversidad de comunidades acuáticas.

DBO₅	Es un indicador de la cantidad de oxígeno necesaria para degradar biológicamente la materia orgánica presente en el agua (desoxigenación del agua) y por tanto provocar la muerte por asfixia de la biota.
Fluoruro	En estudios de campo y de laboratorio que demuestran los efectos subletales de los fluoruros. Afectan la migración de peces como <i>O. tschawytscha</i> , <i>O. keta</i> y <i>O. kisutch</i>), deterioran la reproducción de invertebrados como <i>Daphnia magna</i> y afectan el crecimiento de plantas como <i>Chlorella pyrenoidosa</i> . (CCME, 2001)
Fósforo total	El fósforo es el nutriente limitante del crecimiento de las plantas y algas en ambientes acuáticos. En exceso contribuye a procesos de eutroficación (>84.4 (mg/m ³]
Hidrocarburos Fijos	Los hidrocarburos son poco solubles en el agua y tienen a permanecer flotando y luego decantan en los sedimentos. Entre los daños que genera en el ecosistema sobresalen: alteraciones de funciones fisiológicas, asfixia, toxicidad química que provoca efectos letales o subletales (deterioro de las funciones celulares), pérdida de organismos claves y conquista de hábitats por especies oportunistas, pérdida de hábitats. Entre los organismos más sensibles destaca el plancton, peces en estado juvenil, aves marinas.
Hierro disuelto	No se encontró literatura relacionada a los efectos en ecosistema.
Índice de fenol (fenol)	En general, los fenoles no son sustancias comúnmente presentes en el agua natural (excepto cursos de agua que pasan por zonas de turberas y aguas ricas en materias húmicas). A valores extremadamente bajos de fenol existen efectos evidentes relacionados a toxicidad para la vida acuática. Considerando los criterios de calidad de agua para protección de vida acuática establecidos por EPA, el límite de concentración de fenol que no presenta riesgos significativos para la mayoría de las especies dulceacuícolas es de 6,6 y 28 ug/l (ensayos crónicos y agudos respectivamente) y 1,7 y 7 ug/l (ensayos crónicos y agudos respectivamente) para especies marinas.
Manganeso	No se encontró literatura relacionada los efectos que produce en ecosistema.
Níquel	La toxicidad de níquel en mamíferos depende de la forma química del Ni, produce daños en el sistema respiratorio, cardiovascular, gastrointestinal, hepático, renal, sistema reproductivo, entre otros.
Nitrógeno total	Los mayores problemas ambientales generados por el nitrógeno se relacionan con: el incremento de la concentración de iones hidrógeno en cuerpos de agua superficiales con escasa capacidad de neutralización de ácidos, generando la acidificación de estos sistemas; estimular el desarrollo, mantenimiento y proliferación de productores primarios (plantas, algas, fitoplancton) propiciando la eutrofización de los ecosistemas acuáticos; y en ciertas ocasiones, puede alcanzar niveles tóxicos que influyen en la capacidad de las especies hidrobiológicas para sobrevivir y desarrollarse.
Plomo	Efectos tóxicos en organismos autóctonos, proporcionalmente en aquellos que habitan en aguas de menor dureza. Estos efectos se traducen en: alteraciones en el crecimiento, reproducción, comportamiento, metabolismo, sobrevivencia.
Selenio	En general los efectos están asociados a su poder desintoxicante frente a otros metales tóxicos (Cd, por ejemplo).
Sólidos Sedimentables	Los sólidos sedimentables en cantidades excesivas constituyen un importante estresor de los ecosistemas acuáticos, generando efectos sobre la biota y sobre el hábitat de dichas especies. Estos efectos se relacionan con la decantación de sólidos en fondos de ríos, lagos y estuarios, y con la obstrucción de espacios (camas) de desove.

Sólidos Suspendidos Totales	A pesar de que todos los cuerpos de agua superficiales llevan sólidos en suspensión en condiciones naturales. Si las concentraciones se incrementan por perturbaciones antrópicas, se generan alteraciones en las características físicas, químicas y biológicas del sistema, por ejemplo relacionadas a la penetración de la luz, cambios de temperatura, efectos estéticos adversos, liberaciones de metales y pesticidas y nutrientes como el fósforo en el agua desde zonas de adsorción en el sedimento (efectos en biota relacionados a incremento en la deriva de invertebrados acuáticos, reducción del desarrollo y supervivencia de huevos y larvas de peces, entre otros efectos). Además, cuando los sólidos suspendidos tienen alto contenido de materia orgánica, su descomposición in situ puede reducir los niveles de oxígeno disuelto en el agua, generando los ambientes con escasa oxigenación que pueden llevar a la muerte de organismos acuático en condiciones de bajo flujo.
Sulfatos	Los sulfatos se encuentran naturalmente en cuerpos de agua superficiales, ejercen una acción catalítica sobre los procesos de degradación de otras sustancias. Se ha reportado toxicidad para ciertos peces y musgos acuáticos. En ambientes eutroficados la contaminación por sulfatos puede generar una mayor nutrientes y compuestos potencialmente tóxicos.
Trihalometanos	El tribromometano (o bromoformo) y dibromoclorometano entran artificialmente al ambiente en el agua desinfectada con cloro. Ambos contaminantes no parecen concentrarse en peces, pero son potencialmente cancerogénico para animales. Ante altos niveles de bromodichlorometano en estudios de laboratorio, animales han mostrado daño hepático, renal, disminución de su respuesta inmunitaria, aumento de casos de aborto espontáneo en las primeras etapas del embarazo y disminución del peso en animales recién nacidos
Xileno	Se han reportado efectos ligeramente tóxicos para la vida acuática. Los valores de LC50/96-horas para peces se encuentran entre 10 y 100 mg/l.
Zinc	Daños embrionarios, desarrollo y crecimiento. Afecta también la reproducción, según estudios realizados en micro crustáceos de agua dulce.

Fuente: ATSDR (2011); Auer et al. (2013); Barba (2002); Bilotta & Brazier (2008); Camargo. & Alonso (2007); Camargo & Alonso (2006); CCOO (n.d.); Geurts. et al. (2009); Gutiérrez & Gagneten (2011); ITOPF (2013); Jimenez (2012); MacDonald Environmental Sciences Ltd. (1997); Marín (2003); Muniz et al.(n.d.); Rodríguez-Serrano et al. (2008); Sánchez (2008); USEPA (2015, 2003)

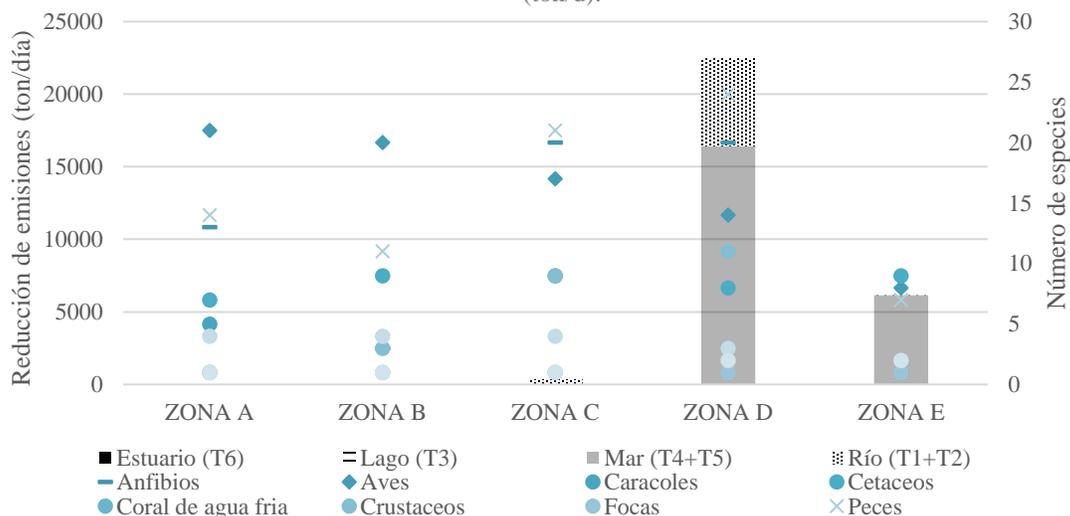
La reducción de emisiones por efecto de la entrada en vigencia del Anteproyecto en las distintas zonas del país beneficiaría a grupos de especies locales, en alguna categoría de conservación, que componen y estructuran los ecosistemas que proveen de servicios ecosistémicos a la población chilena. Dichas especies requieren de acciones, como el control de la contaminación del agua, que disminuyan las amenazas a su hábitat. En Tabla 22 se detalla la cantidad de especies en categoría de conservación, según tipo y zona.

Tabla 22. Resumen de cantidad de especies en categoría de conservación por Zona.

Tipo	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Anfibios	13	3	20	20	1
Aves	21	20	17	14	8
Caracoles	5	0	0	0	0
Cetáceos	7	9	9	8	9
Corales de agua fría	0	0	0	3	2
Crustáceos	1	3	9	11	
Focas	1	1	1	1	1
Nutrias	1	1	1	2	2
Peces	14	11	21	24	7
Reptiles	1	1	1		
Tortugas marinas	4	4	4	3	2
Total general	68	53	83	86	32

Fuente: Elaboración propia a partir de 14° Proceso de Clasificación de Especies, para más información ver: <http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/decimo-cuarto-proceso.html>. Nota: no son sumables las especies entre zonas puesto que podrían doble contarse la cantidad de especies de acuerdo a los hábitats que ocupan.

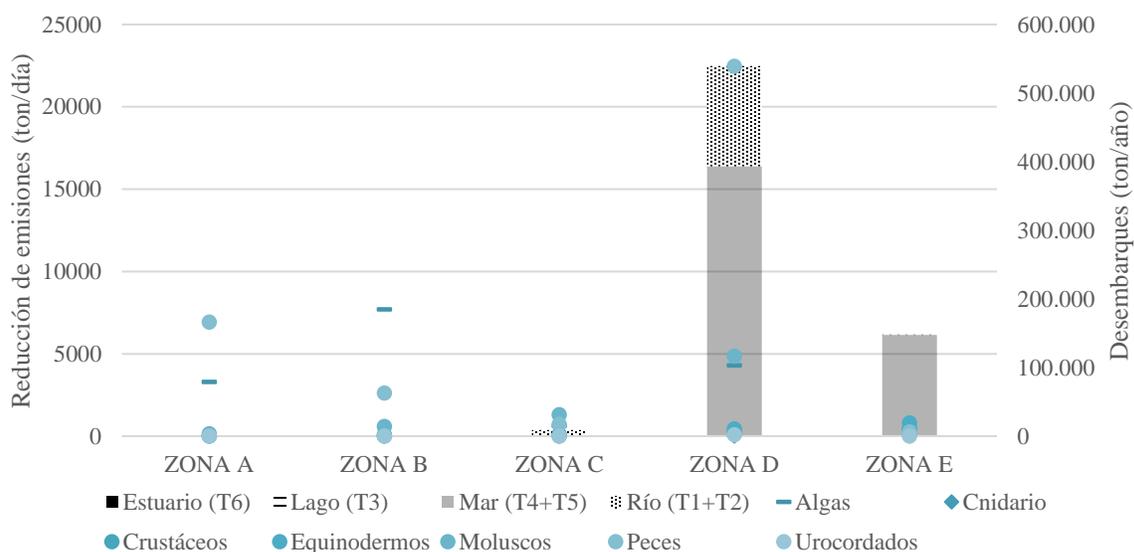
La Figura 11 muestra la relación entre las zonas del país donde se reducen emisiones y el número de especies en estado de conservación, en el eje secundario. Las mayores reducciones de emisiones coinciden con la zona geográfica donde se localiza el mayor número de especies en categoría de conservación (zona D, particularmente en las Tablas 4 y 6 del Anteproyecto. En esta zona, la cantidad de especies distintas en categoría de conservación es de 86 y la mayoría de las especies corresponden a peces (24), anfibios (20), aves de ambientes acuáticos (14), crustáceos (11) y cetáceos (8).

Figura 11. Número de especies en categoría de conservación y reducción de emisiones por zonas del país (ton/d).

Fuente: Elaboración propia.

En Chile, la industria pesquera aportó, entre el año 2015 al 2018, un promedio anual de 770 miles de millones de pesos al PIB nacional³⁹. Dada la importancia económica y la vulnerabilidad social del sector artesanal (Mondaca-Schachermayer et al., 2011)⁴⁰, que representa aproximadamente un tercio del desembarque total del país en términos de volumen⁴¹, se estimó la relación entre los desembarques artesanales y las reducciones de contaminantes por zona geográfica. La Figura 12 muestra la relación existente entre los desembarques de especies hidrobiológicas y zonas del país donde se producen las reducciones de contaminantes. La cantidad de especies desembarcadas se presenta agregada mediante grupos de especies comerciales en el eje secundario. Se observa una mayor reducción de emisiones en las zonas D y E, siendo la zona D la que provee del mayor número de toneladas desembarcadas de peces. Por lo tanto, se observa que el esfuerzo derivado de reducir las emisiones generaría un beneficio económico que contribuir a proteger una alta cantidad de especies hidrobiológicas comerciales.

Figura 12. Análisis de reducciones de contaminantes y desembarques artesanales.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2 Beneficios al bienestar humano

Los beneficios en salud humana relacionados con efectos evitados por reducción en la emisión de ciertos parámetros se abordan mediante la Tabla 23. En ella se resume la información de los efectos que el contacto o la ingesta genera en los receptores.

³⁹ Volumen a precios año anterior encadenado, referencia 2013 (miles de millones de pesos encadenados) del Banco Central: https://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/arboles.aspx?idCuadro=CCNN2013_G_VE

⁴⁰ Volumen a precios año anterior encadenado, referencia 2013 (miles de millones de pesos encadenados) del Banco Central: https://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/arboles.aspx?idCuadro=CCNN2013_G_VE

⁴¹ Según datos de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura <http://www.subpesca.cl/portal/616/w3-article-645.html>

Tabla 23. Efectos de contaminantes normados en la salud humana

Parámetro	Efectos en salud
Aceites y Grasas	En general los efectos de altos niveles de AyG en agua están asociados a alteraciones cutáneas al estar en contacto con aguas contaminadas. También se describen posibles efectos cancerígenos (próstata, vejiga y pulmón), pero éstos están asociados en mayor medida a los efectos de los metales asociados a los AyG.
Boro	Normalmente la permanencia en el organismo es baja, se absorbe completamente en el tracto gastrointestinal y rápidamente se elimina en la orina. Presenta efectos negativos sobre el aparato digestivo y el sistema nervioso. Incluso el consumo permanente de agua con altos niveles de B podría causar la muerte.
Cadmio	Tóxico en niveles > 1 ppm, especialmente en su forma iónica o en compuestos. Es bioacumulable en el organismo y los efectos toxicológicos varían en proporción a la cantidad de cadmio consumida, desde dolores estomacales, hasta daños severos en los pulmones y riñones. Está definido como probablemente cancerígeno. La ingesta es mediante consumo de alimentos o vegetales o aguas con altos valores de cadmio.
Cloro Libre Residual	Personas asmáticas o alérgicas. El consumo prolongado de agua en concentración mayor a 90 ppm puede provocar una sensación de estrangulamiento, irritación boca y garganta, irritación de laringe y esófago. El valor normado para agua potable en Chile es ≤ 2 (mg/L).
Cianuro	Las personas pueden estar expuestas al CN ⁻ por ingesta de alimentos contaminados o que contienen CN ⁻ , bebida, adsorción por la piel. Una vez que el CN ⁻ esté en pulmones o estómago se traspasa rápidamente al flujo sanguíneo. Los efectos tóxicos pueden aparecer cuando la concentración de CN ⁻ en la sangre es superior a 0,05 (mg/dL): puede provocar la muerte o estados de coma, daños al cerebro, corazón.
Cobre	Tóxico en niveles > 1 ppm, especialmente en su forma iónica o en compuestos. Los efectos que produce beber agua con altos contenidos de cobre puede provocar náuseas, vómitos, dolores estomacales y diarrea; en forma severa podría provocar daños al hígado, riñones, incluso causar la muerte.
Coliformes Fecales	Los coliformes fecales son un grupo de bacterias que se encuentran en los intestinos de animales de sangre caliente, y son consideradas como un indicador de calidad sanitaria de las aguas pues son un parámetro que alerta de la contaminación fecal. Puede causar desde malestar gastrointestinal a enfermedades como cólera, hepatitis, tífus, etc.
Cloruros	No se encontraron antecedentes específicos de los daños que pueden provocar los Cl ⁻
Cromo	No se encontraron antecedentes específicos, se señala que es menos dañino que el Cr+6.
Cromo Hexavalente	Los efectos que produce en dosis altas es de amplio espectro, desde alteraciones cutáneas, problemas pulmonares, incluso desarrollar cáncer de pulmón.
DBO₅	Efectos indirectos, pues aguas contaminadas por materia orgánica pueden producir diversas infecciones gastrointestinales en las personas que consumen agua o ingieren alimentos.
Fluoruro	Ingesta alta de F ⁻ puede ocasionar problemas renales y descalcificación de los huesos, afectando mayoritariamente a la población de mayor edad.

Fósforo total	No se ha encontrado literatura que indique los efectos del fósforo sobre la salud humana.
Hidrocarburos Fijos	Los efectos en salud dependen de la naturaleza de los hidrocarburos, pudiendo ser potenciales agentes cancerígenos, afectar el sistema nervioso.
Hierro disuelto	No se encontró literatura relacionados a los efectos en salud por ingesta en agua (sólo conjuntivitis, coriorretinitis, y retinitis)
Índice de fenol (fenol)	La exposición reiterada a niveles bajos de fenol en el agua potable ha sido asociado a enfermedades gastrointestinales, en concentraciones extremadamente altas pudiera generar problemas neurológicos (dificultad para caminar, temblores, pérdida de concentración) y hasta la muerte. Considerando los criterios de calidad de agua establecidos por EPA (2014) para la protección de la salud humana, en el caso del consumo de organismos y agua ese valor es ~4 mg/l, en el caso del consumo sólo de organismos el valor es de ~300 mg/l (endopint no cancerígeno), el criterio para efectos organolépticos establece un límite de 0,3 mg/l.
Manganeso	Falta de Mn en el organismo puede provocar problemas cardíacos, anemia y malformaciones. Exceso de Mn por sobre >14 (mg/L] puede provocar daños cerebrales.
Níquel	No es considerado un elemento muy tóxico. La ingesta en cantidades considerables puede provocar problemas renales, también el contacto puede provocar alergias e irritaciones cutáneas.
Nitrógeno total	La ingesta de nitritos y nitratos contenidos en agua potable contaminada (sobre 1mg/NO ₂ -N/l y 10 mg NO ₃ -N/l) puede inducir diversas enfermedades relacionadas con el bloqueo de la capacidad de transporte de oxígeno de la hemoglobina. Los niños de menos de 4 años de edad parece ser particularmente susceptibles. A los nitritos y nitratos también se atribuye un rol potencial en el desarrollo de cáncer del tracto digestivo (por formación bacteriana de nitrosaminas). Además del potencial desarrollo de múltiples enfermedades coronarias, a la vejiga, ovario, entre otros. El amonio no es especialmente tóxico para los organismos superiores, si lo puede ser para peces cuando se encuentra en forma de NH ₃ no iónico.
Plomo	Produce la enfermedad “Saturnismo” (acumulación de metal en los huesos, los nervios, sistema renal e hígado) y provoca anemia, parálisis, dolores de cabeza. Además es un agente cancerígeno. Es bioacumulable, También se ha detectado que en el embarazo, se traspasa Pb en la placenta y provoca retraso mental en los niños.
Selenio	Ingesta excesiva de Se puede producir alteraciones cutáneas, nerviosas, problemas intestinales, renales y de salud bucal (caries).
Sólidos Sedimentables	Los sólidos sedimentables afectan la transparencia y calidad estética de las aguas para baño, afectan procesos industriales y de potabilización (pueden acumularse en sistemas de tratamiento de aguas residuales).
Sólidos Suspendidos Totales	No se han reportado efectos directos en salud humana.
Sulfatos	En asociación con magnesio y sodio (usualmente presente en los cuerpos de agua), pueden generar efectos laxativos en humanos y ganado. En situaciones de excesiva

	concentración en agua para consumo humano puede generar catarisis (sobre 600 mg/l), deshidratación y problemas gastrointestinales.
Xileno	Las tres formas de xileno (meta-xileno, orto-xileno y para-xileno) afectan la salud humana de manera similar. Exposiciones breves o prolongadas a altas concentraciones de xileno pueden producir efectos sobre el sistema nervioso (falta coordinación muscular, mareo, confusión).
Zinc	No es un elemento tóxico <i>per se</i> , pero su presencia normalmente está asociada al Cd (tóxico).

Fuente: Elaboración propia en base a Marín, (2003); Sánchez, (2008); (ATSDR, 2011);CCOO, (s. f.) ((WHO), 2015)

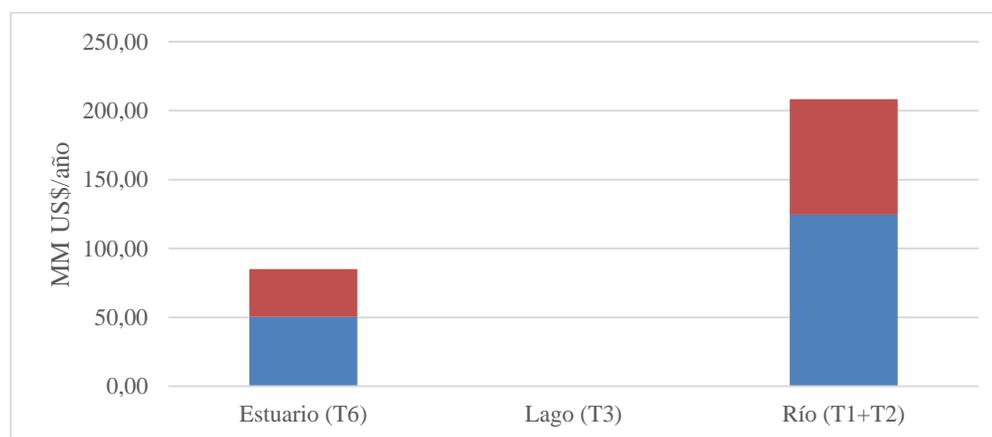
a) Disposición a pagar por mejorar la calidad de las aguas

En la estimación de beneficios asociados a la disposición a pagar (DAP) por cambios en la calidad de las aguas superficiales en la SCA genera un total de 4,51 millones de hogares beneficiados cuando la regulación se encuentre en vigencia plena.

Los beneficios totales, considerando a usuarios y no usuarios de estuarios, lagos y ríos producirían un beneficio aproximado de US\$293,53 millones anuales en plena vigencia de la regulación. Se observa en la Figura 13 que los mayores beneficios económicos están asociados a cambios en la DAP por mejoras en la calidad de las aguas de ríos, dando cuenta de aproximadamente US\$138.61 millones al año. Es importante señalar que esta aproximación considera aquellas zonas en las que se producen las reducciones y no considera la magnitud de estas.

Aunque no se muestren valores de beneficios por DAP en medio marino, no significa que no existan, pero debido a falta de datos consolidados de metanálisis robustos en esos ecosistemas, estos valores no han sido considerados en el presente análisis.

Figura 13. Beneficios económicos asociados a cambios en la Disposición a Pagar (DAP) por cambios en calidad del agua, diferenciado para tipo de cuerpo de agua y tipo de usuario. Los resultados se expresan en millones de Dólares (2020) por año (MM US\$·año⁻¹). Nota: T6=T6, T3=Tabla N°3, T1=Tabla N°1, T2=Tabla N°2



Fuente: Elaboración propia.

b) **Método de costos evitados por vertido de contaminantes que generan algún tipo de daño al medioambiente**

Los beneficios económicos anuales que emanan de la implementación de la regulación en su totalidad (plena vigencia) derivan de las reducciones de la emisión de los contaminantes en identificados en la Tabla 24. Principalmente en estuarios, y en particular, para nitrógeno (aproximadamente MM US\$115,5 por año, de un total de MM US\$149,6 por año). Este resultado se basa en el alto precio unitario por emisión de contaminantes en los estuarios, lo que se sustenta en el alto valor ecológico y económico de estos cuerpos de agua.

Tabla 24. Valorización de emisiones [MM USD/año].

Contaminante	Valor por cuerpo de agua		
	Estuario (T6)	Mar (Tablas N° 4+5)	Río (Tablas N° T1+T2)
Nitrógeno	98,79	0,00	0,00
Fósforo	19,31	4,17	0,02
Sólidos suspendidos totales	0,03	0,01	0,00
Demanda biológica de oxígeno	0,75	0,13	0,00
Total por cuerpo de agua	118,88	4,31	0,02
Total general	123,2		

Fuente: Elaboración propia.

c) **Costos evitados por recuperación de cuerpos de agua dañados.**

Los beneficios en plena vigencia de la regulación, utilizando el valor unitario (costos de recuperación) por superficie estimados para la bahía de Chesapeake y los costos de recuperación en el caso de una eventual recuperación de estos ecosistemas, se observa en Tabla 25.

Tabla 25. Costos de programa de recuperación cuerpos de agua superficial.

Programa	Costo anualizado por superficie [MMUSDkm ² -año]	Costo anualizado [MMUSD/año]
Chesapeake Bay Program (EE.UU.)	0,44	32,63

Fuente: Elaboración propia.

A modo de ejemplo, utilizando el valor unitario por superficie de la bahía de Chesapeake de 0,44 [MMUSD/km²-año] para recuperar cuerpos de agua que actualmente están afectados por emisiones puntuales y sobre los que se estima una reducción de emisiones con la presente normativa, como es el caso de los estuarios del río Biobío y Valdivia con una superficie aproximada de 17 y 57 km² respectivamente, cuyos costos totales de recuperación ascienden a MM US\$32,63 anuales.

3.6 Indicadores económicos

Se presentan en la Tabla 26 los valores presentes al año 2020 de los costos y los beneficios obtenidos de la evaluación de la norma que, de manera implícita, consideran la gradualidad de la implementación de la normativa y la forma en que esta fue integrada a la evaluación. Para este cálculo se considera una tasa de descuento de 6% y el periodo 2020-2033.

Tabla 26. Valor presente de los flujos (MM USD)

Indicador	Valor Presente (MM USD)
Costos	34,40
Beneficios Disposición a pago	1.187,28
Beneficios Costos evitados	498,43
Beneficios Costos de recuperación	131,99

Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

Mediante el presente Análisis General de Impacto Económico y Social es posible concluir que:

- El Anteproyecto implicaría que 121 de las 865 fuentes emisoras cambien de Tabla, y, por ende, serían reguladas con nuevos límites normativos. La mayoría pasaría de Tabla 5 a Tabla 4 (72 fuentes emisoras), lo cual impacta mayoritariamente a empresas del rubro Pesca y Acuicultura.
- La Tabla 1 (con parámetros halogenados) es la Tabla de norma con mayor cantidad de superaciones, mientras que conjuntamente las Tablas 1, 4 y 6 concentran casi el 93% de las empresas que superan los distintos grupos de contaminantes.
- Las mayores reducciones absolutas asociadas a las Tablas del Anteproyecto en kg/d ocurren por implementación de límites de Tabla 4, seguido de Tabla 6.
- La zona geográfica del país donde el Anteproyecto genera mayores reducciones de emisiones coincide con aquellos ecosistemas acuáticos que concentran el mayor número de especies en categorías de conservación (zona D), especialmente en ecosistemas marinos dentro de la ZPL y de estuarios, por lo que la regulación evaluada permite cumplir con el objetivo propuesto, previniendo la contaminación y sus efectos en los sistemas acuáticos marinos y estuarinos, siendo estos de gran importancia ecológica y proveedores de numerosos servicios ecosistémicos.
- La mayor reducción de emisiones en el sur del país coincide con el máximo desembarque (toneladas/año) de especies hidrobiológicas comerciales (zona D)
- Los costos valorizados asociados a la implementación de la norma se estiman en MM US\$6,69 al año en plena vigencia de esta, de los que MM US\$3,85 al año son costos de abatimiento atribuidos principalmente al abatimiento de las descargas de Tratamiento de aguas servidas.
- Los beneficios valorizados se estiman en un rango de MM US\$32,63 y MM US\$ 293,5 al año. Estos beneficios corresponden a la disposición a pagar de las personas por la protección de ecosistemas de aguas superficiales, beneficios por costos ambientales evitados cuantificados mediante precios sombra, y beneficios por costos de recuperación evitados.

Ficha resumen del AGIES

ÍTEM	GLOSA	DESCRIPCIÓN
Identificación	Nombre AGIES	Anteproyecto de la revisión de la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.
	Versión de actualización de AGIES	Versión 1 “Corresponde a la Primera evaluación de Anteproyecto”
	Nombre instrumento normativo que da origen al AGIES	D.S. N°90/2000
	Tipo de regulación	Norma de Emisión
	Fecha de término del AGIES	30 de diciembre del 2020
	Alcance geográfico	Nacional
	Instrumento nuevo o revisión	Revisión
	Área de aplicación	Ecosistemas Acuáticos
Metodología (Más detalle en sección 0)	Metodología	Análisis Costo-Beneficio
	Normativas consideradas de línea base	Norma de Emisión D.S. N°90/2000
	Nivel de evaluación de costos	Costos para el Estado: fiscalización Costos para los titulares: Costo de evaluación de condición de fuente emisora (caracterización de RILes), costos de monitoreo, costos de abatimiento
	Nivel de evaluación de beneficios	Beneficios para la población (disposición a pagar por cambios en calidad de agua, costos ambientales evitados y costos de recuperación evitados)
	Valor Dólar	Promedio móvil entre enero 2020 a diciembre 2020 US\$ = 792,22 CLP
	Valor UF	Promedio diciembre 2020 UF = 28.677,98 CLP
	Tasa de descuento	6%
Resultados	Costos estimados (anual, en plena vigencia de la regulación)	Costo para el Estado: 47.470 USD/año Costo para los titulares: 6,63 MM USD/año Costo total en plena vigencia: 6,68 MM USD/año
	Beneficios estimados (anual, en plena vigencia de la regulación)	Beneficio por Disposición A Pagar: 293,5 MM USD/año Beneficio por costos ambientales evitados: 123,2 MM USD/año Beneficio por costos de recuperación: 32,63 MM USD/año (Más detalle en sección 3.5)

5. Anexos

5.1 Cambios en el diseño normativo

Tabla 27. Contaminantes para establecimiento emisor bajo D.S. N°90/2000 y Anteproyecto de Revisión de Norma Vigente (MINSEGPRES, 2000; MMA, 2020b).

Contaminantes *	Unidad	Carga contaminante media diaria (equiv. Aguas servidas 100 Hab/día)**	
		Norma Vigente (D.S. N°90/2000)	Anteproyecto de Revisión de Norma Vigente
Aceites y Grasas	g/d	960	960
Aluminio	g/d	16	16
Arsénico	g/d	0,8	0,8
Boro	g/d	12,8	12,8
Cadmio	g/d	0,16	0,16
Cianuro	g/d	3,2	3,2
Cloro libre residual	g/d	-	8
Cloruros	g/d	6.400	6.400
Cobre	g/d	16	16
Cromo Total	g/d	1,6	1,6
Cromo Hexavalente	g/d	0,8	0,8
DBO ₅ ***	g/d	4.000	4.000
Estaño	g/d	8	8
Fluoruro	g/d	24	24
Fósforo Total	g/d	160	160
Hierro	g/d	16	16
Hidrocarburos fijos	g/d	160	160
Hidrocarburos totales	g/d	176	176
Hidrocarburos Volátiles	g/d	16	16
Índice de Fenol	g/d	0,8	0,8
Manganeso	g/d	4,8	4,8
Mercurio	g/d	0,02	0,02
Molibdeno	g/d	1,12	1,12
Níquel	g/d	1,6	1,6
Nitrógeno total Kjeldahl	g/d	800	800
Nitrógeno total****	g/d	-	240
Nitrito más Nitrato (lagos)	g/d	240	-

Pentaclorofenol	g/d	0,144	0,144
Plomo	g/d	3,2	3,2
SAAM	g/d	160	160
Selenio	g/d	0,16	0,16
Sólidos suspendidos totales***	g/d	3.520	3.520
Sulfato	g/d	4.800	4.800
Sulfuro	g/d	48	48
Tetracloroetano	g/d	0,64	0,64
Tolueno	g/d	11,2	11,2
Triclorometano	g/d	3,2	-
Trihalometanos*****	g/d	-	3,2
Xileno	g/d	8	8
Zinc	g/d	16	16
Contaminantes*****	Unidad	Valor Característico	
Coliformes fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	1,6x10 ¹²	1x10 ⁷
pH	-	6-8	6-8
Temperatura	°C	20	20
Poder Espumógeno	mm	5	5
Sólidos Sedimentables	ml/L 1h	6	6

*Los valores de las cargas se refieren a concentraciones totales, salvo que en la columna contaminante se indique una metodología de análisis específica para el compuesto químico.

** Se considera una dotación de agua potable de 200 L/hab/día y un coeficiente de recuperación de 0,8.

*** Para los residuos líquidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas domésticas con sistemas de lagunas de estabilización, en la determinación de la concentración de Sólidos suspendidos totales y DBO5 no se considerará el contenido de algas, conforme a la metodología definida por la autoridad fiscalizadora.

**** Nitrógeno total = Nitrógeno total Kjeldahl + N-Nitritos + N-Nitratos.

***** Trihalometanos = Triclorometano+tribromometano+dibromoclorometano+bromodichlorometano.

***** Expresados en valor absoluto y no en términos de carga.

Tabla 28. Límites máximos permitidos para contaminantes de descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales, sin capacidad de dilución (MINSEGPRES, 2000; MMA, 2020b).

Contaminantes	Unidad	Límite Máximo Permitido	
		Norma Vigente (D.S. N°90/2000)	Anteproyecto de Revisión de Norma Vigente **
Aceites y Grasas	mg/L	20	20
Aluminio	mg/L	5	5
Arsénico	mg/L	0,5	0,5

Boro	mg/L	0,75	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01
Cianuro	mg/L	0,20	0,20
Cloro Libre Residual	mg/L	-	0,5
Cloruros	mg/L	400	400
Cobre	mg/L	1	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	1.000	1.000
Cromo Hexavalente	mg/L	0,05	0,05
DBO ₅	mg O ₂ /L	35*	35
Fósforo Total	mg/L	10	10
Fluoruro	mg/L	1,5	1,5
Hidrocarburos Fijos	mg/L	10	10
Hierro Disuelto	mg/L	5	5
Índice de Fenol	mg/L	0,5	0,5
Manganeso	mg/L	0,3	0,3
Mercurio	mg/L	0,001	0,001
Molibdeno	mg/L	1	1
Níquel	mg/L	0,2	0,2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	50	50
Pentaclorofenol	mg/L	0,009	0,009
pH	-	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5
Plomo	mg/L	0,05	0,05
Poder Espumógeno	mm	7	7
Selenio	mg/L	0,01	0,01
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80*	80
Sulfatos	mg/L	1.000	1.000
Sulfuros	mg/L	1	1
Temperatura	°C	35	35
Tetracloroetano	mg/L	0,04	0,04
Tolueno	mg/L	0,7	0,7

Triclorometano	mg/L	0,2	-
Trihalometanos	g/d	-	0,2
Xileno	mg/L	0,5	0,5
Zinc	mg/L	3	3

A la lista de contaminantes: * Para los residuos líquidos provenientes de plantas de tratamientos de aguas servidas domésticas, no se considerará el contenido de algas, conforme a la metodología descrita en el punto 6.6 de la Norma Vigente.

*** Los valores de las concentraciones de límites máximos permisibles se refieren a concentraciones totales, salvo que en la columna contaminante se indique una metodología de análisis específica para el compuesto químico.

Tabla 29. Límites máximos permitidos para contaminantes de descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales, considerando la capacidad de dilución del cuerpo de agua receptor (MINSEGPRES, 2000; MMA, 2020b).

Contaminantes	Unidad	Límite Máximo Permitido	
		Norma Vigente (D.S. N°90/2000)	Anteproyecto de Revisión de Norma Vigente *
Aceites y Grasas	mg/L	50	50
Aluminio	mg/L	10	10
Arsénico	mg/L	1	1
Boro	mg/L	3	3
Cadmio	mg/L	0,3	0,3
Cianuro	mg/L	1	1
Cloro Libre Residual	mg/L	-	0,5
Cloruros	mg/L	2.000	2.000
Cobre	mg/L	3	3
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	1.000	1.000
Cromo Hexavalente	mg/L	0,2	0,2
DBO ₅	mg O ₂ /L	300	300
Fósforo Total	mg/L	15	15
Fluoruro	mg/L	5	5
Hidrocarburos Fijos	mg/L	50	50
Hierro Disuelto	mg/L	10	10
Índice de Fenol	mg/L	1	1
Manganeso	mg/L	3	3
Mercurio	mg/L	0,01	0,01

Molibdeno	mg/L	2,5	2,5
Níquel	mg/L	3	3
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	75	75
Pentaclorofenol	mg/L	0,01	0,01
pH	-	6,0 – 8,5	6,0 – 8,5
Plomo	mg/L	0,5	0,5
Poder Espumógeno	mm	7	7
Selenio	mg/L	0,1	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	300	300
Sulfatos	mg/L	2.000	2.000
Sulfuros	mg/L	10	10
Temperatura	°C	40	40
Tetracloroetano	mg/L	0,4	0,4
Tolueno	mg/L	7	7
Triclorometano	mg/L	0,5	-
Trihalometano	mg/L	-	0,5
Xileno	mg/L	5	5
Zinc	mg/L	20	20

* Los valores de las concentraciones de límites máximos permisibles se refieren a concentraciones totales, salvo que en la columna contaminante se indique una metodología de análisis específica para el compuesto químico.

Tabla 30. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustres naturales y cuerpo fluvial afluente de cuerpo de agua lacustre (MINSEGPRES, 2000; MMA, 2020b).

Contaminantes	Unidad	Límite Máximo Permitido	
		Norma Vigente (D.S. N°90/2000)	Anteproyecto de Revisión de Norma Vigente ***
Aceites y Grasas	mg/L	20	20
Aluminio	mg/L	1	1
Arsénico	mg/L	0,1	0,1
Cadmio	mg/L	0,02	0,01
Cianuro	mg/L	0,5	0,5
Cloro Libre Residual	mg/L	-	0,5

Cloruros	mg/L	-	400
Cobre	mg/L	0,1	0,1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	1.000 – 70 *	1.000 o 70*****
Cromo Hexavalente	mg/L	0,2	0,05
Cromo Total	mg/L	2,5	2,5
DBO ₅	mg O ₂ /L	35	35
Estaño	mg/L	0,5	0,5
Fósforo Total	mg/L	2	2
Fluoruro	mg/L	1	1
Hidrocarburos Totales	mg/L	5	5
Hierro Disuelto	mg/L	2	2
Índice de Fenol	mg/L	0,5	0,5
Manganeso	mg/L	0,5	0,3
Mercurio	mg/L	0,005	0,001
Molibdeno	mg/L	0,07	0,07
Níquel	mg/L	0,5	0,2
Nitrógeno Total	mg/L	10**	10*****
pH	-	6,0 – 8,5	6,0 – 8,5
Plomo	mg/L	0,2	0,05
SAAM	mg/L	10	10
Selenio	mg/L	0,01	0,01
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	5	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	80
Sulfatos	mg/L	1.000	1.000
Sulfuros	mg/L	1	1
Temperatura	°C	30	30
Trihalometanos *****	mg/L	-	0,1
Zinc	mg/L	5	3

* En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml.

** La determinación del contaminante corresponderá a la suma de las concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl, nitrito y nitrato.

*** Los valores de las concentraciones de límites máximos permisibles se refieren a concentraciones totales, salvo que en la columna contaminante se indique una metodología de análisis específica para el compuesto químico.

****En áreas aptas para la acuicultura, áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml de Coliformes fecales o Termotolerantes.

***** El Nitrógeno total es la suma del Nitrógeno total Kjeldahl + N-Nitritos + N-Nitratos.

***** Trihalometanos= triclorometano+tribromometano+dibromoclorometano+bromodichlorometano.

Tabla 31. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos, dentro del ancho de la zona de protección litoral (MINSEGPRES, 2000; MMA, 2020b).

Contaminantes	Unidad	Límite Máximo Permitido	
		Norma Vigente (D.S. N°90/2000)	Anteproyecto de Revisión de Norma Vigente **
Aceites y Grasas	mg/L	20	20
Aluminio	mg/L	1	1
Arsénico	mg/L	0,2	0,2
Cadmio	mg/L	0,02	0,02
Cianuro	mg/L	0,5	0,5
Cloro Libre Residual	mg/L	-	1
Cobre	mg/L	1	1
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	1.000 – 70*	1.000 o 70***
Índice de Fenol	mg/L	0,5	0,5
Cromo Hexavalente	mg/L	0,2	0,2
Cromo Total	mg/L	2,5	2,5
DBO ₅	mg O ₂ /L	60	60
Estaño	mg/L	0,5	0,5
Fósforo Total	mg/L	5	5
Fluoruro	mg/L	1,5	1,5
Hidrocarburos Totales	mg/L	10	10
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	1	1
Hierro Disuelto	mg/L	10	10
Manganeso	mg/L	2	2
Mercurio	mg/L	0,005	0,005
Molibdeno	mg/L	0,1	0,1

Níquel	mg/L	2	2
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	50	50
pH	-	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
Plomo	mg/L	0,2	0,2
SAAM	mg/L	10	10
Selenio	mg/L	0,01	0,01
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	5	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	100	100
Sulfuros	mg/L	1	1
Temperatura	°C	30	30
Trihalometanos ****	mg/L	-	0,1
Zinc	mg/L	5	5

* En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml.

** Los valores de las concentraciones de límites máximos permisibles se refieren a concentraciones totales, salvo que en la columna contaminante se indique una metodología de análisis específica para el compuesto químico.

*** En áreas aptas para la acuicultura, áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos y los espacios costeros marinos de pueblos originarios declarados como tales, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml de Coliformes fecales o Termotolerantes.

**** Trihalometanos= triclorometano+tribromometano+dibromoclorometano+bromodichlorometano

Tabla 32. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos, fuera del ancho de la zona de protección litoral (MINSEGPRES, 2000; MMA, 2020b).

Contaminantes	Unidad	Límite Máximo Permitido	
		Norma Vigente (D.S. N°90/2000)	Anteproyecto de Revisión de Norma Vigente*
Aceites y Grasas	mg/L	150	150
Aluminio	mg/L	10	10
Arsénico	mg/L	0,5	0,5
Cadmio	mg/L	0,5	0,5
Cianuro	mg/L	1	1
Cloro Libre Residual	mg/L	-	2
Cobre	mg/L	3	3
Índice de Fenol	mg/L	1	1

Cromo Hexavalente	mg/L	0,5	0,5
Cromo Total	mg/L	10	10
Estaño	mg/L	1	1
Fluoruro	mg/L	6	6
Hidrocarburos Totales	mg/L	20	20
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	2	2
Manganeso	mg/L	4	4
Mercurio	mg/L	0,02	0,02
Molibdeno	mg/L	0,5	0,5
Níquel	mg/L	4	4
pH	-	5,5 – 9,0	5,5 – 9,0
Plomo	mg/L	1	1
SAAM	mg/L	15	15
Selenio	mg/L	0,03	0,03
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	-	20
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	-	300
Sulfuros	mg/L	5	5
Trihalometanos **	mg/L	-	0,2
Zinc	mg/L	5	5

* Los valores de las concentraciones de límites máximos permisibles se refieren a concentraciones totales, salvo que en la columna contaminante se indique una metodología de análisis específica para el compuesto químico.

** Trihalometanos = triclorometano+tribromometano+dibromoclorometano+bromodichlorometano.

Tabla 33. Límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a estuarios (MINSEGPRES, 2000; MMA, 2020b).

Contaminantes	Unidad	Límite Máximo Permitido
		Anteproyecto de Revisión de Norma Vigente*
Aceites y Grasas	mg/L	20
Aluminio	mg/L	1
Arsénico	mg/L	0,2
Boro	mg/L	0,75

Cadmio	mg/L	0,01
Cianuro	mg/L	0,2
Cloro libre residual	mg/L	0,5
Cloruros	mg/L	400
Cobre	mg/L	0,1
Coliformes fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	1.000
Cromo hexavalente	mg/L	0,05
Cromo Total	mg/L	0,5
DBO ₅	mgO ₂ /L	35
Estaño	mg/L	0,5
Fluoruro	mg/L	1,5
Fósforo total	mg/L	2
Hidrocarburos fijos	mg/L	10
Hierro disuelto	mg/L	5
Índice de Fenol	mg/L	0,5
Manganeso	mg/L	0,3
Mercurio	mg/L	0,001
Molibdeno	mg/L	1
Níquel	mg/L	0,2
Nitrógeno total**	mg/L	10
Pentaclorofenol	mg/L	0,009
pH	-	6,0 - 8,5
Plomo	mg/L	0,05
Poder Espumógeno	mm	7
SAAM	mg/L	10
Selenio	mg/L	0,01
Sólidos sedimentables	ml/L/h	5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	80
Sulfato	mg/L	1.000
Sulfuros	mg/L	1
Temperatura	°C	30
Tetracloroetano	mg/L	0,04
Tolueno	mg/L	0,7
Trihalometanos***	mg/L	0,1
Xileno	mg/L	0,5
Zinc	mg/L	3

* Los valores de las concentraciones de límites máximos permisibles se refieren a concentraciones totales, salvo que en la columna contaminante se indique una metodología de análisis específica para el compuesto químico.

** Nitrógeno Total= Nitrógeno total Kjeldahl + N-Nitritos + N-Nitratos.

*** Trihalometanos= triclorometano+tribromometano+dibromoclorometano+bromodichlorometano.

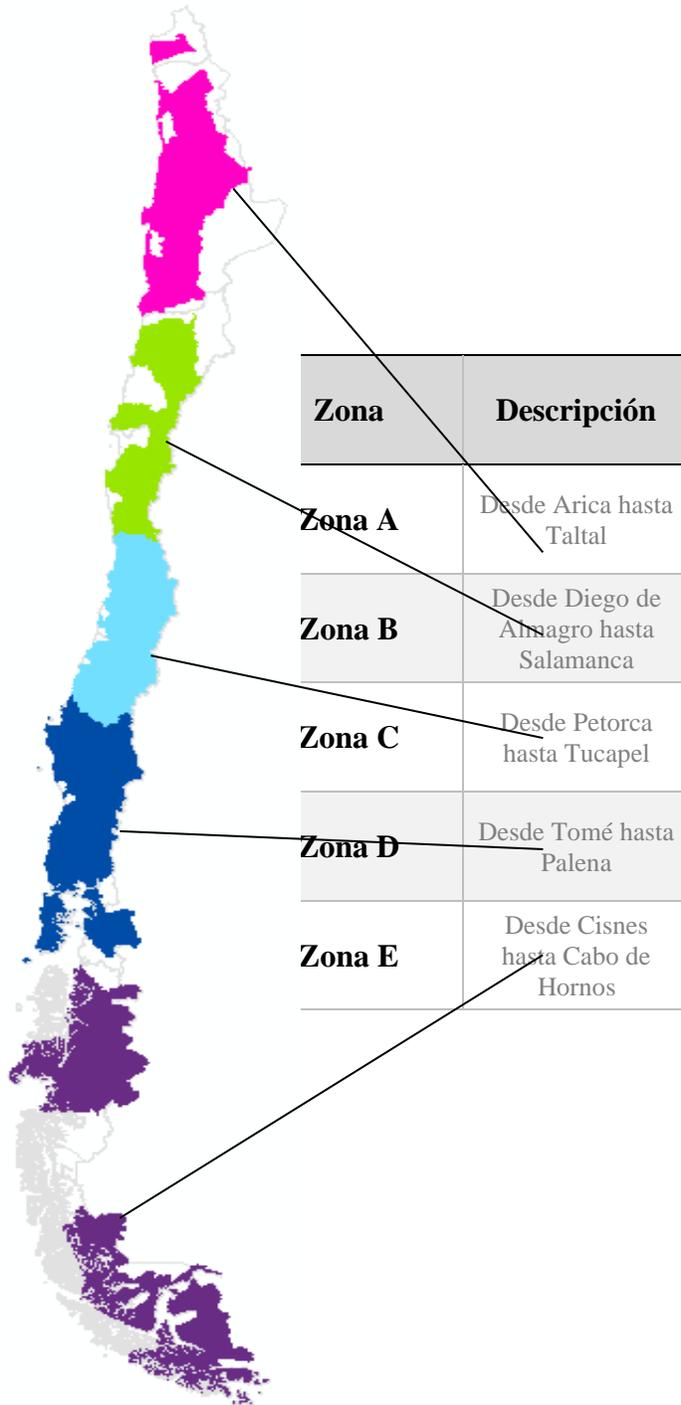
Tabla 34.Medición de contaminantes adicionales (MMA, 2021).

Contaminante*	Unidad	Expresión
Benceno	mg/L	C ₆ H ₆
N-Nitrito	mg/L	N-NO ₂ ⁻
N-Nitrito + N-Nitrato	mg/L	N-NO ₂ ⁻ + N-NO ₃ ⁻
Nitrógeno amoniacal	mg/L	N-NH ₄ ⁺

* Los valores de concentración se deben referir a concentraciones totales.

5.2 Asignación de Zonas según cuencas

Figura 14. Zonificación según macrozonas del país.



Fuente: Elaboración propia.

5.3 Costos de Abatimiento

5.3.1 Tecnologías de Abatimiento

A continuación, se presenta el listado completo de las tecnologías de abatimiento consideradas para el Anteproyecto, según los antecedentes aportados por las consultorías de AMPHOS 21, (2014), ECOTEC, (2017) y Fundación Chile, (2010).

Tabla 35. Tecnologías de abatimiento y vida útil.

Tecnología	Código Tecnología	Vida Útil (años]
Biorreactor Aeróbico de masa inmovilizada (BRI)	4_Bard	15
EBPR	BioAOSinTanqAd	17,5
Biometanización	BioBiomet	15
BRI	BioBri	15
Filtros Biológicos Horizontales	BioFilHor	15
Filtros Biológicos Verticales	BioFilVer	15
Lagunas de oxidación	BioLag	30
Lodos Activados	BioLod	30
Lodos Activados+complemento Nt	BioLodComp	30
Reactor Anaeróbico	BioReAnCL	20
Reactor Anaeróbico	BioReAnF7	20
Reactor Aeróbico Secuencial (SBR)	BioReBio	20
Wetlands	BioWet	17,5
BLUE PRO - Precipitación química	BlueProFisPre	15

Tecnología	Código Tecnología	Vida Útil (años)
Desinfección UV	DesUV	10
Electrocoagulación	Electrocoag	15
Adsorción con Carbón Activado	FisAdsCind	5
Adsorción con diferentes materiales	FisAdsDAA	5
Remoción de fósforo mediante adición de sulfato de aluminio	FisAl	17,5
Arrastre por Aire (Air Stripping)	FisArr	10
Bekosplit	FisBek	10
Clarificación	FisCla	10
Coalescencia	FisCoas	20
Decloración	FisDecSO2	17,5
Destilación	FisDes	17,5
Electrodiálisis	FisEled	20
Electrooxidación	FisElex	17,5
Extracción por Solvente	FisExt	20
Filtros AMIAD	FisFil2	20
Flotación por Aire Disuelto (DAF)	FisFlo	20
Intercambio Iónico/Electrodesionización	FisInt	6
Nanofiltración	FisNan	5
Osmosis Inversa	FisOsm	11
Oxidación con Agua Supercrítica	FisOxiAg	17,5
Oxidación con Aire Húmedo	FisOxiAire	17,5
Oxidación Avanzada Catalítica (POAs)	FisOxiAO	17,5

Tecnología	Código Tecnología	Vida Útil (años]
Precipitación Química	FisPre	15
Cribado	FisPreC	15
Filtración	FisPreFil	15
Prefiltración	FisPreR	20
Prefiltración	FisPreTR	20
Separadores por Gravedad y Sedimentación	FisSepA	20
Separadores por Gravedad y Sedimentación	FisSepN	20
Skimmer	FisSki	20
Ultrafiltración - Microfiltración	FisUlt	11
Biorreactor de Membrana (BRM)	MemBrm	15
Modificación a Ludzack Ettinger (MLE)	MLE	15
MLE + Filtración	MLEFilt	15
Ozonización	Ozon	15
Coagulación -Floculación	QuimCoFloc	15
Neutralización	QuimNe	15
Rotación Biológica de Contacto	RBC	15
Intercambiador de Calor	TraInt	20
Torres de Enfriamiento	TraTor	10
Zanjas de Oxidación+complemento Nt	ZanOxComp	15

Fuente: Elaboración propia, campo "Vida útil" en base a AMPHOS 21, (2014), ECOTEC, (2017) y Fundación Chile, (2010).

5.3.2 Eficiencias de remoción

Tabla 36. Tecnologías de abatimiento consideradas en el Anteproyecto y sus eficiencias de remoción por parámetro.

Nombre Tecnología	Parámetro abatido	Eficiencia de remoción (%)
Adsorción con diferentes materiales	Arsénico	90
	Cadmio	90
	DBO ₅	90
	Mercurio	90
	Plomo	90
Adsorción por carbón activado	Cloro libre residual	97
	DBO ₅	97
	Sólidos sedimentables	97
	Tetracloroetano	53
Arrastre por Aire (Air Stripping)	Tolueno	99,9
Bekosplit	Aceites y Grasas	90
	Sólidos sedimentables	75
	Sólidos suspendidos totales	75
BLUE PRO - Precipitación química	Fosforo	90
BRI	Aceites y Grasas	79,45
	DBO ₅	97,5
	Sólidos suspendidos totales	95
Biorreactores de Membrana (BRM)	Aceites y Grasas	69
	DBO ₅	98
	Nitrógeno total Kjeldahl	90
Coagulación -Floculación	Arsénico	98,5

Nombre Tecnología	Parámetro abatido	Eficiencia de remoción (%)
	Coliformes fecales	90
	DBO ₅	99,9
	Fosforo	90
	Mercurio	99
	Nitrógeno total Kjeldahl	30
	Poder espumógeno	90
	Solidos sedimentables	99,9
	Solidos suspendidos totales	99,9
Coalescencia	Aceites y Grasas	97
Cribado	DBO ₅	95
	Hierro disuelto	85
	Manganeso	85
	Solidos suspendidos totales	97,5
Decloración	Cloro libre residual	97
Desbaste	DBO ₅	95
	Hierro disuelto	85
	Manganeso	85
	Solidos suspendidos totales	97,5
Desinfección UV	Coliformes fecales	99
Remoción biológica mejorada de fósforo (versión EBPR, por sus siglas en inglés)	Fósforo	90
Biorreactor anaeróbico (versión EGSB, por sus siglas en inglés)	Aceites y Grasas	85
	Coliformes fecales	87,5

Nombre Tecnología	Parámetro abatido	Eficiencia de remoción (%)
	Nitrógeno	54
	Solidos suspendidos totales	90
Electrocoagulación	Aceites y Grasas	95
	Aluminio	99
	Arsénico	96,5
	Boro	97
	Cadmio	98
	Cianuro	62,5
	Cobre	99
	Cromo hexavalente	97
	DBO ₅	97,5
	Fosforo	70
	Hierro disuelto	99
	Manganeso	84
	Molibdeno	85
	Níquel	99
	Nitrógeno	80
	Selenio	99
	Solidos suspendidos totales	99
Zinc	99	
Electrodesionización	Aluminio	97
	Boro	95
	Cloruros	98

Nombre Tecnología	Parámetro abatido	Eficiencia de remoción (%)
	Manganeso	98
	Sulfato	95
Electrodialisis	Arsénico	80
	Solidos suspendidos totales	90
	Sulfato	90
Etapa 4 Bardenpho	Nitrógeno	80
Filtración	DBO ₅	95
	Hierro disuelto	85
	Manganeso	85
	Solidos suspendidos totales	97,5
Filtros AMIAD®	Solidos sedimentables	90
	Solidos suspendidos totales	90
Filtros Biológicos Horizontales	Aceites y Grasas	61
	Coliformes fecales	90
	DBO ₅	90
	Fosforo	77,5
	Nitrógeno	70
	Nitrógeno total Kjeldahl	30
	Solidos sedimentables	92,5
	Solidos suspendidos totales	93,5
Filtros Biológicos Verticales	Tolueno	97
	Aceites y Grasas	61
	Coliformes fecales	90

Nombre Tecnología	Parámetro abatido	Eficiencia de remoción (%)
	DBO ₅	90
	Fosforo	77,5
	Nitrógeno	70
	Solidos sedimentables	92,5
	Solidos suspendidos totales	93,5
	Tolueno	97
Flotación	DBO ₅	95
	Hierro disuelto	85
	Manganeso	85
	Solidos suspendidos totales	97,5
Intercambiador de Calor	Temperatura	90
Lagunas de oxidación	Aceites y Grasas	70,58
	DBO ₅	81,97
	Fosforo	76,94
	Nitrógeno	30
	Solidos sedimentables	93,73
Lodos Activados	DBO ₅	85
	Fosforo	17,5
	Nitrógeno	22,2
	Solidos suspendidos totales	90
Lodos Activados + complemento Nt	Fosforo	80
	Nitrógeno	80
Modificación a Lud zack Ettinger (MLE)+ Filtración	Nitrógeno	90

Nombre Tecnología	Parámetro abatido	Eficiencia de remoción (%)
Modificación a Ludzack Ettinger (MLE)	Nitrógeno	70
Nanofiltración	Arsénico	90
	Hierro disuelto	95
Neutralización	DBO ₅	50
	Fosforo	75
	Nitrógeno total Kjeldahl	30
	Solidos suspendidos totales	78
Remoción de fósforo mediante sulfato de aluminio (Fisal)	Fosforo	90
Oxidación con Aire Húmedo	Cianuro	94,95
Ozonización	Coliformes fecales	90
Oxidación Catalítica Avanzada (POA, por sus siglas en inglés)	Aceites y Grasas	90
	DBO ₅	94,95
Precipitación Química	Aceites y Grasas	90
	Arsénico	69,5
	Cadmio	51
	Cobre	73
	Coliformes fecales	59,5
	Cromo	71,5
	DBO ₅	82,5
	Fluoruro	47
	Fosforo	83,5
Hierro disuelto	51	

Nombre Tecnología	Parámetro abatido	Eficiencia de remoción (%)
	Manganeso	90
	Mercurio	21
	Plomo	68,5
	Selenio	70
	Solidos suspendidos totales	78
	Zinc	69,5
Rotación Biológica de Contacto	Nitrógeno total Kjeldahl	71,3
Reactor secuencial por lotes (SBR, por sus siglas en inglés)	Aceites y Grasas	59
	DBO ₅	90
	Fosforo	91,5
	Nitrógeno	95
	Solidos suspendidos totales	90
Sedimentación	DBO ₅	95
	Hierro disuelto	85
	Manganeso	85
	Solidos suspendidos totales	97,5
Separadores por Gravedad y Sedimentación	Solidos sedimentables	70
	Solidos suspendidos totales	70
Skimmer	Aceites y Grasas	98
Tamizado	DBO ₅	95
	Hierro disuelto	85
	Manganeso	85
	Solidos suspendidos totales	97,5

Nombre Tecnología	Parámetro abatido	Eficiencia de remoción (%)
Torres de Enfriamiento	Temperatura	90
UASB	DBO ₅	72,5
	Fosforo	35
	Nitrógeno	10
	Solidos suspendidos totales	69
	Sulfato	73
	Tetracloroetano	98
Ultrafiltración - Microfiltración	Coliformes fecales	55
	Solidos sedimentables	99
	Solidos suspendidos totales	88
Wetlands ⁴²	DBO ₅	90
	Fosforo	90
	Nitrógeno total Kjeldahl	90
	Solidos sedimentables	90
	Solidos suspendidos totales	90
Zanjas de Oxidación + complemento Nt	Nitrógeno	95

Fuente: Elaboración propia basado en Fundación Chile (2010), AMPHOS 21 (2014), ECOTEC Ingeniería (2017).

⁴² Se consideró una restricción operacional para esta tecnología, que no permite su uso en Plantas de Tratamiento de Aguas servidas. Esta restricción tiene un sentido de aplicabilidad fáctica.

5.3.3 Curvas de Costo de Abatimiento

Tabla 37. Antecedentes de las curvas de costos de Inversión.

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
FisAdsDAA	Inversión	m ³ /d	USD	2.108	0,6
	Operación y Mantenición	m ³ /d	USD/m3	4	-0,424
FisAdsCind	Inversión	m ³ /h	USD/m3/h	21.935	-0,4
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m3/h	5.484	-0,4
FisArr	Inversión	m ³ /h	USD	5.600	0,6
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/m3	3	-0,69
FisBek	Inversión	L/h	USD	7.870	0,4117
	Operación y Mantenición	L/h	USD/m3	59	-0,763
BioBiomet	Inversión	m ³ /h	USD/m3/h	264.072	-0,26
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m3/h	14.048	-0,4
BlueProFisPre	Inversión	m ³ /h	USD/m3/h	1.631	-0,072
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m3/h	233	-0,044
BioBri	Inversión	m ³ /h	USD/m3/h	210.456	-0,349
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m3/h	18.941	-0,349
MemBrm	Inversión	m ³ /h	USD/m3/h	276.547	-0,355

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	5.883	-0,143
FisCla	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	18	-0,5516
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	14.969.088	-1
QuimCoFloc	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	42.918	-0,671
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	3.819	-0,703
FisCoas	Inversión	L/s	USD	5.471	0,4
	Operación y Mantenición	L/s	USD/m ³	0	-0,611
FisPreC	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	1.422	-0,4
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	89	-0,4
FisDecSO2	Operación y Mantenición	m ³ /d	USD/m ³	0	-0,12
FisPreR	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	421	-0,4
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	43	-0,4
DesUV	Inversión	L/s	USD	11.208	0,5351
	Operación y Mantenición	L/s	USD/m ³	9	-0,987
FisDes	Inversión	m ³ /d	USD	30.153	0,4
	Operación y Mantenición	m ³ /d	USD/m ³	12	-0,4256
BioAOSinTanqAd	Inversión	m ³ /d	USD	237	0,6426

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
	Operación y Mantenición	m ³ /d	USD/m3	0	-0,265
BioReAnCL	Inversión	m ³ /h	USD/m3/h	38.076	-0,4
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m3/h	5.984	-0,4
Electrcoag	Inversión	m ³ /h	USD/m3/h	18.198	-0,4
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m3/h	178	-0,091
FisInt	Inversión	m ³ /h	USD/m3/h	77.675	-0,4
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m3/h	3.494	-0,4
FisEled	Inversión	m ³ /h	USD/m3/h	192.810	-0,455
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m3/h	150.468	-0,374
FisElex	Inversión	m ³ /d	USD	11.357	0,6
	Operación y Mantenición	m ³ /d	USD/m3	5	-0,214
4_Bard	Inversión	m ³ /h	USD/m3/h	461.362	-0,67
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m3/h	66.660	-0,712
FisExt	Inversión	m ³ /mes	USD	31.451	0,6
FisPreFil	Inversión	m ³ /h	USD/m3/h	15.602	-0,309
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m3/h	2.340	-0,309
FisFil2	Inversión	m ³ /h	USD	16.583	0,3

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/m ³	0	-0,135
BioFilHor	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	23.351	-0,237
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	2.738	-0,4
BioFilVer	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	401.161	-0,405
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	38.631	-0,486
FisFlo	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	52.941	-0,508
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	4.630	-0,451
TraInt	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	834	-0,3
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	1.699	-0,28
BioLag	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	675.119	-0,4
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	391	0,1292
BioLod	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	91.820	-0,167
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	211.462	-0,476
BioLodComp	Inversión	m ³ /h	USD	51.963	0,5919
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año	4.997	0,5937
MLEFilt	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	442.955	-0,6449
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	48.152	-0,659

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
MLE	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	375.194	-0,623
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	39.815	-0,631
FisNan	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	53.599	-0,275
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	11.001	-0,324
QuimNe	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	11.202	-0,377
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	313	-0,036
FisAl	Inversión	m ³ /d	USD	94.193	0,1356
	Operación y Mantenición	m ³ /d	USD/m ³	0	-0,16
FisOxiAg	Inversión	m ³ /d	USD	25.238	0,6
	Operación y Mantenición	m ³ /d	USD/m ³	3	-0,131
FisOxiAire	Inversión	m ³ /d	USD	18.929	0,6
	Operación y Mantenición	m ³ /d	USD/m ³	2	-0,131
Ozon	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	19.534	-0,4
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	819	-0,266
FisOxiAO	Inversión	m ³ /d	USD	22.714	0,6
	Operación y Mantenición	m ³ /d	USD/m ³	2	-0,131
FisPre	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	19.394	-0,537

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	1.506	-0,539
RBC	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	403.122	-0,533
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	28.495	-0,528
BioReBio	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	302.390	-0,45
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	24.479	-0,514
FisSepN	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	8.461	-0,582
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	1.269	-0,582
FisSepA	Inversión	m ³ /h	USD	14.078	0,6
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/m ³	0	-0,45
FisSki	Inversión	L/h	USD	2.593	0,1714
	Operación y Mantenición	L/h	USD/m ³	11	-0,558
FisPreTR	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	436	-0,4
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	43	-0,4
TraTor	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	0	-0,1
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	4.313	-0,321
BioReAnF7	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	12.875	-0,234
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	3.282	-0,042

Código tecnología	Tipo de costo	Unidad Caudal	Unidad función	a	b
FisUlt	Inversión	m ³ /h	USD/m ³ /h	28.627	-0,221
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año/m ³ /h	7.599	-0,229
BioWet	Inversión	m ³ /d	USD	8.124	0,7281
	Operación y Mantenición	m ³ /d	USD/m ³	0	-0,546
ZanOxComp	Inversión	m ³ /h	USD	32.292	0,6162
	Operación y Mantenición	m ³ /h	USD/año	3.150	0,6565

Fuente: Elaboración propia en base a AMPHOS 21 (2014), ECOTEC, (2017) y Fundación Chile, (2010).

5.4 Costos de Monitoreo

Parámetros	Costo monitoreo UF/vez (valor promedio de cotizaciones)
Aluminio	0,150
Arsénico	0,258
Aceites y Grasas	0,337
Boro	0,130
Cadmio	0,150
Cloruro	0,168
Cloro Libre Residual	0,027
Cianuro	0,318
Coliformes Fecales	0,350
Cromo	0,160
Cromo Hexavalente	0,166
Cobre	0,150
Demanda Biológica de Oxígeno	0,368
Fluoruro	0,247
Hierro Disuelto	0,085
Hidrocarburos Totales	1,173
Hidrocarburos Volátiles	0,145
Mercurio	0,234
Índice de Fenol	0,297
Manganeso	0,150
Molibdeno	0,184
Nitrógeno	0,760
Níquel	0,168
Nitrógeno Total Kjeldahl	0,380
Fosforo	0,180
Plomo	0,168
Pentaclorofenol	2,360
Poder Espumogeno	0,243
Sulfuro	0,197

Sustancias Activas al Azul de Metileno	0,303
Selenio	0,299
Estaño	0,169
Sulfato	0,170
Solidos Sedimentables	0,089
Solidos Suspendidos Totales	0,154
Tetracloroetano	0,891
Trihalometanos	2,802
Tolueno	0,920
Triclorometano	0,891
Xileno	0,920
Zinc	0,150

5.5 Parámetros de análisis y uso de softwares

Las etapas de análisis que han sido descritas se implementaron mediante un modelo matemático en el programa Analytica 64-bit Optimizer 5.3.3 La cartografía y el procesamiento de datos espaciales se realizó con el software ArcMap 10.5.1 de ArcGIS.

Las tasas de cambio utilizadas en el presente informe se presentan en Tabla 38.

Tabla 38. Parámetros de análisis.

Parámetro	Valor	Nota
UF	28.677,98 CLP	Banco Central. Estimada a partir del promedio entre enero 2020 a diciembre 2020
Dólar (US\$)	792,22 CLP	Banco Central. Tipo de cambio estimado mensual para el periodo entre enero 2020 a diciembre 2020
Tasa de descuento social	6%	MIDESO (2018)
Período de evaluación	10 años	Se evalúa período 2023-2033 que considerando 10 años de vigencia de la regulación.

Fuente: Elaboración propia.

6. Referencias

- (WHO), W.H.O., 2015. Chemical hazards in drinking - water. Water Sanit. Heal.
- AMPHOS 21, 2014. Generación de información base para la evaluación de normas de calidad ambiental y emisión: revisión y actualización sobre tecnologías y costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos, Preparado para el Ministerio del Medio Ambiente. Elaborado por AMPHOS21 para el Ministerio del Medio Ambiente de Chile., Santiago.
- Andreoli, Iroumé, Arumi, Nardini, Pizarro, Caamaño, Meier, Link, 2012. The need for a hydromorphological approach to Chilean river management. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 85, 339–343.
https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/242347020_The_need_for_a_hydromorphological_approach_to_Chilean_river_management
- ATSDR, 2011. Resúmenes de Salud Pública.
- Auer, M., Mihelcic, J., Urban, N., Mayer, A., Penn, M., 2013. Capítulo Ocho: Calidad del Agua, in: Mihelcic, J., Zimmerman, J. (Eds.), *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño*. Alfaomega Grupo Editor, S.A., México.
- Baby, J., Raj, J., Biby, E., Sankarganesh, P., Jeevitha, M., Ajisha, S., Rajan, S., 2011. Toxic effect of heavy metals on aquatic environment. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4.
<https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i4.62976>
- Barba, L., 2002. Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición.
- Bilotta, G.S., Brazier, R.E., 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Res.* 42, 2849–2861.
- Bruyn, S. De, Korteland, M., Davidson, M., Bles, M., 2010. *Shadow Prices Handbook Valuation and weighting of emissions and environmental impacts* 1–140.
- Camargo, J.A., Alonso, Á., 2007. Inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: causes and consequences.
- Camargo, J.A., Alonso, Á., 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environ. Int.* 32, 831–849.
- CCME, (Canadian Council of Ministers of the Environment), 2001. *Inorganic Fluorides*. Can. Water Qual. Guidel. Prot. Aquat. Life.
- CCOO, n.d. Avanzado en la producción limpia como reducir impactos ambientales y riesgos para la salud en el uso de aceites y grasas lubricantes. Aragón.
- Chesapeake Bay Commission, 2003. *The Coast of a Clean Bay. Assess. Funding Needs Througouht Watershed*.
- de Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemen, L., R.S., D.G., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemen, L., 2010. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecol. Complex.* 7, 260–272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R.T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K.M.A., Baste, I.A., Brauman, K.A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P.W., van Oudenhoven, A.P.E., van der Plaat, F., Schröter, M., Lavorel, S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bukvareva, E., Davies, K., Demissew, S., Erpul, G., Failler, P., Guerra, C.A., Hewitt, C.L., Keune, H., Lindley, S., Shirayama, Y., 2018. Assessing nature’s contributions to people. *Science (80-)*. 359, 270–272.
<https://doi.org/10.1126/science.aap8826>

- Dyer, B., 2000. Revisión sistemática y biogeográfica de los peces dulceacuícolas de Chile. *Estud. Ocean.* 19, 77–98.
- ECOTEC, 2017. Inventario de tecnologías de tratamiento de residuos industriales líquidos y actualización de costos de tecnologías de tratamiento, Informe Final. Preparado para el Ministerio del Medio Ambiente, Santiago.
- Edáfica-MMA, 2020. Inventario Nacional de Humedales.
- EPA, 2013. Benefit and Cost Analysis for the Proposed Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Steam Electric Power Generating Point Source Category.
- Fundación Chile, 2010. Consultoría de apoyo a los procesos de normas ambientales en sistemas hídricos: estimación de costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos. Elabor. para la Com. Nac. del Medio Ambient.
- Geurts., J., Sarneel., J., Willers., B., Roelofs., J., Verhoeven., J., Lamers., L., 2009. Interacting effects of sulphate pollution, sulphide toxicity and eutrophication on vegetation development in fens: A mesocosm experiment. *Environ. Pollut.* 157, 2072–2081.
- Gutiérrez, M.F., Gagneten, A.M., 2011. Efecto de los metales sobre microcrustáceos de agua dulce. Avance metodológicos y potencialidad de cladóceros y copépodos como organismos test. *Rev. Peru. Biol.* 18, 389–396.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v18i3.460>
- Hernández-Sancho, F., Molinos-Senante, M., Sala-Garrido, R., 2010. Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: An empirical approach for Spain. *Sci. Total Environ.* 408, 953–957.
- Huenchuleo, C., De Kartzow, A., 2018. Economic valuation of ecosystem services in the Aconcagua River watershed of Chile. *Tecnol. y Ciencias del Agua* 9, 58–84.
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-03>
- INE, 2018. Proyecciones de población (WWW Document]. URL
<https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion>
- INE, 2017. SÍNTESIS DE RESULTADOS CENSO 2017.
- ITOPF, 2013. Efectos de la contaminación por hidrocarburos en el medio marino. Doc. Inf. técnica.
- Jimenez, D., 2012. Cuantificación de metales pesados (cadmio, cromo, níquel y plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (*Crassostrea columbiensis*) Ostión de Mangle en el puente Portete del estero Salado (Guayaquil). *Fac. Ciencias Nat. Universidad de Guayaquil, Ecuador.*
- Johnston, R.J., Besedin, E.Y., Iovanna, R., Miller, C.J., Wardwell, R.F., Ranson, M.H., 2005. Systematic Variation in Willingness to Pay for Aquatic Resource Improvements and Implications for Benefit Transfer: A Meta - Analysis. *Can. J. Agric. Econ. / Rev. Can. D' Agroéconomie* 53, 221–248. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7976.2005.04018.x>
- Johnston, R.J., Besedin, E.Y., Stapler, R., 2017. Enhanced Geospatial Validity for Meta-analysis and Environmental Benefit Transfer: An Application to Water Quality Improvements, *Environmental and Resource Economics*. Springer Netherlands.
<https://doi.org/10.1007/s10640-016-0021-7>
- Keeler, B.L., Polasky, S., Brauman, K.A., Johnson, K.A., Finlay, J.C., O'Neill, A., Kovacs, K., Dalzell, B., 2012. Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109, 18619–18624.

- <https://doi.org/10.1073/pnas.1215991109>
- Keeler, Polansky, Brauman, Johnson, Finlay, O'Neill, A., Kovacs, Kovacs, 2012. Linking water quality and well-being for improved assessment and valuation of ecosystem services. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109, 18619–18624.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1215991109>
- MacDonald Environmental Sciences Ltd., 1997. Ambient Water Quality Guidelines (Criteria) for Turbidity, Suspended and Benthic Sediments. Documento preparado para British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks.
- Marín, R., 2003. Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Díaz de Santos, S.A., España.
- Martín-López, B., González, J., Vilar, S., 2012. Ciencias de la Guía Docente Guía Docente. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2011.11.018>
- MEA, 2005. Millenium Ecosystem Assessment: ecosystems and human well-being.
- MIDESO, 2018. Precios Sociales 2018.
- MINSEGEPLAN, 2000. D.S. 90/2000. Norma De Emision Para La Regulacion De Contaminantes Asociados a Las Descargas De Residuos Liquidos a Aguas Marinas Y Continentales Superficiales. Ministerio Secretaria General de la Presidencia.
- MMA, 2020a. Criterios mínimos para la sustentabilidad de humedales urbanos.
- MMA, 2020b. ANTEPROYECTO DE LA REVISIÓN DEL DECRETO SUPREMO N° 90, DE 2000, DEL MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA, QUE ESTABLECE LA NORMA DE EMISIÓN PARA LA REGULACIÓN DE CONTAMINANTES ASOCIADOS A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CON.
- MMA, 2017. Guía metodológica para la transferencia de beneficios.
- Mondaca-Schachermayer, C.I., Aburto, J., Cundill, G., Lancellotti, D., Tapia, C., Stotz, W., 2011. An empirical analysis of the social and ecological outcomes of state subsidies for small-scale fisheries: A case study from Chile. *Ecol. Soc.* 16, 14.
<https://doi.org/10.5751/ES-04239-160317>
- Muniz, P., Lana, P., Venturini, N., Elias, R., Villarino, E., Bremec, C., Martins, C., Sandrini, L., n.d. Un manual de protocolos para evaluar la contaminación marina por efluentes domésticos.
- Rodríguez-Serrano, M., Casa, M.M. la, Romero-Puertas, N., Río, L. Del, Sandalio, L., 2008. Toxicidad del Cadmio en plantas. *Ecosistemas* 17, 139–146.
- Sánchez, A., 2008. Efectos de los Trihalometanos sobre la salud. *Hig. y Sanid. Ambient.* 8, 280–290.
- SERNAPESCA, 2017. Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura | Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.
- USEPA, 2015. National Recommended Water Quality Criteria - Aquatic Life Criteria Table.
- USEPA, 2003. Developing water quality criteria for suspended and bedded sediments (SABS) Potential Approaches, Draft. USEPA.
- Van Houtven, G., Powers, J., Pattanayak, S.K., 2007. Valuing water quality improvements in the United States using meta-analysis: Is the glass half-full or half-empty for national policy analysis? *Resour. Energy Econ.* 29, 206–228.
<https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.01.002>
- Vivanco, E., 2017. Humedales: Definiciones, Funciones y Amenazas. Departamento de estudios, Extensión y Publicaciones Asesoría técnica parlamentaria. Biblioteca del

Congreso Nacional de Chile.

Wegner, G., Pascual, U., 2011. Cost-benefit analysis in the context of ecosystem services for human well-being: A multidisciplinary critique, *Global Environmental Change*.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.12.008>