



**División de Información y Economía Ambiental  
Ministerio del Medio Ambiente**

**MEMORÁNDUM N° 263 /2015**

A : Sra. Alejandra Figueroa Fernández  
Jefa División de Recursos Naturales y Biodiversidad

De : Sr. Rodrigo Pizarro Gariazzo  
Jefe División de Información y Economía Ambiental

Mat. : Entrega de AGIES del Proyecto Definitivo de Revisión del DS N°90

Fecha : 23 de Diciembre de 2015

---

Junto con saludarla, mediante el presente, le hago entrega del AGIES del Proyecto Definitivo de Revisión del Decreto Supremo N° 90/00 que establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,



**RODRIGO PIZARRO GARIAZZO**  
JEFE DIVISIÓN DE INFORMACIÓN Y ECONOMÍA AMBIENTAL

MJ

MJLL/FDG/mjll

Adj.: lo indicado

cc.: Arch. División de Información y Economía Ambiental



DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA AMBIENTAL – MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

**ANÁLISIS GENERAL DE IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DEL PROYECTO DEFINITIVO DE REVISIÓN DEL DECRETO SUPREMO N° 90/2000 QUE ESTABLECE NORMA DE EMISIÓN PARA LA REGULACIÓN DE CONTAMINANTES ASOCIADO A LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS A AGUAS MARINAS Y CONTINENTALES SUPERFICIALES**

*Diciembre, 2015*

## Presentación

Este informe corresponde al Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del “Proyecto Definitivo de Revisión del Decreto Supremo N° 90/2000 que establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”<sup>1</sup>.

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de normas de calidad y de emisión, así como de planes de descontaminación y prevención ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19.300 y en el Reglamento para la dictación de Normas (D.S. N° 38/2012 del Ministerio de Medio Ambiente), se debe realizar un AGIES de las propuestas normativas, el cual servirá de apoyo al proceso de toma de decisiones, ofreciendo antecedentes para el pronunciamiento del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad. La responsabilidad de elaborar este documento recae en el Departamento de Economía Ambiental.

<sup>1</sup> Departamento de Conservación de Ecosistemas Acuáticos del Ministerio del Medio Ambiente, septiembre del 2015.



## Resumen

La descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua superficiales y continentales (ríos, lagos y mar) son generadas producto del desarrollo de diferentes actividades económicas en el país. Con el fin de prevenir daños al ecosistema y en los servicios ecosistémicos provistos por dichos cuerpos de agua es que se regulan las emisiones a través de la norma de emisión DS 90/2000 del MINSEGPRES<sup>2</sup>. La norma inició su proceso de revisión<sup>3</sup> a finales del 2006 y se proponen ciertas modificaciones que deben ser evaluadas en un Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES), según indica la Ley N°19.300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente y el Reglamento para la dictación de Normas (D.S. N° 38/2012 del Ministerio de Medio Ambiente).

Las principales modificaciones que presenta el Proyecto Definitivo en relación a la norma actual son: (i) la inclusión de límites más restrictivos para las emisiones a estuarios (Tabla 6), (ii) límites más restrictivos para las emisiones que viertan en ríos que sean afluentes a lagos, (iii) incorporación de trihalometanos y cloro libre residual como nuevos parámetros a normar, (iv) variación de los límites de emisión para ciertos parámetros, (v) ampliación en los límites de Zona de Protección Litoral (ZPL), (vi) nuevas exigencias en el monitoreo, entre otras.

El AGIES simuló el efecto en la reducción de emisiones producto de la implementación de dichas modificaciones, estimando los costos asociados a la introducción de tecnologías de abatimiento y monitoreo, y los beneficios asociados a la protección del ecosistema y a la población (tanto en aspectos de salud como económicos). Las principales conclusiones del análisis son:

- Se detectó, a nivel nacional, 89 fuentes emisoras que no cumplirían con los nuevos límites de emisión, las cuales deberán reducir sus emisiones actuales (**Figura A**).
- Existiría una importante reducción de emisiones en diferentes parámetros a nivel nacional y especialmente en zonas estuarinas (**Figura B**). Estas zonas son catalogadas de gran importancia ecológica (alta biodiversidad y zona de reproducción de especies) así como proveedora de servicios ecosistémicos para el medio humano.
- La mayor reducción de emisiones se encuentra en zonas<sup>4</sup> del sur del país, donde se han identificado las especies más vulnerables. La norma, por lo tanto, contribuye a la protección de especies (fauna íctica) amenazadas y endémicas a nivel nacional. (**Figura C**).
- Los beneficios, simulados mediante tres metodologías de valoración independientes, se estiman entre los 20 y 80 MMUSD/año. Esto se debe principalmente a la reducción de emisiones en los cuerpos de agua estuarinos (**Figura D**).
- Los costos estimados corresponden a 8,6 MMUSD/año (**Figura D**), donde 7,6 MMUSD/año corresponden a instalación de tecnologías de abatimiento y 0,8 MMUSD/año por monitoreo adicional.

Finalmente, el AGIES permite concluir que las modificaciones a la norma reducen los contaminantes en los cuerpos de agua, generando importantes beneficios sociales y económicos a través de la protección de ecosistemas valiosos. En definitiva, el AGIES concluye que las modificaciones a la norma son altamente rentables desde la perspectiva social.

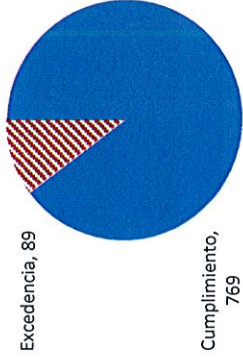
<sup>2</sup> D.S. N° 90, de 2000, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

<sup>3</sup> Resolución Exenta N°3404, Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA).

<sup>4</sup> Se realizó una distribución zonal del país conformada por las cuencas que tienen descargas de fuentes emisoras, para estos efectos se dividió el país en seis zonas (A a F) que quedaron delimitadas bajo la siguiente configuración administrativa: Zona A: región XV a II, Zona B: región III a IV, Zona C: región IV a RM, Zona D: región VI a VII, Zona E: región VIII a XI, Zona F: región XI a XII



Figuras y tablas



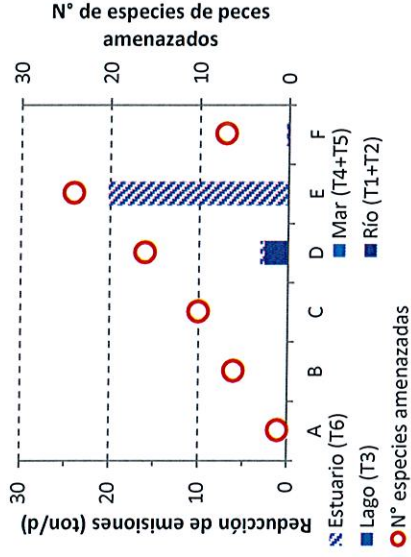
**Figura A. Análisis de superación de la propuesta de norma.**

Una mayor exigencia en los límites de emisión genera que tanto fuentes existentes como nuevas (no consideradas en el análisis) superen los límites planteados. La figura muestra que 89 fuentes emisoras (10%) superarían los límites propuestos, lo que implica en beneficios por reducción de emisiones y costos para cumplir los niveles.

Parámetro	Carga norma vigente	Carga norma propuesta	Reducción (%)
DBO5	15	7.019	53%
N	9.040	4.534	50%
P	1.236	693	44%
CLR	90	51	43%
NKT	7.533	4.757	37%
Mn	53	37	31%
SST	11.305	8.135	28%
AyG	9.724	7.286	25%

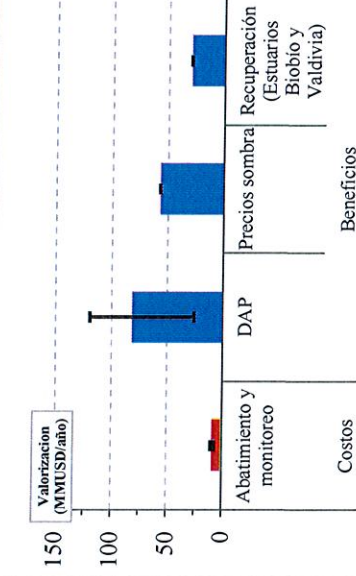
**Figura B. Reducción de emisiones (kg/d) en las zonas estuarinas del país.**

El aumento en la exigencia de los límites para las fuentes puntuales que emitan a los estuarios incide directamente en la reducción de carga de contaminantes. Destaca la gran reducción en materia orgánica (DBO5), nutrientes (N y P) y Cloro Libre Residual (CLR), entre otros. Esto tiene una directa relación con la mejora de las condiciones de vida para la biota acuática en este cuerpo de agua.



**Figura C. Reducción de emisiones y especies amenazadas por zona del país y ecosistema**

Las mayores reducciones se producen en el ecosistema de estuarios, concentrado principalmente en la zona sur del país (Zonas E y F). Además estas zonas corresponden a zonas donde se localizan la mayor cantidad de especies amenazadas. Al disminuir las emisiones se esperaría mejorar la calidad de los ambientes acuáticos y esto es un enorme beneficio para el patrimonio natural nacional e internacional, debido al alto grado de endemismo de las especies que conforman esos ecosistemas.



**Figura D. Costos y beneficios**

La gráfica compara de los órdenes de magnitud entre costos y beneficios, estos últimos utilizando tres metodologías diferentes (no aditivas). Los beneficios están acorde a la importante reducción de emisiones que induce la normativa y enfocada en los ecosistemas más valorados por la población como los estuarios, lugares que además concentran un gran número de hogares aumentando su disposición a pagar..

Los costos por su parte se estiman en aproximadamente 8,6 MMUSD anuales producto de modificaciones tecnológicas (inversión y/o operación) en las fuentes emisoras.

\*DAP: Disposición a pagar





**Índice**

**1. INTRODUCCIÓN ..... 5**

**2. ANTECEDENTES GENERALES DE LA NORMATIVA EN EVALUACIÓN ..... 6**

2.1 OBJETIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA NORMA VIGENTE..... 6

2.2 MODIFICACIONES DEL PROYECTO DEFINITIVO EVALUADAS EN EL AGIES..... 6

**3. METODOLOGÍA DEL AGIES..... 11**

3.1 METODOLOGÍA GENERAL..... 11

3.2 EMISIONES BASE..... 12

3.3 ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMA..... 16

**TABLA 3-1. TABLA DE TOLERANCIA, SITUACIÓN CON PROYECTO (SCP)..... 16**

3.4 MEDIDAS DE ABATIMIENTO..... 16

3.5 COSTOS..... 17

3.6 REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES..... 20

3.7 BENEFICIOS..... 20

**4. RESULTADOS ..... 24**

4.1 EMISIONES BASE..... 24

4.2 ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMA..... 29

4.3 MEDIDAS DE ABATIMIENTO..... 30

4.4 COSTOS..... 31

4.5 REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES..... 32

4.6 BENEFICIOS..... 35

4.7 COMPARATIVA DE COSTOS Y BENEFICIOS DE LA NORMA..... 51

**5. CONCLUSIONES..... 53**

**6. BIBLIOGRAFÍA..... 54**

**7. ANEXOS..... 59**

7.1 MODIFICACIONES PRINCIPALES QUE PROPONE EL PROYECTO DEFINITIVO EN RELACIÓN A LA NORMATIVA VIGENTE..... 59

7.2 TECNOLOGÍAS DE ABATIMIENTO ..... 64

7.3 TECNOLOGÍAS DE ABATIMIENTO Y EFICIENCIA DE REMOCIÓN..... 65

7.4 ASIGNACIÓN DE ZONAS SEGÚN CUENCAS..... 70

7.5 GLOSARIO DE PARÁMETROS Y CLASIFICACIÓN..... 71

7.6 ESPECIES ÍCTICAS EN CLASIFICADAS EN CATEGORÍAS DE CONSERVACIÓN: EN PELIGRO CRÍTICO, EN PELIGRO Y VULNERABLES..... 73



## 1. Introducción

Este informe corresponde al Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) del “Proyecto Definitivo de Revisión del Decreto Supremo N° 90/2000 que establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales” (PDR\_DS 90).

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es el encargado de coordinar el diseño y establecimiento de normas de calidad y de emisión, así como de planes de descontaminación y prevención ambiental. De acuerdo a lo establecido en la Ley N°19,300 Sobre Bases Generales del Medio Ambiente y en el Reglamento para la dictación de Normas (D.S. N° 38/2012 del Ministerio de Medio Ambiente), se debe realizar un AGIES de las propuestas normativas, el cual servirá de apoyo al proceso de toma de decisiones, ofreciendo antecedentes para el pronunciamiento del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad. La responsabilidad de elaborar este documento recae en el Departamento de Economía Ambiental.

El informe está estructurado en cuatro capítulos, el primero de ellos proporciona antecedentes generales de la normativa actual, del PDR\_DS 90 y sus principales modificaciones en relación a la norma vigente; el segundo capítulo corresponde a la metodología empleada junto con la información requerida para la evaluación; el tercer capítulo presenta los resultados del AGIES; finalmente, el último capítulo entrega las principales conclusiones del proceso de AGIES.





## 2. Antecedentes generales de la normativa en evaluación

A continuación se presentan los principales antecedentes de la normativa en evaluación, objetivos de la norma y las modificaciones propuestas en el proyecto definitivo.

### 2.1 Objetivo y características de la norma vigente

El Decreto Supremo N° 90 del 2000 (DS 90/00), “Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales”, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, fue publicada en el Diario Oficial en el año 2001, se encuentra actualmente vigente y tiene como objetivo de protección ambiental prevenir la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales de la República, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores (MINSEGPRES 2001).

El decreto establece distintas “tablas” de cumplimiento que regulan los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos por parte de las fuentes emisoras, según el cuerpo de agua receptor:

- Tabla 1: Cuerpos de agua fluviales sin capacidad de dilución
- Tabla 2: Cuerpos de agua fluviales con capacidad de dilución
- Tabla 3: Cuerpos de agua lacustres
- Tabla 4: Cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral (ZPL)
- Tabla 5: Cuerpos de agua marinos fuera de la zona de protección litoral (ZPL)

La lógica preventiva de esta normativa apunta a que se logre mejorar sustancialmente la calidad ambiental de las aguas, de modo tal que éstas mantengan o alcancen la condición de ambientes libres de contaminación, en conformidad con la Constitución y las Leyes de la República.

### 2.2 Modificaciones del Proyecto Definitivo evaluadas en el AGIES

A continuación se describen las modificaciones que el PDR\_DS90 propone respecto a la versión de norma vigente y que son factibles de abordar en el AGIES<sup>5</sup>:

#### 2.2.1 Incorporación de la Tabla de estuarios

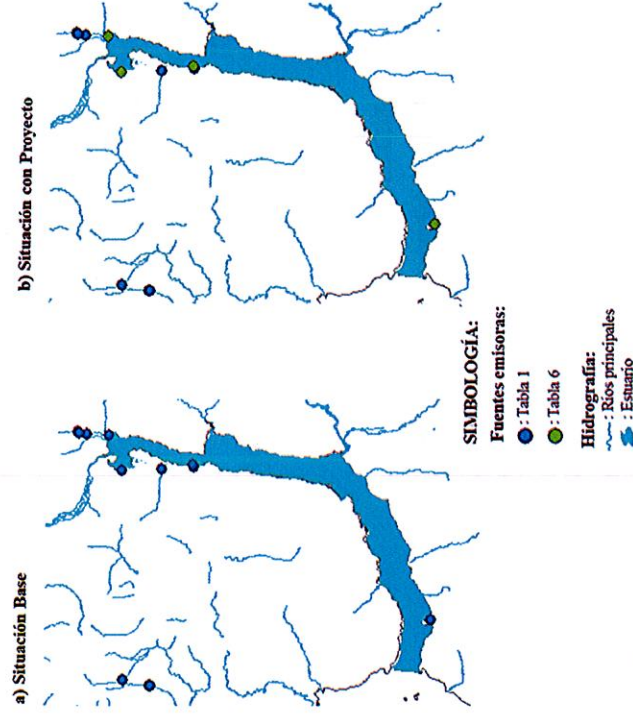
Se adiciona una tabla de descarga adicional, la Tabla 6, para las descargas en los estuarios, cuyos límites de emisión se norman con niveles más estrictos en comparación de los parámetros actualmente normados en las Tablas 1 y 2.

---

<sup>5</sup> En el Anexo 7.1 se presenta una tabla con las principales modificaciones consideradas y no consideradas en el AGIES. Debido a falta de información confiable, no se logró evaluar todas las modificaciones. Sin embargo, se evaluaron las que potencialmente generan mayor impacto.

La Figura 2-1 explica gráficamente el cambio de tabla para las fuentes emisoras que descargan sus residuos líquidos en el estuario del Reloncaví.

Figura 2-1. Efectos prácticos de la incorporación de la Tabla de estuarios



Fuentes emisoras que descargan en el estuario del Reloncaví.  
 Fuente: Elaboración propia.

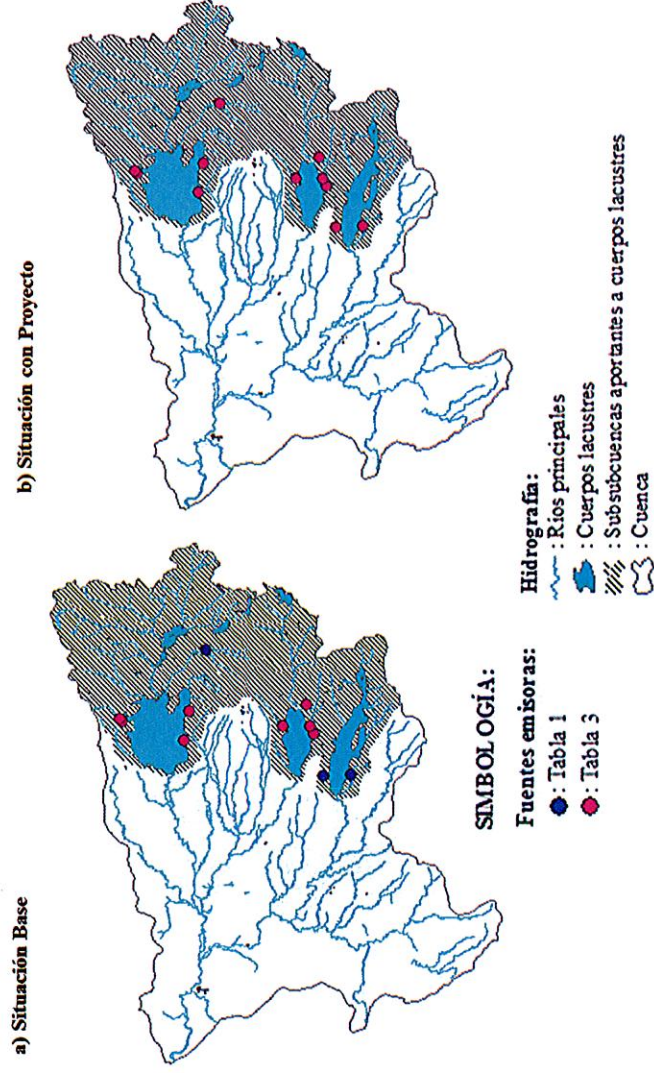
### 2.2.2 Incorporación de la definición de Cuerpo de agua lacustre y Cuerpo fluvial afluente de cuerpo de agua lacustre

La introducción de estas definiciones en el PDR\_DS 90 implican una ampliación en el ámbito territorial de la aplicación de la Tabla 3, considerándose para tales efectos, las descargas directas en los cuerpos lacustres y las descargas en los tributarios a éstos (hoya hidrográfica aportante aguas arriba). La Figura 2-2 representa a modo de ejemplo la aplicabilidad de esta modificación, el área achurada corresponde a las subsubcuencas aportantes a los cuerpos lacustres (aguas arriba) y cualquier descarga que se produzca en la zona achurada debe estar regida por Tabla 3.





Figura 2-2. Definición de cuerpos de agua a normarse bajo la Tabla 3.



Cuenca del río Bueno. Solo se consideran las fuentes emisoras relacionadas con esta modificación.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.3 Inclusión de nuevos parámetros

El PDR\_DS 90 incorpora la regulación de los parámetros Cloro libre residual (CLR) y Trihalometanos (THMs).

El Cloro Libre Residual se norma en todas las Tablas del Proyecto Definitivo, siendo sus valores más restrictivos los correspondientes a las Tablas que regulan las descargas en las aguas continentales superficiales (ríos, lagos, estuarios, Tablas 1, 2, 3 y 6, respectivamente) por sobre las de las aguas marinas (Tablas 4 y 5). Por otra parte, los Trihalometanos son normados en las Tablas 3, 4, 5 y 6.

### 2.2.4 Modificación de límites máximos

Las principales modificaciones de los límites normativos consisten en hacer más restrictivos los límites máximos en 6 parámetros de la Tabla 3 (descargas en Cuerpos de aguas lacustres naturales y Cuerpo fluvial afluente de cuerpo de agua lacustre). Esto genera una reducción en el límite normativo que varía entre el 40-80 [%] respecto al límite actual. Por el contrario, se le da mayor holgura al límite normativo del parámetro Cobre para la Tabla 1 (Cuerpos de agua fluviales sin capacidad de dilución). Los detalles de estas modificaciones se presentan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Parámetros y su modificación de límites máximos

Parámetro	Tabla de regulación	Límite DS N° 90/2000 [mg/L]	Límite Proyecto Definitivo [mg/L]	Variación Porcentual *
Cadmio	Tabla 3	0,02	0,01	↓ 50%
Cromo Hexavalente	Tabla 3	0,2	0,05	↓ 75%
Manganeso	Tabla 3	0,5	0,3	↓ 40%
Mercurio	Tabla 3	0,005	0,001	↓ 80%
Níquel	Tabla 3	0,5	0,2	↓ 60%
Plomo	Tabla 3	0,2	0,05	↓ 75%
Zinc	Tabla 3	5	3	↓ 40%
Cobre	Tabla 1	1	2	↑ 100%
Cloruros	Tabla 3	NN	400	NA

NN: No normado NA: No Aplica.

Si el sentido de la flecha es hacia abajo indica una disminución del límite (más restrictivo), si el sentido de la flecha es hacia arriba indica un aumento del límite (más permisiva). Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.5 Incorporación de los Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios (ECMPO)

Los Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios (ECMPO) corresponden a “*espacios marinos delimitados, cuya administración es entregada a comunidades indígenas o asociaciones de ellas que han ejercido el uso consuetudinario de dicho espacio constatado por CONADI*”<sup>6,7</sup>. Estos espacios han sido incluidos en el presente PDR\_DS 90 con el fin de hacer más restrictivo el valor normado del parámetro Coliformes fecales, exclusivamente en la Tabla 4 (Cuerpos de agua marinos, dentro de ZPL).

Los ECMPO se suman a otras áreas de resguardo contempladas en la normativa actual y que se mantienen en el PDR\_DS 90, tales como las Áreas Aptas para la Acuicultura (AAA), Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB).

### 2.2.6 Modificación en la evaluación del cumplimiento de la norma

La diferencia radica en que la norma actual permite exceder cualquiera de los parámetros normados, en cualquier Tabla, en hasta un 100 [%] del límite normado, mientras que el PDR\_DS 90 permite tolerancias diferenciadas según Tabla y parámetros (pH, Coliformes fecales, Temperatura, Poder espumógeno, Sólidos sedimentables), mientras que para el resto de los parámetros, cuya unidad de medición sea concentración [mg/L], su tolerancia permitida corresponderá al doble de la concentración normada.

### 2.2.7 Modificaciones en la caracterización de Fuente Emisora

La norma vigente establece que se considera como fuente emisora a toda aquella que sobrepase la carga contaminante media diaria o el valor característico en uno o más

<sup>6</sup> Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), [En línea]. Espacios Costeros Marinos de Pueblos Originarios (ECMPO). Disponible en URL: <http://www.subpesca.cl/institucional/602/w3-article-79852.html>. Visto el 25 de Mayo de 2015.

<sup>7</sup> CONADI: Corporación Nacional de Desarrollo Indígena



parámetros de la Tabla “Establecimiento Emisor”, compuesta por 42 parámetros (MINSEGPRES 2001).

El PDR\_DS 90 considera como “Sujetos obligados” a cumplir la norma de emisión cuando generen residuos líquidos que sobrepasen en uno o más parámetros los valores estipulados en las Tablas Fuente Emisora “Carga Contaminante” y “Valor Característico”.

En el caso de la Tabla Fuente Emisora “Carga Contaminante” se agregan los parámetros Nitrógeno Total, Trihalometanos, Cloro Libre Residual, y con respecto a la Tabla Fuente Emisora “Valor Característico”, establece valores solo para 4 parámetros en vez de los 42 parámetros considerados en la Tabla “Establecimiento Emisor”.

### **2.2.8 Evaluación de condición de Fuente Emisora**

El PDR\_DS 90 establece una serie de criterios para determinar si a un establecimiento le corresponde calificar como Fuente Emisora o no. Entre estos, destaca es la incorporación de los artefactos navales como sujetos que deberán someterse a calificación. Para estos efectos se considerarán los artefactos navales inscritos o no en los registros de la autoridad marítima, siempre y cuando permanezcan fijos y descarguen residuos líquidos al mar, por procesos industriales o lavado de sistemas de cultivo de recursos hidrobiológicos. La metodología de caracterización deberá ser determinada por la autoridad competente.

### **2.2.9 Modificaciones a la frecuencia de monitoreo**

Establece un nuevo criterio para determinar la cantidad de días de monitoreo que se deben realizar en el mes, dependiendo del volumen de descarga de la fuente emisora y de si requiere sistema de tratamiento o no. Esta modificación aplica solamente para las empresas medianas y grandes, mientras que las empresas pequeñas y micro mantienen la frecuencia de monitoreo actual. El tamaño de la empresa queda definido según los ingresos anuales por ventas, servicios y otras actividades del giro, de acuerdo a la Ley N° 20.416/2010 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción que “Fija normas especiales para las empresas de menor tamaño”.

### **2.2.10 Exigencia de monitoreo completo de la Tabla y de parámetros adicionales**

El PDR\_DS 90 establece la obligación de que todas las fuentes emisoras, una vez al año deben monitorear todos los parámetros correspondientes a la Tabla en que se rige. Adicionalmente, las fuentes emisoras deben realizar el monitoreo de los parámetros: Benceno, Nitrito, Nitrito + Nitrato, Nitrógeno amoniacal, Trihalometanos<sup>8</sup>, el PDR\_DS 90 no indica la periodicidad en que se debe informar la emisión de estos parámetros extras.

<sup>8</sup> Solo para fuentes emisoras que deben cumplir Tabla 1 o 2.

### 3. Metodología del AGIES

En el siguiente capítulo se expone la metodología de evaluación utilizada en el AGIES, donde detalla cómo se abordará cada paso del análisis. Se mencionan aspectos metodológicos de la cadena causal y cómo se relaciona con los impactos analizados.

#### 3.1 Metodología general

El objetivo del Análisis General de Impacto Económico y Social (AGIES) es determinar los beneficios y costos que produciría la aplicación de la norma de emisión en estudio, tanto para la población, ecosistemas o especies directamente afectadas o protegidas, para los emisores afectados a la norma y para el Estado como responsable de la fiscalización del cumplimiento de la norma (D.S. N° 38/2012 del MMA).

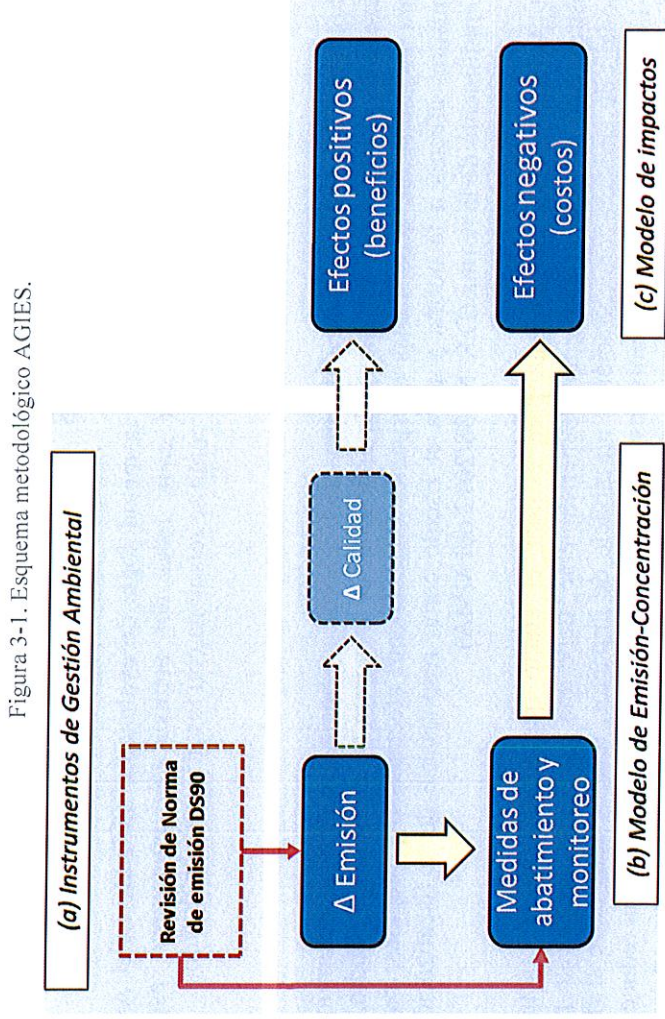
El AGIES es una herramienta para evaluar el efecto que tendría en la práctica un instrumento de gestión ambiental. Genéricamente, tiene una estructura compuesta por un modelo de emisión-concentración y un modelo de impactos, relacionados entre sí (Figura 3-1). En teoría, el modelo de emisión-concentración consiste en relacionar una reducción de emisiones (atribuibles a la norma analizada) con una mejora en calidad de agua del cuerpo receptor. Esta mejora de calidad del agua se relaciona directamente con los beneficios ambientales sociales y económicos que proporciona la norma, mientras que la reducción de emisiones y monitoreo adicional se relaciona con los costos de la misma.

Para los fines de evaluación de esta norma, no se cuantificará la variación en la calidad del agua en los cuerpos receptores ante la limitación de datos y recursos para modelar a nivel nacional la variación en la calidad del agua del cuerpo receptor (línea achurada de la Figura 3-1). Sin embargo, existen de todas maneras existen aproximaciones adicionales utilizadas por diversos estudios internacionales para la identificación, cuantificación e incluso valorización de beneficios, las cuales son descritas en el presente capítulo.

La aplicación de esta metodología requiere de una (i) simulación de emisiones descargas (Bases de Datos de los controles de la emisión según DS 90/00); (ii) evaluación de cumplimiento de la norma actual y propuesta<sup>9</sup>; (iii) simulación de mejoras tecnológicas para los casos con incumplimiento y reducción de emisiones; (iv) determinación (cuali y cuantitativa) de beneficios de la norma; y finalmente costos asociados al cumplimiento de la norma.

<sup>9</sup> 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.





Fuente: Elaboración propia.

La metodología se aplicó a dos escenarios de evaluación en serie, primero se analizó la **situación base (SB)**, correspondiente al escenario actual en el cual rige la norma de emisión DS 90/00; y luego se analizó la **situación con proyecto (SCP)**, que corresponde al escenario futuro en que las actuales fuentes emisoras serán reguladas bajo los criterios de norma del PDR\_DS 90 considerando las modificaciones propuestas que son factibles de abordar por este estudio, en Anexo 7.1 se presentan las principales modificaciones del PDR\_DS 90.

Los elementos ya mencionados según los componentes del esquema metodológico (Figura 3-1) fueron montados y articulados en un modelo desarrollado por el Departamento de Economía Ambiental, utilizando el programa computacional Analytica 64-bit Optimizer 4.4.4.5. El procesamiento de datos espaciales y generación de cartografía fue realizado con el programa computacional de Sistema de Información Geográfica (SIG), ArcGis 10.0.

A continuación se detalla la información base y la metodología utilizada en cada etapa del análisis.

### 3.2 Emisiones base

Se recopiló las bases de datos de emisiones de las fuentes puntuales afectas al DS 90/00 de las Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR), Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) y se elaboró una base de datos nacional con la siguiente información: planta (establecimiento), razón social, rubro, punto/s de descarga/s, ubicación (coordenadas del punto de descarga, comuna, cuenca), Tabla de norma de emisión por la que se rige,



parámetros y valores de emisión (descarga en la unidad respectiva según parámetro), cuerpo receptor, entre otros.

Se generó una capa o cobertura temática (shape) de los puntos de descarga de las fuentes emisoras (datum WGS-84, huso 19 sur). Aquellos puntos de descarga que no se tiene registro de su georreferenciación, fueron asignados espacialmente mediante el uso de SIG a su respectiva cuenca hidrográfica según el cuerpo de agua receptor al que descarguen o según la comuna donde se ubica el punto de descarga, siempre y cuando la comuna este completamente contenida en la cuenca en cuestión. Esta asignación fue realizada para simular el cumplimiento de algunas modificaciones que tienen consideraciones espaciales.

Para efectos de este AGIES se procedió a trabajar con los datos de emisión más recientes enviados por los organismos competentes: Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) del año 2011, proporcionados por la SISS; y los datos de emisiones del año 2013 de las otras fuentes emisoras correspondiente a variados rubros (DIRECTEMAR y SMA).

Se realizó la estimación de la carga promedio anual de cada fuente emisora, y a partir de estos resultados se estimó la carga promedio anual por zona<sup>10</sup>, según ubicación geográfica de las fuentes emisoras.

Metodológicamente, la carga se estima de acuerdo a la siguiente expresión:

$$W_{i,f} = 0.001 * C_{jp} * Q_j$$

Ecuación 1

Dónde:

*W*: Carga promedio anual de la fuente emisora *j* en el parámetro *p* [kg/d]

*C*: Concentración promedio anual de la emisión de la fuente emisora *j* en el parámetro *p* [mg/L]

*Q*: Caudal promedio anual de la fuente emisora *j* [m<sup>3</sup>/d]


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 Emisora (mediana del caudal promedio anual de todas las fuentes emisoras de un mismo rubro).

### 3.2.1 Efectos de las modificaciones de la norma sobre las emisiones evaluadas en la SCP

- a) Cambio de Tabla: Si bien las emisiones de base utilizadas para evaluar los escenarios en estudio (SB y SCP) corresponde a la misma información de origen, es preciso señalar las repercusiones que generan las modificaciones planteadas en el PDR\_DS 90, por ejemplo los cambios de Tabla (de Tabla 1 o 2 a Tabla 6 o 3) podrían generar vacíos de datos de emisión para ciertos parámetros, debido a que las Tablas 6 y 3 regulan parámetros que no eran regulados por las Tablas precedentes (Cromo, Estaño, Hidrocarburos totales y volátiles, Nitrógeno total, Sólidos

<sup>10</sup> Ver en Anexo 7.4 las cuencas que conforman las distintas zonas del país





Sedimentables, Sustancias Activas al Azul de Metileno), por lo tanto no se tiene datos de emisión en dichos parámetros de las fuentes emisoras que se encuentran en esta situación. Para subsanar esto existe dos posibles alternativas, una corresponde a que empresas de un mismo rubro informen algunos de estos parámetros puesto que forma parte de su Resolución de Calificación Ambiental (RCA), o la otra alternativa es que empresas de un mismo rubro que se rigen por la tabla existente (Tabla 3) ya informan la descarga de esos parámetros; en ambos casos se les asignó a las fuentes emisoras sin datos el promedio anual del parámetro en cuestión del rubro al que pertenecen. En caso de no contar con datos para realizar la asignación no resulta factible realizar ningún tipo de estimación al respecto. Situación similar de asignación de emisión ocurre con los nuevos parámetros a normar (Cloro Libre Residual y Trihalometanos).

También ocurre que el cambio de tabla excluye parámetros que en la tabla anterior estaban siendo regulados, por ejemplo, fuentes emisoras que bajo la norma actual se rigen por Tabla 1 o 2 dejarían de controlar la emisión de los parámetros como Nitrógeno Total Kjédahl (NKT) y Triclorometano, si es que para efectos del PDR\_DS 90 estuviesen descargando en estuarios (ya que la Tabla 6 no controla esos parámetros). En este sentido, es importante destacar que no se está “perdiendo” el control de dichos parámetros puesto que tienen una sustitución directa por los parámetros controlados en Tabla 6, Nitrógeno total y Trihalometanos, respectivamente. Similarmente ocurre cuando el cambio es de Tabla 1 o 2 a Tabla 3 con los parámetros NKT (se modifica el control por Nitrógeno total), Hidrocarburos fijos (se modifica el control por Hidrocarburos totales), Poder espumógeno (se modifica el control por SAAM), sin embargo Boro y Pentaclorofenol no tendrían un parámetro “sustituto” directo en la Tabla 3.

La metodología empleada para determinar las fuentes emisoras sujeta a los cambios de Tabla se basa en el uso de la tecnología de SIG mediante la herramienta de superposición de capas (fuentes emisoras, subcuencas, lagos, lagunas, estuarios según CENAM (2015)).

- b) Inclusión de nuevos parámetros y modificación en los límites máximos de emisión: Estas modificaciones fueron trabajadas simultáneamente pues metodológicamente corresponden a un mismo planteamiento y consiste en modificar la Tabla correspondiente, incluyendo los nuevos parámetros con su valor de norma, y modificar los límites de los parámetros en donde el PDR\_DS90 lo propone.
- c) Sitios ECMPO: Esta modificación tiene una aplicación para las fuentes emisoras reguladas por la Tabla 4 que descarguen en estas áreas, y afecta exclusivamente el valor de emisión del parámetro Coliformes fecales, regulándolo en 70 [NMP/100 ml] en vez de 1.000 [NMP/100 ml].

En base a la utilización del SIG, se trabajó con la cartografía de los ECMPO de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura<sup>11</sup>. La cual representa la totalidad de estos espacios aunque se encuentren en distintos estados de tramitación por la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI) y se le superpuso la capa de las fuentes emisoras para identificar aquellas que estuviesen descargando en estos sitios.

- d) Calificación de Fuente Emisora: Se consideran las modificaciones a la caracterización propiamente tal referida al cambio de Tabla “Establecimiento Emisor” por las Tablas Fuente Emisora “Carga Contaminante” y “Valor Característico”. Sin embargo no es posible determinar en el AGIES si Fuentes Emisoras que calificaron como tal pudieran perder esa condición o por el contrario establecimientos que no calificaron como Fuente Emisora pudieran serlo con la modificación propuesta, debido a que no se cuenta con los datos de caracterización históricos. Sin embargo, la única aproximación metodológica es establecer los costos de análisis de laboratorio la inclusión de los parámetros Cloro Libre Residual y Trihalometanos para todas las fuentes emisoras, y todos los parámetros requeridos en las Tablas Fuente Emisoras “Carga Contaminante” y “Valor Característico” para los artefactos navales. Para esto se cuenta con datos promedio del costo de mercado para el análisis de laboratorio de los parámetros en cuestión.
- e) Caracterización de condición de Fuente Emisora: Se incorporan los artefactos navales como “sujetos obligados” a someterse a caracterización de fuente emisora que determine si califican o no como tal. Para esto se consideró el listado de naves inscritas en los registros de DIRECTEMAR, sin embargo con la información disponible solamente se pudo realizar la diferenciación de artefactos según: i) Naves con intercambio de agua y sistema de tratamiento de agua; ii) Naves sin intercambio de agua y sin sistema de tratamiento. No es factible determinar en el AGIES cuántos y cuáles artefactos navales podrían ser Fuente Emisora pues el DEA no cuenta con datos para caracterizar el residuo descargado (procesos industriales y lavado de sistemas de cultivo de recursos hidrobiológicos).

Con este nivel de información que se cuenta para los artefactos navales, solo es posible indicar *a priori*, que podrían convertirse en fuentes emisoras e indicar el número de sujetos que debiesen someterse a evaluación de Fuente Emisora.

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.

---

<sup>11</sup> Más antecedentes visitar página web de Subsecretaría de Pesca y Agricultura en la siguiente dirección URL: <http://www.subpesca.cl/institucional/602/w3-propertyvalue-50834.html>



### 3.3 Análisis de cumplimiento de la norma

De acuerdo a las emisiones de cada fuente emisora y a la Tabla a la cual se rige, se evalúa su cumplimiento, considerando que se sobrepasan los límites máximos establecidos cuando:

- a) Si analizadas diez o menos muestras 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 SCP es de acuerdo a Tabla de Tolerancias (Tabla 3-1).
- b) Si analizadas más de diez muestras en el mes, incluyendo los remuestreos, más de un 10 [%] de las muestras excede en uno o más parámetros, la tolerancia permitida (en la SB corresponde al 100 [%] del valor normado, y en la SCP es de acuerdo a la Tabla de Tolerancia (Tabla 3-1).

Tabla 3-1. Tabla de Tolerancia, situación con proyecto (SCP).

Parámetros	Unidad	Tolerancia respecto a valores establecidos en Tablas 1, 2, 3, 4, 5 y 6
pH en Tablas 1, 2, 3 y 6	Unidad de pH	5,5 – 9,0
pH en Tablas 4 y 5	Unidad de pH	5,5 – 9,5
Coliformes Fecales (límite 1.000 [NMP/100 mL])	NMP/100 mL	5.300
Coliformes Fecales (límite 70 [NMP/100 mL])*	NMP/100 mL	250
Temperatura	°C	T máxima + 2°C
Poder espumógeno	Mm	Límite máximo + 2
Sólidos sedimentables	mL/L/h	Límite máximo + 5
Resto parámetros	mg/L	El doble de la concentración establecida en la tabla respectiva

Fuente: Proyecto Definitivo de Revisión de DS 90.

En la SCP deben considerarse todas las modificaciones de límites máximos de emisión y cambios de parámetros según Tabla correspondiente, las fuentes emisoras que cambian de Tabla, y el cambio de límite en Coliformes fecales para aquellas reguladas por Tabla 4 y que descargan en los ECMPO, AAA y AMERB.

### 3.4 Medidas de Abatimiento

Luego de realizar el análisis de cumplimiento de la norma de emisión, en caso de existir incumplimientos (excedencias en la tabla de tolerancia) en algún o algunos parámetros, la fuente emisora debe tomar medidas para reducir la concentración de su descarga en el o los parámetros excedidos, estas pueden ser modificaciones en su proceso productivo, en los insumos que se utilizan o bien aplicar sistemas de tratamientos de residuos líquidos.

El AGIES concentra su atención en esta última alternativa como opción para dar cumplimiento de la norma, basado en antecedentes de diversos tipos de tratamiento (físicos, químicos, biológicos, entre otros), características y desempeño de distintas tecnologías de abatimiento (eficiencias de remoción por parámetro), curvas de costos de inversión, curvas de costos de operación y mantenimiento según estudios realizados por AMPHOS 21 (2014) y Fundación Chile (2010).

Mayor detalle de todas las tecnologías de abatimiento consideradas como *inputs* del modelo, con su respectiva eficiencia de remoción por parámetro, ver Anexo 7.3.

La selección de las tecnologías se describe con mayor detalle a continuación, en la sección 3.5 Costos (costos de abatimiento).

### 3.5 Costos

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

- i) Costos de tecnologías de abatimiento: corresponde a los costos de tener que instalar tecnologías de abatimiento para cumplir con los límites de emisión para cada fuente emisora según la Tabla respectiva. Considera costos de inversión, operación y mantenimiento.
- ii) Costos de monitoreo: corresponden a todos los costos asociados a monitoreo adicional a las fuentes emisoras existentes. Específicamente:
  - a. Costos de caracterización de fuentes emisoras: considera los costos de análisis en laboratorio los parámetros requeridos para la caracterización, con la salvedad que las fuentes emisoras existentes solo tienen que caracterizarse en función de los parámetros nuevos incluidos en PDR DS90, mientras que las fuentes emisoras nuevas deben evaluarse en todos los parámetros requeridos (artefactos navales).
  - b. Costos de monitoreo de parámetros existentes: considera los costos asociados al análisis en laboratorio de los nuevos parámetros a normar según la frecuencia establecida. Considera también los costos del análisis en laboratorio de la exigencia de monitorear una vez al año todos los parámetros que conforman la Tabla por la que se rige cada fuente emisora.
  - c. Costos de monitoreo de parámetros adicionales: Son costos de análisis de laboratorio asociados a parámetros nuevos. Se asume en el AGIES que esta actividad ocurrirá una vez al año.

#### 3.5.1 Modelo de minimización de costos

La metodología para estimar los costos de alcanzar el cumplimiento normativo asume que los puntos de descarga que no cumplen con los nuevos límites de emisión realizarán acciones (inversión y/o operación y/o mantención) de modo de reducir sus emisiones tal que cumplan con los nuevos límites.



El modelo de optimización simula qué tecnología de abatimiento es recomendable incorporar en cada fuente emisora para cumplir con la norma. La expresión matemática asociada corresponde a la siguiente:

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

Función objetivo:  
minimizar costos

Ecuación 2

Sujeto a:

$$EF_{jp} = EI_{jp} * \prod_{i=1}^n (1 - \eta_{ip})^{x_{ij}} \leq N_{jp}, \forall (j, p)$$

Restricciones:  
cumplimiento de norma

$$x_{ij} \geq 0$$

Ecuación 3

Donde:

- $CT_j$ : Costo total (inversión, operación y mantenimiento) anualizado de la tecnología del punto de descarga 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 si 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]<sup>12</sup>
- $EI_{jp}$ : Emisión inicial de la fuente emisora j y del parámetro p, normalmente [mg/l]
- $\eta_{ip}$ : Eficiencia de remoción de contaminantes del parámetro p de la tecnología i [%]
- $N_{jp}$  = 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.
- 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 redunda proporcionalmente en los costos. Esto se hace con el fin de simular de mejor manera la elección de los puntos de descarga, los cuales tienen la flexibilidad tanto 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.

### 3.5.2 Costos de tecnologías de abatimiento

El modelo de optimización requiere de los costos que implica la inversión de cada tecnología en la reducción de emisiones con el fin de que pueda determinar cuál es la más

<sup>12</sup> La unidad de mg/l es la más común, pero existen otros parámetros como coniformes fecales, sólidos sedimentables, entre otros, que tienen otras unidades de medidas.

conveniente. Estos valores se estimaron según las funciones de costos de inversión y costos de operación y mantenimiento de las tecnologías de abatimiento (curvas de costos en función del caudal descargado) tal como se indica en la Ecuación 4 (Fundación Chile 2010; AMPHOS 21 2014)

$$CI_{ij} = a_i \cdot Q_j^{b_i}$$

$$COyM_{ij} = c_i \cdot Q_j^{d_i}$$

Ecuación 4

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 mantenimiento 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 mantenimiento por tecnología  $i$
- $Q_j$ : Caudal de la fuente emisora  $j$  [m<sup>3</sup>/h]

Finalmente, el costo  $C_{ij}$  de la Ecuación 2 corresponde a la suma de los costos de inversión anualizados y los costos de operación y mantenimiento. La anualización de los costos de inversión se realiza asumiendo una vida útil de las tecnologías igual a 20 años y tasa de descuento social de 6% (MDS 2015).

Para el análisis de incertidumbre, se asume una función de distribución triangular, con moda el valor medio de los estudios mencionados y extremos simétricos  $\pm 30\%$ .

### 3.5.3 Costos de monitoreo

Solo se considerará como costo de monitoreo, los costos del análisis en laboratorio para cada parámetro según cotizaciones<sup>13</sup> solicitadas a laboratorios acreditados en análisis de aguas residuales según NCh2313. Esto aplica para los puntos ii), iii) y iv) señalados al comienzo de esta sección.

$$CM = \sum_j CCaract_{jp} + Frec_j \cdot CMon_{jp} + CTabla_{jp} + FE_t \cdot CADic_{it}$$

Ecuación 5

Donde:

- $CM$ : Costo de monitoreo de la norma [USD/año]
- $CCaract$ : Costo anualizado de caracterizarse según fuente emisora  $j$  parámetros  $p$  solicitados en las Tablas Fuente Emisora “Valor Característico” y “Carga Contaminante” [USD/año]
- $Frec$ : Frecuencia de monitoreo para la fuente emisora  $j$  [1/año]
- $CMon$ : Costo de monitoreo para la fuente emisora  $j$  según los parámetros  $i$  que le corresponde informar

<sup>13</sup> Cotizaciones realizadas en el año 2015. Se asume que las muestras son tomadas por el interesado y los envases para tomar las muestras son retirados por el interesado directamente en el laboratorio. No considera aspectos como la logística de la toma de muestra, despacho a laboratorio, requerimientos especiales de cada parámetro (por ejemplo mantener la muestra a determinada temperatura).





- *CTabla*: Costo de monitoreo de la Tabla completa según fuente emisora  $j$  y en los parámetros  $i$  que la conforman dicha Tabla
- *FE*: Número de fuentes emisoras reguladas por Tabla  $t$  [1/año]
- *CAdic*: Costo de monitorear los parámetros adicionales  $p$  solicitados para la Tabla  $t$ .

### 3.6 Reducción de las emisiones

Luego de la selección de tecnologías de abatimiento más apropiadas, se estima la reducción de la emisión de la descarga en función de las eficiencias de remoción que tenga para cada parámetro, de acuerdo a la Ecuación 3..

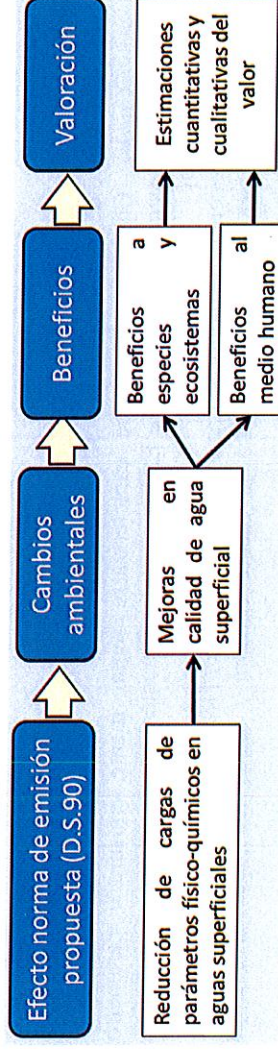
### 3.7 Beneficios

La reducción de emisiones de contaminantes a los cursos de agua superficiales genera beneficios a los ecosistemas y al medio humano, si se considera que dichas reducciones se traducen en una mejora en la calidad de las aguas superficiales (EPA 2013).

Estos cambios ambientales, relacionados con funciones y procesos ecológicos (transparencia del agua, abundancia y productividad de peces, invertebrados y algas, ciclos de nutrientes, entre otros) afectan la provisión de servicios ecosistémicos<sup>14</sup> valorados por la población, incluyendo oportunidades de recreación y ecoturismo, belleza escénica, pesca comercial, navegación, disponibilidad de agua para diversos usos, servicios de regulación y mantención (como hábitat para especies acuáticas). Así, dichos cambios en la provisión de servicios modifican el valor de estos servicios expresados en diversos aspectos del bienestar humano (considerando beneficios tangibles e intangibles) (Keeler, Polasky et al. (2012), Bujinovsky 2015)).

La estimación de beneficios de la implementación del PDR\_DS 90 consideró aquellos beneficios relacionados a la salud de los ecosistemas y especies acuáticas, y al medio humano, siguiendo los planteamientos de EPA (2013) y Keeler, Polasky et al. (2012) (ver Figura 3-2).

Figura 3-2. Esquema de los beneficios relacionados con implementación de normas de emisión y mejora de la calidad de las aguas.



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

<sup>14</sup> Contribución directa o indirecta al ser humano aportado por los ecosistemas TEEB (2013). The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands, IEEP.



El análisis de beneficios considera la identificación, cuantificación y valoración de estos servicios. Sin embargo, sólo un subconjunto de los beneficios previstos puede ser cuantificado y monetizado. Un análisis completo de beneficios puede ser desarrollado si se cuenta con la información y aplicación de metodologías necesarias para ello. A continuación se describen cada una de las etapas de la estimación de beneficios propuesta.

### **3.7.1 Condiciones ecológicas: Beneficios relacionados con especies y ecosistemas acuáticos**

Los ecosistemas acuáticos continentales de Chile exhiben una enorme diversidad hidrológica y morfológica, factores claves en la evolución de los peces dulceacuícolas de Chile, caracterizados por baja su riqueza específica y alto endemismo (25%) (Dyer 2000; Habit 2006). A pesar de la relevancia ambiental de estos sistemas, han sido sometidos a diversas perturbaciones antrópicas generando alteraciones en la estructura y composición de las comunidades acuáticas (Mancilla et al., Orrego et al., Habit et al citados por Andreoli (2012)) con implicancias actuales y futuras en su conservación y en la provisión de servicios ecosistémicos fundamentales para el 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 parámetros de la norma sobre la vida acuática. De esta manera, reducciones de emisiones de estos parámetros (parámetros físico-químicos que modifican sus límites normativos respecto al DS 90/00 y parámetros que se incorporan en el PDR\_DS 90) modifican la calidad del agua de ríos, lagos, estuarios y el mar produciendo beneficios potenciales para estos ecosistemas.

Además, se analizó la relación entre la reducción de emisiones generada por el PDR\_DS 90 y las especies ícticas amenazadas del país. Especies que están enfrentando desde un alto a extremadamente alto riesgo de extinción en el mediano plazo, si se mantienen las actuales condiciones ambientales y alteraciones antrópicas que las amenazan. La información empleada para este análisis se obtuvo de los resultados de reducciones de emisiones extraídos del modelo y de la información contenida en la “Cartografía y base de datos de distribución de especies de fauna íctica de Chile” elaborada por el Departamento de Protección de Especies del Ministerio del Medio Ambiente (2015). El análisis se efectuó por medio de la agregación de la información de cuencas hidrográficas en 6 zonas para todo el país (ver Anexo 7.4). Además se realizó un análisis específico para los ecosistemas estuarinos en donde se compara las especies amenazadas que habitan estos sistemas y la reducción de emisiones estimada con la aplicación del PDR\_DS 90.

Los diversos ecosistemas que sustentan los hábitats de esta especies ícticas presentan diferentes estados tróficos actuales a lo largo del país. En base a la información contenida en los estudios “Red de Monitoreo Ambiental de Sistemas Acuáticos Costeros y Andinos de Chile” (SGS 2015) y “Conservación de ecosistemas acuáticos continentales y su biodiversidad, implementación de metodologías y desarrollo de herramientas para la planificación, evaluación y priorización de ecosistemas (CEA 2014) se obtuvo antecedentes respecto al estado trófico de ecosistemas lacustres, ríos y estuarios del país. Dicha



información se relacionó con la reducción de emisiones generada por el PDR\_DS 90 por cada ecosistema acuático continental.

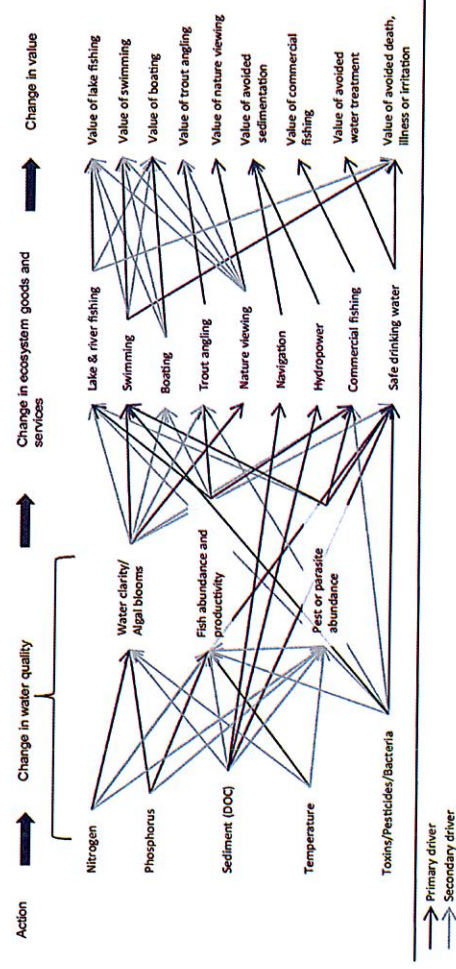
### 3.7.2 Bienestar humano: Beneficios relacionados con el medio humano.

En relación al medio humano, el PDR\_DS 90 puede generar diversos beneficios relacionados con disminución en el riesgo a la salud por la reducción en la emisión de ciertos parámetros (por ejemplo, metales, halogenados, entre otros). A su vez, la reducción de emisiones genera mejoras ambientales que incrementan la provisión de servicios ecosistémicos fundamentales para el bienestar humano (por ejemplo, agua para consumo humano y animal, provisión de peces, plantas).

Mediante revisión bibliográfica, se identificaron los efectos en salud humana de aquellos parámetros físico-químicos que por la implementación del PDR\_DS 90 reducen sus emisiones. Además, se identificaron los servicios ecosistémicos que proporcionan los ecosistemas acuáticos y que se relacionan con la calidad del agua basado en revisión de literatura nacional e internacional (TEEB (2013), Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) (2015), MEA (2005), Bujinovsky (2015)).

Respecto a la valorización de los beneficios generados por la modificación del DS 90/00 Keeler, Polasky et al. (2012) hacen referencia a 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 (Figura 3-3). La carencia de éstas, por falta de información o metodologías, implica en que no podrá relacionarse de manera directa, la política o acción evaluada con los beneficios que ésta proporciona.

Figura 3-3. Relación entre calidad del agua y cambios en el valor final para la población.



Fuente: Keeler, Polasky et al. (2012)

En el caso del presente análisis, se podrían estimar los beneficios directos de la norma si se tuviera un modelo de dispersión que estimara los cambios en la emisión de todos los parámetros en todos los sistemas acuáticos donde existen mejoras de calidad del agua;

posteriormente, determinar cómo esos cambios en calidad en cada sitio específico afecta el ecosistema y los servicios ecosistémicos que se proveen, y finalmente determinar, con alguna metodología de valoración económica específica el valor que genera ese cambio marginal de la provisión de servicios ecosistémicos en el bienestar de la población.

Sin embargo, aun con estas dificultades es posible aproximarnos al valor del beneficio de esta norma mediante la aplicación de diversas metodologías con información proporcionada por la literatura, extrapolada a la realidad nacional. Considerando lo anterior, se estimarán los beneficios mediante tres aproximaciones diferentes:

- Disposición a pagar por mejorar la calidad de las aguas
- Método de precios sombra de vertido de emisiones a cuerpos de agua superficiales
- Costos de recuperación de programas internacionales que han implementado medidas para recuperar cuerpos de agua altamente dañados.

Aunque los beneficios son referenciales y no pueden ser agregados dado que existiría un doble conteo en los resultados utilizando las metodologías mencionadas, la aproximación permite comparar los órdenes de magnitud con los costos estimados.



## 4. Resultados

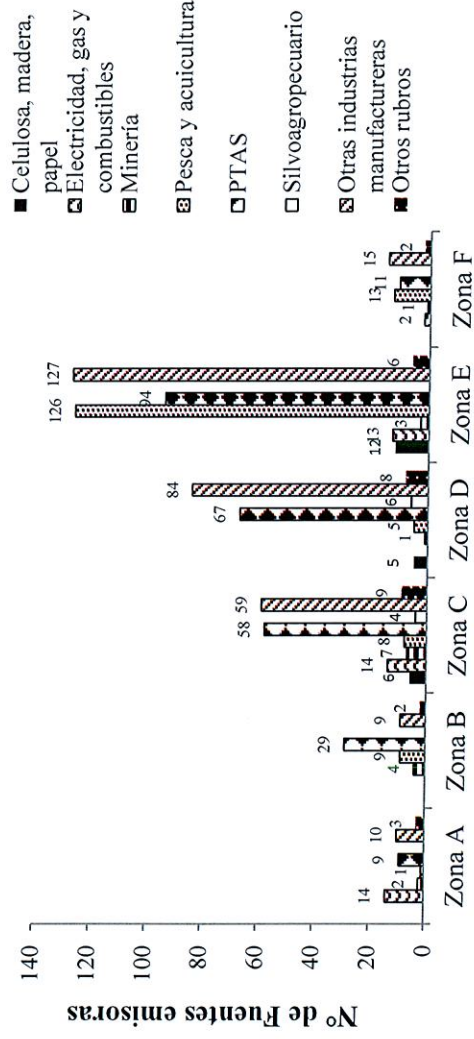
A continuación se detallan los resultados del informe ordenados según la estructura propuesta en el capítulo de Metodología.

### 4.1 Emisiones Base

La Base de Datos resultante de la unificación de las Bases de Datos de emisión de los distintos servicios con competencia en la norma DS 90/00, presenta un total de 858 fuentes emisoras operativas.

Las fuentes emisoras se encuentran distribuidas a lo largo del país, concentrándose mayoritariamente en la zona central (entre la región de Coquimbo y la región de Los Ríos, zonas C, D y E). La Figura 4-2 presenta esta distribución según zonas (mayor información respecto a las cuencas que conforman las distintas zonas, se recomienda revisar el Anexo 7.4).

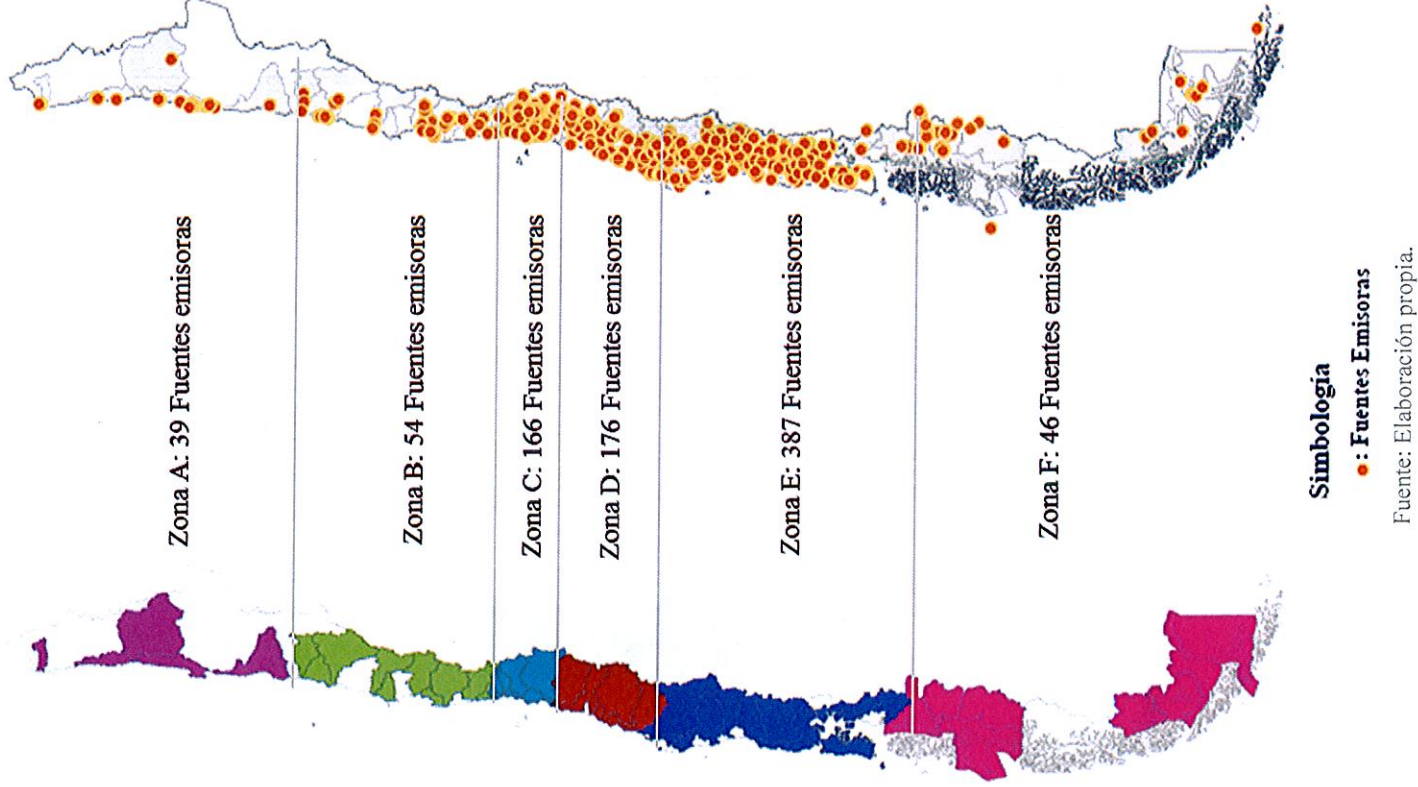
Figura 4-1. Distribución de fuentes emisoras por rubro y zona.



Fuente: Elaboración propia.



Figura 4-2. Distribución espacial de las Fuentes emisoras.



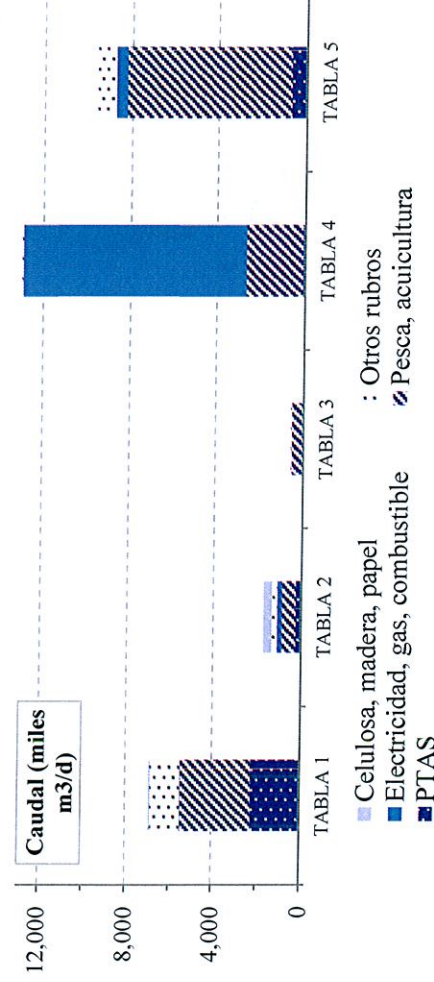




Los rubros con mayor cantidad de fuentes emisoras corresponden a: Otras industrias manufactureras<sup>15</sup> (304 fuentes emisoras), Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS, 268 fuentes emisoras), Pesca y Acuicultura (162 fuentes emisoras), juntos representan sobre el 85% de las fuentes emisoras operativas a nivel nacional (Figura 4-1). Gran parte de las fuentes emisoras, están reguladas por la Tabla 1, sin embargo el total del caudal de descarga anual asociado a dicha Tabla corresponde aproximadamente al 25% del caudal descargado total. En la Figura 4-3 puede apreciarse que los mayores volúmenes de descarga ocurren en los cuerpos de agua marinos (Tabla 3 y 4).

Los rubros que producen los más altos caudales descargados corresponden a “Pesca y Acuicultura” y “Electricidad, gas, combustibles”, juntos representan más del 80% del caudal descargado (Figura 4-3).

Figura 4-3. Caudales descargados en el año, según Tabla y Rubro. Situación base, (miles m<sup>3</sup>/d)



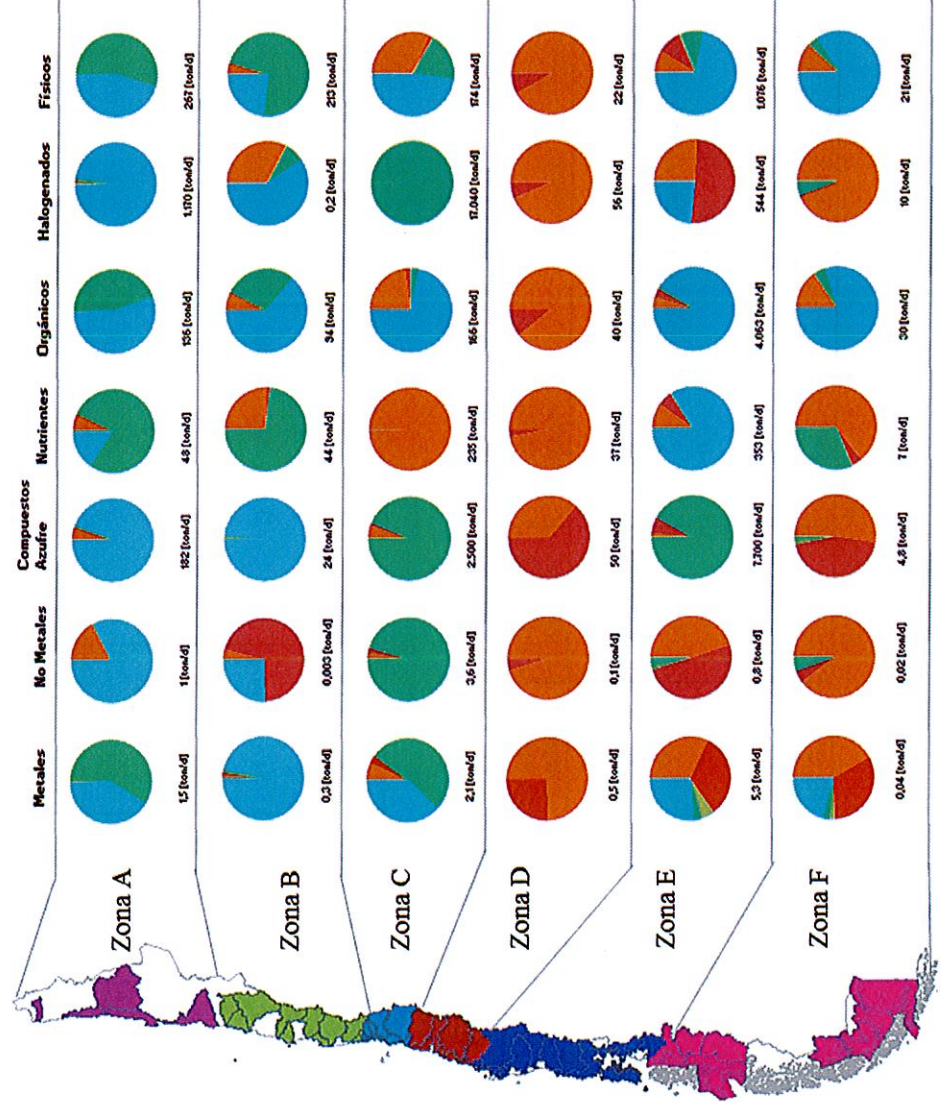
Fuente: Elaboración propia.

Respecto a las cargas promedio anual descargadas por zona, en la Figura 4-4 se aprecia la heterogeneidad en la distribución de las descargas según cuerpo receptor y magnitud de las descargas por clasificación de parámetros. Destaca que en el norte (Zona A, B y C) las descargas sean prácticamente en su totalidad en el mar mientras que la Zona D todas las descargas se realizan en los ríos, luego las zonas E y F hay cierta transición entre descargas a ríos y a mar.

<sup>15</sup> En esta clasificación, las fuentes emisoras vinculadas al rubro de Elaboración de Productos Alimenticios corresponden a 230 puntos de descarga.



Figura 4-4. Distribución de cargas a nivel nacional por Tabla y clasificación de parámetro



■ TABLA 1 ■ TABLA 2 ■ TABLA 3 ■ TABLA 4 ■ TABLA 5

Fuente: Elaboración propia.

**4.1.1 Efectos de las modificaciones de la norma sobre las emisiones evaluadas en la SCP:**

a) *Cambio de Tabla:* En total se observa que 51 fuentes emisoras cambiarían de Tabla con el PDR\_DS 90, de las cuales 30 corresponden a descargas en estuarios (Tabla 6) y 21 a ríos o esteros afluentes a lagos (Tabla 3). El mayor número de modificaciones ocurre en la Zona E, nótese que en el norte grande de Chile (Zona A y B) las fuentes emisoras no presentan ninguna variación de cambio de tabla. Los rubros que presentan las principales modificaciones corresponden al de “Pesca y Acuicultura” y “PTAS”, la Tabla 4-1 y la Tabla 4-2 representan lo indicado.



Tabla 4-1. Modificaciones de Tabla por zona.

Zona	Tabla 1		Tabla 2		Tabla 3		Tabla 4		Tabla 5		Tabla 6	
	SB	SCP	SB	SCP	SB	SCP	SB	SCP	SB	SCP	SB	SCP
Zona A	1	1	0	0	0	0	18	18	20	20	N.A	0
Zona B	23	23	6	6	0	0	10	10	15	15	N.A	0
Zona C	130	129	11	10	0	0	12	12	13	13	N.A	2
Zona D	165	163	11	11	0	0	0	0	0	0	N.A	2
Zona E	190	165	80	62	32	53	14	14	71	71	N.A	22
Zona F	24	21	2	1	5	5	3	3	12	12	N.A	4
<b>TOTAL</b>	<b>533</b>	<b>502</b>	<b>110</b>	<b>90</b>	<b>37</b>	<b>58</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>131</b>	<b>131</b>	<b>N.A</b>	<b>30</b>

SB: Situación Base SCP; Situación con Proyecto  
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-2. Modificaciones de Tabla según Rubro, Situación con Proyecto.

Rubros	Tabla 1 a		Tabla 2 a		Tabla 2 a		TOTAL
	Tabla 3	Tabla 6	Tabla 3	Tabla 6	Tabla 6		
Celulosa, madera, papel	0	0	0	0	3	3	
Electricidad, gas, combustible	0	0	0	0	1	1	
Otras Industrias manufactureras	5	0	0	0	4	9	
Otros rubros	0	1	0	0	3	4	
Pesca y Acuicultura	11	5	3	3	3	22	
PTAS	2	8	0	0	2	12	
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>51</b>	

Fuente: Elaboración Propia

- b) Inclusión de nuevos parámetros y modificación en los límites máximos de emisión:  
Se incluyó el parámetro Cloro Libre Residual (CLR) en todas las Tablas, y sus respectivos valores límites según Tabla correspondiente. Se incorporó también el parámetro Trihalometanos (THMs) normado en Tablas 3 a 6 con su correspondiente límite de norma según Tabla.
- c) Sitios ECMPO: Bajo el criterio ECMPO se añaden 4 fuentes emisoras en esta categoría, las cuales se suman a las 22 fuentes emisoras que también presentan esta restricción en Coliformes fecales debido a que descargan en Áreas Aptas para la Acuicultura (AAA) y Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB).
- d) Caracterización de Fuente Emisora: En este punto todas las fuentes emisoras deben calificarse en los parámetros CLR y THMs según las Tablas Fuente Emisora “Carga Contaminante” y “Valor Característico”. Además, el PDR\_DS 90 considera como sujetos a someterse a la calificación a los artefactos navales, debiéndose calificar en todos los parámetros que conforman dichas Tablas.

Debido a las modificaciones de los criterios de caracterización de fuentes y de los sujetos obligados a caracterizarse, no es posible identificar claramente cuantas



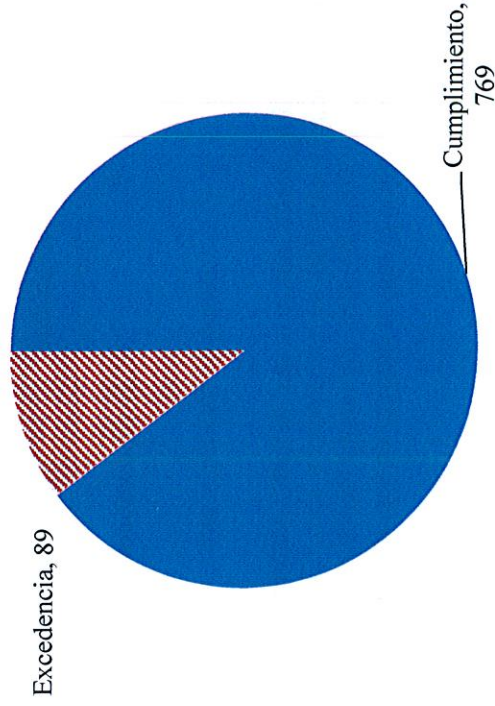
nuevas fuentes emisoras se incorporaran, ni tampoco realizar una proyección del resultado de la caracterización pues no se cuentan con los antecedentes necesarios, lo que representa una limitación para este estudio.

- e) Caracterización de condición de Fuente Emisora: Se incorporan los artefactos navales como “sujetos obligados” a someterse a caracterización, solo se consideraron aquellos que tienen intercambio de agua y sistema de tratamiento de agua (naves de tipo *wellboat* y *fishboat*), los cuales corresponden a 78 unidades.

## 4.2 Análisis de cumplimiento de la norma

Cada combinación punto de descarga-parámetro puede tener uno de los siguientes estatus de evaluación normativa: cumplimiento de norma, excedencia<sup>16</sup>. Se considera como cumplimiento los límites de emisiones no reportados, posterior a la asignación de valores descritos en el capítulo anterior de metodología.

Figura 4-5. Evaluación de cumplimiento por puntos de descarga



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4-5 indica que la gran mayoría de los datos están en cumplimiento normativo y tan solo una pequeña fracción (12%) corresponden a incumplimientos evaluados que redundan en costos y beneficios producto de la reducciones de emisiones. Sin embargo, existe una proporción importantes de vacíos de información que no son evaluados debido principalmente a la incorporación de parámetros nuevos como los THMs y los CLR donde se carece de antecedentes de descarga para la mayoría de las fuentes emisoras. Así también, debe tenerse en cuenta que los cambios de Tabla implican en algunos casos incorporación

<sup>16</sup> Se considerará excedencia cuando no se cumpla los criterios descritos en el punto 3.2 letra a) y b) de este informe

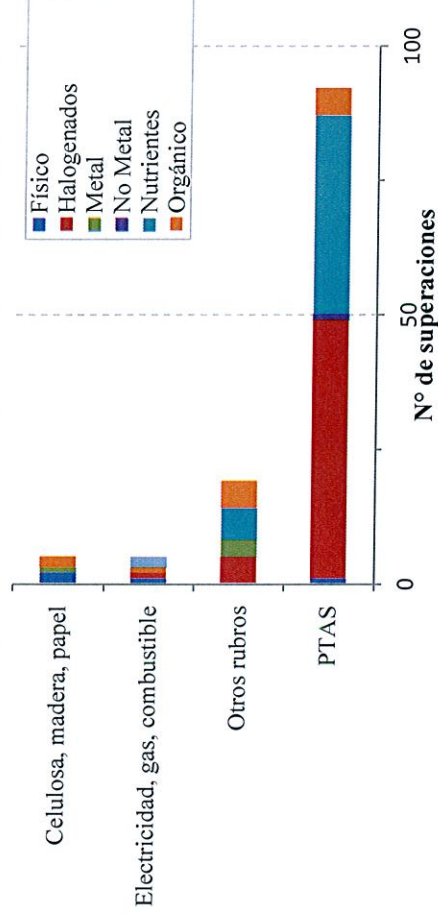




de parámetros que no estaban siendo regulados en la Tabla anterior, lo que podría generar costos, reducciones de emisión y beneficios no cuantificadas en el presente análisis.

La Figura 4-6 indica los incumplimientos de la norma desglosado por rubro emisor y según tipo de parámetro (ver clasificación de parámetros en Anexo 7.5), de ésta se aprecia que el rubro de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) son las que presentan la mayor cantidad de incumplimientos especialmente en los parámetros de tipo halogenados y nutrientes.

Figura 4-6. Superaciones por rubro, según tipo de parámetros.



Fuente: Elaboración propia

Desglosando lo anterior, puede indicarse que de todos los parámetros excedidos, los cinco que concentran la mayor cantidad de excedencias son: Cloro Libre Residual, Nitrógeno total, Fósforo, Nitrógeno Total Kjeldahl, Demanda Biológica de Oxígeno. Por otro lado, las PTAS son el rubro que tendría el mayor número de superaciones de norma.

### 4.3 Medidas de Abatimiento

El modelo selecciona las tecnologías de abatimiento que permiten lograr la reducción esperada para dar cumplimiento a la norma. A continuación, en la Tabla 4-3 se presentan las tecnologías que preferentemente resultaron seleccionadas y que se encuentran asociada a la remoción de alguno de los cinco parámetros que concentran la mayor cantidad de incumplimientos, según SCP del PDR\_DS 90.

Tabla 4-3. Ranking de los principales parámetros que deben abatirse y su respectiva tecnología de abatimiento

Parámetro removido	Tecnología de abatimiento
Cloro Libre Residual	Adsorción por carbón activado
Nitrógeno total	Electrocoagulación
	Complemento para Lodos

Parámetro removido	Tecnología de abatimiento
Fósforo	Activados
	Adsorción por carbón activado
	Precipitación química
	Coagulación - Floculación
	Electrocoagulación
Nitrógeno Total Kjedahl	Complemento para Lodos Activados
	Adsorción por carbón activado
	Precipitación química
	Coagulación - Floculación
	Electrocoagulación
Demanda Biológica de Oxígeno	Complemento para Lodos Activados
	Adsorción por carbón activado
	Precipitación química
	Coagulación - Floculación
	Electrocoagulación
	Desbaste

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Costos

A continuación se describe los costos asociados a la modificación de la norma analizada, relacionados con el abatimiento y el monitoreo.

##### 4.4.1 Costos de abatimiento

El modelo de optimización descrito anteriormente determinó las tecnologías de abatimiento potenciales que cada punto de descarga podría implementar para cumplir con los límites normativos.

Tabla 4-4 Costos de abatimiento asociados a la norma según rubro general [MMUSD/año]

Rubros	Costo anualizado [MMUSD/año, IC 90%]
Celulosa, madera, papel	0 (0 - 0)
Electricidad, gas, combustible	0,1 (0,1 - 0,1)
Otros rubros	0,3 (0,2 - 0,3)
PTAS	7,2 (5,7 - 8,6)
<b>Total general</b>	<b>7,6 (6 - 9,1)</b>

Fuente: Elaboración propia.



Tabla 4-5 Costos de abatimiento asociados a la norma según Tabla de descarga [MMUSD/año]

Tabla	Costo anualizado [MMUSD/año, IC 90%]
Tabla 1	1,0 (0,8 – 1,2)
Tabla 2	0 (0 - 0)
Tabla 3	0,02 (0,02 – 0,02)
Tabla 4	0 (0 - 0)
Tabla 5	0,04 (0,03 – 0,04)
Tabla 6	6.5 (5,2 – 7,8)
<b>Total</b>	<b>7,6 (6 – 9,1)</b>

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los costos por rubro indican que el rubro de mayor impacto son las PTAS y posteriormente Otros rubros, que lo comprende una gran heterogeneidad de sectores productivos. En relación a la distribución de los costos según Tablas, puede indicarse que la Tabla 6 es la que estaría incurriendo en los mayores costos asociados.

#### 4.4.2 Costo de monitoreo

En esta sección se presenta agrupadamente los costos de analizar en laboratorio los parámetros requeridos para caracterizar las fuentes emisoras, si la fuente es existente solo aplica CLR o THMs, para las nuevas fuentes (se consideró solo los artefactos navales como tal) corresponde aplicar la tabla completa, dar cumplimiento a la frecuencia de monitoreo (números de días al mes) y los parámetros solicitados a cada fuente emisora<sup>17</sup>, el monitoreo una vez año de todos los parámetros según Tabla por la que se rige cada fuente emisora, y finalmente el monitoreo de los parámetros adicionales solicitados anualmente para todas las fuentes emisoras. En total estos ascienden a **0,82 MMUSD/año**.

#### 4.5 Reducción de las emisiones

La reducción de emisiones aplica tanto para el parámetro excedido así como a los otros parámetros que la tecnología seleccionada, por su diseño, es capaz de remover simultáneamente.

Al respecto puede mencionarse que la aplicación y cumplimiento del PDR\_DS 90 a nivel nacional produciría una reducción de la carga emitida actualmente. La Tabla 4-6 presenta en detalle los parámetros que se reducen nominal y porcentualmente.

<sup>17</sup> Se asume que las fuentes emisoras seguirán informando los parámetros que informaban anteriormente y adicionalmente informaran los nuevos parámetros requeridos.

Tabla 4-6. Reducción de la carga emitida a nivel nacional

Parámetro	Reducción [kg/d]	Reducción [%]
Cloro Libre Residual	185	8%
Selenio	1	2%
Plomo	4	2%
Manganeso	16	2%
Cromo	4	2%
Hidrocarburos fijos	823	1%
Cobre	5	1%
Cadmio	1	1%
Fósforo	545	1%
Aceites y Grasas	2.453	1%
Zinc	8	1%
Nitrógeno total	4.519	1%
Hierro disuelto	4	1%

Fuente: Elaboración propia.

El parámetro mayormente reducido a nivel nacional corresponde al Cloro Libre Residual (CLR) producto de la modificación a la norma al incluir la regulación de este parámetro en todas sus Tablas.

La Tabla 4-7 representa la reducción de la carga emitida por ecosistema, entre sus resultados destaca los efectos que produce la incorporación de la Tabla de estuarios, pues en ella es en donde se produce la mayor cantidad de reducción, tanto en la cantidad de parámetros como en el porcentaje de reducción, lo cual es esperable debido a que presenta los límites de regulación más estrictos en comparación a las otras Tablas. Similarmente ocurre con la reducción del Cloro Libre Residual (CLR), que prácticamente corresponde al único parámetro que se reduce en los otros ecosistemas de aguas continentales, sin embargo, el efecto de la inclusión de normar Trihalometanos (THMs) no es factible de estimar pues son muy pocas las fuentes emisoras que informan su descarga (6 fuentes y solo corresponde a Tabla 4 o Tabla 5). Note que la Tabla 4-7 indica que los únicos efectos de reducción en el mar corresponden a la reducción de CLR y Triclorometano, esto se debe a que es la única modificación del PDR\_DS 90 que le aplica a estas Tablas (inclusión de los nuevos parámetros).

Tabla 4-7. Reducción de la carga emitida por ecosistema.

Ecosistema	Tabla de regulación	Parámetro	Reducción [kg/d]	Reducción [%]
Río	Tabla 1 y Tabla 2	Cloro Libre Residual DBO <sub>5</sub>	131 2.682	18% 1%
Lagos	Tabla 3	Cloro Libre Residual	1	13%
Mar	Tabla 4 y Tabla 5	Cloro Libre Residual	15	1%



Ecosistema	Tabla de regulación	de	Parámetro	Reducción [kg/d]	Reducción [%]
			Triclorometanos	0,003	2%
			DBO <sub>5</sub>	7.952	53%
			Nitrógeno total	4.506	50%
			Fósforo total	543	44%
			Cloro Libre Residual	39	43%
			Nitrógeno Kjeldahl Total	2.776	37%
			Manganeso	16	31%
			Sólidos Suspendidos	3.170	28%
			Aceites y Grasas	2.438	25%
			Cobre	5	19%
			Selenio	1	14%
Estuario	Tabla 6		Hidrocarburos fijos	820	13%
			Zinc	8	12%
			Cadmio	1	11%
			Cromo	4	11%
			Plomo	4	11%
			Fluoruro	24	8%
			Temperatura	No aplica	6%
			Aluminio	18	6%
			Arsénico	0,2	5%
			Hierro disuelto	4	5%
			Mercurio	0,02	4%
			Cloruros	1.227	3%

Fuente: Elaboración propia.

La tendencia de reducción del CLR se ve en ríos, lagos y estuario de manera relevante. Es en este último cuerpo de agua donde se puede apreciar el mayor impacto porcentual atribuible al PDR\_DS 90, donde son varios los parámetros que reducen significativamente sus emisiones. Destaca la reducción de nutrientes (nitrógeno en la forma de Nitrógeno Kjeldahl y Nitrógeno total, Fósforo total). Además, existen reducciones parámetros tales como Cromo, Plomo, Cadmio.

Los beneficios de todas las reducciones mencionadas se ven en el siguiente capítulo (ver Tabla 4-12).

## 4.6 Beneficios

A continuación se describe los resultados de la identificación y cuantificación de los beneficios asociados al PDR\_DS 90 y una aproximación al valor económico relacionado con la mejora de los cursos de agua superficiales.

### 4.6.1 Condiciones ecológicas: Beneficios relacionados con especies y ecosistemas acuáticos

Cualquier degradación de la calidad del agua, ya sea un flujo excesivo que erosiona las riberas o los productos químicos que impactan a los organismos acuáticos, 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 los recursos hídricos. 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.

La degradación de humedales, en particular, debilita su capacidad de protección contra inundaciones y tormentas, amortiguando la altura de inundaciones y previniendo la erosión de las costas.

La Tabla 4-8 muestra los efectos de los parámetros normados sobre los ecosistemas y especies acuáticas.

Tabla 4-8. Efectos de parámetros normados en el ecosistema.

Parámetro	Efecto en ecosistema
<b>Aceites y Grasas</b>	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.
<b>Boro</b>	El B 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.
<b>Cadmio</b>	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.
<b>Cloro Libre Residual</b>	El CLR es tóxico para la biota acuática, puede combinarse con la materia orgánica del agua y producir Trihalometanos.
<b>Cianuro</b>	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



Parámetro	Efecto en ecosistema
	la reproducción de los peces
<b>Cobre</b>	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.
<b>Coliformes Fecales</b>	No se ha encontrado literatura que indique efectos de este parámetro sobre el ecosistema.
<b>Cloruros</b>	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).
<b>Cromo</b>	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.
<b>Cromo Hexavalente</b>	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.
<b>DBO<sub>5</sub></b>	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.
<b>Fluoruro</b>	No se encontraron antecedentes que indiquen efectos en el ecosistema.
<b>Fósforo total</b>	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 <sup>3</sup> ])
<b>Hidrocarburos Fijos</b>	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.
<b>Hierro disuelto</b>	No se encontró literatura relacionada a los efectos en ecosistema.
<b>Índice de fenol (fenol)</b>	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 riesgo 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.