



Chile

Agencia Nacional de Ciencias de Australia

# Informe Final

Red de monitoreo y  
caracterización de  
contaminantes para la  
componente agua en la  
Bahía de Quintero

[O.C.608897-150-SE20]

Bravo, Francisco; Acuña, Maria Paz; Bernal, Patricio; Hodge, Jonathan;  
Hook, Sharon; Ocampo, Diego; Reville, Andy; Simpson, Stuart; Trebilco,  
Rowan; Claro, Edmundo

30 de noviembre de 2021

v.3.20211130– Versión final

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

## Referencia

Bravo, Francisco; Acuña, Maria Paz; Bernal, Patricio; Hodge, Jonathan; Hook, Sharon; Ocampo Melgar, Diego; Revill, Andy; Simpson, Stuart; Trebilco, Rowan; Claro, Edmundo (2021). Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero. Licitación MMA: O.C.608897-150-SE20. Informe Final. CSIRO Chile. Santiago, Chile.

## Derechos de autor

© Organización de Investigación Científica e Industrial de la Commonwealth 2020. En la medida permitida por la ley, todos los derechos están reservados y ninguna parte de esta publicación cubierta por derechos de autor puede reproducirse o copiarse de ninguna forma ni por ningún medio, excepto con el permiso por escrito de CSIRO.

## Descargo de responsabilidad

CSIRO informa que la información contenida en esta publicación comprende declaraciones generales basadas en investigaciones científicas. Se aconseja al lector y debe ser consciente de que dicha información puede estar incompleta o no puede utilizarse en una situación específica. Por lo tanto, no se debe confiar ni tomar medidas en esa información sin buscar el asesoramiento de expertos profesionales, científicos y técnicos previos. En la medida permitida por la ley, CSIRO (incluidos sus empleados y consultores) excluye toda responsabilidad ante cualquier persona por cualquier consecuencia, incluidas, entre otras, todas las pérdidas, daños, costos, gastos y cualquier otra compensación que surja directa o indirectamente del uso de esta publicación (en parte o en su totalidad) y cualquier información o material que contenga. CSIRO se compromete a proporcionar contenido web accesible siempre que sea posible. Si tiene dificultades para acceder a este documento, comuníquese con [Jonathan.Hodge@csiro.au](mailto:Jonathan.Hodge@csiro.au).

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

## Identificación del proyecto

<b>Entidad mandante</b>	Ministerio del Medio Ambiente – Subsecretaría del Medio Ambiente
<b>Nombre del contrato de prestación de servicios</b>	Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero
<b>Entidad ejecutora</b>	Fundación CSIRO Chile Research
<b>Contraparte técnica de la entidad mandante</b>	Felipe Antonio Hidalgo Durán, Ministerio del Medio Ambiente
<b>Fecha de inicio del contrato</b>	Junio 17, 2020
<b>Fecha de finalización del contrato</b>	Octubre 18, 2021
<b>ID mercado público</b>	608897-150-SE20
<b>Monto del contrato</b>	\$ 163.000.000 (ciento sesenta y tres millones de pesos)
<b>Director del proyecto</b>	Edmundo Claro
<b>Jefe de proyecto</b>	Francisco Bravo
<b>Autores (en orden alfabético)</b>	Bernal, Patricio; Bravo, Francisco; Hodge, Jonathan; Hook, Sharon; Ocampo, Diego; Revill, Andy; Simpson, Stuart; Trebilco, Rowan; Claro, Edmundo.

## Equipo de trabajo

<b>Nombre</b>	<b>Cargo o función en el equipo de trabajo</b>
Edmundo Claro (EC)	Director de proyecto
Francisco Bravo (FB)	Jefe de proyecto, investigador
Patricio Bernal (PB)	Investigador
Diego Ocampo (DO)	Investigador
Maria Paz Acuña (MA)	Investigador
Sharon Hook (SH)	Investigador
Andy Revill (AR)	Investigador
Stuart Simpson (SS)	Investigador
Rowan Trebilco (AT)	Investigador

## Historial de revisión

<b>Versión</b>	<b>Fecha de emisión</b>	<b>Preparada por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>	<b>Tipo de revisión</b>
v.1.20211018	18 de octubre de 2021	FB, PB, DO, MA, SH, RT, SS, AR	FB	EC	Reporte borrador
v.2.20211116	16 de noviembre de 2021	FB, PB, DO, MA, SH, RT, SS, AR	FB	EC	Reporte borrador
v.3.20211130	30 de noviembre de 2021	FB, PB, DO, MA, SH, RT, SS, AR	FB	EC	Reporte borrador

## Distribución de copias

<b>Versión</b>	<b>Emitido a:</b>
v.1.20211018	Ministerio de Medio Ambiente
v.2.20211116	Ministerio de Medio Ambiente
v.3.20211130	Ministerio de Medio Ambiente

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

# 1 Contenidos

<b>1</b>	<b>Contenidos</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Agradecimientos</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Acerca de este informe</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>15</b>
4.1	Objetivo 1.....	15
4.2	Objetivo 2.....	17
4.3	Objetivo 3.....	19
<b>5</b>	<b>Introducción</b>	<b>24</b>
5.1	Contexto del estudio.....	24
5.2	Objetivo general.....	27
5.3	Objetivos específicos.....	27
5.4	Carta Gantt de actividades.....	28
<b>6</b>	<b>Métodos</b>	<b>29</b>
6.1	Objetivo 1.....	29
6.1.1	Parámetros ambientales y métodos analíticos utilizados para monitorear las emisiones a los componentes del agua y el aire de la Bahía de Quintero.....	29
6.1.2	Caracterización de residuos industriales líquidos y emisiones atmosféricas asociados a la Bahía de Quintero.....	33
6.1.3	Identificación de parámetros ambientales de importancia no regulados y/o no monitoreados en la Bahía de Quintero.....	33
6.1.4	Definición de un modelo conceptual de emisiones a la Bahía de Quintero.....	34
6.1.5	Talleres y reuniones.....	34
6.2	Objetivo 2.....	34
6.2.1	Definición de criterios de selección y priorización de sustancias contaminantes y variables fisicoquímicas a monitorear en la Bahía de Quintero.....	34
6.2.2	Priorización de sustancias contaminantes y variables fisicoquímicas a monitorear en la Bahía de Quintero.....	41
6.2.3	Talleres y reuniones.....	48
6.3	Objetivo 3.....	48
6.3.1	Revisión internacional de métodos analíticos y límites de detección por parámetro priorizado para aguas crudas y RILES.....	48

6.3.2	Revisión a nivel nacional de laboratorios que realicen análisis con las metodologías y límites de detección sugeridos a partir de Actividad 6.3.1 .....	48
6.3.3	Propuesta de métodos analíticos y límites de detección para medición de cada parámetro priorizado	49
6.3.4	Diseño del programa de monitoreo para todos los elementos y compuestos emitidos por las fuentes presentes en la Bahía de Quintero que puedan causar efectos en la salud humana y en la salud de los ecosistemas acuáticos	49
6.3.5	Talleres y reuniones .....	72

<b>7</b>	<b>Resultados</b>	<b>73</b>
----------	-------------------	-----------

7.1	Objetivo 1.....	73
7.1.1	Parámetros y métodos analíticos utilizados en el monitoreo de emisiones a los componentes del agua y el aire	73
7.1.2	Caracterización de residuos industriales líquidos y emisiones atmosféricas asociados a la Bahía de Quintero	104
7.1.3	Identificación de parámetros ambientales de importancia no regulados y/o no monitoreados en la Bahía de Quintero .....	142
7.1.4	Listado de parámetros de posible preocupación ambiental y brechas de monitoreo en la Bahía de Quintero	155
7.1.5	Definición de un modelo conceptual de emisiones a la Bahía de Quintero.....	167
7.1.6	Talleres y reuniones .....	186
7.2	Objetivo 2.....	186
7.2.1	Calidad y disponibilidad de datos de monitoreo ambiental en la Bahía de Quintero .....	186
7.2.2	Sustancias contaminantes y variables fisicoquímicas reguladas en directrices internacionales .....	198
7.2.3	Priorización de sustancias contaminantes y variable fisicoquímicas a monitorear en matrices ambientales de la Bahía de Quintero.....	203
7.2.4	Priorización de sustancias contaminantes y variable fisicoquímicas por unidad fiscalizable .....	223
7.2.5	Talleres y reuniones .....	229
7.3	Objetivo 3.....	230
7.3.1	Revisión internacional de métodos analíticos y límites de detección por parámetro priorizado para aguas crudas y RILES .....	230
7.3.2	Revisión a nivel nacional de laboratorios que realicen análisis con las metodologías y límites de detección sugeridos a partir de Actividad 6.3.2.....	230
7.3.3	Propuesta de métodos analíticos y límites de detección para medición de cada parámetro priorizado.	233
7.3.4	Diseño del programa de monitoreo para todos los elementos y compuestos emitidos por las fuentes presentes en la Bahía de Quintero que puedan causar efectos en la salud humana y en la salud de los ecosistemas acuáticos	238
7.3.5	Costos del programa de monitoreo propuesto.....	275
7.3.6	Talleres y reuniones .....	287



<b>8</b>	<b>Discusión</b>	<b>291</b>
8.1	Objetivo 1.....	291
8.1.1	Parámetros ambientales y métodos analíticos utilizados para monitorear las emisiones a los componentes del agua y el aire .....	291
8.1.2	Caracterización de emisiones.....	292
8.1.3	Identificación de parámetros ambientales relevantes no normados y/o no monitoreados .....	293
8.1.4	Modelo conceptual de las emisiones .....	296
8.2	Objetivo 2.....	297
8.2.1	Evolución de la normativa .....	297
8.2.2	Calidad de los datos de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero .....	297
8.2.3	Priorización de elementos y compuestos contaminantes emitidos en la Bahía de Quintero .....	298
8.2.4	Taller de trabajo N°2 de definición de criterios de selección y priorización de parámetros a monitorear en la Bahía de Quintero .....	299
8.3	Objetivo 3.....	299
8.3.1	Definición de métodos analíticos y límites de detección por parámetro priorizado para aguas crudas y RILES	299
8.3.2	Diseño del programa de monitoreo para todos los elementos y compuestos emitidos por las fuentes presentes en la Bahía de Quintero que puedan causar efectos en la salud humana y en la salud de los ecosistemas acuáticos. ....	299
<b>9</b>	<b>Anexos</b>	<b>302</b>
<b>10</b>	<b>Acrónimos</b>	<b>303</b>
<b>11</b>	<b>Glosario técnico</b>	<b>308</b>
<b>12</b>	<b>Figuras</b>	<b>315</b>
<b>13</b>	<b>Tablas</b>	<b>319</b>
<b>14</b>	<b>Referencias</b>	<b>325</b>

## 2 Agradecimientos

Los autores de este informe agradecen a las siguientes personas por sus contribuciones al logro de los objetivos de este proyecto y por su participación en talleres técnicos y encuestas *online* asociadas. Los agradecimientos se organizan alfabéticamente por objetivo de trabajo.

A quienes contribuyeron al Objetivo 1 de este estudio:

<b>Nombre</b>	<b>Afiliación</b>
Elizabeth Araya	AMB Chile
Elizabeth Araya Navarrete	AMB Chile
Freddy Vargas	AMVAR SpA.
Isabel González	Centro Regional de Innovación Hortofrutícola de Valparaíso, CERES
Manuel Contreras	Centro de Estudios Ambientales, CEA
Marco Salamanca	Centro de Estudios Ambientales, CEA
Alejandro Palma	Centro Nacional del Medio Ambiente, CENMA
Marco Matamala	Con Potencial Consultores
Mariela Mez Ferrari	DIRECTEMAR
Bonina Martel	DIRECTEMAR
María Cecilia Aranda Cuadro	DIRECTEMAR (Capitanía de Puerto de Quintero)
Carolina de la Fuente Manríquez	DIRECTEMAR (Capitanía de Puerto de Quintero)
Alejandra Giambruno	Gobernación Marítima de Valparaíso
Gillian Ord	Universidad de Cádiz
Carlos Leal	HOLON SpA
Valeria Manríquez	Ministerio de Medio Ambiente
Paola Cruz	Ministerio de Salud
Verónica Droppelmann	Ministerio de Medio Ambiente
Amerindia Jaramillo	Ministerio de Medio Ambiente
Felipe Hidalgo	Ministerio de Medio Ambiente
Sonia Parra	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Manuel Bravo Mercado	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Waldo Quiroz	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Oscar Vidal	Red salud
María José	Red salud
Fancy Meléndez	SEREMI región de Valparaíso
Soledad Tapia Almonacid	Servicio Nacional de Pesca
Ricardo Javier Bonilla Leiva	Superintendencia de Medio Ambiente
Gabriel Darío Moraga Olivos	Superintendencia de Medio Ambiente
Millaray Cariqueo Mack	Tesista Magister Oceanografía UV-PUCV
Mario Cáceres	Universidad de Valparaíso
Luis Figueroa Fábrega	Universidad Viña del Mar

A quienes contribuyeron al Objetivo 2 de este estudio:

<b>Nombre</b>	<b>Afiliación</b>
Alejandra Giambruno Rojas	Gobernación Marítima de Valparaíso

Alfredo Pérez Vargas	Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso
Álvaro Wilson Montecino	Instituto de Fomento Pesquero
Carlos Leal	HOLON Consultora
Carolina Valdebenito Jamett	DIRECTEMAR
Gabriel Darío Moraga Olivos	Superintendencia del Medio Ambiente
Ítalo Serey	Centro Nacional del Medio Ambiente (Cenma)
Jorge Osses Rojas	Oceanografía & Ambiente EIRL, Municipalidad de Quintero
Juan Díaz Naveas	Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Loretto Contreras	Laboratorio de Ecología y Biología Molecular en Algas, LEBMA (Universidad Andrés Bello, UNAB)
Luis Figueroa Fábrega	Instituto de Fomento Pesquero
Marco Antonio Salamanca	Universidad de Concepción
María Cecilia Aranda Cuadro	Capitanía de Puerto de Quintero
María Inés Muñoz	(no señala institución)
María Jesús Muñoz	(no señala institución)
Mario Cáceres	Universidad de Valparaíso
Mauricio Landaeta Díaz	Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso
Óscar Vidal	Ministerio de Salud
Ricardo Javier Bonilla Leiva	Superintendencia del Medio Ambiente
Rodrigo Vera Sepúlveda	Instituto de Fomento Pesquero
Yorka Verdejo	Municipalidad de Puchuncaví

A quienes contribuyeron al Objetivo 3 de este estudio:

<b>Nombre</b>	<b>Afiliación</b>
Alex R. Martínez Pignac	DICTUC S.A - AGUAS Y RILES
Alvaro Marabolí	Muni Quintero
Carlos Venegas Morán	Análisis Ambientales S.A., Laboratorio ANAM Centro
Carmen Verónica Droppelmann Cuneo	Ministerio del Medio Ambiente
Carolina de la Fuente	DIRECTEMAR
Carolina Gómez	Ministerio de Energía
Cecilia Aranda Cuadro	Gobernación Marítima de Valparaíso
Claudio Galarce	SEA VALPARAÍSO
Cristián Chandía	LOQ-UdeC Universidad de Concepción
Edmundo Claro	Fundación CSIRO Chile Research
Felipe Hidalgo	Ministerio del Medio Ambiente
Freddy Vargas P.	AMVAR SpA
Gabriela Contreras	Municipalidad Puchuncaví
Gabriela Franyola V.	Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ), Universidad de Concepción
Humberto Díaz	Ecotecnos SA
Jaime Letelier Pino	Instituto de Fomento Pesquero
Johanna Irribarra	SGS Chile Ltda.
Jorge D'Albora	Subpesca
Jorge Osses	Muni Quintero
Lily Bolzán	Envirolab S.A
Loretto Contreras Porcia	Universidad Andrés Bello
Manuel Bravo	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Marcelo Guerrero	SEREMI ECONOMIA
Marco Antonio Salamanca	Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas UdeC

María Cecilia Pinto Figueroa	Analisis Ambientales S.A., Laboratorio ANAM Centro
Mariela Meza	DIRECTEMAR
Mario Cáceres Muñoz	Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso
Nathalie Duarte	
Óscar Vidal	Ministerio de Salud
Paulina Andrea Bahamonde Cárdenas	
Pedro Rencoret	SEREMI ENERGIA
René Díaz	SYA Group Chile
Ricardo Barra	
Ricardo Javier Bonilla Leiva	Superintendencia del Medio Ambiente
Scott Foster	Marine Biodiversity Hub, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO)
Sergio Sangüesa	SYA Group Chile
Stephanie Curaz	HUB ambiental UPLA
Verónica Baquedano	ASCC VALPARAISO
Victor Rojas	SILOB - Sociedad Ingeniería Lobos Ltda. Laboratorio Puerto Montt Ltda.
Yorka Verdejo	Municipalidad de Puchuncaví

### 3 Acerca de este informe

Este informe comunica los resultados del del proyecto *“Red de Monitoreo y Caracterización de Contaminantes para la Componente Agua en la Bahía de Quintero.” (O.C.608897-150-SE20)* cuyo objetivo específico es *“identificar, caracterizar y proponer los métodos y diseño de programa de monitoreo para todos los elementos y compuestos emitidos por las fuentes presentes en la bahía de Quintero que puedan causar efectos en la salud humana y en la salud de los ecosistemas acuáticos”*.

En lo específico, el presente informe contiene los resultados de las siguientes actividades:

- 1) Parámetros ambientales y métodos analíticos utilizados para monitorear las emisiones a los componentes del agua y el aire de la Bahía de Quintero (Sección 7.1.1). Se incluye aquí también sedimentos y biota marina.
- 2) Caracterización de residuos industriales líquidos y emisiones atmosféricas asociados a la Bahía de Quintero (sección 7.1.2 y Anexo A, B, C).
- 3) Identificación de parámetros ambientales de importancia no regulados y/o no monitoreados en Bahía de Quintero (Sección 7.1.3 y Anexo D).
- 4) Definición de un modelo conceptual de emisiones a la de Bahía de Quintero (Sección 7.1.5).
- 5) Definición de criterios de selección y priorización de parámetros a monitorear en la Bahía de Quintero (Sección 6.2.1 de Métodos y 7.2.3 de Resultados).
- 6) Levantamiento de bases de datos de criterios de referencia (normas y directrices) y datos de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero (Sección 6.2.2.2 de Métodos y 7.2.1 y 7.2.2 de Resultados).
- 7) Priorización de elementos y compuestos contaminantes emitidos en la Bahía de Quintero a monitorear en base a criterios anteriormente definidos (Sección 7.2.3).
- 8) Revisión internacional de métodos analíticos y límites de detección por parámetro priorizado para aguas crudas y RILES (Sección 7.3.1). Se incluye aquí también sedimentos y biota marina.
- 9) Revisión a nivel nacional de laboratorios que realicen análisis con las metodologías y límites de detección sugeridos a partir de Actividad 7.3.1 (Sección 7.3.2).
- 10) Propuesta de métodos analíticos y límites de detección para medición de cada parámetro priorizado (Sección 0).
- 11) Diseño del programa de monitoreo para todos los elementos y compuestos emitidos por las fuentes presentes en la Bahía de Quintero que puedan causar efectos en la salud humana y en la salud de los ecosistemas acuáticos (Sección 7.3.4).

Asimismo, provee información sobre las siguientes actividades de divulgación del proyecto:

- 12) Presentación al Consejo de Restauración Ambiental y Social (CRAS) de Quintero y Puchuncaví (Sección 7.2.1).
- 13) Taller técnico N° 1 de validación de resultados (Sección 7.1.6.1 y Anexo E).
- 14) Taller técnico N° 2 de definición de criterios de selección y priorización de parámetros a monitorear en la Bahía de Quintero (Sección 7.2.5 y Anexo G).
- 15) Taller técnico N° 3 de definición y validación de métodos analíticos y enfoques propuestos para abordar el monitoreo integral de la Bahía de Quintero (Sección 7.3.6.1 y Anexo J)
- 16) Taller técnico N° 4 de validación de la propuesta red de monitoreo integral de la Bahía de Quintero – Puchuncaví (Sección 7.3.6.2 y Anexo K).

- 17) Exposición de informe final, ya aprobado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), a representantes de fuentes emisoras de la Bahía de Quintero y al Consejo de Recuperación Ambiental y Social (CRAS) Quintero-Puchuncaví (pendiente de realizar).

El informe se encuentra estructurado en cuatro secciones; Introducción, Material y Métodos, Resultados, Discusión. También, al final del reporte se proporciona un glosario de términos técnicos y una tabla de acrónimos utilizados.

## 4 Resumen ejecutivo

El presente informe comunica los resultados del del proyecto “Red de Monitoreo y Caracterización de Contaminantes para la Componente Agua en la Bahía de Quintero.” (O.C.608897-150-SE20)” cuyo objetivo principal es “identificar, caracterizar y proponer los métodos y diseño de programa de monitoreo para todos los elementos y compuestos emitidos por las fuentes presentes en la bahía de Quintero que puedan causar efectos en la salud humana y en la salud de los ecosistemas acuáticos.”. Este proyecto se llevó cabo entre el 17 de junio de 2020 y el 18 de octubre de 2021 por la Fundación CSIRO Chile Research por encargo del Ministerio del Ambiente de Chile (O.C.608897-150-SE20).

El proyecto tiene tres objetivos específicos cuyos resultados se resumen a continuación:

### 4.1 Objetivo 1

El primer objetivo específico de este estudio fue “Identificar todos los elementos y compuestos emitidos a las aguas de la bahía de Quintero por las fuentes industriales ubicadas en la zona en base a información de su rubro productivo, los insumos utilizados en sus procesos y la información de mediciones puntuales de sus descargas”. Para el logro de este objetivo se consideraron cuatro líneas de evidencia:

- 1) Parámetros monitoreados en RILes y matrices ambientales (agua de mar, sedimentos, biota, y aire) asociados a la Bahía de Quintero de acuerdo a 1) Norma de emisión de residuos líquidos a aguas marinas (D.S. 90 2001), 2) Norma primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo (D.S. 144 2009), 3) Reportes de autocontrol asociados a las Resoluciones de Programas de Monitoreo (datos SNIFA, 2017-2020), 4) Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) de unidades fiscalizables (SNIFA) con emisiones directas a la Bahía de Quintero, 5) Registros de monitoreo de autocontrol de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS, año 2019), 6) el Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L). (datos 1993-2013), e insumos de estudios anteriores llevados a cabo en la Bahía.
- 2) información sobre procesos productivos, materias primas y/o insumos de producción utilizados en los procesos del complejo industrial circundante a la Bahía de Quintero,
- 3) revisión de complejos industriales similares a nivel mundial, y finalmente,
- 4) revisión de estándares y convenciones internacionales.

Los siguientes hallazgos principales fueron realizados:

- Dadas las industrias que operan en el área y sus descargas, los contaminantes de mayor preocupación para el medio marino probablemente son los metales y los derivados de hidrocarburos, particularmente hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), pero es posible que existan también bifenilos policlorados (PCB) y éteres de difenilos polibromados (PBDE) proveniente de plantas termoeléctricas. Tanto los PCB como los PBDE están prohibidos o regulados por la convención de Estocolmo, los PCB forman parte de la lista original y los PBDE han sido agregados por sucesivas revisiones del texto original. Sin embargo, es probable que las concentraciones de PCB (escasamente monitoreado en la Bahía de Quintero) y PBDE (nunca monitoreados en la Bahía de Quintero) sean mucho menores que las de metales y HAPs, dados los patrones de usos industriales, por tanto, se espera un impacto relativo menor sobre las comunidades marinas (pelágicas y bentónicas). También existe una amplia gama de contaminantes que potencialmente ingresan a la Bahía tanto de fuentes difusas como puntuales, que no están directamente asociados con las principales industrias, incluyendo una variedad de contaminantes emergentes asociados con actividades urbanas (P. ej sustancias perfluoradas (PFAS)). Dada la escasa actividad agrícola realizada en el borde costero de la Bahía la posible contaminación por agropesticidas se consideran de poca o nula preocupación.

- Más allá de los contaminantes emitidos a la bahía, es importante incorporar en futuros sistemas de monitoreo parámetros sintomáticos de la calidad del agua como pH del agua de mar, redox en sedimentos ( $E_0$ ), oxígeno disuelto, abundancia de macrofauna y biomasa (y los índices de biodiversidad asociados), los cuales deben ser monitoreados independientemente del tipo de emisiones a la bahía (actuales y futuras). También es importante considerar la descripción periódica de los parámetros estructurales de la bahía tales como las tasas de recambio mareal y tiempo de residencia (resuelto temporal y espacialmente). Los parámetros estructurales, juntos con las comunidades biológicas presentes definen en gran medida la capacidad de la bahía de reciclar contaminantes manteniendo su estructura dentro de los límites de variación natural (EU 2009, Grant & Filgueira 2011).
- Del análisis global de establecimientos industriales de la Bahía de Quintero, se detectó la necesidad de mapear mejor las interacciones entre empresas. Esto incluye el traspaso de materias primas entre instalaciones fabriles a fin de trazar de mejor manera las posibles fuentes de contaminación e identificar futuras sinergias bajo el alero de la economía circular.
- Merece una mención individual la posible incorporación de especies bioindicadores a la futura Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero. Muchos de los estudios en sitios similares a la Bahía de Quintero monitorean la bioacumulación de contaminantes o usan otro índice de exposición para demostrar el potencial de degradación ambiental e impactos en la salud humana. Esta es una brecha notable en el monitoreo de la Bahía de Quintero. En este contexto, para asegurar la eficacia de un sistema de monitoreo basado en especies indicadoras, recomendamos que este sistema de seguimiento de bioacumulación se base en bivalvos. También debe incluir el monitoreo de la absorción de PAH (no regulado en el D.S. 90 (2001)), no solo los hidrocarburos totales de petróleo. Los niveles en los organismos deben compararse con otros sitios dentro de la bahía y con sitios de referencia fuera de la bahía.
- Con respecto al desarrollo de un modelo conceptual de emisiones a la Bahía de Quintero, se identificaron siete fuentes genéricas de aportes potenciales. En orden de importancia, considerando la información disponible sobre frecuencia, intensidad y magnitud de emisiones, estas se pueden organizar de la siguiente manera: 1) emisarios y descarga de RILes (emisiones puntuales), 2) derrames (líquidos) y vertimientos (sólidos), 3) descarga fluvial asociada al estero Campiche, 4) escorrentía superficial de aguas y lavado de superficies impermeables, 5) advección y/o difusión de contaminantes desde sedimentos marinos, 6) deposición de emisiones atmosféricas, y 7) descarga de aguas subterráneas al medio marino. La contaminación de las aguas subterráneas e ingresos a zonas costeras es una de las fuentes de contaminación más difíciles de describir, monitorear y gestionar en muchos países.
- Del análisis de la importancia relativa de estas fuentes, se detectó una alta disgregación y vacíos de información referente a los potenciales aportes de contaminantes asociados a deposición atmosférica, escorrentía superficial desde superficies impermeables, y la posible infiltración de contaminantes a través de aguas subterráneas. Si bien existe abundante información de emisiones atmosféricas y una red de monitoreo del aire, no se ha establecido cuantitativamente el potencial impacto de la deposición de contaminantes atmosféricos sobre la calidad química, física y biológica de componente marina de la Bahía de Quintero. Asimismo, es importante profundizar en el potencial secuestro de contaminantes en sedimentos marinos y potenciales efectos de actividades de dragado de la bahía.
- Del desarrollo del modelo conceptual de emisiones se detectó la necesidad de completar estudios de balance de masa cuantitativo de fuentes y sumideros de contaminantes iniciados por CEA (2013) a fin de establecer tiempos de residencia y acotar estimaciones de las tasas de renovación de aguas en la Bahía de Quintero. Esta información se considera fundamental para establecer los efectos acumulativos o agregados actuales y futuros asociados a la descarga de contaminantes a la Bahía de Quintero.



## 4.2 Objetivo 2

El segundo objetivo específico de este estudio fue “*Priorizar los elementos y compuestos emitidos a las aguas de la bahía de Quintero según sus potenciales efectos para la salud humana y los ecosistemas acuáticos debido a su presencia en las aguas marinas y continentales de la bahía de Quintero*”. Para la priorización de contaminantes en la Bahía de Quintero se consideraron cuatro elementos principales:

- 1) **el listado de parámetros de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero**, el cual fue elaborado a partir del análisis de la posible presencia de contaminantes en la bahía de Quintero considerando como punto de partida aquellas a) sustancias contaminantes emitidas por el complejo industrial de la Bahía de Quintero en función de los insumos utilizados, las tecnologías y las actividades y/o procesos industriales asociados; b) otras sustancias potencialmente emitidas a partir de parámetros monitoreados regularmente; c) elementos y compuestos contaminantes identificados en complejos industriales similares a nivel internacional; d) parámetros regulados o prohibidos por convenios internacionales de los cuales Chile es estado parte; y e) parámetros definidos por consenso experto.
- 2) **valores límites y/o criterios de referencia provenientes de normas chilenas y directrices internacionales**, para lo cual se generó una base de datos con más de 2000 criterios de referencia internacionales para las matrices de agua de mar, sedimentos y biota marina. Se distinguen criterios de referencia basados en efectos, equilibrio químico, o concentraciones naturales o de línea base. Se incluyeron criterios de referencia de Australia, Brasil, Canadá, Chile, Estados Unidos, Japón y Noruega.
- 3) **los resultados del análisis de excedencia** que incluye la comparación de las concentraciones mediadas en muestras de agua de mar, sedimento, y biota con criterios de referencia nacionales e internacionales. Para esto se generó una base de datos de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero la cual reunió observaciones de los múltiples programas de monitoreo y estudios previos llevados a cabo en la Bahía de Quintero entre los años 1993 y 2020 (n > 170 mil). El levantamiento de la base de datos requirió el pretratamiento de los datos para remover valores anómalos y/o por debajo de límites de detección, consolidar unidades y nombres de contaminantes y/o variables ambientales, previo al análisis de excedencias históricas (frecuencia y magnitud).
- 4) **las capacidades analíticas nacionales para la determinación de contaminantes en matrices marinas y RILes**, para lo cual se consolidó una base de datos de métodos analíticos y límites de detección declarados, establecidos o propuestos en 1) normativas nacionales, en el 2) Registro público de Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFA) de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA), por el 3) Instituto de Salud Pública de Chile (ISPCh), en el 4) Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L) de DIRECTEMAR, además de métodos declarados en 5) informes de autocontrol de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) ingresados al Sistema de Seguimiento Ambiental de la SMA, por el 6) Instituto Nacional de Normalización (INN), y en 7) encuestas realizadas a laboratorios nacionales.

La priorización de contaminantes considero además un enfoque escalonado de priorización considerando las siguientes tres preguntas; 1) ¿Ha sido monitoreado el contaminante alguna vez en el área de estudio?, 2) ¿Posee directriz o concentración conocida en sitios de referencia?, y 3) ¿Se ha excedido históricamente alguna directriz asociada?. A partir de este proceso de identificaron los siguientes grupos de prioridad:

- **Grupo de prioridad 1A** – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental<sup>1</sup> en el área de interés que cuentan con directrices nacionales e internacionales (es decir umbrales de toxicidad definidos), han sido monitoreados en la Bahía de Quintero y presentan excedencias históricas y/o recientes a estas directrices. Debido a las excedencias observadas, el Grupo 1A se considera el de mayor prioridad de monitoreo en la Bahía de Quintero, e incluye para la matriz de agua de mar nutrientes (nitrógeno y fósforo), coliformes (fecales y totales) incorporados en la Red de Monitoreo a través de la cuantificación de *Escherichia coli*, cloro libre residual, hidrocarburos aromáticos monocíclicos (P. ej. BTEX), además de múltiples metales pesados (Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Mercurio, Níquel, Plomo, Vanadio, Zinc). Para sedimentos considera principalmente metales

---

<sup>1</sup> Definido en el punto 1 anterior.

pesados, HAPs (probablemente asociados a la incineración incompleta de carbón y otros combustibles) y sulfuros (donde destaca el H<sub>2</sub>S generado como subproducto de la degradación anaeróbica de sulfatos).

- **Grupo de prioridad 1B** – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero que cuentan con directrices nacionales e internacionales (umbrales definidos) cuya presencia no ha sido medida o cuantificada regularmente en la Bahía. Se incluye aquí para agua de mar bifenilos policlorados (PCB), nonilfenol (contaminante asociado a detergentes), metales pesados (antimonio, Bario, Boro, Cobalto, Cromo VI, estaño, Galio, manganeso, molibdeno), además de ortofosfato, triclorometano (subproducto de desinfección), Tributilestaño (asociado a pinturas anti-incrustantes prohibidas en la actualidad), cianuro, dioxinas, y Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS, que son contaminantes emergentes). En sedimentos incluye bifenilos policlorados (PCB), múltiples metales pesados (aluminio, antimonio, manganeso y mercurio entre otros.), además de dioxinas y furanos, entre otros. En biota marina incluye metilmercurio, dioxinas, y furanos.
- **Grupo de prioridad 1C** – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero que cuentan con directrices nacionales e internacionales (umbrales definidos), han sido monitoreados en el área de estudio y no presentan excedencias recientes a estas directrices. El listado completo de contaminantes de este grupo se entrega en la sección 7.2.3 de este informe.
- **Grupo de prioridad 1D** – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental en el área de interés para el cual no se encontraron directrices nacionales o internacionales (sin umbrales de concentración definidos), pero han sido monitoreados en el área de estudio. En muchos casos se realizan monitoreos para estos parámetros donde se recurren a otras fuentes para determinar el valor de referencia (como la concentración ambiental, límite de detección, etc.). El listado completo de contaminantes de este grupo se entrega en la sección 7.2.3 de este informe.
- **Grupo de prioridad 1E** – Considera contaminantes emergentes tales como pesticidas, productos farmacéuticos, y de aseo personal, entre otros, para el cual no se encontraron directrices nacionales o internacionales (sin umbrales de concentración definidos) y no han sido monitoreados en la Bahía de Quintero. El listado completo de contaminantes de este grupo se entrega en la sección 7.2.3 de este informe.
- **Grupo de prioridad 2** – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) que a la fecha no se consideran de preocupación ambiental en la Bahía de Quintero, es decir no son característicos de las actividades industriales y humanas en general que se relacionan con la bahía, no obstante cuentan con directrices internacionales (es decir con criterios de referencia o umbrales de toxicidad definidos). El listado completo de contaminantes de este grupo se entrega en la sección 7.2.3 de este informe.
- **Grupo de prioridad 3** – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) que a la fecha no se consideran de preocupación ambiental en la Bahía de Quintero y no cuentan con directrices nacionales o internacionales (es decir sin criterios de referencia o umbrales de concentración conocidos). El listado completo de contaminantes de este grupo se entrega en la sección 7.2.3 de este informe.

La mayoría de los contaminantes en los grupos 1ABC (con directriz) pueden clasificarse como tóxicos, carcinogénicos en humanos y con potencial de bioacumulación/biomagnificación. Es esta peligrosidad la que ha permitido disponer de directrices aplicables. En el grupo 1D, de los cuales no se cuenta directriz, se encuentra contaminantes con potencial neurotóxicos y disruptores endocrinos.

En un proceso de evaluación del riesgo corresponde aplicar un enfoque basado en múltiples líneas de evidencia para estimar niveles de daño ecológico y el riesgo al funcionamiento normal del ecosistema (integridad) y especialmente sobre aquellos usos o servicios identificados como prioritarios. Datos provenientes del futuro monitoreo, permitirán realizar estudios de líneas de evidencia múltiples que remuevan incertidumbres sobre el comportamiento de los compuestos bajo las condiciones locales y permita eliminar de la lista inicial de compuestos a monitorear aquellos de menor grado de preocupación. Las líneas de evidencia más usadas a nivel internacional (USA, Comunidad Europea, Australia y Nueva Zelanda) se resumen a continuación y en la Figura 1:

- **Línea de evidencia 1.** Basada en la toxicidad de los compuestos.

- **Línea de evidencia 2.** Según la biodisponibilidad y persistencia en el medio. También considera su bioacumulación en los organismos.
- **Línea de evidencia 3.** Finalmente, aquí corresponde indagar sobre su impacto ecológico, por ejemplo, sobre la estructura de las comunidades.

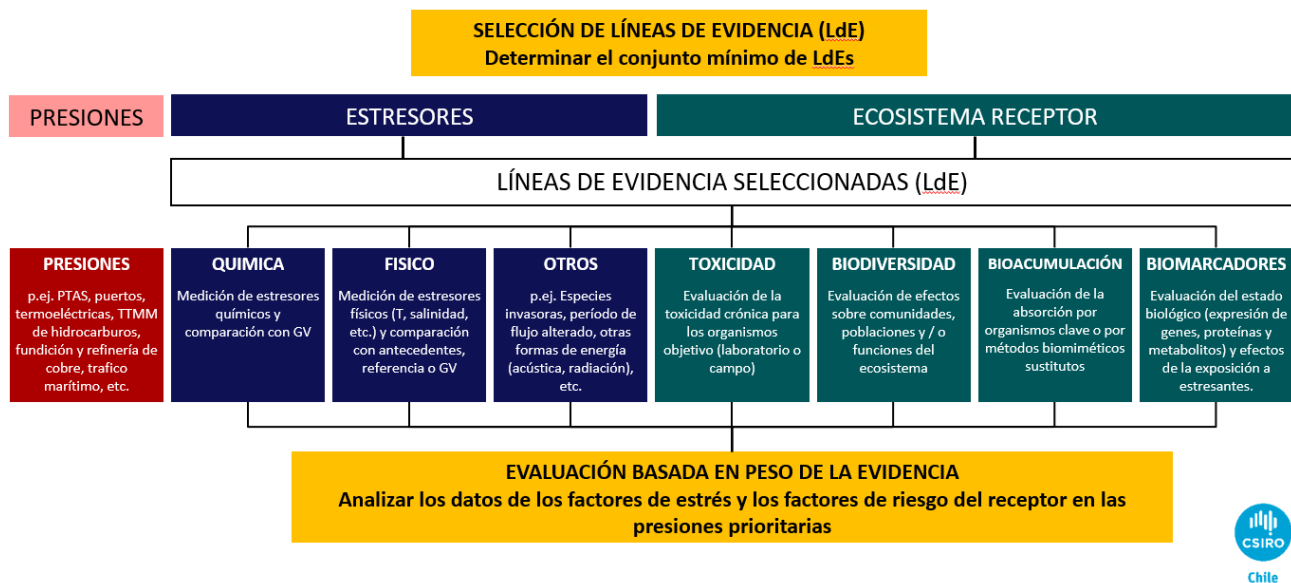


Figura 1 Marco de evaluación ambiental basado en múltiples líneas de evidencia. Modificado de Hook et al., 2014.

En agua de mar los parámetros con mayor número de criterios de referencia fueron los metales pesados (Hg, Pb, Zn, Cd, F, Cu, Ar, Ni, Ag, Cr, Co) además de Benceno, Amonio, pH, Cianuro total. En sedimentos los parámetros con mayor número de criterios de referencia encontrados fueron los metales pesados, compuestos orgánicos persistentes (COP), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), además de plaguicidas y productos de degradación.

Del análisis de los datos de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero se desprende que el volumen de datos de monitoreo de agua de mar es significativamente mayor, comparado con sedimentos y biota marina (concentraciones de metales). En todos los casos se encuentran muchas observaciones incompletas, tanto por ausencia de unidad de medida como por el valor medido. Se observan también una gran cantidad de valores atípicos (probablemente erróneos). El número de mediciones históricas (1993 en adelante) por parámetro varían entre 3 (flúor, litio, potasio, etc.) y más de 5000 observaciones (salinidad, pH, OD, etc.). Se decidió restringir el análisis a los parámetros con más de 50 observaciones en el rango de tiempo analizado (1993-2020), lo cual descarta el 49% de los datos de monitoreo de contaminantes en agua de mar y casi 80% de biota.

Para cada parámetro se llevó a cabo un análisis de excedencia en términos de: 1) porcentaje de excedencias y/o superaciones de las directrices en relación con la población total de parámetros (alcance de excedencia) monitoreados en la Bahía de Quintero. La magnitud de las desviaciones no fue posible de analizar debido a la mala calidad de los datos.

Los resultados de la priorización de elementos y compuestos contaminantes emitidos a las aguas de la Bahía de Quintero fueron integrados en la fase tres de este proyecto enfocada en el diseño y proposición de una Red de Monitoreo y Caracterización de contaminantes de la componente agua de la Bahía de Quintero.

### 4.3 Objetivo 3

El tercer objetivo específico de este estudio fue *“Diseñar y proponer un programa de monitoreo, los métodos más idóneos para determinar la naturaleza y características precisas de los gases, elementos o compuestos producidos por todas las fuentes presentes en la Bahía de Quintero, Ventanas y Puchuncaví.”*. El objetivo principal de esta red de monitoreo es

identificar y confirmar la presencia de contaminantes de interés para el medio ambiente y la salud humana, incluidos aquellos no controlados y no regulados. Como se ilustra en la Figura 2 se consideraron los siguientes aspectos para el diseño de la Red de Monitoreo:



Figura 2 Aspectos considerados para el diseño de la Red de Monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero.

1. **Listado de contaminantes de posible preocupación ambiental en Bahía de Quintero y grupos de prioridad de muestreo descritos en la sección 7.2.3.** Este listado se elaboró a partir de la revisión exhaustiva de fuentes difusas y puntuales de contaminantes a la Bahía de Quintero (detalles en sección 7.1.4), la caracterización de peligrosidad de los insumos de producción y subproductos asociados (detalles en sección 7.1.2.2), y del comportamiento de contaminantes en matrices marinas (detalles en sección 7.2.3.2). Asimismo se elaboró un modelo conceptual de emisiones (presentado en la sección 7.1.5.4) el cual buscó satisfacer adecuadamente en el diseño de la Red de Monitoreo.
2. **Excedencias históricas** (resultados en sección 7.2.3.2) previo análisis de la calidad de los datos históricos de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero (resultados en sección 7.2.1)
3. **Condiciones estructurales de la Bahía de Quintero**, incluyendo parámetros hidrológicos, oceanográficos y geográficos (resultados en la sección 7.1.5.3.1)
4. **Capacidades analíticas nacionales y costos asociados**, incluyendo métodos analíticos utilizados y/o declarados en Chile (resultados en sección 7.1.1.2 y sección 7.3.1), la revisión crítica de los mismos considerando otros métodos utilizados a nivel internacional (resultados en sección 7.3.1), además de los costos de análisis asociados (resultados en sección 7.3.5).
5. **Directrices nacionales e internacionales** (resultados en sección 7.2.2) para contaminantes y variables de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero, incluyendo las matrices de agua de mar, sedimentos y biota marina.
6. **Estado del arte asociado al desarrollo de programas y redes de monitoreo del ambiente marino** (resultados en sección 6.3.4).

Como resultado se propone una red de monitoreo que considera independientemente 1) el monitoreo de fuentes contaminantes, 2) el monitoreo del cuerpo de agua receptor, y 3) de sitios de referencia ubicados fuera de la bahía. Como se discute en la sección 7.3.4.1 se recomienda que las estaciones de referencia de la futura de Red de Monitoreo se ubiquen fuera de la Bahía, en zonas homologas, con características oceanográficas y geomorfológicas similares a la Bahía de Quintero, debido a que no es posible a partir del análisis de antecedentes disponibles garantizar la existencia de zonas libres de influencia antropogénica dentro de la Bahía, ni zonas de influencia independiente de las descargas industriales. La evaluación y propuesta final de sitios de referencia se entrega en la sección 7.3.4.3.8. Esta incluye dos sitios específicos, uno ubicado al

norte (Huentelauquen, Región de Coquimbo) y uno al sur (Topocalma, Región de O'Higgins) de la Bahía de Quintero. Con la finalidad de optimizar costos se sugiere asimismo establecer primero una línea de base de contaminantes, que permita caracterizar la variabilidad espacio-temporal en la distribución de contaminantes en la Bahía de Quintero, y sobre esta base diseñar el subsecuente programa de monitoreo regular de la bahía. A fin de facilitar este proceso de optimización se han identificado una serie de criterios guía asociados a un árbol de decisión el cual se detalla en la sección 7.3.4.3.1.

Para el diseño de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero, se ha propuesto un diseño basado en muestreo aleatorio estratificado de agua de mar, sedimentos y biota, combinado con estaciones heredadas fijas provenientes del Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL-DIRECTEMAR) y de los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) de fuentes industriales puntuales, no obstante la incorporación de estaciones heredadas se considera opcional. Los resultados de este trabajo se reportan en la sección 7.3.4 de este informe. Sugerimos utilizar un diseño estadístico espacialmente equilibrado con probabilidades de muestreo condicionadas por la distancia a las fuentes emisoras para optimizar la cantidad de información recopilada dados los recursos finitos y otras limitaciones logísticas existentes (Foster et al., 2020).

Se ha elaborado un presupuesto estimado de implementación de la Red de Monitoreo y Caracterización de Contaminantes de la Bahía de Quintero considerando tres escenarios hipotéticos de muestreo regular asumiendo un requerimiento de muestreo inferior, igual o anticipado, y superior al establecido en una línea base inicial de contaminantes. Se considero asimismo una versión extendida y una acotada de la Red de Monitoreo y Caracterización de contaminantes las cuales se distinguen respecto del número de contaminantes y variables ambientales específicas a monitorear en la línea base de contaminantes y subsecuentes muestreos regulares. No se hace distinción respecto del número de estaciones (aleatorias y heredadas), número de sitios de referencia ( $n = 2$ ), extensión del área de muestreo, ni frecuencia de monitoreo, ya que todos estos parámetros deben ser definidos idealmente en función de la variabilidad ambiental (espacial y temporal) observada en la distribución de contaminantes en la Bahía de Quintero, no del presupuesto disponible. El coste de implementación de la Red de Monitoreo y Caracterización de Contaminantes fue estimado en unidades de fomento y el detalle se reporta en la sección 7.3.5.

El costo total estimado de implementación de la línea base de contaminantes en la versión acotada es de 10975 UF, mientras que el monitoreo regular (costo anual) varía entre 3941.6 UF y 52824 UF considerando los escenarios hipotéticos de requerimiento de muestreo inferior y superior al de la línea de base de contaminantes. Estos valores son altamente sensibles a los costos de análisis de laboratorio que representan el ítem de mayor gasto de la Red de Monitoreo los cuales fluctúan significativamente entre las diferentes fuentes de información. Otros ítem de gastos incluyen el trabajo de terreno, análisis de datos e imprevistos. En el caso de la versión extendida de la Red de Monitoreo, que considera el listado completo de contaminantes de preocupación ambiental asociados a los Grupos de Prioridad de Muestreo 1A y 1B descritos en la sección 7.2.3, y su análisis en todas las matrices ambientales (en la línea base al menos), el costo total de implementación de la línea base es de 39923 UF, mientras que el programa de monitoreo regular tiene un costo estimado anual de 14132.7 UF y 198009 UF considerando los escenarios hipotéticos de requerimiento de muestreo inferior y superior al de la línea de base de contaminantes. Nuevamente la mayor incerteza de los costos se asocia a los análisis de laboratorio, los cuales varían significativamente entre las diferentes fuentes consultadas (solicitudes directas de cotización, cotizaciones disponibles en [mercadopublico.cl](http://mercadopublico.cl), NEMI). Los listados específicos de sustancias (elementos o compuestos) y variables ambientales a monitorear por matriz ambiental (agua de mar, sedimento marino, biota marina, y aire) se detallan en la sección 7.3.4 de Resultados.

El diseño completo de la Red de Monitoreo, incluyendo la estimación de costos de implementación, se hizo utilizando el software estadístico R (R Core Team 2019) y el paquete MBH (Foster 2020). El procedimiento es completamente replicable y modificable en el caso de que surjan nuevos requerimientos (e.g. cambios de objetivo del programa de monitoreo). En este contexto se ha acordado con la entidad mandante (MMA) la realización de un taller de transferencia y entrenamiento en el uso de las herramientas y códigos desarrollados en este proyecto.

La versión basada solo en el uso de estaciones aleatorias se muestra en la Figura 3 a continuación.

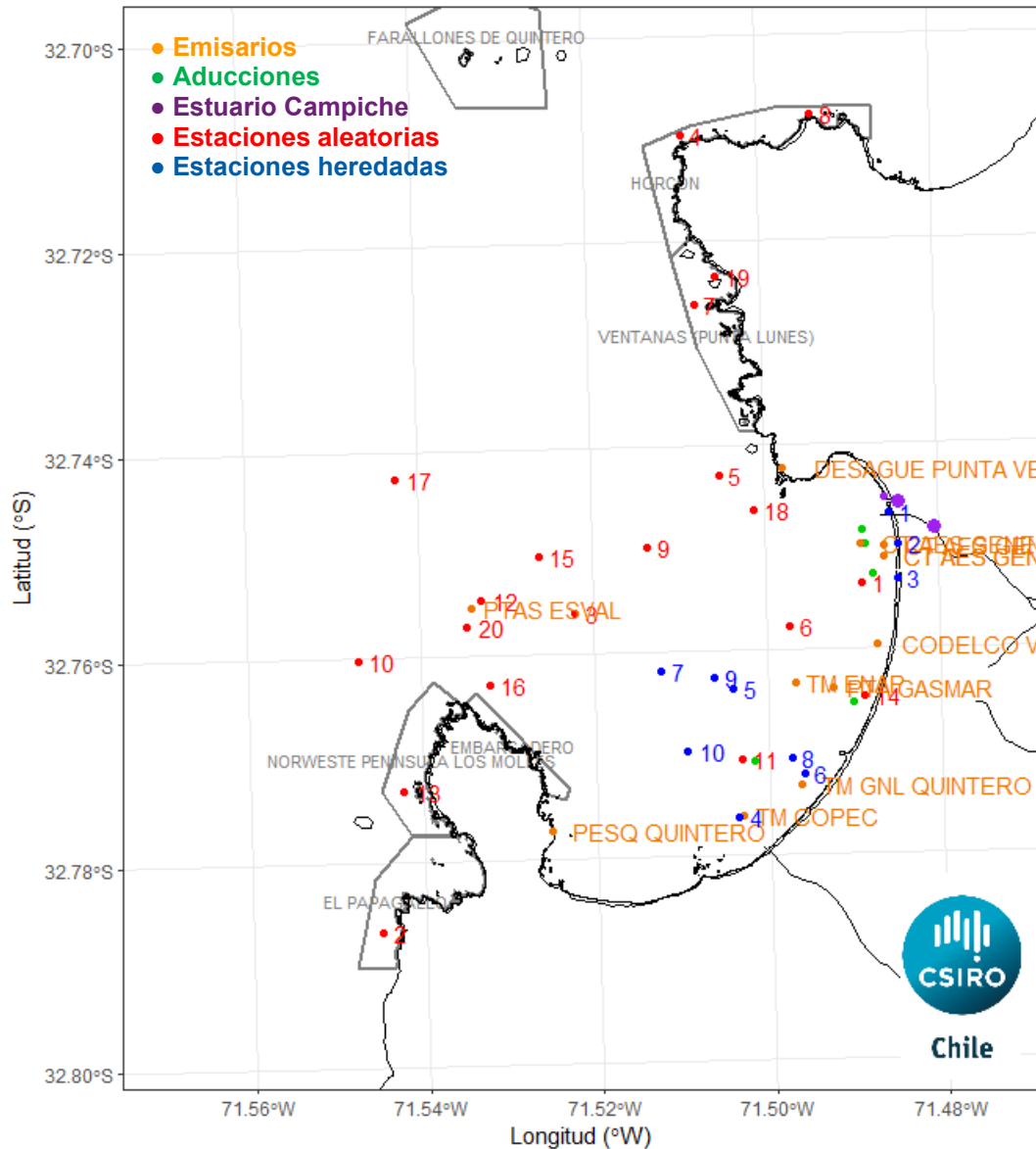


Figura 3 Diseño de muestreo con inclusión de los 10 sitios heredados más muestreados (etiquetados y numerados en azul), y 20 estaciones aleatorias con preferencia de ubicaciones más cercanas a las fuentes puntuales (puntos rojos). Clave: azul = estaciones heredadas (20); rojo = estaciones aleatorias; naranja = fuentes puntuales; gris = AMERBs. Numero de estaciones total (heredadas y aleatorias): 30.

La versión basada solo en el uso de estaciones aleatorias se muestra en la Figura 4 a continuación.

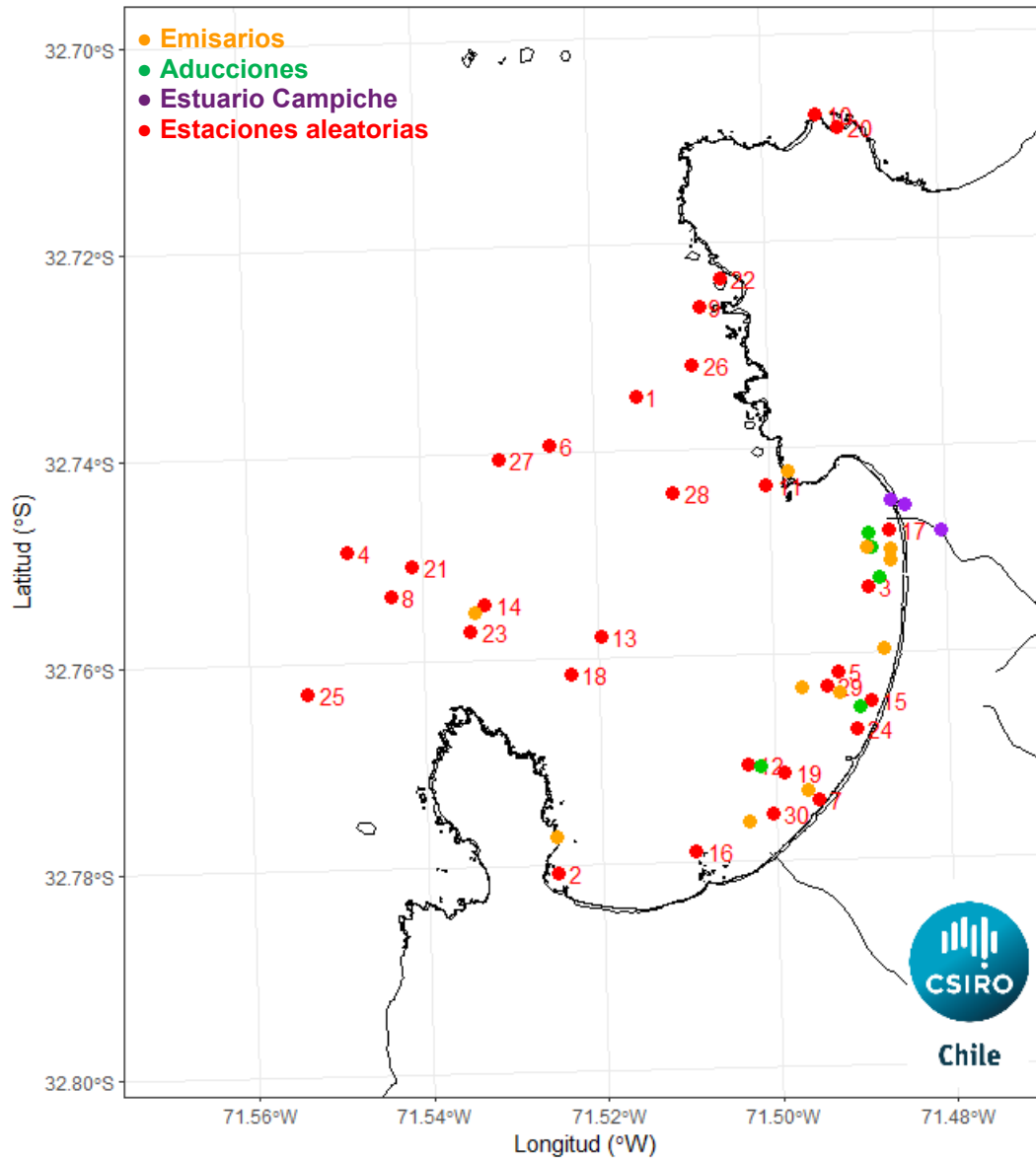


Figura 4 Diseño de muestreo aleatorio, con probabilidades ponderadas por la distancia a los emisarios (preferencia de ubicación de estaciones más cercanas a los emisarios). Número de estaciones aleatorias consideradas: 30.

# 5 Introducción

## 5.1 Contexto del estudio

Este estudio surge del fallo judicial de la Corte Suprema de Chile del 28 de mayo 2019, a favor de los 12 recursos de protección interpuestos por diversos Servicios Públicos, políticos y representantes de la Sociedad Civil en contra de las industrias ubicadas en la bahía de Quintero, el Estado de Chile, el Ministerio del Medio Ambiente y otros Servicios Públicos fundado en los eventos de contaminación acaecidos los días 21 y 23 de agosto y el 4 de septiembre de 2018 en las comunas de Quintero y Puchuncaví. El fallo indica entre otros que *“La autoridad sectorial deberá efectuar, a la brevedad, los estudios pertinentes para establecer, de manera cierta y debidamente fundada, cuál es el método más idóneo y adecuado para identificar, como para determinar la naturaleza y características precisas de los gases, elementos o compuestos producidos por todas y cada una de las fuentes presentes en la Bahía de Quintero, Ventanas y Puchuncaví”, “Una vez evacuado el estudio aludido, la autoridad administrativa deberá disponer en breve plazo lo pertinente para implementar las acciones que se desprendan de dicho informe, en el que se habrá debido evaluar la procedencia de instalar filtros o dispositivos que permitan identificar y medir esos compuestos o elementos directamente en la fuente, como puede ser en las chimeneas utilizadas en los procesos industriales.”, “Una vez ejecutadas las acciones sugeridas en ese estudio, esto es, recopilada la información idónea y pertinente, las autoridades sectoriales deberán realizar las actuaciones apropiadas para determinar, a la brevedad y con precisión, la identidad de todos y cada uno de los elementos o compuestos dañinos para la salud y para el medio ambiente generados por las distintas fuentes existentes en la Bahía de Quintero, Ventanas y Puchuncaví, y para establecer con detalles cuáles son sus características, fuentes y efectos en la salud de la población y en los distintos elementos que componen el medio ambiente, sea que se trate del aire, del agua o del suelo.”.*

A partir de los antecedentes expuestos y de las competencias del Departamento de Ecosistemas Acuáticos del Ministerio del Medio Ambiente se concluye que se requiere realizar un estudio que tenga por objetivo identificar la naturaleza y características de todos los parámetros físico-químicos emitidos a las diversas componentes ambientales por las fuentes ubicadas en la bahía de Quintero y que puedan generar efectos en la salud de la población o en la salud de ecosistemas marinos. Por otra parte, es necesario establecer los métodos de monitoreo idóneos para todos los elementos identificados de tal manera que sea posible determinar la naturaleza y características precisas de los gases, elementos o compuestos producidos por todas y cada una de las fuentes presentes en la Bahía de Quintero, Ventanas y Puchuncaví que puedan generar efectos sobre la bahía de Quintero.

A modo de contexto, a continuación se listan los principales hitos del desarrollo de este complejo industrial desde las primeras actividades en la década de 1950 hasta el presente se resumen en la Tabla 1.

**Tabla 1 Línea de tiempo del desarrollo, regulación y control del Complejo Industrial Ventanas. Fuente: Bravo (2005), PGS Chile (2015).**

Año	Hito
1958	Instalación de Chilectra.
1964	Puesta en marcha de la Fundición ENAMI Ventanas con una capacidad de tratamiento de 150 mil toneladas de carga.
1966	Puesta en marcha de Termoeléctrica Ventanas I. Potencia de 120 MW. Funciona a vapor y carboncillo. Primera chimenea de termoeléctrica.
1966	Puesta en marcha de la Refinería ENAMI Ventanas mediante una unidad de electro refinación de cátodos de Cobre con una capacidad de 84 mil toneladas de cobre y una Planta de Metales Nobles que producía anualmente 5.400 kilogramos de oro y 98,000 kilogramos de plata. Esta planta dejó de operar en 2013.
1966	Se construye Puerto Ventanas (Chilgener).
1968	La chimenea de ENAMI Ventanas se alarga a 70 m de altura.
1977	Puesta en marcha de Termoeléctrica Ventanas II. Potencia de 220 MW. Funciona a vapor y carboncillo.



<b>1981</b>	Terminal marítimo de Oxiquim.
<b>1991</b>	Instalación Planta de Recuperación de ácido sulfúrico (división CODELCO Ventanas).
<b>1991</b>	Puerto Ventanas pasa a ser Puerto Ventanas S.A y se amplía su capacidad.
<b>1991</b>	D.S. No 185/91 (D.O. 02.01.92), Artículo 4o transitorio instruye instalación de red de monitoreo continuo para medir la concentración de anhídrido sulfuroso (SO <sub>2</sub> ) y material particulado respirable (MP10).
<b>1991</b>	ENAMI Y GENER proponen red de monitoreo de SO <sub>2</sub> y MP10.
<b>1992</b>	Se construye el terminal marítimo GASMAR para distribución de gas licuado.
<b>1992-93</b>	D.S. No 252/92 (D.O. 02.03.93), del Ministerio de Minería suscrito por el Ministerio de Hacienda, MINSAL, MINAGRI y Ministerio de Economía, aprueba Plan de Descontaminación del Complejo Industrial las Ventanas compuesto por la Fundición y Refinería Las Ventanas de la Empresa Nacional de Minería ENAMI y la Planta Termoeléctrica CHILGENER S.A. (hoy AES[1]).
<b>1993-94</b>	En atención a las excedencias a las normas de calidad de aire registrada por la red, el MINAGRI y el Ministerio de Salud, procedieron con la dictación del D.S. No 346/93 (D.O.03.02.94), que declara zona saturada por anhídrido sulfuroso y material particulado respirable a la zona circundante al Complejo Industrial Ventanas.
<b>1995</b>	Se implementa Plan de Descontaminación Ventanas.
<b>1995</b>	Por Res. No 2161, del 18.07.95 del Servicio de Salud Viña del Mar–Quillota se aprueba Plan de Acción Operacional ante episodios críticos por anhídrido sulfuroso, presentado por la Fundición y Refinería Ventanas de ENAMI.
<b>1995</b>	Se construye bodega para graneles limpios de Puerto Ventanas S.A.
<b>1996</b>	Empresa Cementos Melón S.A. construye domo de almacenamiento.
<b>2000</b>	Se construye Terminal de Asfaltos y Combustibles CORDEX (almacena y distribuye petróleo y derivados).
<b>2001</b>	Se construye bodega de almacenamiento de cobre en Puerto Ventanas (contrato con Angloamerican).
<b>2004</b>	COPEC inaugura planta de lubricantes Loncura.
<b>2006</b>	Se instala Central Termoeléctrica Nueva Ventanas (Gener).
<b>2006</b>	SONACOL inaugura oleoducto para productos limpios Quintero- Concón de 23 kilómetros de largo y 10 pulgadas de diámetro. Este oleoducto alimenta de Diesel al Sistema Interconectado Central de plantas termoeléctricas. Productos limpios: Gasolina 93 y 97; Diesel A1, Kerosén de aviación y doméstico.
<b>2008</b>	Se instala Central termoeléctrica Campiche (Empresa Eléctrica Campiche)
<b>2009</b>	Entra en funcionamiento GNL Quintero (Terminal de Valparaíso SpA, Enagás Chile Spa, Omers Infrastructure Chile Holdings II SpA y ENAP) un terminal marítimo de Gas Natural Licuado (GNL). Este cuenta con cuatro Vaporizadores, cada uno con capacidad de regasificación de 5 millones m <sup>3</sup> /día. En ellos el GNL a -160° Celsius circula por cañerías bañadas con agua de mar a temperatura ambiente (entre 12º y 18º Celsius) la que le entrega el calor necesario al para que vuelva a transformarse en gas natural.
<b>2010</b>	Entra en Funcionamiento la termoeléctrica Nueva Ventanas (Gener).
<b>2011</b>	Comienza a operar la Estación de Carga de Camiones de GNL, que abastece por este medio de transporte de gas licuado a localidades de la zona centro sur de Chile no conectadas por gasoducto.
<b>2011</b>	Resolución Exenta N°862, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente, da inicio al proceso de revisión, reformulación y actualización del Plan de Descontaminación Atmosférico del Complejo Industrial Las Ventanas.
<b>2013</b>	Ampliación Terminal Marítimo Quintero Oxiquim S.A.
<b>2015</b>	Aumento la capacidad del Terminal GNL mediante tren de vaporización que aumenta capacidad de regasificación en un 50%, alcanzado un total de 15 millones de m <sup>3</sup> /día, y a 2.500 metros cúbicos diarios de cargó de camiones.

<b>2015</b>	D.S. N° 10, de 2015, del Ministerio del Medio Ambiente, que declara zona saturada por material particulado fino respirable MP <sub>2,5</sub> como concentración anual, zona latente por el mismo contaminante como concentración 24 horas, y como zona latente por material particulado respirable MP <sub>10</sub> , como concentración anual la zona geográfica que comprende las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, de la Región de Valparaíso.
<b>2018</b>	D.S. N°83, de 24 de septiembre de 2018, del Ministerio de Salud, suscrito también por el Ministerio del Medio Ambiente, se decretó alerta sanitaria en las comunas de Quintero y Puchuncaví, de la Región de Valparaíso.
<b>2018-19</b>	D.S. Núm. 105, 27 Dic. 2018 (D.O. 30 Marzo 2019) Ministerio del Medio Ambiente: Aprueba Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.
<b>2020</b>	Resolución 802 exenta. Ministerio de Medio Ambiente - (D.O. 21 de agosto de 2020). Da inicio a la elaboración del anteproyecto de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas marinas y sedimentos de la Bahía de Quintero-Puchuncaví.

[ ] En este decreto se establece para ambas empresas la obligación de cumplir con las normas de Calidad del Aire vigentes para los contaminantes Material Particulado Respirable (MP<sub>10</sub>) y Anhídrido Sulfuroso (SO<sub>2</sub>) a más tardar el 1° de enero de 1995 para MP<sub>10</sub> y 30 de junio de 1999 para SO<sub>2</sub>. Estableciendo además metas de reducción de emisiones para azufre, como elemento causante de la formación de SO<sub>2</sub>, y MP.

La contaminación atmosférica y marina generada por este complejo industrial y su impacto sobre el medio ambiente y la salud humana ha sido motivo de preocupación ciudadana, especialmente de los habitantes de los pueblos y ciudades aledañas.

La contaminación atmosférica de este complejo industrial, por su naturaleza, ha sido objeto de intervenciones regulatorias importantes. En 1993 se aprobó el primer *Plan de Descontaminación del Complejo Industrial las Ventanas compuesto por la Fundición y Refinería Las Ventanas de la Empresa Nacional de Minería ENAMI y la Planta Termoeléctrica CHILGENER S.A.* (hoy AES GENER S.A.). En este decreto se establece para ambas empresas la obligación de cumplir con las normas de Calidad del aire vigentes para los contaminantes Material Particulado Respirable (MP<sub>10</sub>) y Anhídrido Sulfuroso (SO<sub>2</sub>) a más tardar el 1° de enero de 1995 para MP<sub>10</sub> y 30 de junio de 1999 para SO<sub>2</sub>. Estableciendo además metas de reducción de emisiones para azufre (S) en sus procesos, como elemento causante de la formación de SO<sub>2</sub>, y MP<sub>10</sub>.

En la actualidad, el Complejo Industrial, compuesto por 14 empresas, se encuentra bajo un régimen especial de regulación y control de sus emisiones atmosféricas, ya que desde 2015 el D.S. N° 10 del Ministerio del Medio Ambiente, que declaró las comunas de Puchuncaví, Quintero y Concón "*zona saturada por material particulado fino respirable MP<sub>2,5</sub> como concentración anual, zona latente por el mismo contaminante como concentración 24 horas, y como zona latente por material particulado respirable MP<sub>10</sub>, como concentración anual*" tuvo el efecto que en Diciembre de 2020, se dictará el D.S. 105, del 27 Dic. 2018 (D.O. 30 Marzo 2019) del Ministerio del Medio Ambiente, aprobando un nuevo *Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.*

La contaminación marina tiene origen principal en la descarga directa de Residuos Industriales Líquidos (RILes) y residuos urbanos y domiciliarios desde fuentes puntuales, por la contaminación generada por la actividad marítimo-portuaria, y por la emisión a la atmósfera desde fuentes puntuales y difusas de material particulado sedimentable, que se deposita sobre la superficie del mar o bien en el territorio y es posteriormente transportado al mar por medio del viento, la escorrentía superficial de aguas de lluvia y por esteros que desembocan en la Bahía.

La actividad marítimo-portuaria que tiene lugar en la Bahía de Quintero es considerable y una de las más altas del país, registrándose en el año 2017, 950 movimientos de naves, 350 de las cuales eran de registro nacional y el resto de registro extranjero (DIRECTEMAR 2018). Estas naves permanecieron atracadas a puerto, amarradas a una boya, monoboya o terminal marítimo por un promedio de 40 horas cada una. Por sus diferentes terminales marítimos se movilizan volúmenes significativos de combustibles, cobre y concentrado de cobre, ácido sulfúrico y un gran número de productos industriales y comerciales tanto sólidos como líquidos como carga general y a granel. Algunas estadísticas portuarias de DIRECTEMAR (2018) ilustran la importancia y magnitud de esta actividad.

Exportaciones carga total año 2017:

- 205.284 toneladas en el puerto de Quintero.
- 1.993.547 toneladas en el puerto de Ventanas.

#### Exportaciones carga líquida 2017

- 204.785 toneladas puerto de Quintero
- 11.062 toneladas puerto de Ventanas.

#### Exportaciones carga a granel 2017

- 1.982.308 toneladas Puerto Ventanas

#### Importaciones carga total año 2017:

- 10.054.951 toneladas en el puerto de Quintero (100% carga líquida).
- 2.962.208 toneladas en el puerto de Ventanas (52.745 Ton carga líquida)

#### Cabotaje carga Total 2017:

- 2.825.739 toneladas por mes puerto de Quintero
- 406.137 toneladas por mes Terminal Oxiquim Quintero.
- 372.686 toneladas por mes Terminal Ventanas

Las operaciones rutinarias de estas distintas actividades marítimo-portuarias producen emisiones, pequeños derrames y esporádicamente accidentes de mayor envergadura que generan una contaminación acumulativa con impacto directo en el agua de mar y los sedimentos subyacentes. La recepción, transporte y gestión de aguas de sentinas regulada por Convenio MARPOL (IMO 1973) y la disposición y gestión de los diferentes tipos de aguas de lastre reguladas por el Convenio para el Control y Gestión del Agua de Lastre y los Sedimentos (Convenio BWM, IMO 2017), son fuente potencial de contaminación química y biológica y vector del transporte e introducción de especies exóticas a la fauna y flora chilena.

Considerando que la mayoría de la carga movilizada por estos terminales constituye “carga peligrosa”, la congestión del tráfico portuario en la Bahía de Quintero, producto de la expansión de la infraestructura y actividad portuaria, ha sido motivo de preocupación de la autoridad marítima por el riesgo de accidentes catastróficos, habiendo abogado en 2007 por el cierre total al acceso de personas ajenas a la operación de la zona industrial dentro un perímetro claramente delimitado.

## 5.2 Objetivo general

Identificar, caracterizar y proponer los métodos de monitoreo y diseño del programa de monitoreo de todos los elementos y compuestos emitidos por las fuentes presentes en la Bahía de Quintero que puedan causar efectos en la salud humana y de los ecosistemas acuáticos.

## 5.3 Objetivos específicos

1. Identificar todos los elementos y compuestos emitidos a las aguas de la Bahía de Quintero por las fuentes industriales ubicadas en la zona en base a información de su rubro productivo, los insumos utilizados en sus procesos y la información de mediciones puntuales de sus descargas.
2. Priorizar los elementos y compuestos emitidos a las aguas de la Bahía de Quintero según sus potenciales efectos para la salud humana y los ecosistemas acuáticos debido a su presencia en las aguas marinas y continentales de la Bahía de Quintero.

3. Diseñar y proponer un programa de monitoreo, los métodos más idóneos para adecuado para determinar la naturaleza y características precisas de los gases, elementos o compuestos producidos por todas y cada una de las fuentes presentes en la Bahía de Quintero, Ventanas y Puchuncaví.

## 5.4 Carta Gantt de actividades

La Figura 5. resume las fases, actividades, y fechas de realización de actividades comprometidas en el proyecto. El estudio está dividido en tres fases o etapas cada una asociada a un objetivo específico de trabajo. La etapa N°1 que aborda la identificación y caracterización de emisiones a la Bahía de Quintero se llevó a cabo entre el 17 de junio de 2020 y el 18 de octubre 2020. La etapa N°2 de priorización de elementos y compuestos contaminantes a la Bahía de Quintero, se llevó a cabo entre el 19 de octubre de 2020 y el 18 de febrero de 2021. La etapa N°3 y final se inició el 19 de febrero de 2021 y termino el 18 de octubre con la entrega de este informe final de actividades.

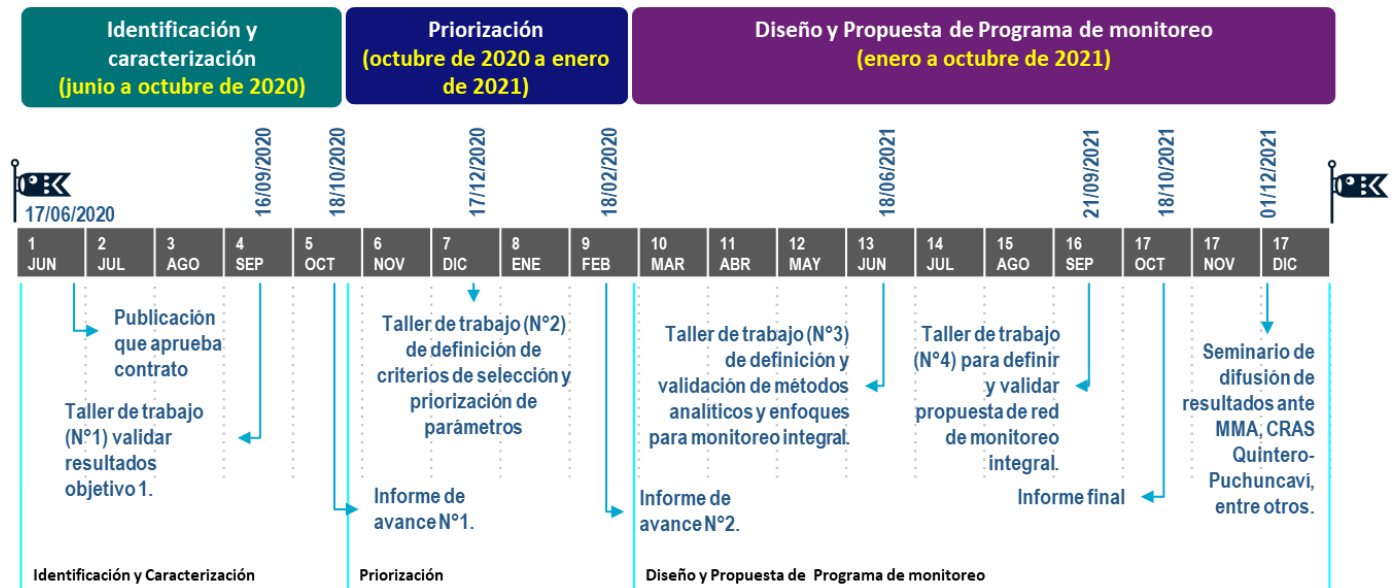


Figura 5 Carta Gantt del proyecto “Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero”.

# 6 Métodos

## 6.1 Objetivo 1

### 6.1.1 Parámetros ambientales y métodos analíticos utilizados para monitorear las emisiones a los componentes del agua y el aire de la Bahía de Quintero

#### 6.1.1.1 *Parametros monitoreados*

La metodología de trabajo para el logro del objetivo 1 considero en primer lugar, la identificación de los elementos, compuestos y parámetros ambientales medidos en unidades fiscalizables, por servicios públicos, consultoras y centros de investigación. Para esto se consideraron las siguientes fuentes de información:

- Norma de emisión de residuos líquidos a aguas marinas (D.S. 90 2001),
- Norma primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo (D.S. 144 2009)
- Reportes de autocontrol asociados a las Resoluciones de Programas de Monitoreo (datos SNIFA, 2017-2020)
- Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) de unidades fiscalizables (SNIFA) con emisiones directas a la Bahía de Quintero,
- Registros de monitoreo de autocontrol de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS, año 2019), y
- Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L). (datos 1993-2013).

Seguindo las especificaciones del contrato de este estudio se consideraron asimismo los resultados de los siguientes estudios previos realizados por mandato del Ministerio del Medio Ambiente:

- HOLON SPA. (2019) Análisis crítico de informes de Seguimiento de Variables Ambientales y Planes de Vigilancia Ambiental de establecimientos que descargan RILes a la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-39-LE19.
- Centro de Ecología Aplicada (2020) Sistematización de información de calidad de agua, sedimentos, objetos de valoración ambiental y fuentes de emisión, como insumos para la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad de Aguas en la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-34-LE19.

Adicionalmente, se revisaron los siguientes estudios previos realizados en Bahía de Quintero (resultados en sección 7.1.3.1) por su pertinencia con los objetivos de este proyecto:

- Con Potencial Consultores (2020) Desarrollo de un modelo de dispersión de contaminantes en la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-21-LE19.
- BIOMA S.A. Consultores Ambientales (2020) Monitoreo de humedales boca Maule (región del Biobío), estero Campiche (Puchuncaví, región de Valparaíso) y desembocadura del río Huasco (región de Atacama), en el contexto de la red de monitoreo de ecosistemas acuáticos del Ministerio de Medio Ambiente.
- Centro de Estudios Ambientales (2013) Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, Chile, 380 pp.
- DIRINMAR (2019) Informe de diagnóstico ambiental análisis data POAL Bahía de Quintero (2005-2018) y unidades fiscalizables controladas por la autoridad marítima.

- Encina F, Oberti C, Viel M, Castillo C, Guerra F (2014) Levantamiento de información sobre sedimentos para llevar a cabo un proceso de evaluación de riesgo ecológico en la Bahía de Quintero, Región de Valparaíso.
- UCT (2015) Aplicación de los lineamientos metodológicos en la evaluación de riesgo ecológico en la Bahía de Quintero, región de Valparaíso. Informe Final.
- Instituto de Fomento Pesquero (2016) Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía de Quintero, V Región. Informe Final.

### **6.1.1.2 Métodos analíticos utilizados para la cuantificación de parámetros**

En segundo lugar, se identificaron los métodos analíticos utilizados en el monitoreo y/o cuantificación de contaminantes en las matrices agua de mar, sedimento, biota y aire. Para el logro de este objetivo se recopiló y/o solicitó información sobre métodos analíticos asociados a las siguientes normativas nacionales, instituciones y/o repositorios de información:

- 1) **Normas nacionales de emisiones y calidad primaria de aire y agua vigentes en Chile** para la determinación de contaminantes y de variables ambientales. Las normas consideradas se señalan a continuación:
  - D.S. 90/2001. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales
  - D.S. 112/2002. Establece norma primaria de calidad de aire para ozono (O3)
  - D.S. 104/2018. Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO2)
  - D.S. 114/2002. Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno (NO2)
  - D.S. 115/2002. Establece norma primaria de calidad de aire para monóxido de carbono (CO)
  - D.S. 136/2000. Establece norma de calidad primaria para plomo en el aire
  - D.S. 144/2008. Establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo
  - D.S. 12/2011. Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP 2,5. Donde indica los métodos aplicables para MP2,5 y 10 según la: *"lista de Métodos Denominados de Referencia y Equivalentes publicada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica o que cuenten con certificación de alguna de las agencias de los países miembros de la Comunidad Europea que implementan las directrices del Comité Europeo para Estandarizaciones o que tengan certificación de que dan cumplimiento a los estándares de calidad exigidos en el país de origen entregada por algún ente acreditado por el gobierno de ese país."*
  - D.S. 13/2011. Establece norma de emisión para centrales termoeléctricas. Con respecto a gases y partículas, se remite a la lista de Métodos de la EPA, y para metales pesados establece el Método CH-29: Determinación de emisión de metales desde fuentes fijas.
  - D.S. 28/2013. Establece norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico. Con respecto a gases y partículas, se remite a la lista de Métodos de la EPA, y para metales pesados establece el Método CH-29: Determinación de emisión de metales desde fuentes fijas.
  - D.S. 61/2008. Reglamento de estaciones de medición de contaminantes atmosféricos. El cual indica los métodos aplicables bajo la EPA.
  - D.S. 38/2013. Aprueba reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión

- 2) **Registro público (online<sup>2</sup>) de Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFA) de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA).** En lo específico se descarga el archivo consolidado de autorizaciones EFTA desde el Registro Nacional De Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (EFTA), el cual señala métodos analíticos aprobados actualmente por laboratorios de Ensayo. Este registro recoge información de laboratorios y métodos analíticos certificados y registrados en el **Directorio de Acreditados del Instituto Nacional de Normalización<sup>3</sup> (INN).**
- 3) **Instituto de Salud Pública de Chile (ISPCh).** Con fecha 03 de septiembre de 2021 se solicitó al Instituto de Salud Pública de Chile a través del Sistema de Información y Atención Ciudadana (SIAC) un listado actualizado de métodos analíticos oficiales y límites de detección asociados al análisis de contaminante en matrices marinas (agua de mar, sedimento, biota). El Código SIAC de la solicitud es: AO005W0011947. Esta solicitud se realizó considerando que a la fecha de la solicitud en la página web<sup>4</sup> del Instituto de Salud Pública solo se encuentran disponibles los métodos analíticos para análisis de agua potable, los cuales no aplican necesariamente a matrices marinas.
- 4) **Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L) de la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante es un organismo de la Armada de Chile (DIRECTEMAR).** En el marco de la última licitación pública para llevar a cabo los análisis físico-químicos contemplados en el POAL 2018-2023, se definió el listado de las metodologías analíticas para las matrices agua, sedimento y biota junto con sus respectivos límites de detección.
- 5) **Informes de autocontrol asociados al D.S. 90/2001 de descargas de RILes desde Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), ingresados al Sistema de Seguimiento Ambiental de la SMA<sup>5</sup>.** Los informes de autocontrol contienen los resultados físico químico y bacteriológicos realizados al efluente y afluente de las plantas de tratamiento de aguas servidas y los resultados bacteriológicos de borde costero, además de los métodos analíticos utilizados por los laboratorios, los cuales deben coincidir con los métodos indicados en el D.S.90/2001.
- 6) **Métodos analíticos para metales pesados propuestos en normas del Instituto Nacional de Normalización (INN).** Con fecha, 10 de junio de 2021, se recibió de parte de la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización (INN), información relativa al:
  - Proyecto de norma NCh3633 Calidad de agua – Determinación de cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, níquel, plata y zinc en agua de mar– Método espectrofotometría de absorción atómica.
  - Proyecto de norma NCh3634 Calidad del agua – Determinación de metales en sedimentos marinos.
- 7) **Laboratorios de análisis nacionales.** Con el objetivo de levantar información relevante sobre las capacidades analíticas existentes a nivel nacional para el monitoreo de contaminantes en matrices marinas (agua de mar, sedimentos y biota), específicamente aquellos de potencial preocupación ambiental en la Bahía de Quintero, se aplicó una encuesta a laboratorios de ensayo incorporados en el Registro Nacional de Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFA). La encuesta se estructuró en tres secciones que abarcaron 1) las capacidades analíticas - autorizadas y/o declaradas en ETFA, 2) las capacidades analíticas para la cuantificación de contaminantes no declarados ante ETFA de posible preocupación en la Bahía de Quintero, y finalmente 3) los costos de análisis asociados.

La encuesta consultó además sobre los métodos analíticos e instrumentos utilizados, su validez para el análisis de contaminantes en matrices marinas (sí o no) y los límites de cuantificación de cada método, esto último, con el objetivo de contrastar con estándares o directrices ambientales nacionales e internacionales que fijan concentraciones de contaminantes sobre o bajo las cuales se esperan efectos deletéreos para el medio ambiente y la salud humana. La información colectada fue utilizada para el diseño y costeo de la Red de Monitoreo Ambiental de la Bahía de Quintero. Los resultados de las encuestas se reportan de forma anonimizada en este informe. Copia

<sup>2</sup> Registro público (online) de Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFA) de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA): <https://entidadestecnicas.sma.gob.cl/Sucursal/RegistroPublico>

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Normalización (INN): <https://acreditacion.innonline.cl/>

<sup>4</sup> Instituto de Salud Pública de Chile: <https://www.ispch.cl/ambientes-y-alimentos/subdepartamento-del-ambiente/quimica-y-toxicologia-ambiental/>  
[https://www.ispch.cl/sites/default/files/listado\\_metodos\\_qca\\_ambiental\\_23\\_10\\_2020.pdf](https://www.ispch.cl/sites/default/files/listado_metodos_qca_ambiental_23_10_2020.pdf)

<sup>5</sup> Sistema de Seguimiento Ambiental de la SMA (<https://ssa.sma.gob.cl/>)

digital de la encuesta tipo aplicada a los laboratorios se adjunta en formato Excel en el Anexo L que acompaña este informe.

La encuesta fue enviada a los siguientes laboratorios nacionales, los cuales han proveído servicios de análisis de contaminantes en la Bahía de Quintero o poseen capacidades analíticas conocidas o declaradas en el análisis de contaminantes en matrices marinas.

1. AGQ Chile S.A.
2. Algoritmos SPA
3. ALS Global
4. AMVAR SpA
5. Análisis Ambientales S.A., Laboratorio ANAM Centro
6. BIOTECMAR
7. CEAMAR
8. DICTUC S.A – Aguas y Riles
9. Ecogestion Ambiental Ltda.
10. Laboratorio de Oceanografía Química (LOQ), Universidad de Concepción
11. Laboratorio Ensayo EULA, Universidad de Concepción
12. Laboratorio Hidrolab S.A.
13. Laboratorio UPLA, Universidad de Playa Ancha
14. SEDIMAR
15. SGS Chile Ltda.
16. Sociedad Ingeniería Lobos Ltda (SILOB)
17. Laboratorio de Servicios Analíticos - Universidad Católica del Norte (UCN)
18. Laboratorio de Recursos Renovables (LRR) - Universidad de Concepción (UdeC)

**8) Informes SNIFA asociados a Resoluciones de Programas de Monitoreo (RPM) atmosférico.** Se recopilaron y analizaron los reportes individuales de monitoreo de contaminantes atmosféricos reportados de modo mensual, trimestral y semestral al SNIFA para las principales industrias con emisión atmosféricas: ENAP, GNL, Codelco Ventanas y el Complejo Termoeléctrico Ventanas.

**9) Estudio** CEA (2013). El cual indica métodos analíticos para la determinación de contaminantes en material particulado sedimentable.

La información de costos de análisis de laboratorio fue complementada con datos de costos provenientes del National Environmental Methods Index (NEMI)<sup>6</sup>, y datos de precios obtenidos desde ofertas públicas asociadas al Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L.) de DIRECTEMAR disponibles en [mercadopublico.cl](http://mercadopublico.cl). Toda la información recolectada fue organizada en bases de datos para su análisis crítico por parte del equipo de trabajo del proyecto:

Ruta:

\02\_CODIGOS\_Y\_BASES\_DE\_DATOS\01\_BASES\_DE\_DATOS\

Nombre de los archivos:

---

<sup>6</sup> National Environmental Methods Index (NEMI): [https://www.nemi.gov/methods/method\\_summary/7436/](https://www.nemi.gov/methods/method_summary/7436/)



- DB\_METODOS\_ANALITICOS\_ENCUESTAS\_LABS.xlsx
- DB\_METODOS\_ANALITICOS\_ETFA\_ISPCH\_POAL.xlsx
- DB\_METODOS\_ANALITICOS\_REVISION\_AUS.xlsx

### **6.1.2 Caracterización de residuos industriales líquidos y emisiones atmosféricas asociados a la Bahía de Quintero**

Basado en la revisión de los estudios señalados en la sección 6.1.1, se caracterizó los residuos industriales líquidos (RILes) y las emisiones atmosféricas según fuente emisora, en función de las actividades productivas, las materias primas y/o insumos de producción, las tecnologías de tratamiento de residuos y las actividades industriales no rutinarias llevadas a cabo en cada instalación (resultados en sección 7.1.2 y Anexo A y B). Asimismo, se analizó complejos industriales internacionales similares al de la Bahía de Quintero (resultados en sección 7.1.3.2 y Anexo B), se aplicó encuestas digitales a expertos nacionales en materias relativas a contaminación marina y el complejo industrial asociado a la Bahía de Quintero (resultados en sección 7.1.6.1 y Anexo E).

Se analizó asimismo datos provenientes de las siguientes fuentes:

1. Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA) con respecto a las normas de emisión de residuos líquidos (D.S. 90 2001) entre los años 2017 y 2020. Estos datos fueron complementados con datos de los años 2020 y 2021 entregados por la contraparte técnica de este proyecto (Sr. Felipe Hidalgo, Ministerio de Medio Ambiente), los cuales incluían datos de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) y de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).
2. Normas de emisión de centrales termoeléctricas (D.S. 13/2011) entre los años 2014 y 2020,
3. Emisiones aéreas puntuales, difusas y móviles del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) del Ministerio del Medio Ambiente que se sustenta normativamente en el D.S. N° 138/2005 del Ministerio de Salud y por el D.S. N° 13/2011 del Ministerio del Medio Ambiente el que establece una norma de emisión para centrales termoeléctricas. Adicionalmente, se recopiló los reportes individuales de monitoreo ambiental reportados al SNIFA para las principales industrias con emisión atmosféricas: ENAP, GNL, Codelco Ventanas y el Complejo Termoeléctrico Ventanas.
4. Informes de autocontrol de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) del año 2019 reportados a la SISS.

En conjunto con lo anterior, se revisaron los parámetros incluidos en acuerdos internacionales suscritos por Chile, además de parámetros regulados por normativas de otros países (Australia, Estados Unidos, Canadá) (resultados en sección 7.1.4 y Anexo B). Finalmente, para caracterizar adecuadamente los desechos y emisiones industriales, fue necesario una descripción detallada de las principales industrias que operan en Bahía de Quintero y sus procesos industriales (resultados en sección 7.1.2.1 y Anexo A). Esto requirió la recopilación y revisión de fuentes secundarias disponibles en la web sobre las industrias y la generación de diagramas de operación conectando materias primas (insumos de producción), con procesos industriales, residuos generados, tratamientos de estos, y descargas finales al medioambiente.

### **6.1.3 Identificación de parámetros ambientales de importancia no regulados y/o no monitoreados en la Bahía de Quintero**

Una vez caracterizados los residuos generados y emisiones finales, se identificaron brechas entre parámetros y contaminantes emitidos al aire y agua que no se encuentran normados a nivel nacional y/o no están siendo monitoreados en la Bahía de Quintero (resultados en sección 7.1.3).

## 6.1.4 Definición de un modelo conceptual de emisiones a la Bahía de Quintero

En base a los resultados de las actividades previamente descritas, se elaboró un modelo conceptual de emisiones a la Bahía de Quintero (resultados en sección 7.1.5), el cual considero 1) emisarios y descarga de RILes (emisiones puntuales), 2) la descarga fluvial asociada al Estero Campiche, 3) derrames (líquidos) y vertimientos (sólidos) accidentales, 4) escorrentía superficial de aguas y lavado de superficies impermeables, 5) descarga de aguas subterráneas al medio marino, 6) deposición y/o transferencia de contaminantes atmosféricas, y 7) otras fuentes potenciales de contaminantes (térmica, lumínica, radiación, acústica).

## 6.1.5 Talleres y reuniones

Las actividades asociadas a este objetivo se señalan a continuación:

- Taller de trabajo (N°1) para discutir y validar los principales resultados de esta etapa del proyecto (resultados en sección 7.1.6.2). Al taller asistieron expertos nacionales y del equipo del proyecto, representantes de los servicios públicos con competencias en la materia.

## 6.2 Objetivo 2

### 6.2.1 Definición de criterios de selección y priorización de sustancias contaminantes y variables fisicoquímicas a monitorear en la Bahía de Quintero

Las metodologías para la definición de criterios de selección y priorización de contaminantes a monitorear en la Bahía de Quintero y la definición de criterios de referencia (o “estándar”, “directriz”, “valor”, “concentración”, “umbral”, “indicadores” o “nivel de alerta o acción”) para estos contaminantes ha evolucionado significativamente en las últimas décadas.

En una primera fase (1980-90's) los criterios de referencia se establecieron basándose en las propiedades físico-químicas inherentes y conocimiento empírico de sus efectos tóxicos a nivel de especie (MMA 2013). Estas concentraciones se establecían como percentiles de la distribución acumulada de todas las mediciones existentes del compuesto, a partir de observaciones de gradientes espaciales alrededor de fuentes puntuales de emisión, o basados en la opinión experta de especialistas (Bakke et al. 2010). Mas adelante en los años noventa, estas concentraciones umbrales se establecieron basándose en información toxicológica obtenida de bioensayos de exposición aguda (< 96 horas) sobre especies de fácil manipulación experimental (en laboratorio), utilizando como indicadores la mortalidad o efectos sobre el crecimiento o reproducción (p. ej. Tabla 3 en Ministerio de Medio Ambiente (2014)), sin monitorear la presencia de las sustancias en el mar o su biota y sedimentos. Con el nacimiento de la ecotoxicología en los años setenta se comenzó asimismo a evaluar los efectos in-situ de compuestos químicos tóxicos sobre los seres vivos, poblaciones, comunidades y ecosistemas.

En este contexto, es recomendable que en un proceso de protección de la calidad ambiental aquellos criterios basados en propiedades físico-químicas inherentes y toxicidad a nivel de especie sean utilizados solo inicialmente y con cautela, mientras se progresa en 1) la obtención de datos de monitoreo, 2) la definición de objetivos de conservación, protección y/o recuperación y 3) la determinación de riesgo ecológico local (Ministerio de Medio Ambiente 2014). La evaluación de riesgo ecológico implica evaluar la probabilidad de que se produzcan (o se estén produciendo) efectos ecológicos adversos o indeseados. Una primera aproximación a la evaluación de riesgo ecológico en la Bahía de Quintero fue realizada por Universidad Católica de Temuco (2015).

En Chile, el Artículo 15 del Decreto 38 del MMA, que aprueba el reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión, solicita llevar a cabo un análisis técnico que identifique y cuantifique los riesgos para la población, ecosistemas o especies directamente afectadas o protegidas y un análisis general del impacto económico y social. Esto requiere identificar objetivos de conservación o de protección del ecosistema en cuestión.

En estos casos el método empleado a nivel internacional es aplicar un enfoque basado de múltiples líneas de evidencia. Los escalones consideran propiedades químicas y fisicoquímicas, evaluaciones toxicológicas progresando determinaciones eco-

toxicológicas evaluadas en las condiciones locales. Los criterios de referencia y los niveles de protección se obtienen aplicando indicadores basados en diferentes niveles de protección de la biodiversidad, integridad de comunidades ecológicas y daño a la salud humana.

El marco metodológico elaborado por la Comunidad Europea (CE) para la derivación de estándares de calidad ambiental es un buen ejemplo de la aplicación de este nuevo enfoque (Lepper 2005, [EC] European Commission 2006). El objetivo general de esta Directiva es lograr la eliminación de todas las sustancias clasificadas como peligrosas prioritarias y conseguir concentraciones en el medio marino cercanas a los valores presentes en lugares no intervenidos. Con este fin el objetivo de conservación que se define es proteger de efectos adversos tanto los ecosistemas de agua dulce y marinos, así como a los seres humanos de todo tipo de exposición a contaminantes (P. ej. por contacto directo, ingestión de agua o alimentos de origen marino).

Para cada uno de los objetos de protección del ecosistema (P. ej. comunidades pelágicas y bentónicas), se evalúan una serie de criterios desencadenantes de efectos indeseados predefinidos (P. ej.: sospecha de propiedades cancerígenas, mutagénicas o que afecten la reproducción, o con potencial de bioacumulación). Cuando se identifica un posible riesgo de daño ambiental (por ejemplo, un valor umbral excedido), se establecen estándares específicos para ese caso. Posteriormente y utilizando métricas que estimen el “peso de la evidencia”, se selecciona un estándar general válido para todos los objetivos de protección definidos para el ecosistema (Ministerio de Medio Ambiente (2014), sección 5.3. pag. 46).

En resumen, una norma de calidad ambiental derivada a través de este enfoque debe definir los objetivos de conservación relevantes. Además, la norma dará cuenta de todas las vías de exposición directa e indirecta en los sistemas acuáticos, a través del agua y los sedimentos o mediante la bioacumulación, así como la posible exposición a través de la ingesta de agua potable en el caso del agua dulce. Además, se consideran todos los modos relevantes de toxicidad, p. ej. tanto la toxicidad directa como indirecta de los ecosistemas ( $\approx$  después de la bioacumulación) y la toxicidad oral para el hombre, así como la carcinogenicidad, mutagenicidad y efectos adversos sobre la reproducción.

De acuerdo con las prácticas generalmente aceptadas la identificación y priorización de contaminantes según sus potenciales efectos para la salud humana y los ecosistemas acuáticos debiera basarse en un enfoque integrado que combine indicadores físicos-químicos, toxicológicos y biológicos (Warne 2000). Frecuentemente estos antecedentes no se encuentran disponibles para un sitio determinado y realizarlos como condición *sine qua non* postergaría en forma inaceptable la adopción de acciones de gestión. Esto hace que se requiera de la aplicación de un enfoque alternativo basado en el conocimiento general de la toxicidad de elementos y compuestos y el análisis de excedencia por sobre valores directrices previamente establecidos por autoridades competentes. La metodología para la definición de criterios de selección y priorización de parámetros a monitorear en la Bahía de Quintero-Puchuncaví se basó parcialmente en ANZECC & ARMCANZ (2000, 2014, 2018) según se detalla a continuación.

Para la priorización de contaminantes en la Bahía de Quintero se consideraron tres elementos principales:

- 1) **el listado de parámetros de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero** el cual considera los siguientes aspectos o criterios:
  - Sustancias potencialmente emitidas a la Bahía de Quintero (monitoreados o no) por cada unidad fiscalizable, determinados en función de los insumos utilizados, las tecnologías y las actividades y/o procesos industriales asociados. Para esto se analizaron entre otros Declaraciones (DIA) y Estudios (EIA) de Impacto Ambiental asociados a cada unidad fiscalizable disponibles en el portal web del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).
  - Otras sustancias potencialmente emitidas a la Bahía de Quintero definidas a partir del análisis crítico de los parámetros monitoreados regularmente (ver sección 7.2.4 de los Resultados) a través de los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) y Resoluciones de Monitoreo (RPM), el Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL), los informes de autocontrol de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), además de aquellos parámetros medidos al menos una vez en la Bahía de Quintero y reportados en estudios previos (recopilados por HOLON SPA. (2019) y CEA (2020).
  - Elementos y compuestos contaminantes identificados en complejos industriales similares a nivel internacional que, dado su comportamiento ambiental (vida media y potencial de bioacumulación), pudieran haberse acumulado en los sedimentos de la Bahía constituyendo posibles brechas no monitoreados regularmente.

- Parámetros regulados o prohibidos por convenios internacionales de los cuales Chile es estado parte.
- Parámetros definidos por consenso experto en estudios previos llevados a cabo en la bahía (CEA 2013, 2020, HOLON SPA. 2019) y otros sugeridos en este estudio.

Para la salud humana las normas ambientales chilenas abordan el uso recreacional de las aguas costeras (D.S. 144 2009). En la Bahía de Quintero existen playas que estacionalmente son utilizadas como balnearios, existiendo además amplia evidencia y jurisprudencia sobre otros tipos de impactos negativos sobre la salud humana, asociados a la contaminación atmosférica en la zona, con eventos en los cuales sustancias desconocidas, no reguladas, han provocado alarma e impactos negativos sobre la salud de las poblaciones aledañas (fallo dictado por la Tercera Sala de la Corte Suprema de fecha 28 de mayo de 2019). Estas incógnitas justificaron incluir en el listado del Hito 1, compuestos ampliamente distribuidos en el ambiente que, por sus efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente, están regulados o prohibidos por convenios internacionales de los cuales Chile es Estado parte, como las dioxinas (policlorodibenzodioxinas, PCDD), furanos (policlorodibenzofuranos, PCDF), y plaguicidas. Estos compuestos pueden llegar a la Bahía en forma directa a través de los efluentes municipales domésticos o industriales, o en forma indirecta desde fuentes difusas a través de la deposición atmosférica, la escorrentía superficial, descargas submarinas de aguas subterráneas o aguas lluvias. Por ejemplo, la presencia de dioxinas y furanos ha sido recientemente documentada en los sedimentos de Coliumo en Bahía Concepción (región del Biobío), atribuyéndose como posibles fuentes los motores de combustión interna, los incendios forestales y la quema de leña (Loyola-Sepúlveda et al. 2018). Similares hallazgos se han reportado para otras ciudades latinoamericanas, como Buenos Aires (Cappelletti et al. 2016), Bogotá y Manizales (Cortés et al. 2016). Una compilación de la distribución mundial de bifenilos policlorados (PCBs) en la atmósfera se encuentra en Bogdal et al. (2013) y en la atmósfera oceánica en Morales et al. (2014).

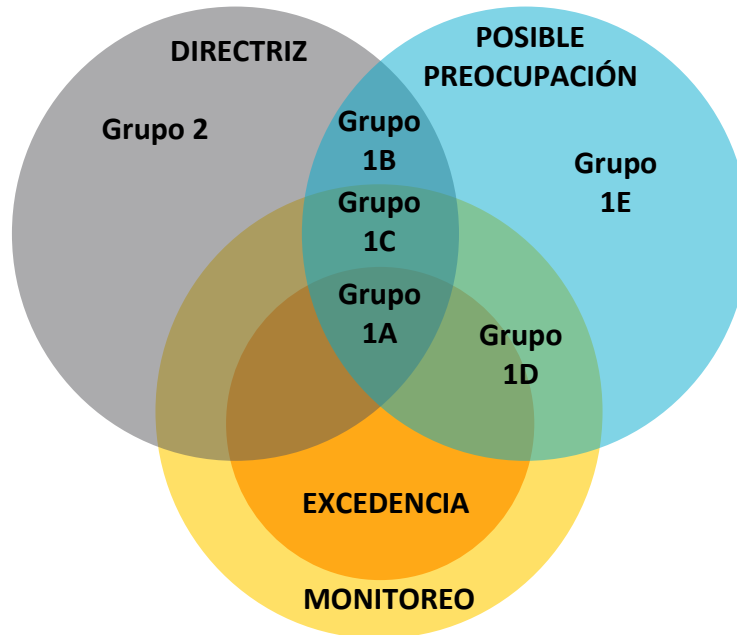
- 2) **la existencia de criterios de referencia (e.g. concentraciones límites) asociadas a normas chilenas y directrices internacionales**
- 3) **los resultados del análisis de excedencia** de umbrales de concentración de contaminantes y límites regulados y/o sugeridos para variables fisicoquímicas monitoreadas en la Bahía de Quintero. Dependiendo de la disponibilidad de datos el análisis de excedencia implica,
  - comparar las actividades químicas, específicamente los umbrales de toxicidad con las concentraciones bio disponibles en el medio (agua de mar y sedimentos);
  - comparar las concentraciones de contaminantes medidas en el tejido de la biota con las cargas corporales críticas (bioacumulación);
  - evaluar la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos y la idoneidad del hábitat en relación con las concentraciones de contaminantes medidas simultáneamente en el medio (agua de mar y/o sedimentos)
  - comparar las concentraciones de contaminantes en agua de mar y sedimentos con concentraciones naturales preindustriales o de línea base medidas en el área de interés o sitios de referencias de similares características. Este enfoque se recomienda particularmente cuando las concentraciones naturales son más altas que las directrices genéricas disponibles.

La priorización de contaminantes considero un enfoque escalonado de priorización basado en las siguientes tres preguntas; 1) ¿Ha sido monitoreado el contaminante alguna vez en el área de estudio?, 2) ¿Posee el contaminante directriz o concentración conocida en sitios de referencia?, y 3) ¿Se ha excedido históricamente alguna directriz asociada? A partir de este proceso de identificar los siguientes grupos de prioridad, las cuales se muestran en la figura a continuación:

Figura 6 Elementos considerados en la priorización de grupos de contaminantes de la Bahía de Quintero (en formato tabla y utilizando el diagrama de Venn).

¿Ha sido monitoreado o alguna vez en el área de estudio?	¿Posee directriz o concentración conocida en sitios de referencia?	¿Se ha excedido históricamente alguna directriz asociada?	Parámetros de posible preocupación ambiental en el área de interés			
			Si			No hasta el momento
			Costo analítico	Frecuencia monitoreo propuesta	Prioridad	Prioridad
SI	Posee	Presenta excedencia*	Alto	Baja o solo una vez (línea base)	<b>Grupo prioridad 1A</b>	<b>Grupo prioridad 2 y 3</b>
			Bajo	Alta		
		No presenta excedencia	Alto	Baja o solo una vez (línea base)	<b>Grupo prioridad 1C</b>	
			Bajo	Alta		
	No se encontraron	No aplica	Alto	Baja o solo una vez (línea base)	<b>Grupo prioridad 1D</b>	
			Bajo	Alta		
NO	Posee	No aplica	Alto	Baja o solo una vez (línea base)	<b>Grupo prioridad 1B</b>	
			Bajo	Alta		
	No se encontraron	No aplica	Alto	Baja o solo una vez (línea base)	<b>Grupo prioridad 1E</b> (contaminantes emergentes)	
			Bajo	Alta		

\* Análisis de excedencia realizado solo para elementos, compuestos y variables ambientales con más de 50 observaciones en registros históricos de monitoreo (1993-2019) de la Bahía de Quintero. Considera solo programas de monitoreo regulares e ignora datos colectados en estudios puntuales (e.g. DIA, EIA, CEA(2013)).



**Grupo de prioridad 1A – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental en el área de interés que cuentan con directrices nacionales e internacionales (es decir umbrales de toxicidad definidos), han sido monitoreados en la Bahía de Quintero y presentan excedencias históricas y/o recientes a estas directrices:** Aquellos contaminantes de posible preocupación ambiental (lista Hito 1) que cuentan con normas o directrices nacionales e internacionales establecidas por una autoridad competente. Estas directrices definen valores umbrales de concentración del contaminante, ampliamente aceptados, bajos las cuales existe un riesgo muy bajo de efectos negativos sobre la vida humana o los ecosistemas. Cuando se observan valores próximos al umbral, el riesgo de observar efectos negativos aumenta y cuando se observan excedencias significativas el riesgo existe y deben adoptarse medidas de control, mitigación y/o remediación.

Debido a la baja calidad de la base de datos disponible en la Bahía de Quintero (HOLON SPA. 2019) solo se utilizará como indicador de excedencias la frecuencia y no su magnitud. Por esta misma razón los miembros del Grupo 1C (ver más abajo) no deben ser excluidos automáticamente del monitoreo, sino que deben ser objeto de un análisis detallado a manos de un grupo de expertos.

**Grupo de prioridad 1B – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero que cuentan con directrices nacionales e internacionales (umbrales definidos) cuya presencia no ha sido medida o cuantificada en la Bahía:** debido a que existe un riesgo desconocido para la vida humana y/o los ecosistemas se consideran de alta prioridad de monitoreo en el área de estudio.

**Grupo de prioridad 1C– Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero que cuentan con directrices nacionales e internacionales (umbrales definidos), han sido monitoreados en el área de estudio y no presentan excedencias recientes a estas directrices:** Estos contaminantes o parámetros fisicoquímicos se consideran bajo control en el área de interés.

**Grupo de prioridad 1D – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental en el área de interés para el cual no se encontraron directrices nacionales o internacionales (sin umbrales de concentración definidos), pero han sido monitoreados en el área de estudio:** Aquellos contaminantes que sin poseer normas nacionales y/o directrices internacionales que definan valores umbrales de concentración ampliamente aceptados, han sido identificados como de posible preocupación ambiental en el área de estudio. Sus propiedades químicas y efectos tóxicos son conocidos, pudiendo a partir de este conocimiento mediante consenso u opinión experta aproximarse con un alto nivel de certidumbre a valores de concentración que pueden usarse en forma precautoria como umbral.

**Grupo de prioridad 1E – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental en el área de interés para el cual no se encontraron directrices nacionales o internacionales (sin umbrales de concentración definidos) y no han sido monitoreados en la Bahía de Quintero.** Se considera aquí contaminantes emergentes tales como pesticidas, productos farmacéuticos, drogas ilícitas, compuestos de “estilo de vida”, aseo personal y otros. En este caso se conoce relativamente poco de estos compuestos, particularmente en cuanto a su presencia, impacto y tratamiento.

**Grupo de prioridad 2 – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) que a la fecha no se consideran de preocupación ambiental en la Bahía de Quintero que cuentan con directrices internacionales (es decir con criterios de referencia o umbrales de toxicidad definidos):** Elementos o compuestos de los cuales no existe evidencia de su presencia en el área de estudio, ni relación con las actividades industriales y humanas en general asociadas a la Bahía, no obstante por su reconocido riesgo sobre el medio ambiente y la salud humana cuentan con directrices a nivel internacional algunas de las cuales han sido incorporadas a la legislación y regulación administrativa nacional. La mayoría pertenecen a las familias de compuestos orgánicos persistentes regulados por la convención de Estocolmo.

**Grupo de prioridad 3 – Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) que a la fecha no se consideran de preocupación ambiental en la Bahía de Quintero y no cuentan con directrices nacionales o internacionales (es decir sin criterios de referencia o umbrales de concentración conocidos):** Un gran número de elementos o compuestos, de los cuales se desconoce su presencia y no existe conocimiento suficiente sobre sus efectos sobre la salud humana y sobre los ecosistemas, su toxicidad o si se acumulan o no en los organismos.

En un proceso de evaluación del riesgo ecológico impuesto por factores exógenos, como ya se ha señalado, corresponde aplicar un enfoque de líneas de evidencia múltiple para estimar niveles de daño ecológico y el riesgo al funcionamiento normal del ecosistema (integridad) y especialmente sobre aquellos usos o servicios identificados como prioritarios. La integridad ecológica, como medida de la "salud" o "condición" de un ecosistema, ha sido definida por Schofield & Davies (1996) como: *la capacidad del ecosistema acuático para apoyar y mantener procesos ecológicos clave y una comunidad de organismos con una composición de especies, diversidad y organización funcional lo más comparable posible a la de los hábitats naturales dentro de una región.*

metodología antes señalada. Datos provenientes del futuro monitoreo, permitirán realizar estudios de líneas de evidencia múltiples que remuevan incertidumbres sobre el comportamiento de los compuestos bajo las condiciones locales y permita eliminar de la lista inicial de compuestos a monitorear aquellos de un menor grado de preocupación. La experiencia internacional muestra que con una aplicación rigurosa de los instrumentos normativos disponibles, frecuentemente esto resulta en una simplificación y reducción del costo del monitoreo.

La Figura 3 a continuación muestra el diagrama de flujo para la priorización de contaminantes a monitorear en la Bahía de Quintero basada a múltiples líneas de evidencia y la posterior definición de directrices (criterios de referencia). Las líneas de evidencia más usadas a nivel internacional (USA, Comunidad Europea, Australia y Nueva Zelanda) son:

**Línea de evidencia 1.** Basada en la toxicidad de los compuestos.

**Línea de evidencia 2.** Donde se establece si bajo las condiciones locales los compuestos se encuentran biodisponibles pudiendo ser incorporados por los organismos, así como su persistencia en el medio. También se debe considerar aquí la capacidad de bioacumulación en los organismos, aunque esta pueda no ser su modo de acción preferencial, ya que algunos compuestos o elementos pueden ser rápidamente metabolizados y excretados.

**Línea de evidencia 3.** Finalmente, aquí corresponde indagar sobre su impacto ecológico, por ejemplo, sobre la estructura de las comunidades.

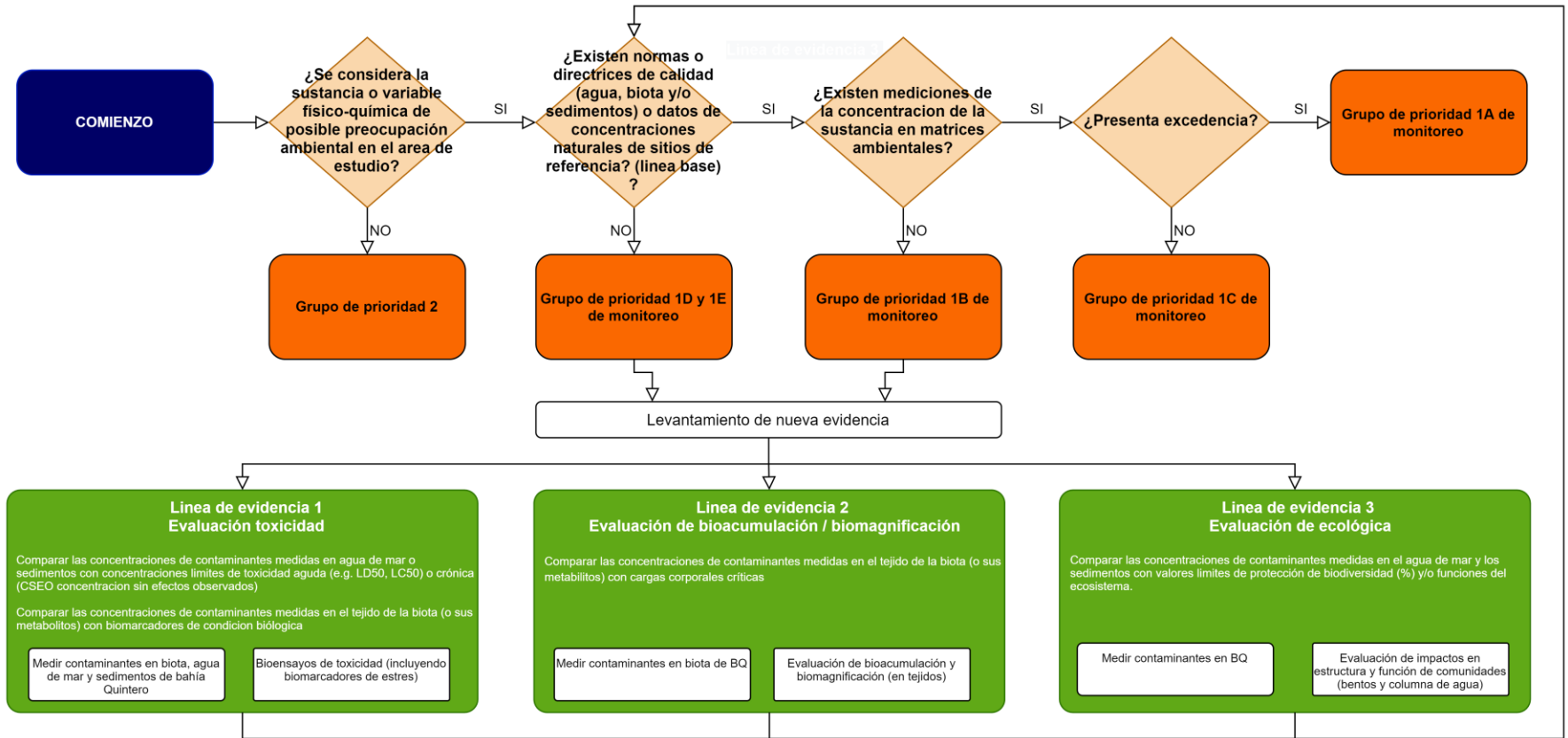


Figura 7 Diagrama de flujo para la priorización de contaminantes a monitorear en la Bahía de Quintero basada a múltiples líneas de evidencia.



## 6.2.2 Priorización de sustancias contaminantes y variables fisicoquímicas a monitorear en la Bahía de Quintero

### 6.2.2.1 Levantamiento y limpieza de base de datos de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero

Con la finalidad de priorizar elementos y compuestos a integrar en la futura Red de Monitoreo y Caracterización de Contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero se analizó la base de datos de monitoreo ambiental de Bahía de Quintero compilada por CEA (2020)<sup>7</sup> la cual fue actualizada con datos (2013-2020) provistos por el Ministerio de Medio Ambiente. En la Tabla 2 a continuación se describen aspectos generales de la base de datos analizada.

Tabla 2. Resumen de datos de calidad de agua de mar, sedimentos, biodiversidad, metales en biota y RILes a la Bahía de Quintero utilizados en este estudio. Fuente: CEA (2020), MMA.

	Agua de mar	Sedimentos	Metales en biota	RILes
<b>Observaciones</b>	104440	15328	693	41906
<b>Parámetros</b>	127	78	25 <sup>(a)</sup>	42
<b>Fuente de datos</b>	SEA (DIA-EIA), PVA, POAL	SEA (DIA-EIA), PVA, POAL	POAL, PVA, CEA 2013, Otros informes	SNIFA (D.S. 90) Autocontrol PTAS 2019
<b>Periodo con datos disponibles</b>	1993-2019	1994-2019	1994-2019	2017-2020
<b>(a) metales en 8 taxas: almeja (no especifica especie), Pulga de mar (<i>Emerita análoga</i>), Erizo negro (<i>Tetrapygus niger</i>), Lapa (<i>Fissurella sp.</i>), Jaiba marmola (<i>Cancer edwardsii</i>), Loco (<i>Concholepas concholepas</i>), chorito maico (<i>Perumytilus purpuratus</i>).</b>				

El pretratamiento de los datos realizado por (CEA 2020) incluyó un proceso de sustitución de los valores que se encuentran por debajo de los límites de detección con un valor medio del límite de detección, indicado para la variable en análisis. En adición a las correcciones realizadas por CEA (2020) se corrigieron unidades de concentración de acuerdo con la Tabla 3, esto con la finalidad que todos los datos disponibles para cada contaminante estuvieran en la misma unidad y en concordancia con las unidades utilizadas en la base de datos de normas y directrices internacionales. Resultados del proceso de conciliación de unidades se entregan en la tabla 2 del Anexo I de este informe.

Tabla 3 Factores de corrección de unidades de concentración.

Unidad original	Unidad final	Factor de conversión
$\mu\text{g L}^{-1}$	$\text{mg L}^{-1}$	0.001
Partes por Millón (PPM)	$\text{mg L}^{-1}$	1 (1 PPM equivale a $1 \text{ mg L}^{-1}$ asumiendo una densidad de soluto de $1000 \text{ g L}^{-1}$ )
Partes por Billón (PPB)	$\text{mg Kg}^{-1}$	0.001
$\text{g L}^{-1}$	$\text{mg L}^{-1}$	1000
$\text{S m}^{-1}$	$\text{mS cm}^{-1}$	10
$\mu\text{S cm}^{-1}$	$\text{mS cm}^{-1}$	0.001
g	Kg	0.001
$\mu\text{g Kg}^{-1}$	$\text{mg Kg}^{-1}$	0.001

Así mismo, se corrigieron nombres de unidades donde fue necesario (P. ej. "mg/L " a "mg/L" y "psu" a "PSU") y nombres de parámetros (sustancias y variables fisicoquímica) que presentaban faltas ortográficas y nombres homólogos. Finalmente se

<sup>7</sup> Nombre del archivo: 2020\_04\_CNM031\_BDD\_V2\_MERGE.xlsx

corrigieron los nombres de metales pesados asumiendo que se refieren a concentraciones totales cuando se indicaba solo el nombre del elemento (P. ej. menciones a “arsénico” fueron reemplazadas por “arsénico total”).

Importante advertir que para el caso de nutrientes (amonio, nitrato, nitrito, fosforo) la base de datos reporta valores de concentración respecto al peso molecular del compuesto y/o del elemento (nitrógeno-amonio o  $N-NH_4^+$ , nitrógeno-nitrato o  $N-NO_x$ , fosforo-fosfato o  $P-PO_4$ ) lo cual puede inducir a errores al comparar con valores de referencia de directrices. Asimismo, se reportan concentraciones de fosfato ( $PO_4^{3-}$ ) y ortofosfatos (a menudo también abreviado como "fosfato") que agrupa tres iones libres,  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$  y  $PO_4^{3-}$ , los cuales varían en concentración dependiendo del pH. A pH 8.1, el agua de mar contiene 0.5%  $H_2PO_4^-$ , 79%  $HPO_4^{2-}$  y 20%  $PO_4^{3-}$ . A un pH más alto, el equilibrio se desplaza hacia más  $PO_4^{3-}$  y menos  $HPO_4^{2-}$ . En este contexto es difícil a partir de la información disponible saber que especies se están midiendo con los diferentes métodos analíticos reportados, lo cual puede inducir a errores en la interpretación de los datos disponibles.

### 6.2.2.2 Levantamiento de base de datos de normas nacionales y directrices internacionales de contaminantes

Como segundo insumo para la priorización de contaminantes se levantó una base de datos con más de 900 criterios de referencia internacionales para las matrices de agua de mar, sedimentos y biota marina. Para el levantamiento de esta base de datos se utilizó como insumo inicial la base de datos de criterios de referencia desarrollada por CEA (2020).

Múltiples directrices nacionales de calidad de agua (P. ej. Estados Unidos, Australia y Nueva Zelanda) existen como guía para el desarrollo de normativas en jurisdicciones estatales o provinciales. Por su naturaleza, estas directrices son genéricas y no específicas a un sitio (Hübner et al. 2009). De manera preliminar y provisional, cuando la concentración química de un contaminante excede los criterios entonces se considera la muestra contaminada, desencadenando acciones regulatorias. La relevancia de estas directrices y los valores límites establecidos dependerá de los objetivos de conservación específicos que se busca lograr en un sitio particular para lo cual las directrices nacionales deberán ser ajustadas a las condiciones locales, previa evaluación integrada.

Las normas y directrices consideradas en este estudio se especifican en Tabla 4 a continuación.

**Tabla 4. Normas y directrices nacionales e internacionales de contaminantes en el medio marino y aire analizadas en el presente estudio.**

País	Norma o directriz	Abreviación	Referencia
Australia	Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality (NWRC & WQPSC, 2018)	AU/NZ-NWRC-2018	<a href="https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/about">https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/about</a> <a href="https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines">https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines</a>
Australia	South Australia environment protection (water quality) policy 2003	AU-SA-EPP-2003	(ver CEA (2020))
Australia	Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, 2000 (ANZECC & ARMCANZ, 2000)	AU/NZ-ANZECC-2000	(ver CEA (2020)) <a href="https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/resources/previous-guidelines/anzecc-armcanz-2000">https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/resources/previous-guidelines/anzecc-armcanz-2000</a> <a href="https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/water-quality-toxicants/search">https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/water-quality-toxicants/search</a>
Brasil	Brasil CONAMA resolución 357/2005	BR-CONAMA-2005	(ver CEA (2020))
Canada	British Columbia Water Quality Guidelines 2019	CA-BC-WQG-2019	(ver CEA (2020)) <a href="https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/waterquality/water-quality-guidelines/approved-wqgs/wqg_summary_aquaticlife_wildlife_agri.pdf">https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/waterquality/water-quality-guidelines/approved-wqgs/wqg_summary_aquaticlife_wildlife_agri.pdf</a>

Canada	Canada CCME water quality guidelines for the protection of aquatic life (2001)	CA-CCME-2001	<a href="https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/waterquality/water-quality-guidelines/bc_env_working_water_quality_guidelines.pdf">https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/water/waterquality/water-quality-guidelines/bc_env_working_water_quality_guidelines.pdf</a>
Canada	Canadian Environmental Quality Guidelines (2003)	CA-CEQG-2003	<a href="http://ceqg-rcqe.ccme.ca/en/index.html#void">http://ceqg-rcqe.ccme.ca/en/index.html#void</a>
Canada	Canadian environmental quality guidelines (CCME 1999).	CA-CEQG-1999	<a href="https://ccme.ca/en/current-activities/canadian-environmental-quality-guidelines">https://ccme.ca/en/current-activities/canadian-environmental-quality-guidelines</a>
Canada	Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (2002)	CA-SQGPAL-2002	<a href="https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/site-remediation/docs/policies-and-standards/sed_criteria_tech_app.pdf">https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/site-remediation/docs/policies-and-standards/sed_criteria_tech_app.pdf</a>
Canada	Criteria for managing contaminated sediment in British Columbia (1999)	CA-BC-CMCS-1999	
Canada	Guidelines for the protection and management of aquatic sediments in Ontario (Ontario 1993)	CA-GPMAS-1993	<a href="https://projects.itrcweb.org/contseds-bioavailability/References/guide_aquatic_sed93.pdf">https://projects.itrcweb.org/contseds-bioavailability/References/guide_aquatic_sed93.pdf</a>
Chile	D.S. 104/2018. Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	D.S. 104/2018	<a href="https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1131641">https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1131641</a>
Chile	D.S. 112/2002. Establece norma primaria de calidad de aire para ozono (O <sub>3</sub> )	D.S. 112/2002	<a href="https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=208198">https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=208198</a>
Chile	D.S. 114/2002. Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	D.S. 114/2002	<a href="https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=208185">https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=208185</a>
Chile	D.S. 115/2002. Establece norma primaria de calidad de aire para monóxido de carbono (CO)	D.S. 115/2002	<a href="https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=202437">https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=202437</a>
Chile	D.S. 136/2000. Establece norma de calidad primaria para plomo en el aire	D.S. 136/2000	<a href="https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=179878">https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=179878</a>
Chile	D.S. 144/2008. Establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo	D.S. 144/2008	<a href="https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1001042">https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1001042</a>
Chile	D.S. 46/2002. Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas	D.S. 46/2002	<a href="https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=206883">https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=206883</a>
Chile	D.S. 609/1998. Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado	D.S. 609/1998	<a href="https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=121486">https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=121486</a>
Chile	D.S. 90/2001. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales	D.S. 90/2001	<a href="https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=182637">https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=182637</a>
Estados Unidos	Consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems (CBSQG 2000a)	US-CBSQG-2000	<a href="https://dnr.wi.gov/files/pdf/pubs/rr/R088.pdf">https://dnr.wi.gov/files/pdf/pubs/rr/R088.pdf</a>
Estados Unidos	Maryland's surface water quality standards (2020)	US-MD-WQS-2020	<a href="https://mde.maryland.gov/programs/water/tmdl/waterqualitystandards/pages/index.aspx">https://mde.maryland.gov/programs/water/tmdl/waterqualitystandards/pages/index.aspx</a>
Estados Unidos	Preliminary Ecological Risk Assessment for the Contaminated Sediments Associated with the Fraser Shipyard Site, Superior, Wisconsin (Janisch 1994).	US-PERACS-1994	
Estados Unidos	Sediment Management Standards, Chapter 173-204 WAC, (Washington 1991).	US-SMS-WAC-1991	<a href="https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-12/documents/wa-chapter173-204.pdf">https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-12/documents/wa-chapter173-204.pdf</a>

Estados Unidos	Sediment Quality Criteria for Pentachlorophenol (1990)	US-SQCP-1990	<a href="https://dnr.wi.gov/files/pdf/pubs/rr/R088.pdf">https://dnr.wi.gov/files/pdf/pubs/rr/R088.pdf</a>
Estados Unidos	Sediment Quality Guidelines (NOAA 1999)	US-SQG-NOAA-1999	<a href="https://dnr.wi.gov/files/PDF/pubs/rr/RR088.pdf">https://dnr.wi.gov/files/PDF/pubs/rr/RR088.pdf</a> DOI: 10.1039/b818593j
Estados Unidos	US EPA national recommended water quality criteria (2004)	US-EPA-NRWQC-2004	DOI: 10.1039/b818593j <a href="https://www.epa.gov/quality/national-recommended-water-quality-criteria-2004">https://www.epa.gov/quality/national-recommended-water-quality-criteria-2004</a> <a href="https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table">https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table</a>
Estados Unidos	USA-California ocean plan 2019	US-CA-OP-2019	<a href="https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/ocean/docs/oceanplan2019.pdf">https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/ocean/docs/oceanplan2019.pdf</a>
Estados Unidos	NOAA Screening Quick Reference Tables, 2008	US-SQUIRT-2008	<a href="http://response.restoration.noaa.gov/cpr/sediment/squirt/squirt.html">http://response.restoration.noaa.gov/cpr/sediment/squirt/squirt.html</a>
Japon	Japan Environmental Quality Standards for conservation of the living environment (2003)	JP-EQS-2003	(ver CEA (2020)) <a href="https://www.env.go.jp/en/water/wq/wp.pdf">https://www.env.go.jp/en/water/wq/wp.pdf</a>
Noruega	Guidelines for classification of environmental quality in fjords and coastal areas (Norway, 2007) Revision of classification of metals and organic contaminants in water and sediment	NO-GCEQ-FCA-2007	<a href="https://www.environmentagency.no/">https://www.environmentagency.no/</a> <a href="https://doi.org/10.1007/s11368-009-0173-y">https://doi.org/10.1007/s11368-009-0173-y</a>

Se incluye en la Tabla 4 parte de las directrices internacionales de referencia de calidad de agua vigentes de los países señalados en el Artículo 11 del D.S. 40 (2013), específicamente de Australia, República Federativa del Brasil, Canadá, Estados Unidos de América, Nueva Zelanda, y Japón, a la cual se agrega directrices ambientales de Noruega, país no incluido en el artículo antes señalado.

En general se distinguen directrices de tres tipos: 1) directrices basadas en efectos (P. ej. toxicidad aguda y crónica, disminución de diversidad u otros indicadores ecológicos), 2) directrices basadas en equilibrio químico, 3) directrices basadas en concentraciones naturales o de línea base.

Para el correcto uso e interpretación de estas directrices es importante considerar los siguientes aspectos:

- Idealmente las directrices debieran aplicarse solo de manera de “preliminar” y en el marco del empleo de líneas de evidencia múltiple, vinculadas a un proceso iterativo de monitoreo o plan de vigilancia, donde los valores límites son utilizados de manera provisional, seguida de una evaluación escalonada de las diferentes líneas de evidencia en la medida que las directrices sean sobrepasados o no, sintetizando o combinando los resultados obtenidos en las distintas líneas mediante un enfoque basado en “peso de la evidencia” (weight of evidence).
- Las directrices basadas en efectos tóxicos (empíricas), pueden ser definidas a partir de ensayos específicos de toxicidad aguda o crítica en especies pelágicas y bentónicas. Siguiendo las prácticas generalmente aceptadas entre 1980 y 2000 estos valores han sido establecidos en base a las características químicas de los compuestos, midiendo su toxicidad mediante bioensayos de laboratorio exponiendo organismos de diferentes especies al elemento o compuesto durante períodos cortos (<96 horas), experimentos que estiman valores de “toxicidad aguda”<sup>8</sup>. La metodología estándar emplea la distribución de la sensibilidad de las especies (SSD) construyendo una distribución estadística con datos de toxicidad de a lo menos cinco especies que pertenezcan a lo menos a cuatro taxones diferentes (Stephan et al. 1985, Warne 2000). Actualmente se recomienda utilizar datos de a lo menos 8 especies e idealmente más de 15 (Warne et al. 2015). Estas directrices son específicas a cada elemento o compuesto químico y

<sup>8</sup> La exposición en bioensayos de laboratorio o terreno por períodos más largos genera en cambio valores de “toxicidad crónica”.

no establecen causalidad cuando ocurren mezclas químicas, es decir no diferencian los efectos de una sola sustancia química de una combinación de ellos.

- Los valores especificados en las directrices pueden variar en varios órdenes de magnitud dependiendo del método o enfoque de derivación y objetivos de protección (ejemplo: protección de la vida marina versus salud humana, usos industriales versus usos recreacionales, etc.).
- Las directrices tienen tasas variables de falsos positivos y falsos negativos en sus predicciones de si las muestras (agua de mar o sedimentos) son tóxicas o no (Burton Jr 2002). Un falso positivo ocurre cuando una muestra de agua o sedimento excede una directriz indicando que es tóxico, cuando en realidad no lo es. Un falso negativo es lo contrario; la concentración está por debajo de la directriz, lo que sugiere que la muestra no es tóxica, pero en realidad si lo es para la fauna marina.
- Ante la diversidad de compuestos y con el fin de simplificar y reducir costos, se han desarrollado métodos integrados que evalúan mezclas, por ejemplo:
  - Swartz et al. (1994) desarrolló pautas de consenso para la suma de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), ya que casi siempre estos se presentan como mezclas.
  - MacDonald, Dipinto, et al. (2000, 2000) elaboraron directrices de “consenso” que integran múltiples directrices para los bifenilos policlorados totales (PCB), metales, PAH, PCB y pesticidas.
- Sin embargo, cuando las sustancias químicas potencialmente tóxicas se presentan como una mezcla de contaminantes, las concentraciones que inducen toxicidad pueden ser diferentes de las que se producen cuando el contaminante se encuentra solo.
- Las directrices empíricas consideran la concentración total del contaminante en el medio, que en muchos casos no se encuentra totalmente biodisponible, causando la sobreestimación de toxicidad. En el caso de los sedimentos múltiples factores modifican la biodisponibilidad incluyendo la granulometría de los sedimentos, el contenido y tipo de materia orgánica, el pH, la resuspensión y deposición de sedimentos, ingestión y bioturbación, entre otros (Burton Jr 2002). En el caso del agua de mar la biodisponibilidad de los contaminantes está influenciada por factores modificadores tales como el pH y el contenido de oxígeno.
- Las directrices basadas en equilibrios químicos no consideran la incorporación a los organismos por ingesta u otras rutas de exposición y no predicen correctamente los efectos bioacumulativos que pueden afectar los niveles tróficos más altos. Por lo tanto, es importante utilizarlas solo en el marco de múltiples líneas de evidencia (biodisponibilidad, bioacumulación, ecotoxicidad, impacto ecológico).

Tabla 5. Directrices internacionales y regulación de concentración de metales pesados en fracciones disueltas o totales.

Directriz	Disueltos	Totales
AU/NZ-ANZECC-2000	GV	
AU/NZ-NWRC-2018	GV	
AU-SA-EPP-2003		GV
BR-CONAMA-2005	GV	GV
CA-BC-WQG-2019		GV
CA-CCME-2001		GV
JP-EQS-2003		GV (solo Zn)
US-CA-OP-2019		GV
US-EPA-NRWQC-2004	CF	GV
US-MD-WQS-2020	CF	GV
US-SQUIRT-2008	GV	CF
NO-GCEQ-FCA-2007		GV

GV: Posee directriz

CF: Factor de conversión

### 6.2.2.3 Análisis de datos de monitoreo de contaminantes en Bahía de Quintero

Una vez corregido nombres y unidades, se estimó:

1. la presencia de datos incompletos en la base datos (los cuales fueron eliminados de la base de datos),
2. estadísticas de resumen para cada elemento, compuesto y variable ambiental monitoreada en Bahía de Quintero (número de observaciones, promedio, varianza y desviación estándar). Estas se reportan en el Anexo C.1 de este informe.
3. la presencia de valores atípicos definidos como aquellos valores que se encuentran 1,5 veces fuera del rango intercuartil (IQR) por encima del cuartil superior ( $Q1 + 1,5 * IQR$ ) y por debajo del cuartil inferior ( $Q3 - 1,5 * IQR$ ). La Figura 8, a continuación, ejemplifica el cálculo de valores atípicos los cuales se ubican fuera de los bigotes del diagrama de caja. Los valores atípicos no se consideran necesariamente como erróneos a menos que se encuentren fuera del rango absoluto observable de la variable o de valores fuera de los límites físicos o químicos para la variable (P. ej. valores de pH superiores a 14 o inferiores a 1, solo observados en concentraciones extremadamente altas de bases y ácidos, respectivamente).

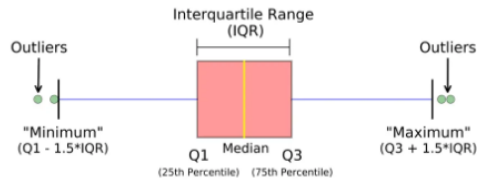


Figura 8 Representación de valores atípicos (outliers) en diagrama de caja.

4. para cada parámetro monitoreado en la Bahía de Quintero se graficó la función de distribución empírica (acumulada) o FDA, la cual organiza los datos de menor a mayor con la finalidad de caracterizar la distribución de los datos (P. ej. nivel de simetría y sesgos de la distribución, existencia de distribución bimodal) y permitir la estimación de la probabilidad acumulada para un valor  $x$  dado, o la probabilidad de que un valor sea menor o igual a cierto valor, mayor que cierto valor o entre dos valores. Al gráfico FDA de cada parámetro monitoreado en Bahía de Quintero se agregó los valores límites o umbrales de las normas y directrices nacionales e internacionales asociadas. En la Figura 9 a continuación se muestra un ejemplo de una FDA basada en concentraciones de manganeso medidas en el arroyo Magela, afluente del río East Alligator en el norte de Australia (Van Dam et al. 2014), el cual se encuentra expuesto a descargas de una mina de Uranio. La figura muestra que cuando el caudal del arroyo es menor a  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , las frecuencias de excedencia del primer nivel de activación de la directriz de calidad de agua ( $26 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ) se sobrepasan múltiples veces. Por el contrario, cuando el caudal del arroyo es mayor a  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , no se observan excedencias a la directriz mencionada. Este ejemplo destaca la importancia de la recolección de datos para comprender las fuentes de variación y escalas de variabilidad temporal de las concentraciones de contaminantes, en este caso específico la variación en la capacidad de dilución del cuerpo de agua, y su relación con las directrices de calidad de agua establecidas.

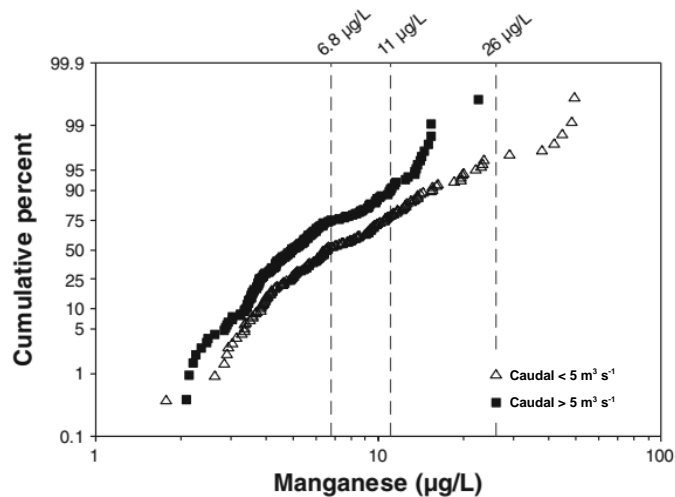


Figura 9 Ejemplo de función de distribución empírica o frecuencia acumulada de mediciones de manganeso asociadas a descargas de una mina de Uranio en el arroyo Magela, afluente del East Alligator River en el norte de Australia (Van Dam et al. 2014). Los símbolos cuadrados representan mediciones de manganeso cuando el caudal del arroyo es mayor a  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , y con triángulos cuando el caudal del arroyo es menor a  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Finalmente, para cada parámetro (elemento, compuesto o variable ambiental) monitoreado en Bahía de Quintero se llevó a cabo un análisis de excedencia en términos de:

- 1) Porcentaje de distintos parámetros (elemento, compuesto o variable ambiental) que presentan excedencias en relación con la población total de parámetros (alcance de excedencia) monitoreados en Bahía de Quintero,
- 2) Porcentaje de superaciones de los estándares (normas y directrices nacionales e internacionales) en relación con la población total de observaciones disponibles para cada parámetro monitoreado (frecuencia de excedencia, Ecuación 1 a continuación), y
- 3) Dependiendo de la calidad de los datos se estimará también la magnitud de las desviaciones sobre las directrices o estándares de calidad (magnitud de excedencia, Ecuación 2 a continuación).

La frecuencia de excedencia se calculó como:

$$\text{Frecuencia de excedencia (\%)} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{obs,i} > V_{drt,i,j}}{n} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde  $V_{obs,i}$  es el valor observado del elemento, compuesto o variable  $i$ ,  $V_{drt,i,j}$  es el umbral o concentración límite del elemento, compuesto o variable  $i$  según las normas o directriz  $j$ . Finalmente,  $n$  es el número de observaciones del elemento, compuesto o variable  $i$  en la base de datos. Todas las excedencias negativas se convierten en 0. La magnitud de excedencia se calculó como:

$$\text{Magnitud de excedencia (\%)} = \frac{V_{obs,i} - V_{drt,i,j}}{V_{drt,i,j}} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Todos los análisis fueron realizados en el software RStudio y se utilizaron los siguientes paquetes CRAN (Comprehensive R Archive Network): plotly, readxl, data.table, tidyverse, stringi, data.table, ggplot2, hrbrthemes, RColorBrewer, gridExtra, ggpmisc, egg, ggpubr, psych, scales, xlsx, plyr. Los códigos desarrollados y utilizados para el análisis de datos se adjuntan en carpeta separada junto a este informe.

### 6.2.3 Talleres y reuniones

Las actividades asociadas a este objetivo se señalan a continuación:

- Taller técnico N° 2 de de definición de criterios de selección y priorización de parámetros a monitorear en la Bahía de Quintero

## 6.3 Objetivo 3

### 6.3.1 Revisión internacional de métodos analíticos y límites de detección por parámetro priorizado para aguas crudas y RILES

A partir de los resultados del levantamiento de información sobre capacidades analíticas de laboratorios nacionales (públicos y privados) reportados en las secciones 6.1.1.2 de Métodos y 0 de Resultados se llevó a cabo un análisis crítico de la información considerando para esto los métodos utilizados a nivel internacional y opinión experta de especialistas de la Organización de Investigación Científica e Industrial del Commonwealth (CSIRO) de Australia quienes se listan a continuación:

- Dr Stuart Simpson, Senior Principal Research Scientist in CSIRO Land and Water, and the Water Quality Management group leader within the Industry Environments (IE) program.
- Dr. Andy Revil, specialist in organic biogeochemistry primarily focusing on understanding the sources and fate of carbon and nitrogen in estuaries using a variety of lipid marker and stable isotope techniques.

Para la revisión internacional de métodos analíticos se consideró como fuente de información la base de datos del National Environmental Methods Index (NEMI)<sup>9</sup>, además de métodos actualmente en Australia por la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), junto con otras bases de datos especializadas en métodos analíticos asociados a matrices marinas (i.e. <https://www.oceanbestpractices.org/>).

Como resultado de este análisis se clasificaron los métodos identificados (nacionales e internacionales) utilizando las siguientes categorías:

- Sí, es probable que el método logre un límite de detección adecuado
- No, es probable que el método no logre un límite de detección adecuado
- La información disponible es insuficiente para evaluar el método analítico

### 6.3.2 Revisión a nivel nacional de laboratorios que realicen análisis con las metodologías y límites de detección sugeridos a partir de Actividad 6.3.1

Considerando los resultados de la actividad 6.3.1 se identificó que laboratorios nacionales realizan análisis con las metodologías y límites de detección sugeridos en el proyecto. Los resultados se informan en la sección 7.3.2 (página 230) de este informe.

---

<sup>9</sup> National Environmental Methods Index (NEMI): <https://www.nemi.gov/>



### **6.3.3 Propuesta de métodos analíticos y límites de detección para medición de cada parámetro priorizado**

Para la elaboración de la propuesta de métodos analíticos y límites de detección de contaminantes de posible preocupación ambiental en la bahía de Quintero se utilizó como primer insumo los resultados del levantamiento de información sobre límites de detección declarados ante ETFA y de la encuesta realizada en el marco de este proyecto a laboratorios de análisis nacionales. Se considero asimismo los límites de cuantificación y/o detección sugeridos y/o solicitados por organismos públicos, específicamente DIRECTEMAR (P.O.A.L) y ISPCh. Para la elaboración de la propuesta de métodos analíticos y límites de detección se consideró también, los límites regulatorios establecidos en el país, las concentraciones de contaminantes observadas históricamente en la Bahía de Quintero (detalle en secciones 6.2.2.1 de Métodos y 7.2.1 de Resultados), y las directrices internacionales de contaminantes (detalle en secciones 6.2.2.2 de Métodos y 7.2.2 de Resultados).

En adición al levantamiento y análisis de datos antes mencionado se llevó a cabo una revisión crítica de estudios previos que han abordado esta materia, donde destaca el estudio de HOLON SPA. (2019). Los resultados de esta revisión se informan en la sección 7.3.3.1 de Resultados (página 233). A partir de toda esta información y el conocimiento experto del equipo de trabajo del proyecto se generó una propuesta de métodos analíticos y límites de detección para los contaminantes de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero. Asimismo, y considerando la importancia de los mecanismos de aseguramiento para el logro de los límites de detección, así como la precisión y exactitud de los análisis se entrega una serie de sugerencias a considerar para el aseguramiento de la calidad de los datos colectados en la futura Red de Monitoreo y Caracterización de Contaminantes de la Bahía de Quintero. Estos aspectos son muy importantes de considerar ya que implica que más de un método puede ser adecuado (en cuanto a costos y capacidades de detección) para el monitoreo de contaminantes en el área de interés. Estas consideraciones se resumen en la sección 7.3.3.2 de los Resultados (página 235).

### **6.3.4 Diseño del programa de monitoreo para todos los elementos y compuestos emitidos por las fuentes presentes en la Bahía de Quintero que puedan causar efectos en la salud humana y en la salud de los ecosistemas acuáticos**

#### **6.3.4.1 Requerimientos específicos de acuerdo con el contrato**

De acuerdo con el contrato firmado entre CSIRO Chile y el Ministerio del Ambiente (MMA) el programa debe considerar al menos los siguientes aspectos:

- 1) Definición de zonas de referencia (no puntos específicos) sin intervenciones de fuentes de emisión,
- 2) Definición de zonas (no puntos específicos) de influencia sinérgica de las fuentes de emisión, y
- 3) Definición de zonas (no puntos específicos) caracterizadas por la influencia independiente de fuentes puntuales individuales y por los aportes de emisiones difusas (material particulado sedimentario, salida del estuario del Campiche y otros).

El programa de monitoreo no considerará el monitoreo secundario o auxiliar de eventos específicos de contaminación asociados con accidentes (por ejemplo, derrames de líquidos y sólidos como aceites, combustibles, carbón, cenizas, concentrados minerales, etc.) o eventos naturales extremos (como lluvias torrenciales) que pueden aumentar la erosión y el lavado de superficies impermeables cuya responsabilidad recae en el Servicio de Salud Pública (ISP) a través del área de Ambiente<sup>10</sup> y de Química y Toxicología Ambiental<sup>11</sup>.

Además, el contrato requiere considerar:

---

<sup>10</sup> <https://www.ispch.cl/ambientes-y-alimentos/subdepartamento-del-ambiente/>

<sup>11</sup> <https://www.ispch.cl/ambientes-y-alimentos/subdepartamento-del-ambiente/quimica-y-toxicologia-ambiental/>

- 1) La lista de contaminantes y parámetros ambientales de posible preocupación en la Bahía de Quintero (Tabla 54 de la sección 7.1.4, página 155).
- 2) Matrices ambientales a monitorear, las cuales incluyen como mínimo: agua de mar, sedimentos, biota marina, aire (con influencia en la calidad del agua de mar en Bahía Quintero) y residuos industriales (ductos).
- 3) Métodos analíticos a utilizar, tanto para residuos líquidos industriales como matrices ambientales.
- 4) Límites de detección
- 5) Ubicación ideal (específica) de los puntos de muestreo de la calidad ambiental
- 6) Ubicación ideal (específica) de los puntos de muestreo de emisiones.
- 7) Ubicación ideal (específica) de las estaciones de referencia y aquellas que monitorearán el efecto de las diferentes emisiones (independientes).
- 8) Frecuencia ideal de seguimiento, otras a definir y proponer el proveedor.

El programa debe considerar una versión reducida de la red de monitoreo, que incluya los contaminantes más relevantes según lo acordado con la contraparte técnica. Por contrato, el diseño del programa de monitoreo también debe tomar en consideración los resultados de los siguientes estudios previos realizados en la Bahía de Quintero:

- 1) CEA (2013) Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, Chile, 380 pp.
- 2) CEA (2020) Sistematización de información de calidad de agua, sedimentos, objetos de valoración ambiental y fuentes de emisión, como insumos para la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad de Aguas en la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-34-LE19.
- 3) Con Potencial Consultores (2020) Desarrollo de un modelo de dispersión de contaminantes en la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-21-LE19.
- 4) HOLON SPA. (2019) Análisis crítico de informes de Seguimiento de Variables Ambientales y Planes de Vigilancia Ambiental de establecimientos que descargan RILes a la bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-39-LE19.

Además, se han considerado otros informes y publicaciones de proyectos relevantes que se enumeran a continuación:

- 1) Encina F, Oberti C, Viel M, Castillo C, Guerra F (2014) Levantamiento de información sobre sedimentos para llevar a cabo un proceso de evaluación de riesgo ecológico en la bahía de Quintero, Región de Valparaíso.
- 2) Universidad Católica de Temuco (2015) Aplicación de los lineamientos metodológicos en la evaluación de riesgo ecológico en la bahía de Quintero, región de Valparaíso. Informe Final.
- 3) Instituto de Fomento Pesquero (2016) Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V Región. Informe Final.
- 4) DIRINMAR (2019) Informe de diagnóstico ambiental. Análisis data POAL bahía de Quintero (2005-2018) y unidades fiscalizables controladas por la autoridad marítima.
- 5) DIRINMAR (2007) Ordenamiento de la bahía de Quintero. Presentación.
- 6) PGS Chile (2015) Muestreo de suelos para las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso. Informe final.
- 7) Universidad de Valparaíso (2005) Informe Estudio Bahía Quintero. Proyecto GNL ENAP refinerías S.A. Informes Científicos y Técnicos N° 57/2005.
- 8) Poblete N, Macari O, Rodríguez C (2015) Enriquecimiento y distribución espacial de arsénico en los suelos de las comunas de Quintero y Puchuncaví. In: XIV Congreso Geológico Chileno. p 288–291
- 9) Universidad de Concepción (2021) Evaluación temporal y espacial del contenido de metales pesados en sedimentos de la bahía de quintero-puchuncaví. Informe Final. Licitación ID: 608897-85-LE20. Ministerio de Medio Ambiente.

Otras publicaciones científicas relevantes consideradas son:

- 1) Gregori I De, Pinochet H, Arancibia M, Vidal A (1996) Grain size effect on trace metals distribution in sediments from two coastal areas of Chile. *Bull Environ Contam Toxicol* 57:163–70
- 2) Parra S, Bravo MA, Quiroz W, Querol X, Paipa C (2015) Distribution and pollution assessment of trace elements in marine sediments in the Quintero Bay (Chile). *Marine pollution bulletin* 99:256–263
- 3) González I, Neaman A, Rubio P, Cortés A (2014) Spatial distribution of copper and pH in soils affected by intensive industrial activities in Puchuncaví and Quintero, central Chile. *Journal of soil science and plant nutrition* 14:943–953
- 4) Piraino E, Owens E, Rios J, Graham A (2017) Oil behaviour and the response to a sunken oil spill of slurry in Quintero Bay, Chile. In: *International Oil Spill Conference Proceedings*.p 124–133
- 5) Oyarzo-Miranda C, Latorre N, Meynard A, Rivas J, Bulboa C, Contreras-Porcía L (2020) Coastal pollution from the industrial park Quintero bay of central Chile: Effects on abundance, morphology, and development of the kelp *Lessonia spicata* (Phaeophyceae). *PLoS One* 15:e0240581
- 6) Cañete JI, Leighton GL, Soto EH (2000) Proposición de un índice de vigilancia ambiental basado en la variabilidad temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos bentónicos de bahía Quintero, Chile. *Revista de biología marina y oceanografía* 35:185–194
- 7) Chiang J, Cornejo P, Lopez J, Romano S, Pascual J, Cea M (1985) Determinación de cadmio, cobre, manganeso, plomo, hierro, cinc y arsénico en sedimentos atmosféricos, en la zona de Quintero, V Region, Valparaíso, Chile. *Bol Soc Chil Quim* 30: 139-158.
- 8) Pastene M, Quiroga E, Hurtado CF (2019) Stable isotopes and geochemical indicators in marine sediments as proxies for anthropogenic impact: A baseline for coastal environments of central Chile (33 S). *Marine pollution bulletin* 142:76–84

Asimismo, se solicita por contrato elaborar en estrecha consulta con la contraparte técnica, un presupuesto detallado para la realización de:

- Cada campaña de muestreo y análisis de las muestras considerada en la red de monitoreo propuesta.
- Cada campaña de muestreo y análisis de las muestras considerando ejecutar una versión acotada de la red de monitoreo propuesta, que incluya los parámetros más relevantes según lo acordado con la contraparte técnica.

#### **6.3.4.2 Revisión crítica de programas de diseño propuestos para la Bahía de Quintero**

Se realizó una revisión crítica de los programas de muestreo propuestos para la Bahía de Quintero con la finalidad de rescatar elementos claves a incorporar en la Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero. Específicamente se abordó los siguientes informes de proyectos anteriores:

- CEA (2020) Sistematización de información de calidad de agua, sedimentos, objetos de valoración y fuentes de emisión, como insumos para la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad de Aguas en la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-34-LE19.
- Con Potencial Consultores (2020) Desarrollo de un modelo de dispersión de contaminantes en la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-21-LE19.

Debido a su pertinencia, también se consideró en esta revisión los informes de resultados de los siguientes proyectos:

- DIRINMAR (2019) Informe de diagnóstico ambiental. Análisis de datos POAL bahía de Quintero (2005-2018) y unidades fiscales controladas por la autoridad marítima.
- Universidad de Concepción (2021) Evaluación temporal y espacial del contenido de metales pesados en sedimentos de la bahía de Quintero-Puchuncaví. Informe Final. Licitación ID: 608897-85-LE20. Ministerio de Medio Ambiente

Los resultados de este análisis, incluyendo aspectos claves a incorporar en el diseño de la Red de Monitoreo de Quintero se resumen en la sección 7.3.4.1.5 de Resultados (página 245).

### **6.3.4.3 Principios para el diseño de la red de Monitoreo de la Bahía de Quintero**

La propuesta de programa de monitoreo se divide en tres partes:

- 1) Una propuesta de monitoreo de fuentes contaminantes
- 2) Una propuesta de monitoreo del cuerpo de agua receptor
- 3) Una propuesta de monitoreo de sitios de referencia

#### **6.3.4.3.1 La importancia y necesidad de establecer una línea base de contaminantes en la Bahía de Quintero**

Es probable que la distribución de contaminantes en la Bahía de Quintero sea amplia, heterogénea y no lineal; en consecuencia, se requiere establecer una línea de base ambiental que cuantifique la extensión espacial y temporal de la contaminación en la Bahía de Quintero y sus alrededores inmediatos.

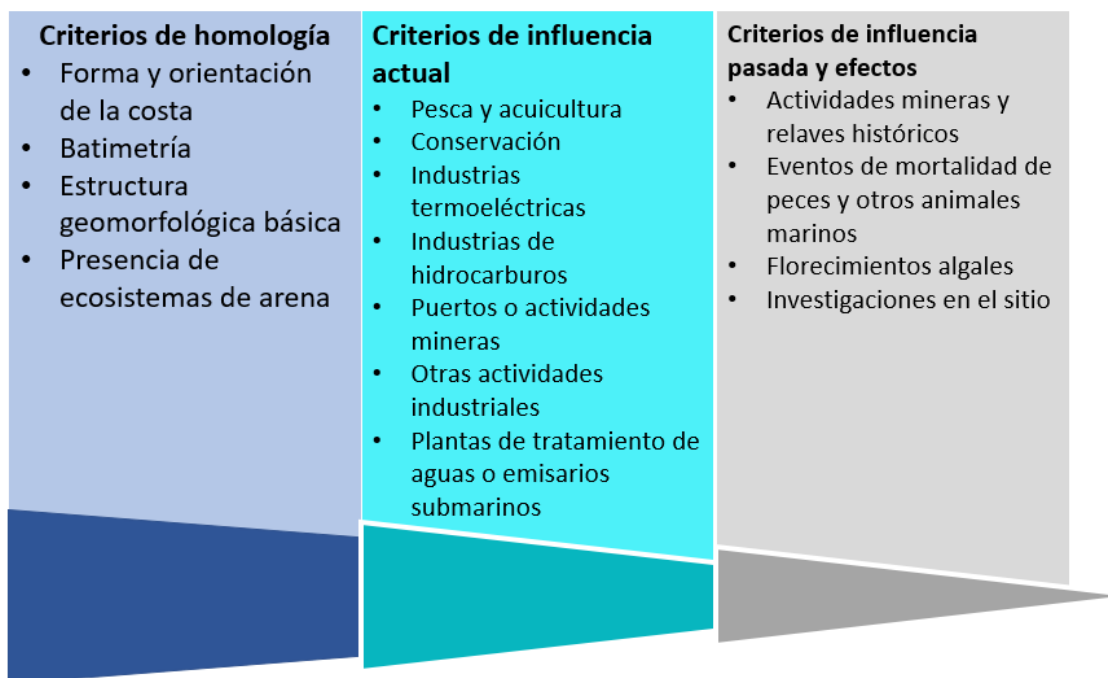
- 1) Es razonable considerar que la distribución de la contaminación pueda ser amplia debido a los altos e históricos niveles / entradas de contaminantes a la bahía, así como al largo período de tiempo durante el cual ha ocurrido la contaminación. Las fuentes de contaminación incluyen 1) descargas directas de la industria, 2) derrames de petróleo y fugas de tuberías, 3) entrada de aguas residuales, 4) deposición de cenizas y hollín del aire contaminado y 5) la interacción con el entorno local de la bahía (es decir, interacción del cloro residual con materia orgánica en partículas disueltas o microorganismos)
- 2) la mezcla activa, la reestructuración de sedimentos y las variaciones estacionales del transporte de sedimentos en alta mar y mar abierto. La bahía es un entorno de alta energía con un tiempo de residencia bajo (5 días) de las aguas de la bahía. Una vez depositados en la bahía, los contaminantes serán diluidos y redistribuidos por las fuerzas oceanográficas. En este sentido, muchos contaminantes adsorbidos en las partículas de la columna de agua se precipitan y pueden asociarse con los sedimentos. La conservación y biodisponibilidad en los sedimentos dependen de las características geoquímicas de los sedimentos, incluido el tamaño de grano, el contenido de carbono orgánico del sedimento y el pH, entre otras características geoquímicas. Los sedimentos de la región se depositan en verano y se erosionan en invierno.
- 3) las actividades pasadas y las industrias anteriores con regulaciones más "permisivas"

El monitoreo se ha realizado a través de esfuerzos desconectados y no integrados (PVA, RCA) que se basa en gran medida en estaciones fijas monitoreadas a lo largo del tiempo. Se sabe poco sobre la variabilidad en la distribución de contaminantes en la Bahía, que en cambio puede influir fuertemente en el diseño de cualquier programa de monitoreo futuro (por ejemplo, se requerirán más muestras en ambientes variables o irregulares que en ambientes más uniformes). Debido a estas razones, no podemos asumir una distribución lineal de contaminantes en la Bahía a partir de los puntos de descarga de la industria; es probable que los contaminantes estén más concentrados en áreas con partículas finas y alto contenido de carbono orgánico.

La determinación de la línea de base ambiental también se puede utilizar para restringir los costos y la logística de una campaña de muestreo regular, ya que es lógico muestrear de manera más intensiva y recopilar la mayoría de los tipos de evidencia en los lugares donde la información adicional agregará valor (por ejemplo, donde hay una gran cantidad de variabilidad, ya sea espacial o temporalmente). Las áreas relativamente homogéneas que no cambian con el tiempo requieren menos mediciones.

#### **6.3.4.3.2 La necesidad de incorporar sitios de referencia**

Para proponer sitios de referencia adecuados, se sugiere un proceso de "embudo", partiendo de una lista extensa de sitios potenciales que pueden ser descartados a partir de una serie de criterios hasta llegar a identificar un grupo pequeño de sitios más adecuados. Este proceso es descrito en el siguiente diagrama (Figura 10):



**Figura 10** Diagrama de priorización de sitios de referencia en base a criterios de homología, influencia antropogénica actual y pasada, entre otros.

El análisis considera una lista amplia de sitios potenciales a lo largo de las costas del país, entre las regiones de Coquimbo, Valparaíso y O'Higgins. Estos sitios fueron seleccionados a partir de criterios oceanográficos de homología (forma y orientación, batimetría, estructura y presencia de arena). A partir de esta lista, los sitios se pueden descartar progresivamente a partir una serie de criterios seleccionados. El siguiente conjunto de criterios identificados son los de influencia antrópica similar a la encontrada en la bahía de Quintero, que incluye actividades de pesca, acuicultura, actividades industriales (principalmente termoeléctricas y refinerías), actividades portuarias o de desembarco de mineral, plantas de tratamiento de aguas residuales o emisarios submarinos. Las fuentes de información recopiladas para estos criterios corresponden a capas espaciales oficiales consultadas. Con estos criterios podemos descartar los sitios más intervenidos y priorizar una lista más corta de sitios para aplicar criterios más detallados de revisión. El siguiente criterio corresponde a las influencias pasadas, efectos de alteración o investigaciones específicas, para esto se recurrió a la literatura gris disponible. Dado que estos criterios son más abiertos y flexibles, requieren mayor interpretación por lo que es preferible aplicarlo posterior a otros de manera de contar con menos sitios para explorar. Los sitios finales se pueden seleccionar a partir de un grupo limitado de sitios adecuados, los cuales pueden priorizarse por aspectos logísticos como accesibilidad u otros.

Como se discute en la sección 7.3.4.1 (Revisión crítica de programas de diseño propuestos para la Bahía de Quintero) se recomienda que las estaciones de referencia de la futura de Red de Monitoreo y Caracterización de Contaminantes de la Bahía de Quintero se ubiquen fuera de la Bahía, en zonas homologas, con características oceanográficas y geomorfológicas similares a la Bahía de Quintero.

### **6.3.4.3.3 La importancia de incorporar múltiples líneas de evidencia**

El consenso internacional de mejores prácticas consiste en evaluar los impactos potenciales de los contaminantes en un sitio contaminado mediante un enfoque de "peso de la evidencia", como se describe en el marco a continuación (ver Figura 11). En Europa, sitios contaminados como bahías donde se depositan relaves mineros (Mestre et al., 2017), derrames de petróleo (Regoli et al., 2014) y entornos urbanizados contaminados (como la Laguna de Venecia) (Benedetti et al., 2012) y las áreas portuarias (Bebianno et al., 2015) también se monitorean utilizando un enfoque de peso de la evidencia. Este enfoque basado en el peso de la evidencia disponible combina concentraciones de metales en sedimentos, resultados de pruebas de ecotoxicidad, bioacumulación e indicadores fisiológicos de la salud del organismo para indicar el riesgo relativo de los

contaminantes en el medio ambiente para el ecosistema (Mestre et al., 2017, Benedetti et al., 2012) y se modifica a partir de la "tríada de calidad de los sedimentos" para proporcionar medidas de biodisponibilidad in situ. Se ha encontrado que el enfoque es mejor para integrar múltiples líneas de evidencia que un enfoque de "pasa / no pasa", y mejor para integrar el potencial de impactos de múltiples estresores contaminantes (Bebiano et al., 2015). Se ha encontrado que el enfoque juzga el riesgo de manera apropiada (por ejemplo, bajo riesgo de las plataformas petrolíferas donde todos los desechos se transportan a la costa para su tratamiento (Regoli et al., 2019); mayor riesgo en la columna de resuspensión que el material dragado "dentro" o "fuera" (Mestre et al., 2017); mayor riesgo cerca de la ciudad de Venecia que más lejos en áreas que han aumentado la circulación (Benedetti et al., 2012).

En otras partes de Europa se utiliza un enfoque similar, excepto que rara vez se incluyen los resultados de bioensayos ecotoxicológicos estandarizados. Por ejemplo, los metabolitos de materiales orgánicos (incluidos los HAP y los COP) se correlacionaron con los cambios en los indicadores fisiológicos de la salud de los peces a lo largo de un gradiente de un sitio de desechos histórico en Kollevag, una bahía protegida en el oeste de Noruega (Dale et al., 2019). La bioacumulación en mejillones, junto con el análisis químico realizado mediante muestreo pasivo e indicadores fisiológicos, también se utilizó para evaluar sitios en el Mar Báltico (Lehtonen et al., 2019). De manera similar, los contaminantes transmitidos por el agua se evaluaron utilizando dispositivos de muestreo pasivo, metabolitos biliares e índices fisiológicos de exposición a contaminantes de peces recolectados en áreas productoras de petróleo en el Mar del Norte, lo que demuestra el impacto de la exposición al agua producida y los recortes de perforación (Bakke et al., 2013). En última instancia, se podría utilizar un enfoque similar para predecir el grado y la extensión de los impactos ambientales en la Bahía de Quintero, pero primero, es lógico determinar una línea de base ambiental para cuantificar la extensión espacial de la contaminación ambiental y cómo eso cambia estacionalmente, a medida que la playa se erosiona y se vuelve a depositar.

Se puede utilizar un enfoque de detección jerárquica para determinar la huella (en tiempo y espacio) de diferentes tipos de contaminantes, lo que permite a los investigadores tomar decisiones informadas sobre 1) la frecuencia de muestreo; 2) cómo distribuir el esfuerzo de muestreo para obtener el diseño más eficiente; 3) donde se necesitarán líneas adicionales de evidencia.

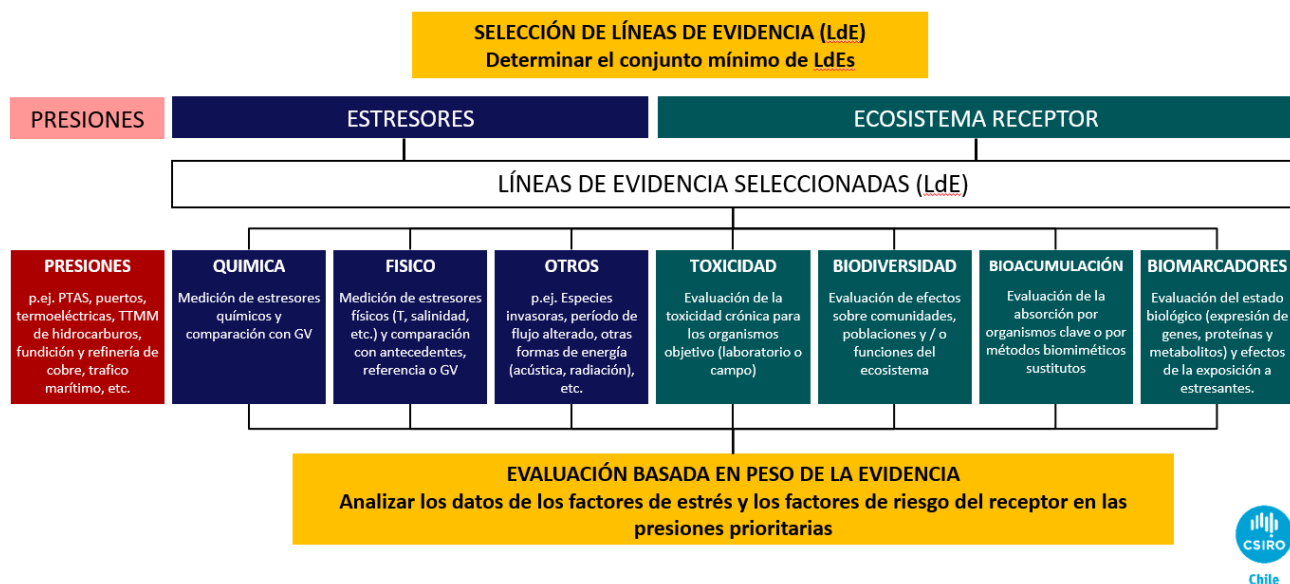


Figura 11 Marco de evaluación ambiental basado en múltiples líneas de evidencia. Modificado de Hook et al., 2014.

Dado que esperamos que los metales y los HAP sean los contaminantes más comunes en la Bahía de Quintero, y que su análisis sea relativamente rentable, recomendamos la detección de estos contaminantes en todas las muestras. Dado que muchas de las características fisicoquímicas que gobiernan el destino ambiental y el transporte de estos son similares a los HAP y algunos metales como el Pb, se podrían analizar otros compuestos más costosos, como los PCB, en muestras donde se concentran los HAP y el Pb. Las áreas con muestras con niveles elevados de metales y PAH deben priorizarse para análisis adicionales, ya sea por bioacumulación o por impactos ecológicos.

Recomendamos establecer primero una línea de base de contaminantes, luego usar los resultados de la línea de base para diseñar un programa de monitoreo, como se muestra en el árbol de decisiones de la Figura 12.

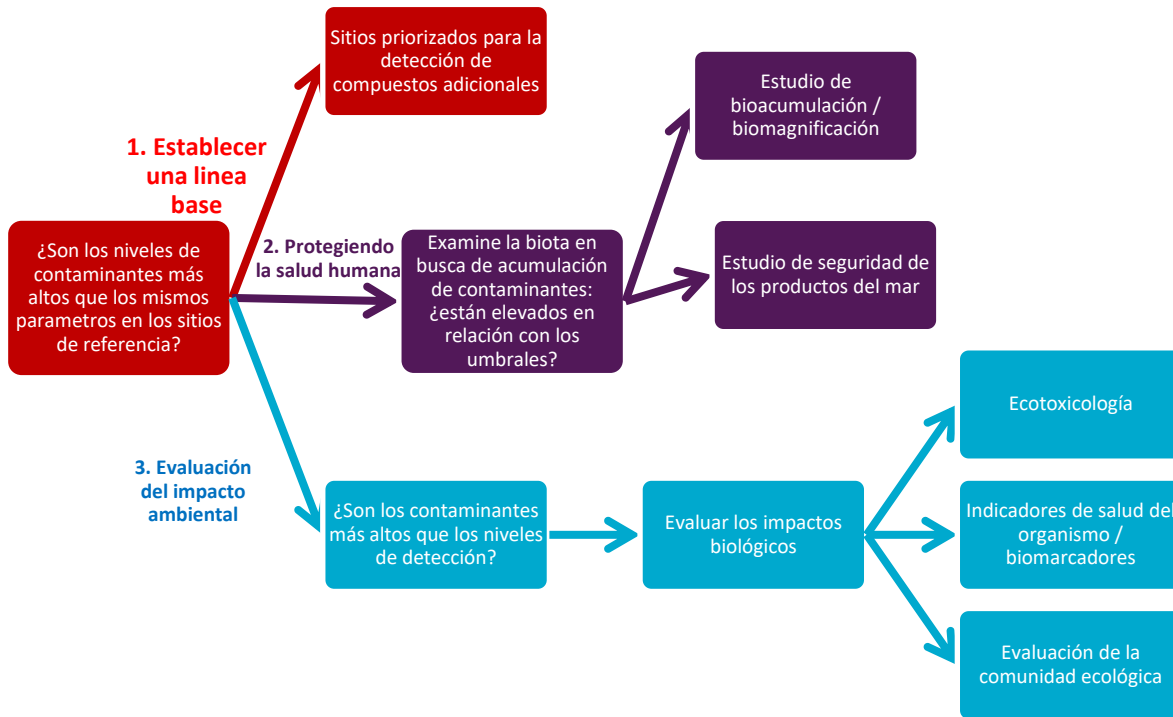


Figura 12 Fases del monitoreo ambiental en la Bahía de Quintero: 1. Establecimiento de una línea de base (ruta roja); 2. Protección de la salud humana (ruta morada); 3. Evaluación de impacto ambiental (ruta azul).

A continuación, se describen las fases asociadas al monitoreo ambiental en la Bahía de Quintero.

#### 6.3.4.3.3.1 Estableciendo una línea base

Primero, los niveles de contaminantes se comparan con concentraciones en sitios de referencia de características similares (por ejemplo, clasificación de tamaño de grano similar). Si es más alto, los sitios se priorizan para la detección de compuestos adicionales.

El resultado de la línea de base (ruta roja en la Figura 12) será una lista de ubicaciones donde los contaminantes están elevados y una lista de contaminantes elevados en cada sitio. Dado que algunos sitios serán más “pegajosos” que otros para los contaminantes, proponemos comenzar a analizar los contaminantes comparativamente económicos en todas partes. En los sitios que no muestran niveles elevados de HAP / metales, nos detenemos. En los sitios donde se demuestra que los contaminantes se concentran, agregamos análisis adicionales más costosos. Entonces sabremos cómo enfocar los estudios de seguimiento posteriores.

#### 6.3.4.3.3.2 Protegiendo la salud humana

El segundo es el cribado de la biota en busca de acumulación de contaminantes. Si la concentración de contaminantes en la biota es elevada en relación con los umbrales, será necesario realizar un estudio de bioacumulación / biomagnificación y / o un estudio de seguridad de los productos del mar en la Bahía de Quintero.

### 6.3.4.3.3 Evaluación del impacto ambiental

Por último, si la concentración de contaminantes es superior a los criterios de referencia definidos en normas nacionales y/o directrices internacionales, es necesario realizar una evaluación de los impactos biológicos, incluida la ecotoxicología, los indicadores / biomarcadores de salud de los organismos y las evaluaciones de la comunidad ecológica. Estos criterios de valoración podrían integrarse para una evaluación del tipo "ponderación de la evidencia", como se analiza en los párrafos anteriores. Según DIRINMAR (2019), los análisis en biota marina, realizados en el mejillón *Peromytilus purpuratus*, muestran ser más sensibles para detectar excedencias, dada su capacidad para acumular contaminantes en su tejido. Estos análisis, indican excesos de Cu y Pb para 2005-2011 y 2013-2017. Estos también podrían compararse con los resultados de los programas de observación de mejillones realizados internacionalmente (por ejemplo, Wade et al., 1998; Goldberg et al., 2000).

### 6.3.4.3.4 Diseño del programa de muestreo

Para el diseño de la red de monitoreo de la Bahía de Quintero, proponemos un diseño de estudio basado en probabilidades construido a partir de un muestreo aleatorio estratificado de agua de mar, sedimentos y biota, combinado con estaciones heredadas fijas provenientes de los programas de monitoreo existentes de la Bahía de Quintero (Programa de Observación del Ambiente Litoral, POAL-DIRECTEMAR) y fuentes puntuales industriales (Programas de Vigilancia Ambiental, PVA).

Sugerimos utilizar un diseño estadístico espacialmente equilibrado para optimizar la cantidad de información recopilada dados los recursos finitos y otras limitaciones logísticas (Foster et al., 2020). En el diseño de la encuesta, la selección del sitio se aleatorizará a lo largo de parámetros seleccionados para asegurar la máxima eficiencia y solidez estadística, y para asegurar que las muestras recolectadas sean representativas de la Bahía de Quintero en su conjunto. Aumentaremos la probabilidad de inclusión cerca de las fuentes de efluentes (por ejemplo, Thompson 2012), para asegurar que la intensidad del muestreo sea mayor cerca de las fuentes de contaminación industrial (por ejemplo, Brown et al., 2015).

El software utilizado para diseñar el programa de muestreo es el paquete MBHdesign (Foster 2020) para el entorno de software estadístico R (R Core Team 2019).

Para completar, se proporciona una breve descripción general de los diferentes diseños de muestreo en el cuadro gris a continuación, incluidas las ventajas y desventajas de cada enfoque. La información se extrajo y se copió con modificaciones mínimas de las Directrices de Australia y Nueva Zelanda para la calidad del agua dulce y marina<sup>12</sup>.

#### Diseño del plan de muestreo

Los datos observados deben estar libres de sesgos de selección y ser suficientes en número para representar la población de interés. Esto asegurará que se puedan hacer inferencias válidas y defendibles con confianza. El diseño de un estudio es un conjunto de decisiones (parámetros de diseño) sobre qué y cuántos datos recopilar, y cuándo (con qué frecuencia, durante cuánto tiempo) y dónde recopilarlos. Estas decisiones se basan directamente en los objetivos de seguimiento y se ajustan a las limitaciones presupuestarias, los recursos disponibles, las consideraciones de implementación, el dominio o el conocimiento contextual (por ejemplo, datos históricos relevantes, estudios piloto) y las características conocidas de las variables de interés (por ejemplo, variabilidad).

#### Relación entre muestra y población

La variabilidad ambiental (temporal, espacial y posiblemente incluso espacio-temporal) es probablemente la noción estadística más importante para considerar en el diseño de programas de muestreo (Eberhardt 1978, Morin et al. 1987, Kerekes & Freedman 1989). Comprender la variabilidad de las variables de medición clave puede ser útil para determinar un número mínimo o deseado de sitios de muestreo, el número deseado de muestras replicadas para tomar o registrar en un sitio y la frecuencia deseada de recolección de muestras. Sin embargo, los parámetros de diseño deseados y los parámetros de diseño eventuales pueden ser diferentes debido a otras influencias, como limitaciones presupuestarias o de recursos o consideraciones de implementación.

<sup>12</sup> <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/monitoring/study-design/sample-survey>



La idea principal detrás del diseño del estudio es hacer una inferencia válida y confiable sobre una población (una parte particular de un río, una red de arroyos, un lago o un cuerpo de aguas marinas) recolectando solo una muestra. La clave de esta validez y confiabilidad es garantizar que los datos observados estén libres de sesgos de selección y que haya suficientes sitios para representar mejor los sistemas que se están estudiando.

Los enfoques ad hoc, como el muestreo por conveniencia y el muestreo representativo (ambos apelan al conocimiento de expertos para elegir ubicaciones de muestra), deben evitarse, ya que son enfoques inherentemente subjetivos que generan un potencial sesgo sustancial. Tampoco existe un vínculo claro entre los datos de la muestra y las características de la población de interés, lo que implica que la base para la extrapolación y la inferencia no es justificable y es difícil cuantificar la incertidumbre sobre las estimaciones.

La relación entre la muestra y la población debe caracterizarse:

por un proceso o modelo estadístico (diseño basado en modelos), o

a través del proceso de muestreo (diseño basado en probabilidades).

En el contexto del diseño de programas de monitoreo a gran escala para evaluar la salud de los arroyos, Dobbie et al. (2008) discutieron las ventajas y desventajas de estos dos enfoques, que resumimos aquí.

### **Diseño de estudio basado en probabilidades**

Los diseños de estudios basados en probabilidades tienen 3 características distintivas:

- La población muestreada se describe explícitamente.
- A cada elemento de la población se le asigna una probabilidad de ser incluido en la muestra (dando lugar a una función de densidad de probabilidad de inclusión).
- La selección del sitio se lleva a cabo mediante un régimen de probabilidad con un componente aleatorio explícito (eliminando así el sesgo de selección, consciente o no).

Estas características proporcionan bases matemáticas para garantizar que la muestra sea representativa y que las inferencias estadísticas sean válidas e insesgadas. Cochran (1977), Sarndal et al. (1992) y Thompson (1992) cubren los atributos esenciales del diseño de estudios.

Un aspecto particularmente atractivo de los diseños basados en probabilidad es que la inferencia resultante puede basarse en el diseño (utilizando las herramientas de inferencia incorporadas asociadas con un diseño de estudio de probabilidad particular) o en un modelo.

A través de la inferencia basada en el diseño, se puede realizar una evaluación objetiva de la incertidumbre. Los méritos del muestreo basado en probabilidades en el contexto del seguimiento acuático se analizan con más detalle en Dobbie et al. (2008) y Dobbie y Negus (2013).

Los diseños de estudios basados en la probabilidad incluyen muestreo aleatorio simple (SRS), muestreo sistemático (SyS), muestreo estratificado (aleatorio o sistemático), muestreo en dos etapas o por conglomerados, muestreo doble, muestreo adaptativo y muestreo espacialmente equilibrado. Para diseños de monitoreo acuático a gran escala, Dobbie et al. (2008) revisaron cada uno de estos, algunos de los cuales resumimos aquí.

### ***Muestreo aleatorio simple***

El muestreo aleatorio simple (SRS) es la forma más simple de muestreo probabilístico, donde se selecciona una serie de ubicaciones o muestras aleatorias de una población de ubicaciones posibles sin restricciones.

SRS ofrece cálculos prescriptivos simples para la respuesta media en esas ubicaciones (o para esas muestras) y, por lo tanto, inferencias estadísticas sencillas. También hay flexibilidad para aumentar o disminuir fácilmente el tamaño de la muestra si es necesario.

En el lado negativo, los diseños de SRS tienden a producir unidades de muestreo agrupadas, lo que implica que algunas partes de la población están más representadas (debido al azar) que otras. En otras palabras, no hay garantía de equilibrio espacial o regularidad.

Para monitorear el estado de la corriente, SRS es una forma poco práctica e ineficiente de muestrear.

### ***Muestreo sistemático***

En el muestreo sistemático (SyS), las muestras se recolectan a intervalos regulares en el espacio o el tiempo. El elemento aleatorio se puede introducir mediante la selección de un lugar de partida aleatorio (en el espacio o en el tiempo).

La aplicación de este enfoque a un contexto espacial asegura un buen equilibrio espacial. La amplia cobertura de muestras sistemáticas puede ser una ventaja cuando se toman muestras de poblaciones raras y agrupadas. Cuando se planifica y ejecuta correctamente, SyS puede ser tan imparcial como SRS y puede ser significativamente más económico. Consulte Cochran (1977) para una discusión completa.

Sin embargo, debe asegurarse de que el sesgo no se incorpore inadvertidamente en el esquema de muestreo. Por ejemplo, los programas de muestreo regulares pueden coincidir con la periodicidad de la perturbación que se está monitoreando (por ejemplo, las descargas de una fábrica pueden ser consistentemente más bajas por la mañana y mayores justo antes del cierre al final de la tarde). Pueden surgir situaciones similares espacialmente.

Otra desventaja de SyS es que puede ser difícil de aplicar para algunas poblaciones finitas (por ejemplo, si los lagos de una región son las unidades de muestreo).

SyS generalmente tiene menos flexibilidad para cambiar la densidad de puntos de muestra o agregar nuevos puntos sin actualizar todo el diseño.

Si el muestreo espacial es de interés, los diseños de estudio de teselación aleatoria estratificada (RTS) ayudan a resolver algunos de los problemas relacionados con las respuestas periódicas o con patrones que no se manejan con los diseños de SyS.

Los diseños de estudio de RTS funcionan al ubicar aleatoriamente una cuadrícula regular sobre el dominio de la población con el espaciado elegido para proporcionar la resolución espacial requerida. Los puntos aleatorios de cada celda de teselación aleatoria se seleccionan para formar la muestra requerida. Consulte Overton y Stehman (1993) y Olsen et al. (1998) para una explicación de los diseños de RTS y la aplicación de redes globales al muestreo ambiental a gran escala de los recursos naturales.

Necesita una buena base descriptiva de información de antecedentes para que SyS pueda ser rentable e imparcial, y debe documentar las suposiciones y elecciones realizadas al ejecutar dicho régimen de muestreo.

### ***Muestreo de dos etapas***

El muestreo en dos etapas (o en varias etapas) es apropiado cuando la población objetivo se puede dividir en una colección de "unidades primarias" que se muestrean en dos etapas. Se toma una muestra aleatoria de unidades primarias en la primera etapa, y las unidades de muestreo se seleccionan aleatoria o sistemáticamente de las unidades primarias seleccionadas en la segunda etapa.

Por ejemplo, los ríos y arroyos dentro de una subregión pueden elegirse al azar, y luego los sitios dentro de esos ríos seleccionados pueden elegirse al azar.

Esto difiere del muestreo por conglomerados, donde se muestrean todas las unidades de muestreo en las unidades primarias seleccionadas.

### ***Muestreo aleatorio estratificado***

El muestreo aleatorio estratificado divide la población en una colección de estratos que cubren de manera exhaustiva la región de interés. Los estratos pueden ser de tamaño variable y pueden ser espaciales (por ejemplo, diferentes subregiones o subpoblaciones de interés), temporales (por ejemplo, estaciones dentro de un año) o reflejar aspectos operativos, de gestión o administrativos de la región (por ejemplo, límites del gobierno local).

Elija los estratos apropiados para que las unidades de muestreo dentro de los estratos sean más homogéneas que las que se encuentran entre los estratos. El número de estratos y el número de muestras para seleccionar de cada estrato dependen de la variabilidad y la importancia.

El muestreo aleatorio estratificado es más complejo que SRS o SyS pero puede ser sustancialmente más eficiente, particularmente si la variabilidad entre estratos es grande en comparación con la variación dentro de los estratos. Además, la inferencia está bien formada y es ampliamente accesible para este esquema de muestreo probabilístico.

La elección de los estratos debe tener en cuenta la longitud y la amplitud del estudio para garantizar que se puedan elegir los estratos adecuados desde el principio para que persistan en el tiempo.

Ejemplos de muestreo por estratificación

- En el muestreo de agua para medir nutrientes, clorofila y algas, un lago puede dividirse espacialmente en zonas de epilimnion (capa superior) e hipolimnion (capa inferior).
- En el muestreo de estuarios, la estratificación puede basarse en el gradiente de salinidad.
- Temporalmente, si los nutrientes son más variables en una temporada que en otra, se puede asignar más esfuerzo de muestreo a la temporada más variable, particularmente si las estimaciones de la concentración o carga anual de nutrientes son el enfoque del programa.
- Suponga que se recolectan peces en un lago para estudiar la acumulación de contaminantes químicos, es importante considerar la movilidad y la edad de los peces (tamaño). Los peces más viejos suelen acumular más contaminantes. Las edades (tamaños) de los peces se convierten entonces en los estratos de muestreo, en lugar de ubicaciones geográficas o períodos de tiempo particulares.

El muestreo de probabilidad variable es una generalización del muestreo aleatorio estratificado que permite que las probabilidades de selección varíen continuamente en lugar de ser constantes dentro de un estrato discreto. En un sentido práctico, el muestreo de probabilidad variable utiliza variables auxiliares para discriminar entre subpoblaciones de interés e informar las ponderaciones de probabilidad, mejorando así la precisión de los resultados.

#### **Diseños de estudio espacialmente equilibrados**

El muestreo sistemático y el muestreo estratificado (incluidos los diseños RTS) garantizan que las unidades de muestreo se puedan distribuir espacialmente, pero otros enfoques van aún más lejos para garantizar que prevalezca el "equilibrio espacial".

La filosofía general detrás del muestreo espacialmente equilibrado es que las ubicaciones se seleccionan al azar, pero se garantiza que se distribuirán en el espacio con miras a maximizar la independencia espacial entre los sitios de muestra. Esto se debe a que los diseños con cierto grado de regularidad o equilibrio espacial tienden a ser más eficientes (por ejemplo, producen respuestas que son menos variables) para el muestreo de recursos naturales que aquellos sin estructura espacial (Dobbie et al. 2008).

Para el contexto del monitoreo de redes de arroyos a gran escala, el equilibrio espacial es un requisito crítico del diseño de un estudio de probabilidad, pero también es deseable (si no esencial) que el diseño pueda acomodar las probabilidades variables de inclusión de sitios y el ajuste dinámico de la muestra. Algunos de los diseños comunes, como SyS y muestreo estratificado, pueden producir muestras espacialmente bien equilibradas, pero enfrentan limitaciones para al menos uno de los otros atributos deseables.

El diseño estratificado de teselación aleatoria generalizada (GRTS) (Stevens & Olsen 2004) utiliza una serie potencialmente infinita de cuadrículas coherentes anidadas y alguna función que convierte la población de un espacio bidimensional en un espacio unidimensional, mientras conserva las relaciones de proximidad entre puntos en el dominio. Dobbie y col. (2008) y Stevens & Olsen (2004) discutieron por qué es un diseño tan atractivo para el muestreo de recursos naturales, incluidos cuerpos de agua de 0 dimensiones (por ejemplo, lagos), unidimensionales (por ejemplo, arroyos) y bidimensionales (por ejemplo, bahías). Lawrence y col. (2015) describieron un enfoque espacialmente equilibrado para elegir sitios para mapear hábitats y desarrollar líneas de base en reservas marinas costa afuera, que también es relevante para otros contextos acuáticos.

### 6.3.4.3.5 Consideraciones adicionales

#### 6.3.4.3.5.1 En cuanto a la priorización de matrices ambientales a monitorear

Priorizar las matrices ambientales a monitorear (agua de mar, sedimentos y biota marina):

1<sup>ra</sup> Prioridad: Es probable que los sedimentos nos den la imagen más clara de cómo se distribuyen los contaminantes en la región. Hay algunos estudios previos que deben tenerse en cuenta:

- Recolección de información sobre sedimentos para realizar un proceso de evaluación de riesgo ecológico en la Bahía de Quintero, Región de Valparaíso. Reporte final. Universidad Católica de Temuco. Junio de 2014.
- Aplicación de los lineamientos metodológicos en la evaluación de riesgo ecológico en Bahía Quintero, Región de Valparaíso. Universidad Católica de Temuco. Julio de 2015.
- Universidad de Concepción (2021) Evaluación temporal y espacial del contenido de metales pesados en sedimentos de la bahía de Quintero-Puchuncaví. Informe Final. Licitación ID: 608897-85-LE20. Ministerio de Medio Ambiente.

2<sup>da</sup> Prioridad: Analizar las concentraciones en la biota (idealmente bivalvos debido a la abundancia de datos para las comparaciones) también proporcionaría una visión general de la abundancia de contaminantes en la bahía y de las implicaciones para la salud humana / ambiental. Hay algunos estudios previos que deben tenerse en cuenta:

- CENMA 2014 Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.
- CEA (2013) Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, Chile, 380 pp.
- Instituto de Fomento Pesquero (2016) Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V Región. Informe Final.

3<sup>rd</sup> Prioridad: el agua nos dará la imagen más oscura, simplemente porque cualquier señal se diluirá rápidamente con las olas y las mareas. Además, no todos los compuestos serán solubles en agua y es probable que se unan a las partículas y luego se sedimenten.

#### 6.3.4.3.5.2 Respecto al seguimiento de metales pesados en el medio marino

Las concentraciones totales pueden ser muy importantes para comprender las "cargas", por lo que es aconsejable medir / monitorear la concentración total de metales en el efluente (en el punto de descarga / final de la tubería). Una vez descargado en la Bahía, se puede considerar que existe (se deben especificar límites) una zona de mezcla donde generalmente ocurre el cambio más rápido en la especiación y partición de metales. Estos cambios a menudo resultan en una disminución en la concentración de metales disueltos (usando un filtro de 0.2 o 0.45  $\mu\text{m}$ ), pero depende de la sustancia química y la forma, así como de factores como el pH, redox y la presencia de materia orgánica en suspensión, entre otros. Es difícil predecir concentraciones / especiaciones de especies disueltas, pero las estimaciones (predicción del modelo) se pueden variar hasta un orden de magnitud (es decir, 1 = 10). Es probable que la fracción de partículas (total - disuelta) se precipite o adsorba en partículas que puedan llegar al lecho marino, pero la concentración final en los sedimentos dependerá de lo que se "exporta" debido a la hidrodinámica antes de la sedimentación. Una vez en los sedimentos, es muy probable que se convierta en una fuente secundaria de contaminación de la bahía. En este contexto, es donde tener medidas tanto disueltas como totales resulta muy útil (necesario para estimaciones y modelos).

A diferencia de Canadá y Noruega, los valores de referencia (o directrices) son en el caso de la mayoría de las directrices de Australia, Nueva Zelanda, Brasil y Estados Unidos para concentraciones disueltas (en el entorno receptor), es decir, la fracción que causa toxicidad en el agua de mar, y no incluyen la fracción particulada (más detalles en Tabla 3). Por lo tanto, el seguimiento para compararlo con las directrices solo se puede realizar correctamente utilizando la fracción disuelta, la misma fracción utilizada para desarrollar las directrices. También es importante asegurarse de que se utilicen las directrices marinas (para el agua) en cualquier comparación.

Es posible comparar la concentración total (sin filtrar) con las directrices en el entorno receptor. Si la concentración total medida es menor que las directrices (disueltas), entonces no se excede la directriz. Sin embargo, si la concentración sin filtrar (total) excede la directriz, entonces no se puede tomar una decisión clara con respecto al riesgo utilizando los valores de referencia.

En este contexto, se sugiere en primera instancia monitorear la concentración total y disuelta de metales pesados en la matriz del agua de mar, en un ciclo estacional, lo que permitirá conocer mejor las cargas a la bahía, la biodisponibilidad potencial y el destino, y también permitirá estimar en un futuro próximo los factores de conversión específicos del sitio y el metal entre la concentración total: disuelto (quizás también corregido por TSS, pH, salinidad, estacionalidad, etc.) que se pueden utilizar en el futuro programa asociado al estándar de calidad secundaria de la Bahía de Quintero.

El estudio de Con Potencial (hidrodinámica) puede ayudar a definir zonas de mezcla de emisarios. Es importante saber si las estaciones de monitoreo están dentro o fuera de la zona de mezcla de emisarios.

#### *6.3.4.3.5.3 Consideraciones estadísticas del programa de seguimiento*

Cuanto más tiempo se registra o monitorea un parámetro, más poder estadístico está disponible para detectar cambios después de una reducción en el esfuerzo de muestreo (Levine et al. 2014). A fin de abordar este aspecto se considera incorporar a la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero estaciones muestreadas históricamente a través de los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) asociados a cada unidad fiscalizable y el Programa de Observación de Ambiente Litoral (POAL) de DIRECTEMAR.

#### *6.3.4.3.5.4 Respecto a las escalas de variabilidad ambiental y procesos industriales*

Será importante incorporar frecuencias de monitoreo múltiples / mixtas para cubrir o capturar escalas de variabilidad natural y de la industria. Existe evidencia de que los sedimentos en Quintero se erosionan en la playa cada invierno y se vuelven a depositar cada verano (Ministerio del Medio Ambiente 2019). Como mínimo, las muestras deben recolectarse cuando la erosión de la playa está en su punto máximo y, de manera similar, cuando el perfil de la playa está en su punto máximo. Del mismo modo, las muestras de agua deben recolectarse en invierno cuando las tormentas, etc., disminuyen el tiempo de residencia del agua en la bahía, así como en verano, cuando el agua está relativamente más calma y el tiempo de residencia en la bahía es más alto. Otras fuentes locales de variabilidad son los afloramientos o surgencias costeras, que se ha observado que causan concentraciones elevadas de metales pesados (cadmio específicamente) en bahías cercanas como Tongoy y Guanaquero, 340 km al norte de la bahía de Quintero (comunicación personal Dr. Laura Ramajo, Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA)).

#### *6.3.4.3.5.5 Respecto a la vida media de los contaminantes*

Los hidrocarburos totales de petróleo (TPH) y los hidrocarburos aromáticos policíclicos totales (PAH) deben medirse en alimentadores de filtración bentónicos (invertebrados). Probablemente no será necesario monitorear BTEX en sedimentos o biota, ya que es de esperar que se evapore rápidamente.

El bajo nivel de oxígeno (que se produce naturalmente en las aguas chilenas debido a la surgencia y puede verse agravado por la entrada antropogénica de carbono orgánico, por ejemplo, de las aguas residuales) puede aumentar drásticamente la vida media de los hidrocarburos de petróleo PAH. La persistencia de contaminantes ambientales, en particular PAH, variará en función de las características geoquímicas del sedimento. El oxígeno disponible e indirectamente, el contenido orgánico total, reducirá la velocidad a la que se degradan los hidrocarburos (por ejemplo, Head et al., 2006). Como consecuencia, los contaminantes pueden ser más persistentes en áreas influenciadas por la descarga de aguas residuales o desechos de la planta de procesamiento de pescado.

La falta de oxígeno también puede provocar la metilación del mercurio. En sedimentos marinos anóxicos con abundante carbono orgánico, el metilmercurio se forma por procesos microbianos. Esta forma de mercurio es fácilmente biodisponible y se eleva en concentración a niveles tróficos más altos. Se asocia con toxicidad neurológica, particularmente en niños, y la ruta principal de exposición es a través de mariscos contaminados (Mason et al., 2012). Los sitios donde el mercurio y el carbono orgánico se encuentran elevados deben ser inspeccionados para detectar un aumento de metilmercurio, en las capas de sedimentos anóxicos y en los recursos pesqueros.

### 6.3.4.3.5.6 Incorporación de especies bioindicadoras

Mención individual se requiere hacer a la posible incorporación de especies bioindicadoras al futuro programa de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero. Un programa de monitoreo para la Bahía de Quintero debe tener metas claramente definidas y utilizar puntos de referencia que sean apropiados para garantizar que se cumplan esas metas. Sin embargo, como punto de partida, el programa podría medir la bioacumulación de contaminantes en bivalvos y gasterópodos que se recolectan de las AMERB decretadas en la zona. Muchos de los estudios anteriores monitorean la bioacumulación o usan otro índice de exposición para demostrar el potencial de degradación ambiental e impactos en la salud humana. Esta es una brecha notable en el monitoreo de la Bahía de Quintero. Se ha realizado algún seguimiento de la bioacumulación en CEA (2013), como se muestra en la Tabla 6. Sin embargo, solo se han analizado metales, no otros contaminantes. Además, los resultados se presentan como medias y desviaciones estándar para todo el sitio y, no se entrega el rango observado.

Tabla 6. Valores medidos de metales prioritarios en organismos recolectados en Bahía de Quintero, comparados con guías de salud humana. Los valores en negrita y color rojo superan los estándares de seguridad de los productos del mar.

Elemento o compuesto	Guía (peso húmedo, mg/kg) <sup>1</sup>	Medido (rango, como peso húmedo, mg/kg)		
		Bivalvos	Cangrejo (pie)	Pescado (músculo)
As <sup>2</sup>	2	1.5- <b>2.3</b>	<b>22.0-50.4</b>	bd – <b>4.62</b>
Pb <sup>2</sup>	0.3	0.08- <b>0.73</b>	0.22- <b>0.85</b>	bd- <b>17.9</b>
Cu <sup>2</sup>	30	2.95-9.73	<b>63.9-168.1</b>	0.91-3.0
Zn <sup>2</sup>	30	15.1-23.2	27.9- <b>68.8</b>	4.2-6.16
Cd <sup>2</sup>	3	0.36-0.61	bd	bd-0.02
benzo (a) pireno; dibenz (a, c) antraceno + dibenz (a, h) antraceno <sup>3</sup>	0.035	nd	nd	nd
benz (a) antraceno; benzo (b) fluoranteno; indeno (1,2,3-cd) pireno <sup>3</sup>	0.35	nd	nd	nd
benzo (k) fluoranteno <sup>3</sup>	3.5	nd	nd	nd
Criseno <sup>3</sup>	35	nd	nd	nd
PAH3 no cancerígeno <sup>3</sup>	32.7-490	nd	nd	nd

Estos dependen de los patrones de consumo de mariscos. Los valores de referencia específicos de la región deben ser calculados por un experto en nutrición.

Desde (Arulkumar et al., 2017)

Desde (Ylitalo et al., 2012)

nd = No determinado

bd= por debajo de la detección

Se sabe que los bivalvos concentran tanto metales como HAP de la columna de agua, y pueden usarse no solo como un indicador de la posible exposición humana, sino para tener una idea de la huella espacial de los contaminantes. Históricamente, muchos de los programas de monitoreo realizados en todo el mundo han medido concentraciones de contaminantes en bivalvos (Lauenstein 1995, Wade et al. 1998, Goldberg & Bertine 2000, Page et al. 2005). Se sabe que los bivalvos acumulan eficazmente contaminantes de la columna de agua y se han utilizado en programas de seguimiento a gran escala (p. Ej. Goldberg & Bertine (2000), Lauenstein (1995) en los Estados Unidos y Francia (Beliaeff & Burgeot 2002) y monitoreo de concentraciones a lo largo del tiempo (Edwards et al. 2014). Los bivalvos tienen distribución cosmopolita, son sésiles y comparativamente insensibles a la contaminación (revisado en Edwards et al. (2014). Estos programas se iniciaron después de que los esfuerzos de monitoreo realizados por la EPA de los EE. UU. sugirieran que los bivalvos estaban acumulando contaminantes orgánicos a niveles que tenían el potencial de afectar la salud humana (Lauenstein & Daskalakis 1998). El objetivo general de estos programas es documentar estado de salud del medio marino a largo plazo y determinar cualquier tendencia en las condiciones ambientales (Wade et al. 1998). Los bivalvos se eligen con frecuencia para el

seguimiento porque tienen una capacidad limitada para metabolizar contaminantes orgánicos en relación con los peces (Beliaeff & Burgeot 2002).

Numerosos estudios han examinado la acumulación de hidrocarburos en bivalvos. Después de un derrame de hidrocarburos, la bioacumulación se utiliza como sustituto del hidrocarburo en la columna de agua y la falta de bioacumulación para indicar un retorno a las condiciones de referencia (por ejemplo, Boehm et al. (1996, 2004). En entornos urbanizados, los congéneres individuales de PAH varían entre 1 µg / kg de peso seco y más de 1000, y el fluorantreno y el pireno se encuentran entre los congéneres más abundantes de congéneres (Beliaeff & Burgeot 2002). Una mayor proporción de HAP de bajo peso molecular se espera para los mitílidos recolectados cerca de refinerías, mientras que se espera HAP de alto peso molecular como resultado de la combustión de combustibles fósiles (Beliaeff & Burgeot 2002). En los sitios de California urbanizados, los HAP se midieron a 2 µg / kg de peso seco (Edwards et al. 2014). Las concentraciones de metales también se pueden monitorear a través de la bioacumulación en bivalvos, como se muestra en los datos de observación de mitílidos y otros resultados de los programas de biomonitoreo. Por ejemplo, se ha medido una variedad de metales en mitílidos recolectados en zonas urbanizadas y áreas afectadas por la agricultura en California (Edwards et al. 2014), pero todas tienen una concentración más baja que las de la Bahía de Quintero.

Hay menos información disponible sobre las concentraciones de contaminantes en los tejidos de los gasterópodos depredadores. Los estudios de laboratorio han demostrado que caracoles depredadores son capaces de asimilar metales de sus presas, independientemente de si se alimentan de otros caracoles, bivalvos, lapas o percebes (Lauenstein & Daskalakis 1998, Blackmore & Wang 2004, Cheung & Wang 2005, Cheung et al. 2006). También se ha demostrado que los gasterópodos acumulan PAH (Harvey & Taylor 2017). En un estudio que examinó la contaminación de HAP de filtraciones naturales en el mar de Bering en sedimentos e invertebrados bentónicos, se midieron HAP en niveles que son incluso más altos que los medidos en mitílidos, aunque el tamaño de la muestra recolectada fue pequeña (Harvey & Taylor 2017). Los gasterópodos de mayor tamaño también tenían cargas corporales de HAP más altas que los más pequeños, lo que sugiere que los contaminantes se acumulan con el tiempo (Harvey & Taylor 2017).

La medición de las concentraciones de contaminantes orgánicos en todo el tejido es eficaz en invertebrados, no se emplea comúnmente en peces y otros vertebrados. Los animales vertebrados típicamente metabolizan la HAP de manera eficiente (Myers et al. 2008), pero los invertebrados, como los bivalvos, a menudo carecen de la capacidad de metabolizar la HAP. Como consecuencia, los HAP se pueden acumular de manera bastante eficiente en estos organismos (Rust et al., 2004). Debido a que los peces metabolizan rápidamente los HAP y otros hidrocarburos (Collier et al., 2013), los indicadores de exposición se utilizan típicamente para determinar el potencial de impactos tóxicos (Schlenk et al., 2008). Uno de los indicadores más fiables son los compuestos aromáticos fluorescentes biliares, o FAC (Budzinski et al., 2004; Devier et al., 2013; Snyder et al., 2015). Éstos indican una exposición reciente y son detectables horas después del inicio de la exposición, aumentan durante aproximadamente 2 semanas y tienen una vida media de aproximadamente 2 semanas (Myers et al. 2008).

Aunque los metales no se bioconcentran en el tejido de los peces en la misma medida en que lo hacen en invertebrados, medir las concentraciones de metales en los tejidos de los peces vertebrados puede ser una estrategia de seguimiento eficaz. Porque la cuenca del río Coeur d'Alene (Idaho, EE. UU.) tiene una alta densidad de minas históricas y altas concentraciones de metales (Cd, Pb y Zn) en agua y sedimentos (Farag et al. 1998, Maret & MacCoy 2002), así como biopelículas, invertebrados bentónicos y tejidos de peces (Farag et al. 1998). Estos niveles elevados de metales se han asociado con cambios en la composición de las comunidades de peces (Maret y Maccoy, 2002). En experimentos de laboratorio, los peces juveniles alimentados con estos insectos recolectados en la naturaleza tuvieron una mayor incidencia de tejidos enfermos y una disminución de las tasas de alimentación (Farag et al. 1999). También se midieron cargas elevadas de cuerpos metálicos en salmones Chinook juveniles, así como en sus presas de insectos, recolectados en una región del río Sacramento (CA, EE. UU.) Con actividades mineras históricas (Saiki et al. 2001). Las cargas de cuerpos metálicos de invertebrados también se han asociado con la actividad minera histórica en el sureste de Missouri (Besser et al. 2007).

En el reciente Informe de evaluación de resultados analíticos de las muestras del plan nacional de vigilancia en productos del mar 2019-2020, pag. 13, y particularmente en relación con el arsénico, un carcinógeno humano conocido, se menciona: *“Respecto a los promedios de arsénico, todas las regiones muestran un comportamiento similar tanto por matriz como por Región, reflejando altas concentraciones de este metal. Sin embargo, al observar los valores de arsénico inorgánico contenido en este arsénico total, los valores no son de riesgo para la salud de la población. Lo anterior está en concordancia con lo establecido en la evidencia científica de los últimos años, que declara que las mediciones de arsénico total, y en virtud de que*

*este metal tiene por lo menos 25 otros analitos, no son de ninguna utilidad para la toma de decisión de salud pública, y por lo tanto para efectos de esta vigilancia solo se consideran los incumplimientos para arsénico inorgánico. Estos se realizarán bajo los análisis de arsénico total, utilizando esta metodología sólo como método de screening para definir a cuantas muestras se les realizarán los análisis de arsénico inorgánico, los cuales son más costosos y requieren de una mayor capacidad tecnológica para su identificación y cuantificación, que no existe en Chile.”.*

Para asegurar la eficacia de un sistema de monitoreo basado en especies indicadoras, este sistema debe basarse en bivalvos. También debe incluir el monitoreo de la absorción de PAH, no solo los hidrocarburos totales de petróleo. Los niveles en los organismos no deben compararse con otros sitios dentro de la bahía, sino con sitios de referencia fuera de la ella. Las cargas corporales medidas también deben compararse con concentraciones conocidas por proteger la salud humana, según la FAO / OMS. Luego, estos niveles pueden usarse en una evaluación de riesgos para la salud humana, realizada como se describe para los derrames de petróleo. Las elevaciones en los niveles de tejido a lo largo de un gradiente espacial también se pueden comparar a lo largo de un gradiente espacial para determinar qué tan lejos se extiende la huella de contaminantes desde la bahía.

#### *6.3.4.3.5.7 Respecto al monitoreo de contaminantes de origen atmosférico*

Para el monitoreo de contaminantes atmosféricos, se consideraron tres vías de ingreso al medio marino:

- Depositación de material particulado (húmeda y seca)
- Intercambio gaseoso de contaminantes en la interfase aire-agua (bidireccional)
- Escorrentía desde suelos y superficies impermeables

A partir de estas vías, se agruparon los contaminantes en dos grandes grupos, particulados y gaseosos. Esta distinción se debe a su gran diferencia en movilidad y dispersión. El material particulado (sedimentable, 10 y 2.5) puede estar asociado a las actividades de combustión y transporte de mineral, lo cual puede contener metales pesados de preocupación por su potencial de bioacumulación. Los gases pueden ser mucho más volátiles y de alta dispersión, estos pueden incluir los óxidos de carbono, azufre y nitrógeno, ozono y compuestos orgánicos incluyendo los volátiles e hidrocarburos. Su peligro se encuentra por la acidificación y eutrofización del ambiente marino pero su vía de ingreso (intercambio gaseoso) puede ser más compleja. Existe evidencia muy limitada sobre la importancia de estas vías de ingreso de contaminantes sobre la calidad de las aguas de la Bahía, pero existen métodos para determinar las tasas de ingreso para cada una de ellas.

También es importante distinguir entre las emisiones puntuales (en origen) y difusas (de múltiples fuentes, monitoreadas alrededor del objeto de interés). En 2019, emisiones puntuales fueron 500 veces superiores a fuentes difusas. Contaminantes de preocupación en términos de emisiones: son CO<sub>2</sub>, óxidos de azufre, compuestos nitrogenados, y metales pesados en material particulado (vanadio, mercurio, arsénico).



Tabla 7 Comparación de volumen de emisiones difusas y puntuales en las comunas de Quintero y Puchuncavi. Fuente: RETC: <http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/emisiones-al-aire-de-fuente-puntuales>

Suma de Emisión (Toneladas)	Difusa	Puntual
Arsénico	0,00	25,63
Benceno		0,17
Carbono Negro	7,66	
Compuestos Orgánicos Volátiles	578,71	7,83
Dibenzoparadioxinas policloradas y furanos (PCDD/F)		0,00
Dióxido de azufre (SO2)	2,39	16249,19
Dióxido de carbono (CO2)	8275,62	5355146,78
Material particulado	109,00	514,02
Mercurio	0,00	0,00
Metano (CH4)	73,26	
Monóxido de carbono	1384,88	46,58
MP10	93,98	677,69
MP2,5	89,02	2,15
Nitrógeno amoniacal (o NH3)	1,96	0,58
NOx	19,07	7833,96
Oxido Nitroso	0,83	
Plomo	0,00	0,56
Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano		0,26
<b>Total general</b>	<b>10636,38</b>	<b>5380505,40</b>

Los contaminantes atmosféricos se expresan típicamente de tres maneras: tasa de emisiones, concentración en el aire y tasa de deposición o dispersión. Las tasas de deposición no se miden actualmente en Quintero y se considera fundamental aportar a este conocimiento dentro de la red de monitoreo de calidad de aire existente. En el caso de Quintero el material particulado sedimentable se asocia principalmente a cenizas, las cuales contienen alto contenido de arsénico, y cobre. Las cenizas de fondo y la escoria de calderas están compuestas principalmente de sílice, alúmina y hierro, con porcentajes menores de calcio, magnesio, sulfatos y otros compuestos.

#### 6.3.4.3.5.8 Respecto al monitoreo de contaminantes asociados al Estero Campiche

El estero Campiche es alimentado por un río estacional conectado con la cordillera de la costa (Cordillera El Melón) y atraviesa la Comuna de Puchuncaví desembocando en la Bahía de Quintero. Desde el punto de vista del cauce aguas arriba, el caudal es estacionario o efímero, sujeto a crecidas ocasionales relacionadas a variaciones interanuales.

En su boca, bajo condiciones normales, se forma una barra de sedimentos en el estero y de arena en la playa, que impide su descarga directa y continua a la costa.

El hecho que el nivel del agua en las proximidades de su desembocadura, se mantenga estable y alimente un humedal costero, refleja una situación de equilibrio dinámico entre el nivel del flujo inicial de este curso de agua, la presencia de infiltraciones sub-superficiales que pueden ser considerables, al igual que las pérdidas por evaporación y la extracción de agua a lo largo de todo su curso.

Estacionalmente, en invierno, principalmente debido al aumento de nivel por escorrentía y precipitación, la Ilustre Municipalidad de Puchuncaví, abre la barra excavando un canal de descarga de las aguas del tramo inferior del Estero Campiche. Como las aguas del Estero Campiche contienen probablemente una concentración significativa de compuestos contaminantes, es importante mantener al día un registro de dichas concentraciones, para lo cual se han agregado dos puntos de muestreo en el curso bajo del Estero Campiche, utilizando las mismas estaciones usadas en el estudio de BIOMA (2019).

Como la oportunidad de esta descarga se decide y ejecuta a nivel de la I. Municipalidad de Puchuncaví, se sugiere que el MMA establezca un protocolo con la Municipalidad, para que en cada oportunidad que esto ocurra, se mida el nivel anterior y posterior a la apertura de la barra, para obtener así una medida aproximativa del volumen descargado desde el bajo curso del Estero.

Una estimación de mayor exactitud y precisión requeriría un estudio hidrológico del Estero, donde se estudien la magnitud y estacionalidad de los flujos sub-superficiales, utilizando curvas de conductividad y la evaporación estimada experimentalmente con tanques de evaporación.

#### **6.3.4.4 Costos del programa propuesto**

Para la elaboración de presupuesto asociado a la implementación de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero (línea base inicial de contaminantes y subsecuente monitoreo regular) se consideraron los siguientes ítems de gastos:

- **Trabajo de terreno:** Este ítem incluye principalmente los costos de embarcación y horas hombre asociadas al muestreo de la bahía de Quintero y sitios de referencia ubicados fuera de la Bahía. Los costos fueron derivados desde solicitudes de cotización a empresas del rubro. Se consideraron embarcaciones habilitadas para muestreo oceanográfico, es decir embarcaciones que como mínimo contarán con winche o A-frame para manipulación de equipos de muestreo oceanográfico. Se asume que todos los valores incluyen gastos administrativos (overhead) de los proveedores de servicios (asumiendo licitación pública a terceros).
- **Análisis de laboratorio:** Este ítem incluye todos los análisis de contaminantes y variables ambientales tanto en terreno (e.g. temperatura y oxígeno disuelto) como en laboratorio (contaminantes). Se asume que los equipos y suministros de muestreo (e.g. dragas, toma testigos, botellas Niskin, etc), preservación y transporte de muestras serán provistos por los laboratorios de análisis o consultoras especializadas en estudios ambientales. Los costos de transporte de muestras a laboratorios se asumen dentro de los costos de análisis informados por las mismas. Se asume que todos los valores incluyen gastos administrativos (overhead) de los proveedores de servicios (asumiendo licitación pública a terceros).
- **Análisis de datos:** Este ítem considera los gastos asociados a recursos humanos especializados encargados del análisis de resultados de análisis de contaminantes y variables ambientales. Se asumió un total de 160 horas/hombre de dedicación (20 días) para el procesamiento de datos asociado a la línea base de contaminantes. El mismo valor fue asumido para los diferentes escenarios de monitoreo regular (alto, esperado o bajo requerimiento de muestreo en relación con la línea base).
- **Imprevistos:** equivalente a un 5% del costo total de trabajo de terreno, análisis de laboratorio y resultados.

Los costos asociados a análisis de laboratorio y mediciones in-situ de variables ambientales se obtuvieron desde las siguientes fuentes:

- Solicitudes de cotizaciones a laboratorios nacionales y consultoras especializadas en análisis y muestreo ambiental.
- National Environmental Methods Index (NEMI). NEMI es una base de datos de búsqueda que permite a científicos y administradores encontrar y comparar métodos analíticos y de campo para todas las fases del monitoreo ambiental (químicos, microbiológicos, población/comunidad, entre otros). Esta base de datos también contiene información sobre costos referenciales de análisis de laboratorio (químicos, microbiológicos, toxicológicos, entre otros).
- Mercado Público: desde donde se extrajo información asociada a licitaciones de servicios de análisis de laboratorio para contaminantes en matrices marinas, particularmente aquellas asociadas a la licitación de análisis asociados al Programa de Monitoreo del Ambiente Litoral (P.O.A.L) de DIRECTEMAR.

Los costos son reportados en unidades de fomento (UF). Para precios reportados en pesos chilenos la conversión se realizó considerando el valor de la UF a la fecha de emisión de la cotización.

#### **6.3.4.5 Especificaciones para el desarrollo de las versiones acotadas y extendidas de la Red de Monitoreo**

De acuerdo con lo establecido en el contrato de este estudio se elaboró una versión extendida y una versión acotada de la Red de Monitoreo. La versiones extendida y acotada de la Red de Monitoreo y Caracterización de contaminantes se diferencian fundamentalmente en el número de contaminantes y variables ambientales a monitorear, así como el número de replicas consideradas en cada matriz muestreada (1 en agua de mar, y 2 réplicas en sedimentos). No se hace distinciones respecto del número de estaciones (aleatorias y heredadas), número de sitios de referencia ( $n = 2$ ), extensión del área de

muestreo, ni frecuencia de monitoreo, ya que estas variables deben idealmente ser definidas en función de la variabilidad ambiental (espacial y temporal) observada en la distribución de contaminantes en la Bahía de Quintero, no el presupuesto disponible.

#### **6.3.4.5.1 Monitoreo de contaminantes en matrices marinas**

La versión acotada y extendida de la Red de Monitoreo considera mediciones de concentraciones totales y disueltas de metales pesados en agua de mar y solo concentraciones totales (extraíbles) de metales pesados en sedimentos, en un ciclo estacional (es decir cuatro muestreos anuales) para la línea base a fin conocer mejor la biodisponibilidad potencial y el destino de metales pesados en la Bahía de Quintero. Esta información permitirá además, una vez finalizada el estudio de línea base, estimar los factores de conversión entre concentración total y disuelta de metales pesados (quizás también corregido por sólidos suspendidos totales, pH, salinidad, etc.) específicos para la Bahía de Quintero los cuales se pueden incorporar en los futuros esfuerzos de monitoreo regular de la Bahía, y de esta manera optimizar el uso de los recursos disponibles (i.e. reducir costos).

Inicialmente se consideraron para la línea base de contaminantes el monitoreo de todos aquellos metales pesados incluidos en los grupos 1A y 1B de prioridad de monitoreo. Los metales considerados en los grupos 1A y 1B de prioridad de muestreo difieren entre las matrices de agua de mar y sedimentos, no obstante, por consistencia, en la red de monitoreo todos los metales muestreados en la columna de agua fueron también monitoreados en sedimentos y viceversa.

Dependiendo de los resultados de la línea base de contaminantes, se consideran tres escenarios hipotéticos de monitoreo regular descritos en la sección 7.3.4.3.1 (página 247 más adelante), es decir:

- Escenario hipotético 1: Requerimiento de muestreo superior al de la línea base
- Escenario hipotético 2: Requerimiento de muestreo similar o anticipado en la línea base
- Escenario hipotético 3: Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base

En primera instancia se considera el análisis en duplicado de todas las matrices ambientales (agua de mar, sedimentos y biota), no obstante, se puede ampliar a tres replicas por matriz muestreada, o dejar solo en una. Para el caso del muestreo de biota se sugiere seguir las directivas establecidas por:

- El “Plan de vigilancia de metales pesados en productos hidrobiológicos, asociado a exposición ambiental 2019-2020” de la Subsecretaría de Salud Pública (División de Políticas Públicas Saludables y Promoción, Departamento de Alimentos y Nutrición),
- Manual de inocuidad y Certificación, SERNAPESCA Online. Capítulo IV. Actualizado al año 2020
- Instructivo de Laboratorio INSMo05 “Instrucción de Preparación y Molienda de Muestras Productos Hidrobiológicos” (ANEXO IV).

es decir:

- Para muestras destinadas a análisis microbiológicos: La muestra estará constituida por un número de unidades tal que permita disponer de al menos 10 animales y 200 g de carne.
- Para muestras destinadas a análisis químicos: La muestra estará constituida por 200 g de carne.
- Para muestras destinadas a análisis toxicológicos: Para análisis toxicológico se requerirá un mínimo de 12 unidades y 200 g de carne por compuesto a analizar.

Esto a fin de asegurar la representatividad de las muestras colectadas y el posterior análisis de riesgo para la salud humana.

Para la versión extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero se ha considerado todos aquellos contaminantes de posible preocupación ambiental pertenecientes a los Grupos de Prioridad 1A y 1B, es decir todos aquellos que presentan excedencias recientes a directrices nacionales e internacionales (Grupo 1A), junto con todos aquellos contaminantes de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero que cuentan con directrices nacionales e internacionales (es decir umbrales de concentración conocidos), pero no han sido medidos en la bahía representando un riesgo para la salud humana y el medio ambiente (Grupo 1B). Se propone cuantificar todos estos contaminantes (Grupo 1A y 1B) en la línea base de la

versión extendida de la Red de Monitoreo y en todas las matrices ambientales (agua de mar, sedimentos y biota) y a partir de los resultados obtenidos evaluar la incorporación o remoción de estos en los subsiguientes monitoreos (regulares) de la Bahía de Quintero. Para más información de los Grupos de Prioridad de Monitoreo ver secciones 6.2.1 de Métodos (página 34) y sección 7.2.3 de Resultados (página 203). En este sentido, los presupuestos en sus versiones extendida y acotada pueden ser ajustado aun más de ser requerido la mediante priorización de las matrices de monitoreo siguiendo las recomendaciones de la sección 6.3.4.3.5.1 de Métodos (página 60), es decir sedimentos como primera prioridad, seguido biota y finalmente agua de mar.

Para la versión acotada de la Red de Monitoreo se propone reducir significativamente el número de contaminantes a monitorear en la línea base de contaminantes, centrándose en aquellos de menor costo de análisis, específicamente nutrientes, metales pesados (solo concentración total, no en fracción disuelta) e hidrocarburos pertenecientes al Grupo 1A de prioridad de monitoreo, y a partir de los resultados de la línea base de contaminantes determinar la incorporación de contaminantes adicionales a partir de los grupos de prioridad establecidos en la sección 7.2.3 de este informe, y siguiendo las sugerencias y principios establecidos en la sección 6.3.4.3 (página 52).

### 6.3.4.5.2 Monitoreo de contaminantes en el estero Campiche

En ambas versiones de la Red de Monitoreo se consideran 2 estaciones adicionales de monitoreo dentro del Estero Campiche, en las cuales se sugiere monitorear las mismas matrices (agua, sedimentos y biota) que en las estaciones de línea base ubicadas en la Bahía de Quintero. La ubicación de las estaciones es la misma utilizada por BIOMA S.A. Consultores Ambientales (2020) fue de monitoreo propuestas en el Estero Campiche se detallan a continuación:

**Tabla 8 Ubicación propuesta de estaciones o puntos de monitoreo en Humedal Estero Campiche. Ubicación propuesta a partir de BIOMA S.A. Consultores Ambientales (2020).**

Estuario	Coordenada Este	Coordenada Norte
EC-2	267589	6373889
EC-3	267212	6374171

### 6.3.4.5.3 Monitoreo de contaminantes de origen atmosférico

En la versión extendida del monitoreo de contaminantes de origen atmosférico se consideran dos prioridades, los contaminantes de inmediato ingreso y peligro para la bahía y los que requieren mayor interacción con el medio. Como primera prioridad para la bahía y el ecosistema marino, se propone analizar los contaminantes asociados a MPS y MP provenientes de los procesos de combustión y refinerías (incluyendo ENAP, GNL, CODELCO Ventanas y el Complejo Termoeléctrico Ventanas), el cual se puede medir de modo acumulativo (discreto) por periodos estacionales utilizando colectores y determinación de concentraciones en medio acuoso (USEPA SW846, 6010C. SM 4110B).

Para esto se recomienda seguir el procedimiento propuesto por CENMA, en el estudio de CEA (2013), a partir de la Norma ASTM D 1739-98 Standard Test Methods for Collection and Measurement of Dustfall (Settleable Particulate Matter). Se considera asimismo pertinente añadir colectores de MPS a estaciones de calidad de aire existentes con información sub-horaria para operar de modo acumulativo por periodos estacionarios amplios. Estos colectores se pueden operar de manera prolongada y el análisis de metales se realiza una sola vez para cada metal, lo cual reduce los potenciales costos de análisis.

Como segunda prioridad se identifica la medición de gases, entre los que pueden agruparse los relacionados a la actividad humana en general y los exclusivos a emisiones industriales:

Influencia	Medio	Grupo	Contaminante
Industrial	Gases	Compuestos orgánicos	Benceno
Industrial	Gases	Compuestos orgánicos	Compuestos Orgánicos Volátiles
Industrial	Gases	Compuestos orgánicos	Dibenzoparadióxinas policloradas y furanos (PCDD/F)
Industrial	Gases	Compuestos orgánicos	Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano
Industrial	Gases	Hidrocarburos	Hidrocarburos
Industrial	Gases	Hidrocarburos	Hidrocarburos Totales (HCT) e Hidrocarburos No-Metánicos (HCNM)
General	Gases	Gases	Monóxido de carbono
General	Gases	Gases	Dióxido de carbono (CO2)

<b>General</b>	Gases	Gases	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )
<b>General</b>	Gases	Gases	Óxidos de nitrógeno
<b>General</b>	Gases	Gases	Óxidos de azufre
<b>General</b>	Gases	Gases	Ozono

Los gases de influencia general (variedad de actividades antrópicas) se pueden monitorear por instrumentos de medición continua de mayor costo operativo que los colectores de MPS. Con respecto a la bahía, podemos priorizar los contaminantes de influencia industrial, como el Benceno, COV y PDF/F. Este monitoreo puede llegar a ser considerablemente más costoso de mantener a largo plazo. La mayoría de los gases de influencia general ya se monitorean regularmente (<https://airecqp.mma.gob.cl>). De ser considerado relevante, podría evaluarse la adición de gases como HCT y HCNM en la estación de Punta Ventanas (actualmente no se monitorean estos parámetros).

A continuación, en la Tabla 9 se listan los metales pesados considerados en el monitoreo de material particulado en las versiones acotadas y extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero.

**Tabla 9 Metales pesados en material particulado sedimentable considerados en versiones resumida y extendida de la Red de monitoreo de la Bahía de Quintero.**

Parámetro	Acotada		Extendida	
	Insoluble	Soluble	Insoluble	Soluble
Antimonio total				
Arsénico total				
Berilio total				
Cadmio total				
Cobalto total				
Cobre total				
Cromo total				
Dibenzoparadióxinas policloradas y furanos (PCDD/F)				
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)				
Manganeso total				
Mercurio total				
Níquel total				
Plomo total				
Selenio total				
Telurio total				
Vanadio total				
Zinc total				

La justificación de los metales pesados priorizados en la versión acotada de la red de monitoreo se lista en la Tabla 10 a continuación.

**Tabla 10 Contaminantes atmosféricos propuestos para versión acotada de la Red de Monitoreo de Contaminantes atmosféricos con posible impacto en el medio marino de la Bahía de Quintero.**

Parámetro	Fuente	Impacto marino
Dióxido de azufre (SO <sub>x</sub> )	Operaciones de combustión de carbón y petróleo, refinación de petróleo y fundición de metales. Las centrales termoeléctricas que queman carbón son, por lejos, la mayor fuente de emisiones de SO <sub>x</sub> .	Acidificación del ecosistema marino Deficiencias de calcio El aumento de la ácidos aumenta la movilidad de ciertos metales traza como el aluminio, el cadmio, el manganeso, el hierro, el arsénico y el mercurio.

Parámetro	Fuente	Impacto marino
Óxido de nitrógeno (NOx)	La mayor fuente de NOx es la combustión de combustibles fósiles por parte de automóviles y centrales eléctricas	La deposición de nitrógeno puede eutrofización, crecimiento desmedido de algas y eventos de hipoxia con consiguiente impacto sobre organismos aeróbicos.
Mercurio y Vanadio	Las fuentes incluyen incineradores, instalaciones de quema de carbón y otros procesos industriales.	Los procesos biológicos (degradación anaeróbica de materia orgánica) acuáticos pueden transformar el mercurio en metilmercurio (particularmente tóxico y bioacumulable).

La propuesta acotada tiene dos consideraciones fundamentales: 1) que los parámetros seleccionados son los de mayor emisión y peligrosidad para el medio marino, y 2) que su presencia puede relacionarse a la presencia de otros contaminantes no monitoreados. Esto es de especial importancia para los metales pesados cuyo origen, emisión y movilidad es similar, por lo cual se puede utilizar el mercurio y vanadio como indicadores de peligrosidad asociados al conjunto de metales emitidos por la incineración y procesos industriales. El monitoreo de mercurio y vanadio se puede realizar de modo discreto utilizando colectores MPS.

### Estaciones de monitoreo atmosférico

De acuerdo con el modelado de la dispersión de contaminantes realizado por el DICTUC<sup>13</sup> y el estudio de Greenpeace<sup>14</sup>, los principales flujos de dispersión se dan hacia el noreste por la cordillera de la costa, con menor impacto sobre el ecosistema marino de la bahía de Quintero. Estas plumas de dispersión estarían monitoreadas por las redes de calidad de aire existentes. Sin embargo, el área inmediata de la bahía es afectada directamente por la dispersión inmediata de contaminantes, incluyendo contaminantes en fase gaseosa y particulada. De ser encontrado el material particulado y gases con efecto sobre el ecosistema marino, se encontraría en la inmediatez a la bahía. Se consideraron las estaciones existentes en la Red de Monitoreo de Calidad del Aire para Concón, Quintero y Puchuncaví<sup>15</sup> debido a la importancia de la información colectada en representatividad de los patrones atmosféricos locales y sinópticos. Se recomienda aprovechar la estación de Quintero como primera alternativa. La ubicación relativa de la estación se muestra en la Figura 13 a continuación.

<sup>13</sup> DICTUC (2020). Servicio de Modelación de calidad del aire para la zona de Quintero-Puchuncaví Para: Superintendencia del Medio Ambiente Santiago, 10 de agosto de 2020 Informe Final N°1535747. Información Contractual OC N° 611669-1121-SE19.

<sup>14</sup> Impactos De Las Emisiones De Las Termoeléctricas A Carbón En La Calidad Del Aire En Las Comunas De Huasco Y Puchuncaví: preparado por Greenpeace, Chile Sustentable y KAS Ingenieros, 2020. [https://www.greenpeace.to/greenpeace/wp-content/uploads/2020/02/Informe-Emisiones\\_Rev\\_KAS\\_CHS\\_VF.pdf](https://www.greenpeace.to/greenpeace/wp-content/uploads/2020/02/Informe-Emisiones_Rev_KAS_CHS_VF.pdf)

<sup>15</sup> <https://airecqp.mma.gob.cl>

Figura 13 Ubicación de estación de Quintero para monitoreo de Material Particulado. Fuente: <https://airecqp.mma.gob.cl>



A partir de esto, se recomienda hacer uso de las estaciones de Ventanas, La Greda, Quintero y Centro de Quintero para añadir los sensores y equipos necesarios para los contaminantes priorizados en el informe. La ubicación de las estaciones se especifica en la Tabla 11.

Tabla 11 ubicación de las estaciones de monitoreo de contaminantes de origen atmosférico con potencial impacto en las aguas de la Bahía de Quintero.

Código SINCA	Nombre	E (km)	S (km)
S2	Ventanas	267547	6374609
S3	La Greda	268185	6373910
S5	Quintero	262526	6371090
S6	Centro Quintero	262853	6369407
Alternativo	Ventanillas	~ 264907	~ 6377654

Consideramos también relevante evaluar la posibilidad de reemplazar la estación de Centro de Quintero por una nueva estación localizada en punta Ventanillas (ubicación aproximada) como dirección opuesta a la dispersión detectable en la estación Ventanas.

Al igual que el monitoreo propuesto para las matrices marinas, este es implementado de modo iterativo a partir de una línea base. Bajo el monitoreo de línea base, se propone un monitoreo discreto trimestral para 4 estaciones en el entorno a la bahía, con dos estaciones en proximidad a las emisiones y dos a mayor distancia. Se propone la estación Quintero de la Red Concón-Quintero-Puchuncaví como un sitio distante que puede representar la trayectoria de contaminantes que ingresan a la bahía. A partir de esta línea base se establecen 3 escenarios; 1) si las concentraciones se consideran significativamente más altas de lo esperado y/o se aprecia una variabilidad en la concentración de contaminantes entre estaciones, se recomienda aumentar el número de estaciones (distantes) y reducir el periodo de monitoreo discreto de 3 a 1 mes. Bajo el escenario 2 se espera mantener el diseño de la línea base. Bajo el escenario 3, donde no se observa grandes concentraciones de contaminantes, se recomienda extender el periodo discreto de monitoreo a 6 meses y reducir el número de estaciones con una distante y una en proximidad. Esta propuesta se resume en la Tabla 12 a continuación.

Tabla 12 Número de estaciones y frecuencia de monitoreo de contaminantes de origen atmosférico en la Bahía de Quintero.

Número estaciones o frecuencia de monitoreo	Línea base de contaminantes	Escenario 1 muestreo regular - Requerimiento de muestreo superior al de la línea base	Escenario 2 muestreo regular - Requerimiento de muestreo similar al de la línea base	Escenario 3 muestreo regular - Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base
Número de estaciones	4	6	4	2
Frecuencia de monitoreo anual	4	12	4	2

### 6.3.5 Talleres y reuniones

Las actividades asociadas a este objetivo se señalan a continuación:

- Taller técnico N° 3 de definición y validación de métodos analíticos y enfoques propuestos para abordar el monitoreo integral de la Bahía de Quintero
- Taller técnico N° 4 de validación de la propuesta red de monitoreo integral de la Bahía de Quintero - Puchuncaví
- Exposición de informe final, ya aprobado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), a representantes de fuentes emisoras de la Bahía de Quintero y al Consejo de Recuperación Ambiental y Social (CRAS) Quintero-Puchuncaví



# 7 Resultados

## 7.1 Objetivo 1

### 7.1.1 Parámetros y métodos analíticos utilizados en el monitoreo de emisiones a los componentes del agua y el aire

A continuación, se aborda la identificación de parámetros (contaminantes y variables ambientales) regulados y/o monitoreados por las diferentes fuentes emisoras y servicios públicos, tanto en RILes como en las diferentes matrices ambientales (agua de mar, sedimento biota y aire); y los métodos analíticos utilizados de acuerdo con la normativa nacional.

#### 7.1.1.1 *Parametros normados y monitoreados en RILes, matrices ambientales de la Bahía de Quintero*

##### 7.1.1.1.1 *Parametros normados y monitoreados en RILes y matrices marinas*

Se considero inicialmente todas las unidades fiscalizables con emisiones de residuos líquidos industriales a la Bahía de Quintero las cuales se señalan en la Tabla 13 a continuación.

**Tabla 13 Unidades fiscalizables con emisiones de residuos líquidos industriales a la Bahía de Quintero. Fuente: Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC).**

Razón Social	Planta	Nombre punto de descarga	RPM
AES GENER S.A.	Central Termoeléctrica Ventanas Unidades 1 Y 2	UNIDAD1	1243
		UNIDAD2	1227
COMPANIA DE PETROLEOS DE CHILE COPEC S.A.	Planta De Lubricantes Copec	COPEC.QUIN EMISARIO	1028
			1114
CORP NACIONAL DEL COBRE DE CHILE	Refinería Ventanas	C.DVENTANAS	1033
EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE S.A.	Central Termoeléctrica Campiche	UNIDAD 4	706
EMPRESA ELECTRICA VENTANAS S.A.	Central Termoeléctrica Nueva Ventanas	VENTANAS.3	502
ENAP REFINERIAS S.A.	Terminal Marítimo De Quintero	ENAP.QUINTERO	1229
GASMAR S.A.	Gasmar S A	Punto 1 Bahía de Quintero Circuito 1200	1281
		Punto 2 Bahía de Quintero Circuito 300	1281
GNL QUINTERO S.A.	Terminal Marítimo GNL Quintero	BAÑO.MODULAR.GNL	162
			188
		GNL.QUINTERO	162
			353
PESQUERA QUINTERO S.A.	Pesquera Quintero S.A.	P.QUINTERO	250
ESVAL S.A.	Planta de Tratamiento de Aguas Servidas y Emisario Submarino de Quintero	Emisario submarino de Quintero	RES. SISS

Del análisis de datos asociados a estas unidades fiscalizables se identificó un total de 66 parámetros regulados y/o monitoreados en RILes y en el medio ambiente marino (agua de mar, sedimento y biota). El listado completo de parámetros

se entrega en la Tabla 14 a continuación. Un listado detallado de concentraciones máximas permisibles de contaminantes en RILes y matrices ambientales (aire y agua de mar) de acuerdo a la normativa nacional se entrega la Tabla 1 del Anexo D de este informe.

Tabla 14 Parámetros normados y monitoreados en RILes emitidos a la Bahía de Quintero de acuerdo al D.S. 90 (2001), la norma primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo (D.S. 144 2009), las Resoluciones de Programas de Monitoreo (datos SNIFA, 2017-2020) de unidades fiscalizables según SNIFA, los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA), el Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) y el monitoreo de autocontrol de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS, año 2019) y de unidades fiscalizables con emisiones a la bahía de Quintero.

Parámetro	Normado en Chile			Monitoreado en Chile			
	RILes a agua de mar	Agua de mar	Biota destinada a consumo humano	RILes a agua de mar	Agua de mar	Sedimento	Biota / Bioensayo / Tejido
<b>Compuestos inorgánicos</b>							
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )							
Cianuro (CN <sup>-</sup> )							
Cloro libre residual							
Cloruros							
Fluoruros							
Fosfatos							
Fósforo (P) - Total							
Nitrógeno (N) - Kjeldahl							
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )							
Sulfuros (HS <sup>-</sup> )							
Nitrato y Nitrito							
<b>Compuestos orgánicos - compuestos orgánicos persistentes (COPs)</b>							
Bifenilos policlorados (PCB)							
Dioxinas (policlorodibenzodioxinas, PCDD)							
PCBs coplanares							
Pentaclorofenol							
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos</b>							
Hidrocarburos aromáticos totales (HAT)							
Hidrocarburos fijos							
Hidrocarburos totales							
Hidrocarburos volátiles							
Hidrocarburos alifáticos							
Hidrocarburos parafínicos							
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>							
Benceno							
Etilbenceno							
Tolueno							
Xileno							
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>							
Acenafteno							
Acenaftileno							
Antraceno							
Benzo [a] pireno							
Benzo [a] antraceno							
Benzo [b] fluoranteno							

Parámetro	Normado en Chile			Monitoreado en Chile			
	RILES a agua de mar	Agua de mar	Biota destinada a consumo humano	RILES a agua de mar	Agua de mar	Sedimento	Biota / Bioensayo / Tejido
Benzo [ghi] perileno							
Benzo [k] fluoranteno							
Criseno							
Dibenzo [ah] antraceno							
Fenantreno							
Fluoranteno							
Fluoreno							
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)							
Indeno [123cd] pireno							
Naftaleno							
Pireno							
<b>Compuestos orgánicos - otros compuestos</b>							
Aceites y grasas							
Carbono orgánico total (TOC)							
Compuestos fenólicos							
Fenoles e índice fenol							
Materia orgánica							
Metanos halogenados (triclorometano)							
Tetracloroetano							
<b>Indicadores biológicos</b>							
Abundancia macrofauna							
Biomasa							
Clorofila a							
Cobertura							
Coliformes fecales							
Especie dominante							
Riqueza							
Sobrevivencia bioensayo							
<b>Indicadores físico-químicos</b>							
Color verdadero (APHA = Pt-Co = Hazen Color)							
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)							
Demanda química de oxígeno (DQO)							
Densidad							
Humedad 105C							
Humedad 35C							
Oxígeno (O) - Disuelto y Saturación							
pH							
Pluma Térmica							
Salinidad							
Sólidos disueltos							
Sólidos sedimentables							
Sólidos suspendidos totales							
Sustancias activas de azul de metileno (SAAM)							
Temperatura							
Transparencia							
Zona fótica							
Poder Espumógeno							

Parámetro	Normado en Chile			Monitoreado en Chile			
	RILES a agua de mar	Agua de mar	Biota destinada a consumo humano	RILES a agua de mar	Agua de mar	Sedimento	Biota / Bioensayo / Tejido
<b>Metales y metaloides</b>							
Aluminio (Al)							
Arsénico (As) - Disuelto y Total							
Arsénico total							
Cadmio (Cd) - Disuelto y Total							
Cadmio total							
Cobre (Cu) - Disuelto, Particulado y Total							
Cobre total							
Cromo (Cr) - Disuelto, Particulado, Absorbido y Total							
Cromo (Cr) - VI o hexavalente - Disuelto, Particulado, Absorbido y Total							
Estaño (Sn)							
Estaño total							
Hierro (Fe) - Disuelto y Total							
Hierro total							
Manganeso (Mn)							
Mercurio (Hg) - Disuelto y Total							
Mercurio total							
Molibdeno (Mo)							
Níquel (Ni) - Disuelto y Particulado							
Plomo (Pb) - Disuelto y Total							
Plomo total							
Selenio (Se)							
Selenio total							
Vanadio (V) - Disuelto, Particulado, Absorbido y Total							
Zinc (Zn) - Disuelto y Total							
Zinc total							
<b>Parámetros estructurales del cuerpo receptor</b>							
Caudal							
Parámetros granulométricos							
Profundidad							
Velocidad y dirección de corrientes marinas							
Volumen Total							
<b>Radionucleidos</b>							
Radionucleidos							

El desglose de parámetros monitoreados en cada unidad fiscalizable con emisiones a la Bahía de Quintero se entrega en la Tabla 15 a continuación. Se incluye parámetros monitoreados en RILES reportados en SNIFA en relación a requerimientos del D.S. 90 (2001) y datos de monitoreo ambiental, principalmente de muestras en agua de mar, asociado a los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA).

Tabla 15 Parametros monitoreados en RILes reportados en SNIFA e informes de autocontrol de PTAS 2019 y datos de monitoreo ambiental asociado a los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) de cada unidad fiscalizable.

Parámetro	RPM – SNIFA y autocontrol PTAS 2019								Programa Vigilancia Ambiental (PVA)														
	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE	CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	PESQUERA QUINTERO S.A.	ESVAL S.A.	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE	CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	ESVAL S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	OXIQIM S.A	PESQUERA QUINTERO S.A.	PUERTO VENTANAS S.A.	
<b>Compuestos inorgánicos</b>																							
Cianuro (CN-)																							
Cloro Libre Residual																							
Cloruros																							
Fluoruros																							
Fósforo (P) - Total																							
Nitrógeno (N) - Kjeldahl																							
Selenio (Se)																							
Sulfuros (HS-)																							
<b>Compuestos orgánicos - compuestos orgánicos persistentes (COPs)</b>																							
Pentaclorofenol																							
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos</b>																							
Hidrocarburos alifáticos																							
Hidrocarburos aromáticos totales																							
Hidrocarburos fijos																							
Hidrocarburos parafínicos																							
Hidrocarburos totales																							
Hidrocarburos volátiles																							
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>																							
Benceno																							
Etilbenceno																							
Tolueno																							
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)</b>																							
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)																							
<b>Compuestos orgánicos - otros compuestos</b>																							
Aceites y grasas																							
Carbono orgánico total (TOC)																							
Compuestos fenólicos																							
Fenoles e índice fenol																							
Materia orgánica																							
Metanos halogenados (triclorometano)																							

Parámetro	RPM – SNIFA y autocontrol PTAS 2019								Programa Vigilancia Ambiental (PVA)														
	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE	CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	PESQUERA QUINTERO S.A.	ESVAL S.A.	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE	CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	ESVAL S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	OXIQUM S.A	PESQUERA QUINTERO S.A.	PUERTO VENTANAS S.A.	
Tetracloroetano																							
Xileno																							
<b>Indicador de presión / calidad ambiental</b>																							
Clorofila a																							
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)																							
Demanda química de oxígeno (DQO)																							
Oxígeno (O) - Disuelto y Saturación																							
pH																							
Pluma Termica																							
Poder Espumógeno																							
Solidos disueltos																							
Sólidos sedimentables																							
Sólidos suspendidos																							
Sólidos suspendidos totales																							
Sustancias activas de azul de metileno (SAAM)																							
Temperatura																							
Transparencia																							
Zona fótica																							
<b>Indicadores biológicos</b>																							
Abundancia macrofauna																							
Biomasa																							
Cobertura																							
Coliformes fecales																							
Especie dominante																							
Riqueza																							
Sobrevivencia bioensayo																							
<b>Metales y metaloides</b>																							
Aluminio (Al)																							
Arsénico (As) - Disuelto y Total																							
Boro (B)																							
Cadmio (Cd) - Disuelto y Total																							
Cobre (Cu) - Disuelto, Particulado y Total																							
Cromo (Cr) - Disuelto, Particulado, Absorbido y Total																							
Estaño (Sn)																							
Hierro (Fe) - Disuelto y Total																							
Manganeso (Mn)																							
Mercurio (Hg) - Disuelto y Total																							

Parámetro	RPM – SNIFA y autocontrol PTAS 2019							Programa Vigilancia Ambiental (PVA)															
	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE	CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	PESQUERA QUINTERO S.A.	ESVAL S.A.	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE	CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	ESVAL S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	OXIQUIM S.A.	PESQUERA QUINTERO S.A.	PUERTO VENTANAS S.A.	
Molibdeno (Mo)																							
Níquel (Ni) - Disuelto y Particulado																							
Plomo (Pb) - Disuelto y Total																							
Vanadio (V) - Disuelto, Particulado, Absorbido y Total																							
Zinc (Zn) - Disuelto y Total																							
Cromo (Cr) - VI o hexavalente - Disuelto, Particulado																							
<b>Parámetros estructurales del cuerpo receptor</b>																							
Caudal																							
Densidad																							
Parámetros granulométricos																							
Profundidad																							
Salinidad																							
Velocidad y dirección de corrientes marinas																							
Volumen Total																							

Parámetro	RPM – SNIFA y autocontrol PTAS 2019							Programa Vigilancia Ambiental (PVA)															
	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE	CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	PESQUERA QUINTERO S.A.	ESVAL S.A.	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE	CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	ESVAL S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	OXIQUIM S.A.	PESQUERA QUINTERO S.A.	PUERTO VENTANAS S.A.	
<b>Compuestos inorgánicos</b>																							
Cianuro (CN-)																							
Cloro libre residual																							
Cloruros																							
Fluoruros																							
Fósforo (P) - Total																							
Nitrógeno (N) - Kjeldahl																							
Sulfuros (HS-)																							
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos</b>																							

Parámetro	RPM – SNIFA y autocontrol PTAS 2019								Programa Vigilancia Ambiental (PVA)											
	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	PESQUERA QUINTERO S.A.	ESVAL S.A.	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	ESVAL S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	OXIQUIM S.A.	PESQUERA QUINTERO S.A.	PUERTO VENTANAS S.A.
Hidrocarburos aromáticos totales (HAT)																				
Hidrocarburos fijos																				
Hidrocarburos totales																				
Hidrocarburos volátiles																				
Hidrocarburos alifáticos																				
Hidrocarburos parafínicos																				
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>																				
Benceno																				
Etilbenceno																				
Tolueno																				
Xileno																				
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>																				
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)																				
<b>Compuestos orgánicos - otros compuestos</b>																				
Aceites y grasas																				
Carbono orgánico total (TOC)																				
Compuestos fenólicos																				
Fenoles e índice fenol																				
Materia orgánica																				
Metanos halogenados (triclorometano)																				
Tetracloroetano																				
<b>Indicadores biológicos</b>																				
Abundancia macrofauna																				
Biomasa																				
Clorofila a																				
Cobertura																				
Coliformes fecales																				
Especie dominante																				
Riqueza																				
Sobrevivencia bioensayo																				
<b>Indicadores físico-químicos</b>																				
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)																				
Demanda química de oxígeno (DQO)																				
Densidad																				
Oxígeno (O) - Disuelto y Saturación																				
pH																				
Pluma Termica																				
Salinidad																				
Sólidos disueltos																				
Sólidos sedimentables																				
Sólidos suspendidos totales																				
Sustancias activas de azul de metileno (SAAM)																				
Temperatura																				



Parámetro	RPM – SNIFA y autocontrol PTAS 2019								Programa Vigilancia Ambiental (PVA)														
	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE	CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	PESQUERA QUINTERO S.A.	ESVAL S.A.	AES GENER S.A.	COMPANIA DE PETROLEOS DE	CORP NACIONAL DEL COBRE DE	EMPRESA ELECTRICA CAMPICHE	EMPRESA ELECTRICA VENTANAS	ENAP REFINERIAS S.A.	ESVAL S.A.	GASMAR S.A.	GNL QUINTERO S.A.	OXIQUIM S.A.	PESQUERA QUINTERO S.A.	PUERTO VENTANAS S.A.	
Transparencia																							
Zona fótica																							
Poder Espumógeno																							
<b>Metales y metaloides</b>																							
Aluminio (Al)																							
Arsénico (As) - Disuelto y Total																							
Cadmio (Cd) - Disuelto y Total																							
Cobre (Cu) - Disuelto, Particulado y Total																							
Cromo (Cr) - Disuelto, Particulado, Absorbido y Total																							
Cromo (Cr) - VI o hexavalente - Disuelto, Particulado, Absorbido y Total																							
Estaño (Sn)																							
Hierro (Fe) - Disuelto y Total																							
Manganeso (Mn)																							
Mercurio (Hg) - Disuelto y Total																							
Molibdeno (Mo)																							
Níquel (Ni) - Disuelto y Particulado																							
Plomo (Pb) - Disuelto y Total																							
Selenio (Se)																							
Vanadio (V) - Disuelto, Particulado, Absorbido y Total																							
Zinc (Zn) - Disuelto y Total																							
<b>Parámetros estructurales del cuerpo receptor</b>																							
Caudal																							
Parámetros granulométricos																							
Profundidad																							
Velocidad y dirección de corrientes marinas																							
Volumen Total																							

Como se observa en la Tabla 15, en cuanto al monitoreo de RILes, CODELCO Ventanas concentra el mayor número de parámetros monitoreados (n=41), seguido de la ESVAL-PTAS Quintero (n=38) y COPEC (n=28). La mayoría de los parámetros monitoreados en RILes son transversales a la mayoría de las unidades fiscalizables, con la excepción de compuestos sitio-específicos como el tetracloroetano, pentaclorofenol, toluol (fenilmetano, metilbenceno, metilbenzol, tolueno), xileno, y cloruros asociados a CODELCO. En cuanto a los Programas de Vigilancia Ambiental (sección a la derecha de la Tabla 15), el número de parámetros muestreados varía entre 6 (Empresas eléctricas Campiche S.A. y Ventanas S.A.) y 14 parámetros (CODELCO Ventanas y ENAP refineries S.A.).

Como se observa en la Tabla 16, a continuación, existen diferencias entre los parámetros de monitoreo de RILes establecidos en los Programas de Monitoreo (RPM) de cada unidad fiscalizable y aquellos establecidos en las normas de emisión de residuos líquidos a aguas marinas (D.S. 90 2001). Esto se debe a que los Programas de Monitoreo (RPM) de RILes pueden incorporar parámetros adicionales a los de las normas de emisión según la naturaleza de cada proyecto y los residuos líquidos generados. Estos parámetros adicionales monitoreados en RILes de unidades fiscalizables de la Bahía de Quintero se listan en la Tabla 16 a continuación.

Tabla 16 Parametros adicionales monitoreados en RILes vertidos a la Bahía de Quintero establecidos en las Resoluciones de Programas de Monitoreo (RPM) en relación a aquellos establecidos en las normas de emisión (D.S. 90 2001).

Clasificación	Parámetro (en RILes)	Número de RPM de la Tabla 13 que incorporan el parámetro
<b>Compuestos inorgánicos</b>	Cloro libre residual	2
<b>Parámetros estructurales del cuerpo receptor</b>	Caudal	10

Asimismo, en su historia, el P.O.A.L y los PVA han monitoreado en forma periódica u ocasional en las diversas matrices ambientales (agua de mar, sedimentos y biota marina), una serie de parámetros adicionales a aquellos regulados y monitoreados en RILes<sup>16</sup> de unidades fiscalizables con emisiones a la Bahía de Quintero. Estos parámetros adicionales se listan en la Tabla 17 a continuación.

Tabla 17 Parametros adicionales a aquellos normados y monitoreados en emisarios (RILes) de unidades fiscalizables con emisiones a la Bahía de Quintero que han sido monitoreados en matrices ambientales (agua de mar, sedimentos y biota marina) a través del P.O.A.L. (1993-2017) y P.V.A. (1994-2019) en la Bahía de Quintero.

Parámetro	P.O.A.L. (1993-2017)			P.V.A. (1994-2019)				
	Agua de mar	Biota / Bioensayo / Tejido	Sedimento	Agua de mar	Biota / Bioensayo / Tejido	Sedimento	RILES a agua de mar	RILES a estero
<b>Compuestos inorgánicos</b>								
Amonio (NH4+)								
Cloro Libre Residual								
Cloruros								
Fluoruros								
Fosfatos (PO43-)								
Fósforo (P) - Total								
Nitrato y Nitrito								
Nitrógeno (N) - Kjeldahl								
Selenio (Se)								
Sulfuros (HS-)								
<b>Compuestos orgánicos - compuestos orgánicos persistentes (COPs)</b>								
Bifenilos policlorados (PCB)								
Pentaclorofenol								
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos</b>								
Hidrocarburos alifáticos								
Hidrocarburos aromáticos totales								
Hidrocarburos fijos								
Hidrocarburos parafínicos								
Hidrocarburos totales								
Hidrocarburos volátiles								
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>								
Benceno								

<sup>16</sup> Definidas en D.S. 90 (2001), Resoluciones de Programas de Monitoreo (RPM), y Programas de Vigilancia Ambiental aplicables a RILes.

Parámetro	P.O.A.L. (1993-2017)			P.V.A. (1994-2019)				
	Agua de mar	Biota / Bioensayo / Tejido	Sedimento	Agua de mar	Biota / Bioensayo / Tejido	Sedimento	RILES a agua de mar	RILES a estero
Etilbenceno								
Tolueno								
<b>Compuestos orgánicos - hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)</b>								
Acenafteno								
Acenaftileno								
Antraceno								
Benzo (a) pireno								
Benzo [a] antraceno								
Benzo [b] fluoranteno								
Benzo [ghi] perileno								
Benzo [k] fluoranteno								
Criseno								
Dibenzo [ah] antraceno								
Fenantreno								
Fluoranteno								
Fluoreno								
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)								
Indeno [123cd] pireno								
Naftaleno								
Pireno								
<b>Compuestos orgánicos - otros compuestos</b>								
Aceites y grasas								
Carbono orgánico total (TOC)								
Compuestos fenólicos								
Materia orgánica								
Xileno								
<b>Indicador de presión / calidad ambiental</b>								
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)								
Demanda química de oxígeno (DQO)								
Humedad 105C								
Humedad 35C								
Oxígeno (O) - Disuelto y Saturación								
pH								
Pluma Termica								
Solidos disueltos								
Sólidos sedimentables								
Sólidos suspendidos								
Sustancias activas de azul de metileno (SAAM)								
Temperatura								
Transparencia								
Zona fótica								
<b>Indicadores biológicos</b>								

Parámetro	P.O.A.L. (1993-2017)			P.V.A. (1994-2019)				
	Agua de mar	Biota / Bioensayo / Tejido	Sedimento	Agua de mar	Biota / Bioensayo / Tejido	Sedimento	RILES a agua de mar	RILES a estero
Abundancia macrofauna								
Biomasa								
Cobertura								
Coliformes fecales								
Especie dominante								
Riqueza								
Sobrevivencia bioensayo								
<b>Metales y metaloides</b>								
Aluminio (Al)								
Arsénico (As) - Disuelto y Total								
Cadmio (Cd) - Disuelto y Total								
Cobre (Cu) - Disuelto, Particulado y Total								
Cromo (Cr) - Disuelto, Particulado, Absorbido y Total								
Estaño (Sn)								
Hierro (Fe) - Disuelto y Total								
Manganeso (Mn)								
Mercurio (Hg) - Disuelto y Total								
Molibdeno (Mo)								
Níquel (Ni) - Disuelto y Particulado								
Plomo (Pb) - Disuelto y Total								
Vanadio (V) - Disuelto, Particulado, Absorbido y Total								
Zinc (Zn) - Disuelto y Total								
Cromo (Cr) - VI o hexavalente - Disuelto, Particulado								
<b>Parámetros estructurales del cuerpo receptor</b>								
Caudal								
Densidad								
Parámetros granulométricos								
Profundidad								
Salinidad								
Velocidad y dirección de corrientes marinas								
Volumen Total								

De este listado de parámetros normados y/o monitoreados en RILES y matrices ambientales es importante distinguir entre:

- 1) elementos y/o compuestos contaminantes de origen antropogénico,
- 2) indicadores de presión, estado o condición ambiental, por ejemplo, la demanda biológica y química de oxígeno, e índices de biodiversidad. Estas variables corresponden al Grupo A de variables de funcionamiento del ecosistema especificados en la Tabla 5-44 de CEA (2020) la cual se expande en la Tabla 18 a continuación, y finalmente las
- 3) variables estructurales, definidas como aquellas variables inherentes del cuerpo de agua que definen los límites ecológicos, o en otras palabras, la susceptibilidad y/o capacidad del ecosistema para concentrar o diluir contaminantes manteniendo la estructura y composición del ecosistema dentro de los límites de variación natural (EU 2009, Grant & Filgueira 2011).

En la Tabla 18 a continuación se entrega un resumen de parámetros fisicoquímicos utilizados como indicadores de presión (o condición ambiental) y de variables estructurales comúnmente evaluadas en sistemas costeros a nivel internacional.

**Tabla 18. Resumen de Indicadores de presión ambiental y variables estructurales asociadas a cuerpos de agua receptores de contaminantes. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de HOLON SPA. (2019), CEA (2020), Bricker et al. (2003), Simpson & Batley (2016) y Brylinsky (2006).**

Indicadores de presión ambiental			Variables estructurales	
Agua de mar	Sedimento	Biológico	Agua de mar	Sedimento
Clorofila a	Redox Intersticial	Biomasa bentónica	Potencial de exportación	Batimetría
Oxígeno disuelto	H <sub>2</sub> S Intersticial	Índices de biodiversidad (Pielou, Shannon-Wiener)	Potencial de dilución	Distribución del tamaño de grano (granulometría)
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	Índice de geo acumulación (Igeo)	Bioensayos	Estratificación de la columna de agua (por ejemplo, a través de la estimación de la frecuencia Brunt-Väisälä).	Susceptibilidad magnética en sedimentos
Demanda química de oxígeno (DQO)	Factor de enriquecimiento (EF)	Bioindicadores (especies indicadoras y tolerantes)		
Nitrógeno Inorgánico disuelto	Coeficiente de partición (Kd)			
Fósforo (ortofosfato)				
pH				
Temperatura				
Turbiedad y/o profundidad Secchi				
Materia suspendida total				
Coeficiente de partición (Kd)				

**Índice de geo acumulación (Igeo) y factor de enriquecimiento (EF)** = comúnmente utilizado para evaluar la presencia e intensidad de la deposición de contaminantes antropogénicos en la superficie del suelo. Estos índices de contaminación potencial se calculan mediante la normalización de la concentración de un metal en la capa superior del suelo con respecto a la concentración de un elemento de referencia no alterado antropogénicamente.

**Coeficiente de partición (Kd)** = es el coeficiente de compuestos entre la fase sólida (fracción particulada) y líquida (fracción disuelta) del agua de mar o del sedimento (en fracciones de agua intersticial versus sólida).

**Frecuencia Brunt-Väisälä** = es una medida de la estabilidad de un fluido a los desplazamientos verticales como los causados por la convección.

**Índice de Pielou** = Índice que describe cuán equitativamente se distribuyen los individuos entre las diferentes especies.

**Índice de Shannon-Wiener** = Índice que explica la riqueza de especies y la proporción de cada especie dentro del conjunto bentónico. El valor del índice aumenta a medida que aumenta la riqueza y la equidad de la comunidad.

**Especie indicadora** = es cualquier especie que responda a un factor estresante en particular.

**Especie tolerante** = es aquella que estará presente incluso cuando el factor estresante es alto.

**Susceptibilidad de sedimentos** = Susceptibilidad magnética se utiliza como trazador simple para la atribución de fuentes de sedimentos fluviales (Bravo 2007, Rowntree et al. 2017)

### 7.1.1.1.2 *Parámetros normados y monitoreados en aire*

A continuación en la Tabla 19 se especifican las emisiones puntuales de contaminantes atmosféricos registradas en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), el cual se sustenta normativamente en el D.S. N° 138/2005 del MINSAL y en el D.S. N° 13/2011 del Ministerio del Medio Ambiente.

**Tabla 19 Emisiones de contaminantes atmosféricos desde fuentes puntuales registradas en el RETC asociadas a unidades fiscalizables presentes en la Bahía de Quintero. Fuente: datos reportados al RETC por el Ministerio de Salud a través del Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas o Formulario 138 (F138).**

Unidad fiscalizable (UF)	REFINERIA VENTANAS	CENTRAL TERMOELÉCTRICA VENTANAS UNIDADES 1 Y 2	PLANTA COPEC TPI	CENTRAL TERMOELÉCTRICA NUEVA VENTANAS	CENTRAL TERMOELÉCTRICA CAMPICHE	OXIQUIM SA	TERMINAL MARITIMO GNL QUINTERO	PESQUERA QUINTERO S.A.	GASMAR S A	PLANTA DE LUBRICANTES COPEC	TERMINAL DE COMBUSTIBLES PMCT
Arsénico											
Benceno											
Compuestos Orgánicos Volátiles											
Dibenzoparadioxinas policloradas y furanos (PCDD/F)											
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )											
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )											
Material particulado											
Mercurio											
Monóxido de carbono (CO)											
MP10											
MP2,5											
Nitrógeno amoniacal (o NH <sub>3</sub> )											
NO <sub>x</sub>											
Plomo											
Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano											

Adicionalmente, algunas industrias reciben requerimientos específicos de monitoreo de emisiones atmosféricas por Resolución Exenta. Estos se detallan en la Tabla 20 a continuación.

**Tabla 20 Requerimientos específicos de monitoreo de emisiones atmosféricas por Resolución Exenta a unidades fiscalizables colindantes a la Bahía de Quintero.**

UF	Resolución	Parámetros
<b>Puerto Ventanas</b>	Resolución Exenta 01/1999 para Terminal de Asfaltos y Combustibles CORDEX	NO <sub>x</sub> Hidrocarburos Ozono
<b>Refinería Ventanas - CODELCO</b>	Res. Ex. N°27/2013	SO <sub>2</sub> Arsénico

UF	Resolución	Parámetros	
	Resolución Conjunta del Servicio Salud Viña del Mar – Quillota y el Servicio Agrícola y Ganadero Dirección Región de Valparaíso N° 53/40 del 31 de enero del 2000.	Material Particulado (MP)	
<b>Complejo Termoeléctrico Ventanas</b>	Resolución Exenta N° 404/2017 SMA (modifica Res. N°51916/2006)	Azufre, Cenizas, CO <sub>2</sub> , Flujo, Humedad, MP, Níquel, NO <sub>x</sub> , Oxígeno, Presión, SO <sub>2</sub> , Temperatura y Vanadio	
<b>Complejo Termoeléctrico Ventanas</b>	Resolución N°4729/2007. Aclara y deja sin efecto considerandos y artículos que indica de la resolución N° 51.916, de 2006, que establece el procedimiento para acreditar el cumplimiento de metas individuales de emisión y compensación de emisiones de material particulado (MP) para fuentes categorizadas como procesos y establece exigencias de información que indica.	<b>Fuentes de Incineración:</b> Cadmio (Cd) Mercurio (Hg) Berilio (Be) Plomo (Pb) Zinc (Zn) Arsénico (As) Cobalto (Co) Níquel (Ni) Selenio (Se) Telurio (Te) Antimonio (Sb) Cromo (Cr) Manganeso (Mn) Vanadio (V)	<b>Fuentes de Coíncineración:</b> Mercurio (Hg) Cadmio (Cd) Berilio (Be) Plomo (Pb) Arsénico (As) Cobalto (Ni) Níquel (Ni) Selenio (Se) Telurio (Te) Antimonio (Sb) Cromo (Cr) Manganeso (Mn) Vanadio (V)

Se incluye también los parámetros monitoreados como parte del RPM y reportados de manera mensual, trimestral o semestral al SNIFA, para las industrias de: ENAP, GNL, Refinería Ventanas – CODELCO y el Complejo Termoeléctrico Ventanas.

**Tabla 21** Parámetros monitoreos como parte del RPM reportados de manera regular o por monitoreos externos como el realizado por SEA (2013).

Medio	Grupo	Contaminante
Gases	Gases	Monóxido de carbono
Gases	Gases	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
Gases	Gases	Oxidos de Nitrogeno
Gases	Gases	Oxidos de azufre
Gases	Gases	Oxidos de nitrogeno
Gases	Gases	Ozono
Gases	Hidrocarburos	Hidrocarburos
Gases	Hidrocarburos	Hidrocarburos Totales (HCT) e Hidrocarburos No-Metánicos (HCNM)
MPS	Metales	Arsénico
MPS	Metales	Cadmio
MPS	Metales	Cobre
MPS	Metales	Mercurio
MPS	Metales	Metales Pesados
MPS	Metales	Niquel
MPS	Metales	Plomo
MPS	Metales	Vanadio
MP	Particulas	Material particulado
MP	Particulas	MP10
MP	Particulas	MP2.5

### 7.1.1.2 Métodos analíticos utilizados para la cuantificación de parámetros

#### 7.1.1.2.1 Métodos analíticos establecidos en normas nacionales de emisiones y calidad primaria de aire y agua

En la Tabla 22 a continuación se especifican los métodos analíticos definidos por la normativa nacional (D.S. 90 (2001), D.S. 112 (2002), D.S. 104 (2019), D.S. 114 (2003), D.S. 115 (2002), D.S. 136 (2001) y D.S. 144 (2009)) para la determinación de contaminantes atmosféricos y acuáticos, además de los métodos para la estimación de variables ambientales. En el anexo F (Tabla 1) se señalan los métodos analíticos declarados en informes de seguimiento ambiental y de planes de vigilancia ambiental de unidades fiscalizables con emisiones a la Bahía de Quintero. Estos datos fueron sometidos a un proceso de limpieza a fin de conciliar, hasta donde fuese posible, los nombres de los métodos o técnicas analíticas declaradas, los cuales no siguen formato estandarizados de reporte lo cual dificulta su conciliación.

Tabla 22 Métodos analíticos definidos por la normativa nacional para la determinación de concentraciones de contaminantes atmosféricos y acuáticos, además de los métodos para la estimación de variables ambientales. Fuente: D.S. 90 (2001), D.S. 112 (2002), D.S. 104 (2019), D.S. 114 (2003), D.S. 115 (2002), D.S. 136 (2001) y D.S. 144 (2009).

Parámetro	Método o técnica analítica	Agua de mar		Aire					RILES a agua
		D.S. 144/2008	D.S. 104/2018	D.S. 112/2002	D.S. 114/2002	D.S. 115/2002	D.S. 136/2000	D.S. 90/2001	
<b>Aceites y grasas</b>	NCh 2313/6, Of 97, decreto supremo N° 317 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 6: Determinación de Aceites y Grasas.								
<b>Aluminio (Al)</b>	NCh 2313/25, Of 97, decreto supremo N° 37 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 25: Determinación de Metales por espectroscopía de emisión de plasma.								
<b>Arsénico</b>	3500-As B. Silver Diethyldithiocarbamate Method 3114 B. Manual Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method (AA)								
<b>Arsénico</b>	NCh 2313/9, Of 96, decreto supremo N° 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 9: Determinación de Arsénico.								
<b>Cadmio</b>	3113 B Absorción Atómica por horno de grafito. "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater". 21th Edition 2005. 3125 B Inductively couple Plasma/Mass Spectrometry (ICP/MS)								
<b>Cadmio</b>	NCh 2313/10, Of 96, decreto supremo N° 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 10: Determinación de Metales Pesados: Cadmio, Cobre, Cromo Total, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo, Zinc.								
<b>Cianuro</b>	4500 CN- E. Colorimetric Method								
<b>Cianuro</b>	NCh 2313/14, Of 97, decreto supremo N° 949 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 14: Determinación de Cianuro Total.								



Parámetro	Método o técnica analítica	Agua de mar		Aire				RILES a agua
		D.S. 144/2008	D.S. 104/2018	D.S. 112/2002	D.S. 114/2002	D.S. 115/2002	D.S. 136/2000	
<b>Cloruros</b>	NCh 2313/32, Of 99, decreto supremo Nº 414 de 1999 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Método de Análisis Parte 32: Determinación de Cloruro.							
<b>Cobre</b>	NCh 2313/10, Of 96, decreto supremo Nº 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 10: Determinación de Metales Pesados: Cadmio, Cobre, Cromo Total, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo, Zinc.							
<b>Coliformes fecales</b>	9221 Múltiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. 9222 Membrane Filter Technique for Members of the Coliform Group.							
<b>Coliformes fecales</b>	NCh 2313/22, Of 95, decreto supremo Nº 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 22: Determinación de Coliformes Fecales en medio EC.							
<b>Coliformes fecales</b>	NCh 2313/23, Of 95, decreto supremo Nº 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 23: Determinación de Coliformes Fecales en medio A-1.							
<b>Color Verdadero (escala Pt-Co)</b>	2120 C Método espectrofotometría UV-Visible de longitud de onda simple. "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater". 21th Edition 2005							
<b>Cromo hexavalente</b>	NCh 2313/11, Of 96, decreto supremo Nº 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 11: Determinación de Cromo Hexavalente.							
<b>Cromo total</b>	3500-Cr C. Ion Chromatographic Method 3111 A Absorción Atómica Llama. "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater". 21th Edition 2005							
<b>Cromo total</b>	NCh 2313/10, Of 96, decreto supremo Nº 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 10: Determinación de Metales Pesados: Cadmio, Cobre, Cromo Total, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo, Zinc.							
<b>Demanda biológica de oxígeno (DBO5)</b>	NCh 2313/5, Of 96, decreto supremo Nº 146 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 5: Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)							
<b>Dióxido de azufre</b>	a. Fluorescencia ultravioleta; b. Espectrometría de absorción diferencial con calibración in situ y, c. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.							
<b>Estaño</b>	NCh 2313/25, Of 97, decreto supremo Nº 37 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 25: Determinación de Metales por espectroscopía de emisión de plasma.							
<b>Fluoruros</b>	NCh 2313/33, Of 99, decreto supremo Nº 1159 de 1999 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales-Método de Análisis Parte 33: Determinación de Fluoruro.							

Parámetro	Método o técnica analítica	Agua de mar		Aire			RILES a agua
		D.S. 144/2008	D.S. 104/2018	D.S. 112/2002	D.S. 114/2002	D.S. 115/2002	
<b>Fósforo total</b>	NCh 2313/15, Of 97, decreto supremo N° 949 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 15: Determinación de Fósforo Total.						
<b>Hidrocarburos totales</b>	NCh 2313/7, Of 97, decreto supremo N° 949 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 7: Determinación de Hidrocarburos totales.						
<b>Hidrocarburos volátiles</b>	No especificado en D.S. 90						
<b>Hierro disuelto</b>	No especificado en D.S. 90						
<b>Índice de fenol</b>	NCh 2313/19, Of 98, decreto supremo N° 1461 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 19: Determinación del índice de fenol.						
<b>Manganeso</b>	NCh 2313/10, Of 96, decreto supremo N° 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 10: Determinación de Metales Pesados: Cadmio, Cobre, Cromo Total, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo, Zinc.						
<b>Mercurio</b>	3114 B. Manual Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method 3112 B. Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometric Method. 3125 B. Inductively Coupled Plasma/Mass Spectrometry (ICP/MS) Method						
<b>Mercurio</b>	NCh 2313/12, Of 96, decreto supremo N° 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 12: Determinación de Mercurio.						
<b>Molibdeno</b>	NCh 2313/25, Of 97, decreto supremo N° 37 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 25: Determinación de Metales por espectroscopía de emisión de plasma.						
<b>Monóxido de carbono</b>	a. Fotometría infrarroja no dispersiva y, b. un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.						
<b>Níquel</b>	NCh 2313/10, Of 96, decreto supremo N° 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 10: Determinación de Metales Pesados: Cadmio, Cobre, Cromo Total, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo, Zinc.						
<b>Nitrato</b>	Método de Electrodo de Nitrato, para determinación de Nitrato (NO <sub>3</sub> -), según 4500-NO <sub>3</sub> - D Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 19th Ed.; APHA-AWWA-WEF; 1995.						
<b>Nitrito</b>	a. Quimiluminiscencia; Decreto 114 (2002) b. Los que se basen en el método modificado de Griess-Saltzman; c. Espectrometría de absorción óptica diferencial, con calibración in situ y, d. Un método de medición de referencia o equivalente designado o						

Parámetro	Método o técnica analítica	Agua de mar		Aire			RILES a agua
		D.S. 144/2008	D.S. 104/2018	D.S. 112/2002	D.S. 114/2002	D.S. 115/2002	
	aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.						
<b>Nitrito más nitrato (lagos)</b>	Método Cromatografía Iónica con Supresión Química de Conductividad del Efluente, para determinar Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) y Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), según 4110 B, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; 19th Ed.; APHA-AWWA-WEF; 1995.						
<b>Nitrógeno (N) - Kjeldahl</b>	NCh 2313/28, Of 98, decreto supremo N° 2557 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Método de Análisis Parte 28: Determinación de Nitrógeno Kjeldahl.						
<b>Ozono</b>	a. Quimiluminiscencia con etileno; b. Fotometría de absorción ultravioleta; c. Cromatografía líquida gas/sólido; d. Espectrometría de absorción óptica diferencial, con calibración in situ y, e. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.						
<b>Pentaclorofeno I</b>	NCh 2313/29, Of 99, decreto supremo N° 1159 de 1999 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Método de Análisis Parte 29: Determinación de Pentaclorofenol y algunos herbicidas organoclorados.						
<b>pH</b>	4500 B Electrometric Method.						
<b>pH</b>	NCh 2313/1, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 1: Determinación pH.						
<b>Plomo (Pb) - Disuelto y Total</b>	3113 B Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method 3125 B. Inductively Couple Plasma/Mass Spectrometry (ICP/MS) Method						
<b>Plomo (Pb) - Disuelto y Total</b>	Espectrometría de absorción atómica especificada en la norma ISO 9855 Aire Ambiente - Determinación del Contenido Particulado de Plomo en Aerosoles Captados en Filtros.						
<b>Plomo (Pb) - Disuelto y Total</b>	NCh 2313/10, Of 96, decreto supremo N° 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 10: Determinación de Metales Pesados: Cadmio, Cobre, Cromo Total, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo, Zinc.						
<b>Poder Espumógeno</b>	NCh 2313/21, Of 97, decreto supremo N° 1144 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 21: Determinación del Poder Espumógeno.						
<b>Selenio (Se)</b>	NCh 2313/30, Of 99, decreto supremo N° 1159 de 1999 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Método de Análisis Parte 30: Determinación de Selenio.						
<b>Sólidos sedimentables</b>	NCh 2313/4, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 4: Determinación de Sólidos Sedimentables.						

Parámetro	Método o técnica analítica	Agua de mar		Aire				RILES a agua
		D.S. 144/2008	D.S. 104/2018	D.S. 112/2002	D.S. 114/2002	D.S. 115/2002	D.S. 136/2000	
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	NCh 2313/3, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 3: Determinación de Sólidos Suspendidos Totales secados a 103° C - 105° C.							
<b>Sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)</b>	NCh 2313/18, Of 97, decreto supremo N° 1144 de 1997 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 18: Determinación de Sulfato disuelto (para la determinación se sulfato total se debe realizar previa digestión de la muestra).							
<b>Sustancias activas de azul de metileno (SAAM)</b>	NCh 2313/27, Of 98, decreto supremo N° 2557 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Método de Análisis Parte 27: Determinación de Surfactantes aniónico, Método para Sustancias Activas de Azul de Metileno (SAAM).							
<b>Temperatura</b>	NCh 2313/2, Of 95, decreto supremo N° 545 de 1995 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 2: Determinación de la temperatura							
<b>Tetracloroetano</b>	NCh 2313/20, Of 98, decreto supremo N° 2557 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 20: Determinación de Trihalometanos (se utiliza para los Triclorometano y Tetracloroetano).							
<b>Tolueno</b>	NCh 2313/31, Of 99, decreto supremo N° 1159 de 1999 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Método de Análisis Parte 31: Determinación de benceno y algunos derivados (Tolueno y Xileno).							
<b>Triclorometano</b>	NCh 2313/20, Of 98, decreto supremo N° 2557 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 20: Determinación de Trihalometanos (se utiliza para los Triclorometano y Tetracloroetano).							
<b>Xileno</b>	NCh 2313/20, Of 98, decreto supremo N° 2557 de 1998 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales Métodos de Análisis Parte 20: Determinación de Trihalometanos (se utiliza para los Triclorometano y Tetracloroetano).							
<b>Zinc (Zn) - Disuelto y Total</b>	NCh 2313/10, Of 96, decreto supremo N° 879 de 1996 del Ministerio de Obras Públicas: Aguas Residuales - Métodos de análisis Parte 10: Determinación de Metales Pesados: Cadmio, Cobre, Cromo Total, Hierro, Manganeso, Níquel, Plomo, Zinc.							

### 7.1.1.2.2 *Métodos analíticos declarados en el registro público (online) de Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental (ETFA) de la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA).*

Debido a la extensión de estos resultados se ha optado por adjuntar los resultados en el archivo de Excel:

- DB\_METODOS\_ANALITICOS\_ETFA\_ISPCH\_POAL.xlsx

Este archivo es parte de la carpeta digital adjunta de este informe y se ubica en la siguiente ruta relativa:

\02\_CODIGOS\_Y\_BASES\_DE\_DATOS\01\_BASES\_DE\_DATOS\

### 7.1.1.2.3 Métodos analíticos utilizados por el Instituto de Salud Pública de Chile (ISPCh)

A continuación, se listan los métodos analíticos utilizados por el Instituto de Salud Pública de Chile para el análisis de contaminantes en muestras de agua de mar (Tabla 23), sedimentos (Tabla 24), biota (Tabla 25), productos hidrobiológicos incluyendo pescados y mariscos (Tabla 26), además del listado de métodos utilizados en muestras de algas marinas (Tabla 27), junto con sus respectivos límites de detección y cuantificación. La información fue provista por el Instituto de Salud Pública de Chile (ISPCh) mediante consulta SIAC código: A0005W0011947. En el caso de la cuantificación de PAHs (16 compuestos) en biota, el intervalo de trabajo de este análisis es de 1,0 a 25 µg/kg.

Tabla 23 Metodologías analíticas utilizadas por el Instituto de Salud Pública de Chile para el análisis de contaminantes en muestras de agua de mar junto con sus respectivos límites de detección y cuantificación. Fuente: Consulta SIAC Código: A0005W0011947.

Elemento o compuesto	Método analítico	Límite de detección		Límite de cuantificación	
Cromo	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,0002	mg/L	0,003	mg/L
Manganeso	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,0003	mg/L	0,003	mg/L
Hierro	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,001	mg/L	0,003	mg/L
Niquel	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,0004	mg/L	0,003	mg/L
Cobre	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,0004	mg/L	0,003	mg/L
Zinc	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,0005	mg/L	0,003	mg/L
Arsénico	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,0002	mg/L	0,003	mg/L
Selenio	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,0002	mg/L	0,003	mg/L
Molibdeno	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,0003	mg/L	0,003	mg/L
Cadmio	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,0001	mg/L	0,003	mg/L
Estaño	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,001	mg/L	0,003	mg/L
Mercurio	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,0002	mg/L	0,003	mg/L
Plomo	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,0004	mg/L	0,003	mg/L
Tetracloruro de Carbono	Método basado en método EPA 8015/8020	0,3	µg/l	1	µg/l
1,2 - Diclorobenceno	Método basado en método EPA 8015/8021	0,3	µg/l	1	µg/l
Diclorometano	Método basado en método EPA 8015/8022	0,6	µg/l	2	µg/l
Tolueno	Método basado en método EPA 8015/8023	0,3	µg/l	1	µg/l
1,2 - Dicloroetano	Método basado en método EPA 8015/8024	0,3	µg/l	1	µg/l
1,1 - Dicloroetano	Método basado en método EPA 8015/8025	0,3	µg/l	1	µg/l
1,4 - Diclorobenceno	Método basado en método EPA 8015/8026	0,3	µg/l	1	µg/l
Tricloroetano	Método basado en método EPA 8015/8027	0,3	µg/l	1	µg/l
Estireno	Método basado en método EPA 8015/8028	0,3	µg/l	1	µg/l
Benceno	Método basado en método EPA 8015/8029	0,3	µg/l	1	µg/l
Etilbenceno	Método basado en método EPA 8015/8030	0,3	µg/l	1	µg/l
Monoclorobenceno	Método basado en método EPA 8015/8031	0,3	µg/l	1	µg/l
1,2 - Dicloroetano	Método basado en método EPA 8015/8032	0,3	µg/l	1	µg/l
Tetracloroetano	Método basado en método EPA 8015/8033	0,3	µg/l	1	µg/l
1,1,1 Tricloroetano	Método basado en método EPA 8015/8034	0,3	µg/l	1	µg/l
Triclorobencenos (total)	Método basado en método EPA 8015/8035	0,3	µg/l	1	µg/l

Elemento o compuesto	Método analítico	Límite de detección		Límite de cuantificación	
Xilenos	Método basado en método EPA 8015/8036	0,3	µg/l	1	µg/l
O-xileno	Método basado en método EPA 8015/8037	0,3	µg/l	1	µg/l
DRO Totales (Rango Orgánico del Diésel)	Método basado en método EPA3510/8015C	0,6	ug/L	2	ug/L

Tabla 24 Metodologías analíticas utilizadas por el Instituto de Salud Pública de Chile para el análisis de contaminantes en muestras de sedimentos junto con sus respectivos límites de detección y cuantificación. Fuente: Consulta SIAC Código: AO005W0011947.

Elemento o compuesto	Método analítico	Límite de detección		Límite de cuantificación	
Arsénico	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg
Cadmio	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg
Cobre	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg
Cromo	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg
Estaño	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg
Manganeso	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg
Mercurio	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg
Molibdono	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg
Níquel	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg
Plomo	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg
Selenio	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg
Zinc	Método basado en Standard Methods 3125-B, ICP-MS, 23 rd Edition (2017)	0,5	mg/kg	1	mg/Kg

Tabla 25 Metodologías analíticas utilizadas por el Instituto de Salud Pública de Chile para el análisis de contaminantes en muestras de biota junto con sus respectivos límites de detección y cuantificación. Fuente: Consulta SIAC Código: AO005W0011947.

Elemento o compuesto	Método analítico	Límite de detección		Límite de cuantificación	
Acenafteno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Acenaftileno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Antraceno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Benzo(a)antra ceno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Benzo(k)fluora nteno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Benzo(a)Piren o	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Benzo(b)fluora nteno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem	0,5	µg/kg	1	µg/kg

Elemento o compuesto	Método analítico	Límite de detección		Límite de cuantificación	
	Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”				
Benzo(g,h,i)pirileno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Criseno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Dibenzo(a,h)antraceno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg

**Tabla 26 Metodologías analíticas utilizadas por el Instituto de Salud Pública de Chile para el análisis de contaminantes en muestras de productos hidrobiológicos (pescados y mariscos) junto con sus respectivos límites de detección y cuantificación. Fuente: Consulta SIAC Código: AO005W0011947.**

Elemento o compuesto	Método analítico	Límite de detección		Límite de cuantificación	
Fluoranteno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Fluoreno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Naftaleno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Fenantreno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Pireno	“Basado en Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Edible Seafood by QuEChERS-Based Extraction and Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Yoko S. Johnson. Institute of Food Technologists, Vol. 77, N° 7, 2012”	0,5	µg/kg	1	µg/kg
Arsénico Inorgánico	Método Absorción Atómica Basado en Determination of inorganic arsenic in marine food samples by hydrochloric acid distillation and Flow-Injection Hydride-Generation Atomic Absorption Spectrometry”. Journal of AOAC International. Vol. 82, N° 5 (1999).	0,1	mg/kg	0,2	mg/kg
Arsénico (Pescado)	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,04	mg/kg	0,12	mg/kg
Arsénico (Marisco)	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,12	mg/kg	0,41	mg/kg
Cadmio (Pescado)	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,01	mg/kg	0,03	mg/kg
Cadmio (Marisco)	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,07	mg/kg	0,2	mg/kg

Elemento o compuesto	Método analítico	Límite de detección	Límite de cuantificación
Mercurio (Pescado)	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,03 mg/kg	0,09 mg/kg
Mercurio (Marisco)	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,02 mg/kg	0,07 mg/kg
Plomo (Pescado)	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,05 mg/kg	0,17 mg/kg
Plomo (Marisco)	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,01 mg/kg	0,04 mg/kg

Tabla 27 Metodologías analíticas utilizadas por el Instituto de Salud Pública de Chile para el análisis de contaminantes en muestras de algas marinas junto con sus respectivos límites de detección y cuantificación. Fuente: Consulta SIAC Código: AO005W0011947.

Elemento o compuesto	Método analítico	Límite de detección	Límite de cuantificación
Arsénico Inorgánico	Método Absorción Atómica Basado en Determination of inorganic arsenic in marine food samples by hydrochloric acid distillation and Flow-Injection Hydride-Generation Atomic Absorption Spectrometry". Journal of AOAC International. Vol. 82, Nº 5 (1999).	0,1 mg/kg	0,2 mg/kg
Arsénico	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,43 mg/kg	1,4 mg/kg
Cadmio	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,24 mg/kg	0,79 mg/kg
Mercurio	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,14 mg/kg	0,45 mg/kg
Plomo	Determinación de Metales en Alimentos por Digestión en Microondas y Análisis por ICP MS, Basado en método CFSAN/ORS/DBC/CHCB April 25, 2011	0,11 mg/kg	0,38 mg/kg

#### 7.1.1.2.4 Métodos analíticos establecidos en el Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L) de la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante de la Armada de Chile (DIRECTEMAR).

A continuación, en las Tabla 28, Tabla 29 Y Tabla 30 se listan las metodologías analíticas definidas en el Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L) para el análisis de contaminantes en muestras de agua de mar, sedimento y biota, respectivamente, junto con sus respectivos límites de detección y/o valores límites. Estos últimos dos conceptos se utilizando indistintamente en los listados de métodos publicados para los periodos 2005-2006, 2007-2011, y 2013-2017. En el caso de biota (Tabla 30) las actualizaciones de métodos son parciales, es decir, se actualiza solo parte de los contaminantes especificados en versiones anteriores, por lo cual se asume que de no ser especificado se asume que la versión más reciente es la valida.

Tabla 28 Metodologías analíticas para el análisis de contaminantes en muestras de agua de mar junto con sus respectivos límites de detección. Fuente: POAL 2018-2023.

Elemento o compuesto	Tipo de análisis	Método analítico	Valor límite	Unidad
Acenafeno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,043	ug/L
Acenafileno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,043	ug/L
Amonio (N-NH4+)	Basorción molecular	SM 4500-NH3 F	10	ug/L
Antraceno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,042	ug/L
Arsénico disuelto (As)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	EPA 200.8 (1994)	0,001	mg/L
Benzo (a) Antraceno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,042	ug/L
Benzo (a) Pyreno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,045	ug/L
Benzo (b) Fluoranteno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,044	ug/L
Benzo (ghi) Peryleno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,045	ug/L



Elemento o compuesto	Tipo de análisis	Método analítico	Valor límite	Unidad
Benzo (k) Fluoranteno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,044	ug/L
Cadmio disuelto (Cd)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	EPA 200.8 (1994)	0,001	mg/L
Cobre disuelto (Cu)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	EPA 200.8 (1994)	0,002	mg/L
Cromo disuelto (Cr)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	EPA 200.8 (1994)	0,001	mg/L
Cryseno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,043	ug/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Electrométrico	SM 5210 B	1	mg/L
Dibenzo (ah) Antraceno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,047	ug/L
Fenantreno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,041	ug/L
Fluoranteno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,045	ug/L
Fluoreno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,041	ug/L
Indeno (1,2,3 cd) Pyreno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,039	ug/L
Mercurio disuelto (Hg-d)	Generación hidruros	SM 3112 B	0,0003	mg/L
Nitrato	Cromatografía líquida	MQI 0000030	0,023	mg/L
Ortofosfato	Basorción molecular	SM 4500-P E (2012)	0,5	mg/L
Plomo disuelto (Pb)	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)	EPA 200.8 (1994)	0,001	mg/L
Pyreno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,045	ug/L

Tabla 29 Metodologías analíticas para el análisis de contaminantes en muestras de sedimentos marinos junto con sus respectivos límites de detección. Fuente: POAL 2018-2023.

Elemento o compuesto	Tipo de análisis	Método analítico	Valor límite	Unidad
Acenaftileno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	1,5	mg/Kg
Antraceno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,1	mg/Kg
Arsénico total (As) M.S.	Espectrometría de emisión óptica (OES) de plasma acoplado inductivamente (ICP)	MQI000029 Basado en SW 846 EPA 3050 B1996 y SM 3120B Ed 22 ICP-OES	1,2	mg/Kg
Benzo (a) Antraceno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,08	mg/Kg
Benzo (a) Pyreno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,08	mg/Kg
Benzo (b) Fluoranteno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,16	mg/Kg
Benzo (ghi) Peryleno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,16	mg/Kg
Benzo (j) Fluoranteno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,16	mg/Kg
Benzo (k) Fluoranteno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,08	mg/Kg
Cadmio total (Cd) M.S.	Espectrometría de emisión óptica (OES) de plasma acoplado inductivamente (ICP)	SM 3120B Ed. 22° 2012	0,1	mg/Kg
Carbono Orgánico total (COT)	Pendiente	MQC000059 basado en TMECC 05.07, año 2002	1,62	g/Kg
Cobre total (Cu) M.S.	Espectrometría de emisión óptica (OES) de plasma acoplado inductivamente (ICP)	SM 3120 B Ed.22 2012	1,4	mg/Kg
Cromo total (Cr) M.S.	Espectrometría de emisión óptica (OES) de plasma acoplado inductivamente (ICP)	SM 3120 B Ed.22 2012	2,4	mg/Kg
Cryseno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,08	mg/Kg
Dibenzo (ah) Antraceno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,16	mg/Kg
Fenantreno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,08	mg/Kg
Fluoranteno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,16	mg/Kg

Elemento o compuesto	Tipo de análisis	Método analítico	Valor límite	Unidad
Fluoreno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,3	mg/Kg
Fósforo total (P) M.S.	Espectrometría de emisión óptica (OES) de plasma acoplado inductivamente (ICP)	SM 3120 B (2012)	0,5	mg/Kg
Granulometría	Granulometría	ASTM C136-96a	0	%
Hidrocarburos Fijos	Gravimétrico	MQC000070 Rev.0 basado SM 5520 E y F Ed22, 2012	10	mg/Kg
Indeno (1,2,3 cd) Pyreno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,08	mg/Kg
Materia Orgánica	Pendiente	MQC000059 basado en TMECC 05.07, año 2002	0,28	%
Mercurio Abs. Atómica Subcontr. SGS	Subcontrado	EPA 7471 AB	0,01	mg/Kg
Mercurio total (Hg) M.S.	Espectrometría de emisión óptica (OES) de plasma acoplado inductivamente (ICP)	MQI 0000007 Rev.07	1	mg/Kg
Peso muestra	(en blanco)	MQC000058 basado en TMECC 04.02, año 2002	0,52	(en blanco)
Plomo total (Pb) M.S.	Espectrometría de emisión óptica (OES) de plasma acoplado inductivamente (ICP)	SM 3120B Ed. 22° 2012	1,2	mg/Kg
Pyreno (Base Seca)	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,08	mg/Kg
Acenafteno	Cromatografía gaseosa	EPA 8270-D	0,8	mg/Kg

Tabla 30 Metodologías analíticas para el análisis de contaminantes en muestras de biota junto con sus respectivos límites de detección. Fuente: POAL 2005-2006, 2007-2011, 2018-2023.

Elemento o compuesto	Metodología analítica	Límite de detección	Referencia
Arsénico total	USDA CLG-ARS.04	0.03 ppm	Métodos POAL 2013-2017
Cadmio total	NCh 2638. Of 2001	0.009 ppm	Métodos POAL 2013-2017
Cadmio total	EPA 3050 - Standard Methods	0.1 mg/Kg	Métodos POAL 2005-2006
Cadmio total	EPA 3050 - Standard Methods	0.1 mg/Kg	Métodos POAL 2007-2011
Cobre total	AOAC Official Methods 985.35	0.1 ppm	Métodos POAL 2013-2017
Cobre total	EPA 3050 - Standard Methods	0.1 mg/Kg	Métodos POAL 2005-2006
Cobre total	EPA 3050 - Standard Methods	0.1 mg/Kg	Métodos POAL 2007-2011
Coliformes fecales	NCh 2732-2002. Moluscos bivalvos. Determinación de coliformes, coliformes fecales y Escherichia coli -- Técnica Número Más Probable(NMP)	10 NMP/100 g	Métodos POAL 2007-2011
Coliformes fecales	EPA 3050 - Standard Methods	10 NMP/100 g	Métodos POAL 2005-2006
Cromo total	EPA 3050 - Standard Methods	0.5 mg/Kg	Métodos POAL 2005-2006
Cromo total	EPA 3050 - Standard Methods	0.5 mg/Kg	Métodos POAL 2007-2011
Mercurio total	NCh 2667. Of 2001	0.01 ppm	Métodos POAL 2013-2017
Mercurio total	EPA 3050 - Standard Methods	0.1 mg/Kg	Métodos POAL 2005-2006
Mercurio total	EPA 7471 B Espectroscopia A.A.- Vapor frío.	0.01 mg/Kg	Métodos POAL 2007-2011
Plomo total	NCh 2751. Of 2003	0.02 ppm	Métodos POAL 2013-2017
Plomo total	EPA 3050 - Standard Methods	0.5 mg/Kg	Métodos POAL 2005-2006
Plomo total	EPA 3050 - Standard Methods	0.5 mg/Kg	Métodos POAL 2007-2011
Zinc Total	EPA 3050 - Standard Methods	0.1 mg/Kg	Métodos POAL 2005-2006
Zinc Total	EPA 3050 - Standard Methods	0.1 mg/Kg	Métodos POAL 2007-2011

### 7.1.1.2.5 Métodos analíticos declarados en informes de autocontrol ingresados al Sistema de Seguimiento Ambiental de la SMA

En cuanto al análisis de RILes y emisiones atmosféricas puntuales, en la Tabla 31 y Tabla 32, respectivamente, se presentan resultados de la recopilación de los métodos analíticos declarados en los reportes de autocontrol entregados por las empresas según los requerimientos de sus Resoluciones Exentas para el RPM.

Tabla 31 Métodos analíticos utilizados para el monitoreo de parámetros en residuos líquidos industriales declarados en los informes de autocontrol ingresados al Sistema de Seguimiento Ambiental de la SMA (<https://ssa.sma.gob.cl/>). Fuente: SNIFA.

Parámetros	Método analítico (en RILes)
Aceites y Grasas	Nch2313/06 of.97, SM 20th 5520 BD
Aluminio	Nch2313/25 of.97
Antimonio (Sb)	NCh. 2313/9 Of.96
Cadmio	NCh. 2313/10 Of.96
Cianuro	NCh.2313/14 Of.97
Cloro residual	Colorimetrico
Cobre total	NCh. 2313/10 Of.96
Coliformes fecales	SM 20th 9221 E, NCh. 2313/22 Of.95
Coliformes totales	SM 20th 9221 B
Compuestos fenólicos	Nch2313/19 of.98, NCH2313/19 Of.2001
Cromo hexavalente	NCh. 2313/11 Of.96
Cromo total	NCh. 2313/10 Of.96
DBO5	Nch2313/05 of.96, NCH2313/05 Of.2005
Detergentes (SAAM)	Nch2313/27 of.98
DQO	Nch2313/24 of.97, NCh. 2313/5 Of.2005
Estaño	NCh. 2313/25 Of.97
Fenoles	SM 20th 5530 BC
Fosforo	NCh. 2313/15 Of.97
Fosforo total	Colorimetría
Grasas y aceites	NCh. 2313/6 Of.97
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	HPLC fluorometria
Hidrocarburos fijos	Nch2313/07 of.97
Hidrocarburos totales	Nch2313/7 of97
Hidrocarburos volátiles	NCh. 2313/7 Of.97
Hierro disuelto	NCh. 2313/10 Of.96
Indice de fenol	NCh. 2313/19 Of.2001
Manganeso (Mn)	NCh. 2313/10 Of.96
Mercurio	NCh. 2313/12 Of.96
Molibdeno	NCh. 2313/13 Of.98
Níquel	NCh. 2313/10 Of.96
Nitrógeno Kjeldahl	NCh. 2313/28 Of.98
Oxígeno Disuelto	CTDO
pH	NCh. 2313/1 Of.95
Plomo	NCh. 2313/10 Of.96
SAAM	NCh. 2313/27 Of.98
Salinidad	SM 20th 2550 B
Selenio	NCh. 2313/30 Of.99,
Sólidos sedimentables	NCh. 2313/04 of.95, SM 20th 2540 F

Parámetros	Método analítico (en RILes)
Sólidos suspendidos totales	SM 20th 2540 D, NCh. 2313/3 Of.95
Sulfuro	NCh. 2313/17 Of.97
Temperatura	SM 20th 2510 B, NCh. 2313/2 Of.95
Zinc	NCh. 2313/10 Of.96

A partir de la revisión de una muestra representativa de informes de autocontrol disponibles en la plataforma SNIFA del MMA (principalmente Refinería Ventanas, Termoeléctrica Ventanas, ENAP, GNL y Esval), se recopiló la información relativa a métodos o técnicas analíticas para determinación de contaminantes. Dado que esta información no está estandarizada en los reportes, no fue posible recurrir consistentemente a los informes de laboratorio, por lo que se complementó con los informes de evaluación ambiental, resoluciones de calificación ambiental y anexos. Los resultados de esta recopilación de información se entregan en la Tabla 32 a continuación.

**Tabla 32 Métodos analíticos utilizados para el monitoreo de emisiones puntuales al aire declaradas en los informes de autocontrol ingresados al Sistema de Seguimiento Ambiental de la SMA (<https://ssa.sma.gob.cl/>). Fuente: SNIFA.**

Parámetros	Método analítico (Aire)
Antimonio (Sb)	Método CH-29
Arsénico	Método CH-29
Berilio	Método CH-29
Cadmio	Método CH-29
Cobalto	Método CH-29
Cromo	Método CH-29
Dióxido de azufre	a. Fluorescencia ultravioleta; b. Espectrometría de absorción diferencial con calibración in situ y, c. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.
H2O	Método CH-4
Manganeso	Método CH-29
Mercurio	Método CH-29
Monóxido de carbono	a. Fotometría infrarroja no dispersiva y, b. un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.
Níquel	Método CH-29
Nitrato	a. Quimiluminiscencia; Decreto 114 (2002) b. Los que se basen en el método modificado de Griess-Saltzman; c. Espectrometría de absorción óptica diferencial, con calibración in situ y, d. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.
NOx	Método CH-10, CH-6C, CH-7E
Óxidos de nitrógeno	Analizador de Óxidos de Nitrógeno (NO, NO2 y NOx): Quimiluminiscencia. Método de Referencia EPA EFNA 1194-099
Oxígeno	Método CH-3B
Ozono	a. Quimiluminiscencia con etileno; b. Fotometría de absorción ultravioleta; c. Cromatografía líquida gas/sólido; d. Espectrometría de absorción óptica diferencial, con calibración in situ y, e. Un método de medición de referencia o equivalente designado o aprobado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos o por las Directivas de la Comunidad Europea.
Ozono	Absorción UV. Método de Referencia EPA EQOA 0992-087, (EPA. CFR 40, Parte 53.)
Plomo	Método CH-29

<b>Plomo (Pb) - Disuelto y Total</b>	Espectrometría de absorción atómica especificada en la norma ISO 9855 Aire Ambiente - Determinación del Contenido Particulado de Plomo en Aerosoles Captados en Filtros.
<b>Selenio</b>	Método CH-29
<b>SO2</b>	Metodo CH-10, CH-6C, CH-7E
<b>Telurio</b>	Método CH-29
<b>Vanadio</b>	Método CH-29
<b>Zinc</b>	Método CH-29

#### 7.1.1.2.6 Métodos analíticos para metales pesados propuestos por el Instituto de Normalización (INN).

##### **Proyecto de norma NCh3633 Calidad de agua – Determinación de cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, níquel, plata y zinc en agua de mar– Método espectrofotometría de absorción atómica.**

El proyecto de norma prNCh3633, elaborada por el Comité Técnico CL007 Calidad de Agua, describe un método para la determinación de los elementos: cadmio, cobalto, cobre, plomo níquel, uranio, vanadio, en aguas marinas, incluidas el agua de estuarios, agua de mar y las salmueras. La norma considera un método de preconcentración de quelación en línea y espectrometría masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), en el cual se requiere la solubilización en ácido antes de la determinación de los elementos recuperables totales para facilitar la descomposición de complejos o coloides que pudieran influir en la recuperación de los elementos traza.

Los límites de detección del método se encuentran en Tabla 1. Sin embargo, el límite de detección dependerá de la instrumentación específica empleada y las condiciones de funcionamiento que se seleccionen. Sin embargo, los LDM deben ser esencialmente independientes de la matriz porque la eliminación de la matriz es una característica del método.

**Tabla 33 Límites totales de detección del método recuperable para agua de reactivo de acuerdo con el método propuesto en prNCh3633.**

<b>Elemento</b>	<b>Masa Analítica recomendada</b>	<b>Límite de Detección (LDM) µg/L</b>
<b>Cadmio</b>	106, 108, 111, 114	0,041
<b>Cobalto</b>	59	0,021
<b>Cobre</b>	63, 65	0,023
<b>Plomo</b>	206, 207, 208	0,074
<b>Níquel</b>	60	0,081
<b>Uranio</b>	238	0,031
<b>Vanadio</b>	51	0,014

**a: Determinado utilizando un loop de muestra de 10 ml.**

Por no existir Norma Internacional, en la elaboración de esta norma se han tomado en consideración el método EPA Method 200.10 Determination of Trace Elements in Marine Waters by On-Line Chelation Preconcentration and Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry y antecedentes proporcionados por el Comité.

##### **Proyecto de norma NCh3634 Calidad del agua – Determinación de metales en sedimentos marinos.**

El proyecto de norma NCh3634, elaborada por el Comité Técnico CL007 Calidad de Agua, establece un método para la determinación de aluminio, antimonio, bario, berilio, cadmio, calcio, cromo, cobalto, cobre, fierro y plomo en sedimentos marinos. Este método también se puede aplicar a lodos y suelos y se basa en el Método EPA 3050 B Digestión ácida de sedimentos, lodos y suelos y el método 3111 B Direct Air-Acetylene Flame Method de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

#### 7.1.1.2.7 Métodos analíticos declarados en encuesta a laboratorios de ensayo nacionales

En la Tabla 2 del Anexo F, se entregan los resultados crudos de la aplicación de encuestas a laboratorios de análisis a nivel nacional. Del total de empresas convocadas (18) tres respondieron las encuestas, cuyos resultados se entregan de forma anonimizada. Los resultados incluyen métodos analíticos e instrumentos utilizados para el análisis de contaminantes de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero, específicamente los contaminantes asociados a los Grupos de Prioridad 1A a 1D especificados en la sección 7.2.3 de este informe. Los resultados incluyen también información relativa a

la validez de cada método analítico para análisis de contaminantes en matrices marinas (si/no), así como los límites de detección asociados a cada método.

### 7.1.1.2.8 *Métodos analíticos para análisis de contaminantes atmosféricos declarados en informes SNIFA asociados a Resoluciones de Programas de Monitoreo (RPM)*

Se recopilaron y analizaron los reportes individuales de monitoreo ambiental reportados de modo mensual, trimestral y semestral al SNIFA para las principales industrias con emisión atmosféricas: ENAP, GNL, Codelco Ventanas y el Complejo Termoeléctrico Ventanas. Se añade también el monitoreo de Material Particulado Sedimentable (MPS) realizado por CEA (2013).

Tabla 34 Métodos analíticos para la determinación de contaminantes atmosféricos. Fuente: reportes individuales de monitoreo ambiental ingresados a SNIFA.

Contaminante	Grupo	Medio	Método analítico
Benceno	Compuestos orgánicos	Gases	cromatografía de gases / espectrometría de masas (gc / ms)
Compuestos Orgánicos Volátiles	Compuestos orgánicos	Gases	cromatografía de gases / espectrometría de masas (gc / ms)
Dibenzoparadioxinas policloradas y furanos (PCDD/F)	Compuestos orgánicos	Gases	Compuestos orgánicos semivolátiles por cromatografía de gases / espectrometría de masas (gc / ms)
Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano	Compuestos orgánicos	Gases	cromatografía de gases / espectrometría de masas (gc / ms)
Monóxido de carbono	Gases	Gases	Radiación infrarroja
Dióxido de carbono (CO2)	Gases	Gases	Determinación de oxígeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono desde fuentes estacionarias. Procedimiento de instrumentación y análisis. (CH-3A)
Dióxido de azufre (SO2)	Gases	Gases	método CH8 "Mediciones de SO2, SO3 y Neblina Ácida en Fuentes fijas" / Determinación de anhídrido sulfuroso desde fuentes estacionarias. Procedimiento de instrumentación y análisis. (CH-6C)/ Fluorescencia UV pulsante.
Oxidos de Nitrogeno	Gases	Gases	Determinación de óxidos de nitrógeno desde fuentes estacionarias. Procedimiento de instrumentación y análisis. (CH-7E)/ Quimioluminiscencia
Oxidos de azufre	Gases	Gases	luz monocromática Ultra-Violeta (UV)
Oxidos de nitrogeno	Gases	Gases	detección fotométrica de la quimioluminiscencia
Ozono	Gases	Gases	Fotometría Ultravioleta/ atenuación de la radiación ultravioleta de 254 [nm]
Hidrocarburos	Hidrocarburos	Gases	Detección de ionización de flama (FID) con cromatografía en fase gaseosa
Hidrocarburos Totales (HCT) e Hidrocarburos No-Metánicos (HCNM)	Hidrocarburos	Gases	Detección de ionización de flama (FID) con cromatografía en fase gaseosa
Aluminio	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
Arsénico	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
Azufre	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
Berilio	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
Boro	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
Cadmio	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
Cobalto	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B

<b>Cobre</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Cromo</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Hierro</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Manganeso</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Molibdeno</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Mercurio</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Metales Pesados</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Niquel</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Plata</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Plomo</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Selenio</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Vanadio</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Zinc</b>	Metales	MPS	Muestreo CH-29/ método ICP, USEPA SW846, 6010C. SM 4110B
<b>Cenizas</b>	Partículas	MP	Muestreo CH-29/ método ICP
<b>Material particulado</b>	Partículas	MP	Muestreo isocinético desde fuentes estacionarias (CH-5)
<b>MP10</b>	Partículas	MP	Granulometría Microscópica/ gravimetría/ volumétrico / atenuación de rayos beta
<b>MP2.5</b>	Partículas	MP	Granulometría Microscópica/ gravimetría/ volumétrico / espectrometría de dispersión de luz

Adicionalmente, se llevó a cabo el monitoreo de Material Particulado Sedimentable (MPS) por parte de CEA (2013) para metales pesados utilizando colectores estáticos (Tabla 35).

Tabla 35 Monitoreo de Material Particulado Sedimentable (MPS) por parte de CEA (2013) y métodos analíticos utilizados.

Método analítico	Medio	Grupo	Contaminante
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Aluminio
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Arsénico
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Azufre
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Berilio
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Boro
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Cadmio
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Cobalto
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Cobre
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Cromo
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Hierro
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Manganeso
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Molibdeno
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Niquel
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Plata
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Plomo
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Selenio
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Vanadio
USEPA SW846, 6010C. SM 4110B	MPS	Metales	Zinc

## 7.1.2 Caracterización de residuos industriales líquidos y emisiones atmosféricas asociados a la Bahía de Quintero

### 7.1.2.1 Caracterización de emisiones según fuente emisora

#### 7.1.2.1.1 Emisiones industriales rutinarias

En el Anexo A y para cada unidad fiscalizable colindante o con descarga de residuos líquidos a la Bahía de Quintero se entrega una caracterización detallada de:

- 1) los procesos industriales específicos de cada unidad,
- 2) los residuos crudos generados previo a cualquier tratamiento, las tecnologías de tratamiento de residuos, y las características de los efluentes finales declarados y evacuados al mar, atmósfera, u otros puntos de disposición final, y
- 3) diagramas de funcionamiento e infraestructura asociados a cada unidad fiscalizable.

La ubicación de cada unidad fiscalizable, incluyendo la ubicación de puntos de descarga se muestra en la Figura 14, a continuación. En el cuerpo principal de este informe solo se abordan las emisiones rutinarias de elementos y compuestos contaminantes. Mas adelante, en la sección 7.1.5.2.3 (página 172), se aborda el análisis de fuentes de contaminación asociadas a derrames (líquidos), vertimientos (sólidos) y fugas (gases) accidentales de materias primas y/o insumos de producción.

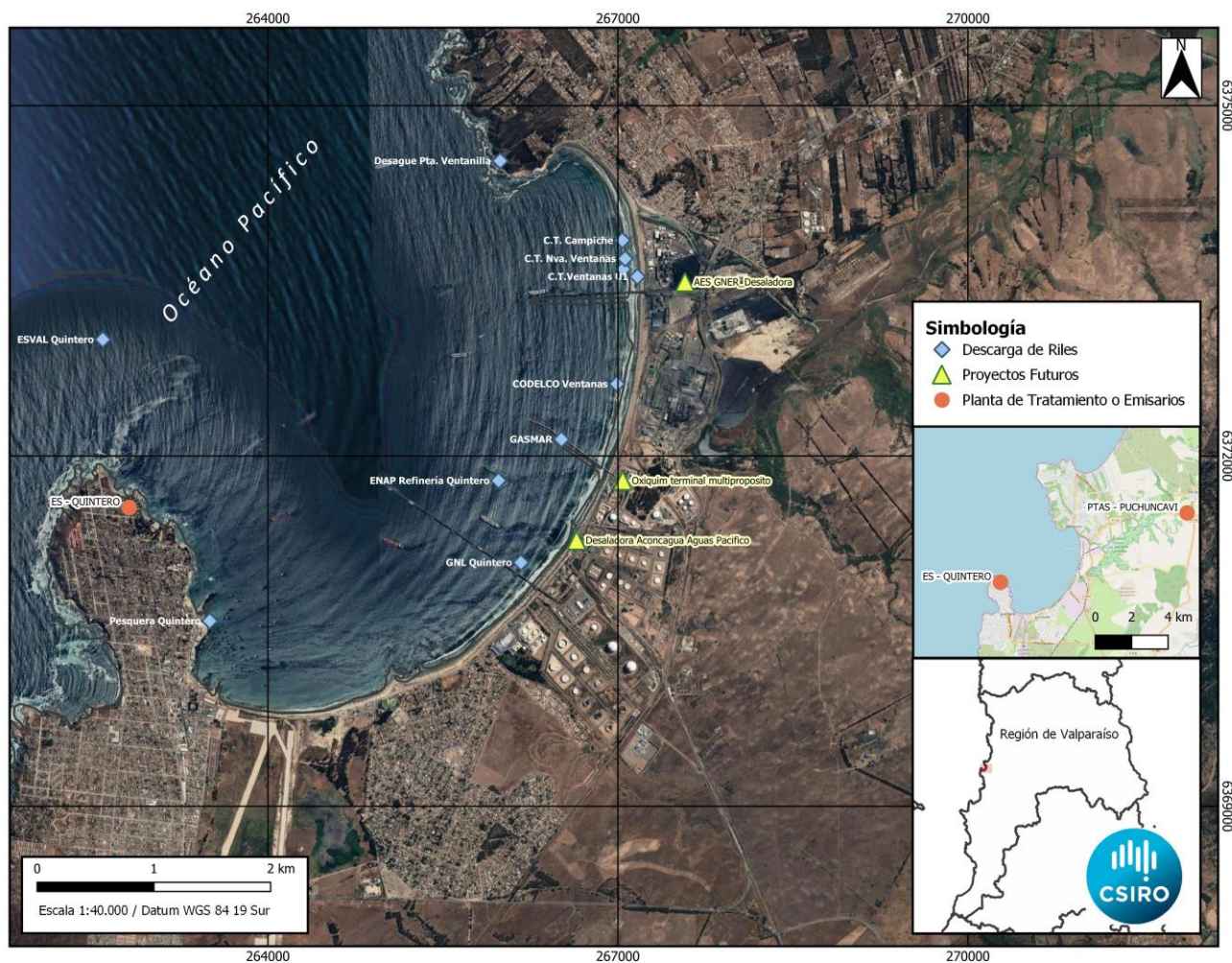




Figura 14 Ubicación de las instalaciones de cada unidad fiscalizable, incluyendo ubicación de sitios de descarga.

A continuación, en las Tabla 36, Tabla 37 y Tabla 38 se resume respectivamente los principales residuos líquidos, sólidos y emisiones atmosféricas identificadas en Declaraciones (DIA) y Estudios (EIA) de Impacto Ambiental asociados a las unidades fiscalizables con emisiones a la bahía de Quintero. Un análisis mas detallado de estas fuentes de información se entrega en el Anexo A de este informe.

Tabla 36 Caracterización de residuos líquidos generados por unidades fiscalizables colindantes a la Bahía de Quintero. Fuente: Declaraciones y Estudios de Impacto Ambiental de Unidades Fiscalizables. Para mas detalles consultar Anexo A.

Unidad fiscalizable	Residuos líquidos (post tratamiento, si corresponde)
<b>Centrales termoeléctricas a carbón y/o petcoke – AES Gener S.A.</b>	<p>Agua de enfriamiento tratada con:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Subproductos de desinfección:</b> Cloro residual, trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA) y haloacetnitrilos (HAN).</li> <li>• <b>Subproductos de la desalinización:</b> El concentrado es el resultado de la separación de los minerales de la fuente de agua y contiene la mayoría de los minerales y contaminantes de la fuente de agua y aditivos de pretratamiento en forma concentrada.</li> <li>• <b>Agua de procesos:</b> pueden provenir de la desulfuración de gases de combustión (FGD), transporte de cenizas de fondo (BA), transporte de cenizas flotantes, lixiviado residual de combustión, residuos de limpieza de metales no químicos o de los sistemas de gasificación y control del mercurio de los gases de combustión. Adicionalmente, las aguas de procesos de termoeléctricas pueden contener materia orgánica muerta de origen marinos producto del aumento de temperatura del RIL.</li> </ul>
<b>Refinería y fundición de cobre - División CODELCO Ventanas</b>	Residuos líquidos tratados conteniendo: Cu, As, Sb, Zn, Cr, Co, Fe, Ni, Se, Ca, Cd, Mg, Al. Estos son autocontrolados y medidos en los afluentes de la Planta de Tratamiento (PTR).
<b>Terminal marítimo de gas natural licuado (GNL) - GNL Quintero S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efluente de aguas servidas tratadas en conformidad a la tabla 5 del D.S. 90 (2001) con un volumen o caudal de 100 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>.</li> <li>• Efluente de agua de mar proveniente de vaporizadores ORV. Se trata de un efluente enfriado (7° C bajo temperatura de captación), tratado con cloración para controlar la proliferación de microorganismos en los intercambiadores de calor<sup>17</sup>. El efluente es descargado con concentraciones de hipoclorito de sodio (cloro, NaClO) no superiores a 0,5 mg L<sup>-1</sup>, y un caudal estimado de 15.000 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.</li> <li>• Agua dulce utilizada por el equipo vaporizador de respaldo.</li> </ul>
<b>Terminal marítimo de embarque, descarga y almacenamiento de gas licuado de petróleo (GLP) - GASMAR S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El efluente total estimado para ambos circuitos es de 21.120 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> (17. m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> de agua de mar utilizada en el proceso de presurización del LPG y 3.360 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> de agua de mar utilizada en el proceso de condensación de vapores de LPG en la unidad de refrigeración).</li> <li>• No considera descarga de aguas residuales domésticas. Estas son dispuestas en fosa séptica.</li> </ul>
<b>Terminal marítimo Quintero (TMQ) de ENAP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aguas tratadas en planta de tratamiento de aguas servidas y planta de tratamiento de efluentes vertidas a través de emisario submarino. El caudal de operación es de 250 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, el cual contiene: 1) aguas lluvias, que previamente pasaron por una cámara desarenadora, 2) aguas servidas tratadas en Planta de</li> </ul>

<sup>17</sup> Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Terminal de GNL en Quintero/ V Región [https://seia.sea.gob.cl/elementosFisicos/enviados.php?id\\_documento=8352251](https://seia.sea.gob.cl/elementosFisicos/enviados.php?id_documento=8352251)

Unidad fiscalizable	Residuos líquidos (post tratamiento, si corresponde)
	Tratamiento de Aguas Servidas, 3) aguas oleosas tratadas en el sistema de tratamiento del sector remodelación, 4) aguas pretratadas del sector ampliación.
Terminal marítimo de transferencia de combustibles livianos - COPEC El Bato (ex Shell) y Planta de Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aguas lluvias y aguas tratadas previamente alteradas con hidrocarburos vertidas a través emisario submarino (350 L s<sup>-1</sup>). El RIL posee una concentración final no superior a los 20 ppm de hidrocarburos.</li> </ul>
Terminal marítimo de carga, descarga y almacenamiento de graneles - Terminal Marítimo Puerto Ventanas S.A.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ducto de descarga del sistema de recolección de <b>aguas lluvia</b> (máximo caudal permitido de 300 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>).</li> </ul>
Planta de tratamiento de aguas servidas municipales - ESVAl S.A.	<p>Emisión líquida puede incluir contribución de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Residuos domiciliarios:</b> Emisiones urbanas como materia orgánica, sólidos, desinfectantes y detergentes.</li> <li>• <b>Elementos potencialmente tóxicos (PTE):</b> que incluyen cadmio (Cd), cromo (Cr III y Cr VI), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), Contaminantes orgánicos, incluidos PAH, PCB, DEHP, LAS, NPE, dioxinas (PCDD) y furanos (PCDF).</li> <li>• <b>Nutrientes:</b> de origen domiciliario (residencial), comercial e industrial que incluyen nitrógeno y fósforo.</li> <li>• <b>Otros contaminantes</b> de interés son los metaloides, arsénico y selenio y el metal plata. Dependiendo de actividades específicas, también se pueden encontrar compuestos farmacéuticos y químicos, así como patógenos.</li> </ul>
Plantas de procesamiento de productos del mar - Pesquera Quintero S.A.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Agua tratada con sustancias orgánicas</b> en solución y finamente particuladas (libre de aceites y grasas, sólidos &gt; 1mm, espumas derivadas de unidad de flotación aceites y grasas, y sólidos finos &lt; 1mm.</li> </ul>
Terminal marítima de químicos industriales - OXIQUIM S.A.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aguas de lluvia</b> son vertidas directamente al mar por medio de un ducto que desemboca en la playa. El agua suele encontrarse contaminada por escorrentía sobre superficies impermeables (combustibles). Fuente Fiscalización SMA: DFZ-2014-184-V-RCA-IA.</li> </ul>

Tabla 37 Caracterización de residuos sólidos asociados a unidades fiscalizables colindantes a la Bahía de Quintero. Fuente: Declaración y Estudios de Impacto Ambiental de Unidades Fiscalizables. Para más detalles consultar Anexo A.

Unidad fiscalizable	Residuos sólidos
Centrales termoeléctricas a carbón y/o petcoke – AES Gener S.A.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ceniza flotante</b>, un material en polvo muy fino compuesto principalmente de sílice obtenido de la quema de carbón finamente molido en una caldera.</li> <li>• <b>Ceniza de fondo</b>, una partícula de ceniza gruesa y angular que es demasiado grande para ser transportada a las chimeneas, por lo que se forma en el fondo del horno de carbón.</li> <li>• <b>Escoria de caldera</b>, ceniza de fondo fundida de grifos de escoria y hornos tipo ciclón que se convierte en pellets que tienen una apariencia vítrea suave después de enfriarse con agua.</li> <li>• <b>Material de desulfuración de gases de combustión</b>, un material sobrante del proceso de reducción de las emisiones de dióxido de azufre de una caldera de</li> </ul>

	<p>carbón que puede ser un lodo húmedo que consiste en sulfito de calcio o sulfato de calcio o un material en polvo seco que es una mezcla de sulfitos y sulfatos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Otros subproductos de combustión</b> como cenizas de combustión de lecho fluidizado, cenósferas y residuos del depurador.</li> </ul>
<b>Refinería y fundición de cobre - División CODELCO Ventanas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Escoria de “botadero”</b> la cual se acopia en una zona adyacente al terreno de la División Ventana (Sector Botadero), adonde es transportada por vía férrea. Este sector corresponde a una zona catastrada como humedal en 2011 (Humedal de Campiche).</li> <li>• Los desechos clasificados como <b>desechos peligrosos</b>, y manejados como tales, (lodos anódicos o lodos prensados de la planta de tratamiento de RILes) son transportados por empresas autorizadas fuera de recinto de CODELCO.</li> </ul>
<b>Terminal marítimo de gas natural licuado (GNL) - GNL Quintero S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Lodos clase B</b> generados en la planta de tratamiento de aguas servidas los cuales son desaguados e higienizados. Estos lodos se consideran aptos para su aplicación a suelos (con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos).</li> </ul>
<b>Terminal marítimo de embarque, descarga y almacenamiento de gas licuado de petróleo (GLP) - GASMAR S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De acuerdo con el expediente de evaluación de impacto ambiental: <i>“residuos generados corresponden al normal funcionamiento de equipos, su instalación y la mantención de estos, tales como cañerías, cables, metales (parrillas, fitting, etc.), baterías y pilas, chatarra, tarros (con residuos de metanol y pintura), aceites y lubricantes usados, pinturas y solventes, grasas y paños usados.”</i> No se identifica vertido de desechos sólidos directa o indirectamente a la Bahía de Quintero.</li> </ul>
<b>Terminal marítimo Quintero (TMQ) de ENAP</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se declara 0,27 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas servidas, acumulados en las lagunas de retención y cámaras desarenadoras, los que son retirados para su disposición final cada 23 días, por una empresa que dispone de las correspondientes autorizaciones sanitarias y ambientales (camión limpia fosas).</li> </ul>
<b>Terminal marítimo de transferencia de combustibles livianos - COPEC El Bato (ex Shell) y Planta de Almacenamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se estima que se generarían un total de 6 kg d<sup>-1</sup> de residuos sólidos domésticos, los que son retirados por un tercero autorizado.</li> </ul>
<b>Terminal marítimo de carga, descarga y almacenamiento de graneles - Terminal Marítimo Puerto Ventanas S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se encontró información al respecto. No se incluye aquí vertidos accidentales los cuales se especifican en la sección 7.1.5.2.3 (página 172).</li> </ul>
<b>Planta de tratamiento de aguas servidas municipales - ESVAL S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altamente dependiente del sistema sanitario que colecta las aguas residuales, pero puede incluir sedimentos, grasas y detritos. Estos son retenidos por el sistema primario.</li> </ul>
<b>Plantas de procesamiento de productos del mar - Pesquera Quintero S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lodos de cancha de secado (asociados a RILes de unidades de filtración y flotación) dispuestos en relleno/vertedero autorizado.</li> </ul>
<b>Terminal marítima de químicos industriales - OXIQUM S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desechos de limpieza son manipulados como desechos peligrosos y dispuestos finalmente en lugares debidamente autorizados donde son transportados por agentes autorizados.</li> </ul>

Tabla 38 Caracterización de emisiones atmosféricas asociadas a unidades fiscalizables señaladas colindantes a la Bahía de Quintero. Fuente: Declaración y Estudios de Impacto Ambiental de Unidades Fiscalizables. Para más detalles consultar Anexo A.

Unidad fiscalizable	Emisiones atmosféricas
<b>Centrales termoeléctricas a carbón y/o petcoke – AES Gener S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vapor de agua asociado a agua de enfriamiento</li> <li>Subproducto de la combustión como: Dióxido de carbono, Dióxido de azufre, Dióxidos nitrosos, Ozono, Materia particulada en suspensión (SPM).</li> <li>Metales pesados: dependen mucho de las características y la composición del carbón, pero incluyen plomo, antimonio, arsénico, berilio, cromo, cadmio, níquel, selenio, manganeso, radio, uranio, mercurio.</li> <li>Puede incluir compuesto orgánicos volátiles (COV) como Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), y compuestos orgánicos persistentes (COP) subproductos de la combustión como dioxinas (PCDD) y furanos (PCDF)</li> </ul>
<b>Refinería y fundición de cobre - División CODELCO Ventanas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Durante los procesos de fusión y conversión del concentrado de cobre, se producen grandes volúmenes de gases a altas temperaturas con una alta concentración de SO<sub>2</sub> y partículas en suspensión.</li> <li>Residuos gaseosos emitidos SO<sub>2</sub>, As, Pb, Benceno, Tolueno, Metil-benceno, COV, CO<sub>2</sub>, Hg, CO, NH<sub>3</sub>, material particulado MP2.5, MP10</li> </ul>
<b>Terminal marítimo de gas natural licuado (GNL) - GNL Quintero S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El proceso de vaporización principal para transformar el GNL en gas natural no genera emisiones.</li> <li>Emisiones del piloto de la antorcha y de eventuales descargas a través de ésta: (NO<sub>x</sub>: 0,36 ton año-1, CO: 1,93 ton año-1, SO<sub>2</sub>: 0,07 ton año -1)</li> <li>Emisiones fugitivas (COV: 2,15 Ton año-1).</li> <li>Emisiones de tanques de combustible (diésel): (0,002 ton año-1).</li> </ul>
<b>Terminal marítimo de embarque, descarga y almacenamiento de gas licuado de petróleo (GLP) - GASMAR S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Quema de aumentos de presión que se pudiesen generar en los estanques no absorbido por la unidad de refrigeración.</li> </ul>
<b>Terminal marítimo Quintero (TMQ) de ENAP</b>	<p>Durante la etapa de operación del Proyecto, no se prevé la generación de emisiones atmosféricas.</p>
<b>Terminal marítimo de transferencia de combustibles livianos - COPEC El Bato (ex Shell) y Planta de Almacenamiento</b>	<p>De acuerdo con EIA correspondiente, se considera la emisión de vapores generados por los estanques de almacenamiento se estima en 1,7 ton estanque<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (3 estanques). Las emisiones del estanque de techo cónico que almacenará kerosene de aviación corresponden a aproximadamente a 1,35 ton/año.</p> <p>Emisiones estimadas de COV asociadas al área de ampliación de la planta TPI (ton año-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema de tratamiento de aguas residuales: 0,02 ton año-1</li> <li>Almacenamiento de petróleo diésel (escenario 1) 1,35 ton año-1</li> <li>Almacenamiento kerosene de aviación (escenario 2) 1,76 ton año-1</li> </ul> <p>Se declara que no se generarán otro tipo de emisiones atmosféricas aparte de compuestos orgánicos volátiles (COV), debido a que el despacho de combustibles desde el TPI, se realiza a través de oleoductos autorizados y faenas de cabotaje.</p>
<b>Terminal marítimo de carga, descarga y almacenamiento de graneles - Terminal Marítimo Puerto Ventanas S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Polvo fugitivo asociado al concentrado de cobre</li> </ul>

<b>Planta de tratamiento de aguas servidas municipales - ESVAL S.A.</b>	No se encontró información al respecto.
<b>Plantas de procesamiento de productos del mar - Pesquera Quintero S.A.</b>	No se encontró información al respecto.
<b>Terminal marítima de químicos industriales - OXIQUIM S.A.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) que resultan de la operación normal de este tipo de instalaciones por almacenamiento, llenado/vaciado de estanques y transporte de hidrocarburos.</li> </ul>

En la Tabla 39 a continuación se entregan los resultados del análisis presencia/ausencia de contaminantes en RILes de unidades fiscalizables con descargas directas a las aguas de la Bahía de Quintero.



Parámetro	Presente									Probablemente presente									Probablemente no presente									No se sabe									
	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero			
Índice de fenol																																					
pH																																					
Poder espumógeno																																					
Potencial redox (Eh)																																					
Sólidos sedimentables																																					
Sólidos suspendidos totales																																					
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)																																					
Temperatura																																					
<b>Iones de importancia ambiental</b>																																					
Cloruro																																					
Fluoruro																																					
Fosfato																																					
Sulfato																																					
Sulfuro																																					
<b>Metales y metaloides</b>																																					
Aluminio disuelto																																					
Aluminio total																																					
Antimonio disuelto																																					
Antimonio total																																					
Arsénico disuelto																																					
Arsénico total																																					
Bario disuelto																																					
Bario total																																					
Boro disuelto																																					

Parámetro	Presente										Probablemente presente										Probablemente no presente					No se sabe												
	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero				
Boro total																																						
Cadmio disuelto																																						
Cadmio total																																						
Cobalto disuelto																																						
Cobalto total																																						
Cobre disuelto																																						
Cobre total																																						
Cromo disuelto																																						
Cromo total																																						
Cromo VI disuelto																																						
Cromo VI total																																						
Estaño disuelto																																						
Estaño total																																						
Galio disuelto																																						
Galio total																																						
Hierro disuelto																																						
Hierro total																																						
Magnesio disuelto																																						
Magnesio total																																						
Manganeso disuelto																																						
Manganeso total																																						
Mercurio disuelto																																						
Mercurio total																																						
Molibdeno disuelto																																						



Parámetro	Presente									Probablemente presente									Probablemente no presente									No se sabe								
	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero		
Molibdeno total																																				
Níquel disuelto																																				
Níquel total																																				
Plata disuelto																																				
Plata total																																				
Plomo disuelto																																				
Plomo total																																				
Selenio disuelto																																				
Selenio total																																				
Sodio disuelto																																				
Sodio total																																				
Titanio disuelto																																				
Titanio total																																				
Uranio disuelto																																				
Uranio total																																				
Vanadio disuelto																																				
Vanadio total																																				
Zinc disuelto																																				
Zinc total																																				
<b>Nutrientes</b>																																				
Amonio																																				
Fósforo total																																				
Nitrógeno total Kjeldahl																																				
Fósforo disuelto																																				





Parámetro	Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)	Justificación de su incorporación al monitoreo de RILEs
		condensadores, equipos eléctricos que incluyen reguladores de voltaje, interruptores, cierres, bujes y electroimanes, aceite utilizado en motores y sistemas hidráulicos, entre otros. En consecuencia, las fugas de equipos eléctricos viejos, el derrame accidental de desechos que contienen PCB y la producción involuntaria de PCB durante la combustión son rutas importantes de entrada de PCB al medio ambiente en lo que respecta a una central eléctrica, especialmente las establecidas entre los años cincuenta y setenta.
<b>Benceno, Etilbenceno, Tolueno, Total benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX), Xilenos totales</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero	BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) y MTBE (metil terc-butil éter) son hidrocarburos combustibles que a menudo se detectan en el agua. Los BTEX son compuestos orgánicos volátiles (COV) presentes en derivados del petróleo, tales como la gasolina. MTBE y BTEX son altamente solubles y móviles en agua, y ambos pueden tener efectos tóxicos. BTEX está relacionado con la carcinogénesis.
<b>Demanda biológica de oxígeno (DBO5), Demanda química de oxígeno (DQO)</b>	GNL Quintero	Cloración del agua de mar utilizada en el sistema principal de vaporización de GNL puede resultar en un aumento del DBO una vez alcanza el cuerpo de agua receptor (y quizás aumento de DQO en el RIL).
<b>Fósforo total</b>	ESVAL	Considerando que de acuerdo al SEIA la planta de Esva solamente contempla un tratamiento preliminar, el emisario submarino puede contener una amplia variedad de contaminantes. Las aguas residuales municipales pueden contener de 5 a 20 mg / l de fósforo total, de los cuales 1-5 mg / l son orgánicos y el resto inorgánicos. La contribución individual tiende a aumentar, porque el fósforo es uno de los principales componentes de los detergentes sintéticos. El aporte individual de fósforo varía entre 0,65 y 4,80 g / habitante y día con una media de unos 2,18 g. Las formas habituales de fósforo que se encuentran en soluciones acuosas incluyen:
<b>Aluminio total, Arsénico total, Cadmio total, Caudal, Cianuro disuelto, Cianuro total, Cobre total, Coliformes fecales, Cromo total, Cromo VI total, Demanda biológica de oxígeno (DBO5), Demanda química de oxígeno (DQO), Estaño total, Fluoruro, Índice de fenol, Manganeso total, Molibdeno total, Níquel total, pH, Plomo total, Selenio total, Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales, Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), Temperatura, Zinc total</b>	ESVAL	Considerando que la planta de Esva solamente contempla un tratamiento preliminar, el emisario submarino puede contener una amplia variedad de contaminantes.
<b>Mercurio total</b>	ESVAL	Considerando que la planta de Esva solamente contempla un tratamiento preliminar, el emisario submarino puede contener una amplia variedad de contaminantes. Compuestos de mercurio se utilizan en termómetros, barómetros, baterías e interruptores eléctricos, empastaduras bucales. Compuestos de mercurio inorgánico se usan como fungicidas. Las sales inorgánicas de mercurio, incluso el cloruro de mercurio amoniacal y el yoduro mercuríco se han usado en cremas para aclarar la piel. El cloruro mercuríco es un antiséptico o desinfectante local.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)</b>	<b>Justificación de su incorporación al monitoreo de RILEs</b>
<b>Aceites y grasas, Hidrocarburos fijos, Hidrocarburos totales, Hidrocarburos volátiles</b>	ESVAL	Considerando que la planta de Esval solamente contempla un tratamiento preliminar, el emisario submarino puede contener una amplia variedad de contaminantes. Poco se sabe de las decenas a cientos de pequeños derrames y fugas no publicados que ocurren por ejemplo producto de la eliminación ilegal de aceite usado de automóviles en alcantarillados y que se suman a los grandes derrames de hidrocarburos ocurridos en el pasado.
<b>Sulfuro</b>	ESVAL	Considerando que la planta de Esval solamente contempla un tratamiento preliminar, el emisario submarino puede contener una amplia variedad de contaminantes. Se acumula y/o genera en sedimentos anaerobios enriquecidos en materia orgánica. Altamente tóxico.
<b>Fluoruro</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero	Constituyente común del agua de mar y del agua potable (La OMS recomienda el valor de referencia para el fluoruro en el agua potable es de 1,5 mg)
<b>Etinilestradiol</b>	ESVAL	Contaminantes estrogénicos. Estrógeno derivado del estradiol usado en anticonceptivos. Existe alguna evidencia de que los esteroides de origen humano, como el estradiol y el etinilestradiol (el ingrediente activo de la píldora anticonceptiva) pueden afectar la biota acuática. En agua dulce, las condiciones intersexuales inducidas en peces machos (truchas) en los ríos de Inglaterra se atribuyeron al etinilestradiol de las aguas residuales (Desbrow et al., 1998; Routledge et al., 1998; Tyler y Jobling, 2008). Por el contrario, se han encontrado efectos androgénicos en peces hembra en ríos que transportan efluentes de fábricas de pulpa y papel (peces mosquito) y efluentes de corrales de engorde (pececillos de cabeza gorda) (Orlando et al., 2004). No está claro si tales sustancias persisten lo suficiente como para seguir causando tales efectos después de un lapso de tiempo, y cómo las sustancias podrían operar en ambientes más dinámicos o más diluidos (como el mar);
<b>Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales</b>	COPEC Quintero	COPEC QUINTERO cuenta con una planta de tratamiento de aguas servidas y una planta de tratamiento de residuos industriales líquidos que cuentan con separadores gravitacionales de sólidos, no obstante cierta fracción mínima (autorizada) puede alcanzar el medio marino.
<b>Demanda biológica de oxígeno (DBO5)</b>	Pesquera Quintero	DBO estima el grado de contaminación midiendo el oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica por el metabolismo aeróbico de la flora microbiana. En las aguas residuales pesqueras, esta demanda de oxígeno se origina principalmente en dos fuentes: los compuestos carbonosos que son utilizados como sustrato por los microorganismos aeróbicos, y los compuestos nitrogenados que normalmente están presentes en las aguas residuales pesqueras, como proteínas, péptidos y aminos volátiles, amonio (nitrificación).
<b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b>	Pesquera Quintero	Debido a los inconvenientes de la DBO5, se aplican métodos alternativos para estimar el contenido orgánico de las aguas residuales, siendo el más común la demanda química de oxígeno (DQO). La DQO de un efluente suele ser más alta que la DBO5, ya que el número de compuestos que pueden oxidarse químicamente es mayor que los que pueden degradarse biológicamente.
<b>Caudal</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2	Depende completamente de la concentración de los contaminantes.
<b>Caudal, pH, Temperatura</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4	Depende de lo establecido inicialmente por el ministerio
<b>Aceites y grasas, Fluoruro, Fósforo total, Nitrógeno total Kjeldahl, Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales, Sulfato</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4	Depende del proceso de desmineralización, puede aportar concentrados al agua de mar

Parámetro	Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)	Justificación de su incorporación al monitoreo de RILES
<b>Hidrocarburos volátiles</b>	CODELCO Ventanas	Diesel es insumo en el proceso de fundición y genera contaminación atmosférica de hidrocarburos..
<b>Hidrocarburos totales</b>	CODELCO Ventanas	Diesel es Insumo en el proceso de fundición y genera contaminación atmosférica. Su presencia en los riles es poco probable.
<b>pH</b>	GNL Quintero	El agua de mar requiere tratamiento con soda caustica (NaOH) previo a su descarga al mar para neutralizar el pH producto de la inyección de gases de combustión, entre otros, dióxido de carbono que reacciona con el agua de mar disminuyendo el pH.
<b>Cloro libre residual</b>	GNL Quintero	El agua de mar utilizada para la vaporización del GNL es clorada para el control de incrustaciones y la tubería de vaporización. Tiene 3 puntos de descarga en emisarios submarinos. Las aguas residuales tratadas se descargan junto con los Riles, a través del emisario submarino de 657 metros. de largo desde la costa, fuera de la zona de protección costera.
<b>Boro total</b>	COPEC Quintero	El boro es un compuesto que ocurre en forma natural en el ambiente. A menudo se encuentra combinado con otras sustancias formando compuestos llamados boratos. Los boratos se usan principalmente para manufacturar vidrio. También se usan en retardadores de llamas, en la industria de curtido de cuero, cosméticos, materiales para fotografía, jabones y agentes de limpieza y en combustible de alta energía. Algunos plaguicidas usados para controlar cucarachas y algunos productos para preservar madera también contienen boratos.
<b>Selenio total</b>	COPEC Quintero	El cromo también puede ser liberado al ambiente al quemar gas natural, petróleo o carbón.
<b>Índice de fenol</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero	El fenol es utilizado en la fabricación de plásticos y desinfectante en productos de limpieza. también se ha demostrado su presencia natural de sustancias fenolicas en productos no refinados de petróleo y derivados (Feild et al. 1940, MacCrehan and Brown-Thomas, 1987). Los trabajadores en las siguientes industrias pueden estar expuestos al fenol: industria del petróleo, manufactura de preservativos para madera, fluidos hidráulicos, aditivos para aceite de lubricación, entre otras sustancias químicas especiales.
<b>Temperatura</b>	GASMAR	El flujo de agua de mar asociada al circuito de presurización de la plata de GASMAR se enfría alrededor de 7 °C, mientras que el flujo de agua de mar asociado al circuito de condensación de vapores (enfriamiento) es regresado al mar con una temperatura no superior a 4 °C.
<b>Fósforo total</b>	CODELCO Ventanas	El fósforo es una de las impurezas presente en el cobre refinado junto al níquel, el antimonio, el oro, la plata, el mercurio, el plomo y el hierro.
<b>Hierro total</b>	CODELCO Ventanas	El hierro es una impureza presente en el cobre refinado y en el agua utilizada en el proceso de refinamiento junto al fósforo, níquel, antimonio, oro, plata, mercurio, plomo y fierro.
<b>Manganeso total</b>	CODELCO Ventanas	El manganeso se utiliza para dar resistencia a las aleaciones de cobre y zinc (<35%)
<b>Molibdeno total</b>	CODELCO Ventanas	El Molibdeno es un componente importante de la variedad de minerales de cobre que son la materia prima de la Fundición de Ventanas y está presente en toda la cadena de producción de cobre fino.
<b>Níquel total</b>	CODELCO Ventanas	El níquel forma parte de las impurezas remanentes en el cobre refinado, aunque en muy bajas concentraciones.
<b>Nitrógeno total Kjeldahl</b>	CODELCO Ventanas	El NTK puede estar asociado a la presencia de aguas servidas que escapan accidentalmente el procesamiento de la planta de riles.
<b>Pentaclorofenol</b>	COPEC Quintero	El pentaclorofenol tiene un amplio uso como pesticida y para preservar madera. El pentaclorofenol de calidad técnica generalmente contiene impurezas tóxicas tales como las dibenzo-p-dioxinas policloradas y los dibenzofuranos. En Chile se comercializan los siguientes productos, cuyo ingrediente activo es pentaclorofenato de sodio: Basilit (Bayer): Perlas, escamas, polvos. Crytogil (Koppers Chile S. A.). Maxipon (Oxiqum S.A.) al 90 y 25%.

Parámetro	Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)	Justificación de su incorporación al monitoreo de RILES
<b>Fósforo total, Nitrógeno total Kjeldahl</b>	GNL Quintero	El RIL de GNL Quintero contiene solo agua de mar clorada proveniente del sistema principal de vaporización de GNL (que utiliza vaporizadores de panel abierto) con concentraciones de hipoclorito de sodio (cloro, NaClO) no superiores a 0,5 mg L-1 (para evitar la formación de algas en los vaporizadores), cuatro veces menos que el agua potable y más fría (a 10°C, unos 4 °C promedio bajo el agua de mar). Caudal estimado de 360.008 m3/día (declaración del 2020-01-01)
<b>Aluminio total</b>	ENAP Quintero	El terminal terrestre posee 35 estanques de almacenamiento de petróleo crudo y productos refinados (Kerosene Aviación, Gasolina 93 NOR y Diesel B). El terminal cuenta además con instalaciones destinadas a la preparación, almacenamiento y entrega de diésel marino (Marine Gas Oil, MGO), además de combustibles marinos residuales IFO 180 e IFO 380.
<b>Sulfuro</b>	CODELCO Ventanas	El tratamiento de minerales sulfurados de cobre por pirometalurgia, como en Ventanas, da origen a grandes volúmenes de SO2 (y arsénico) que requieren ser capturados o controlados para reducir la contaminación atmosférica que provocan.
<b>Selenio total</b>	CODELCO Ventanas	Elemento de alta toxicidad y cancerígeno constituyente de los lodos residuales tanto de la planta de metales nobles (descontinuada en 2013) y del proceso de refinación electrolítica que junto al arsénico son recuperados en el tratamiento de los RILES.
<b>Nonilfenol</b>	ESVAL, Pesquera Quintero	En Chile existen al menos cinco agroquímicos autorizados por SAG utilizado como co-adyuvantes para mejorar la humectabilidad, adherencia y dispersión de insecticidas, fungicidas, reguladores de crecimiento, protectores de sol, caolines. La contaminación de los cultivos con nonilfenoles puede tener lugar por aplicación de plaguicidas que contienen etoxilatos de nonilfenol como coformulante (hasta 5%). Asimismo se utilizan para la fabricación de detergentes de lavandería, productos de limpieza, productos cosméticos, productos para el procesamiento de textiles, cuero y metal; entre muchos otros.
<b>Fosfato</b>	ESVAL, Pesquera Quintero	En complemento a las mediciones de fósforo total en laboratorio es posible medir concentraciones de fosfato in-situ en la bahía (e.g. utilizando un HydroCycle-PO4 de Sea-Bird Scientific, un sensor químico húmedo diseñado para el monitoreo ambiental). El monitoreo de fosfato in situ actual está dominado por diferentes analizadores espectrofotométricos. Así, se proporciona una descripción de la base, ventajas y desventajas de los diferentes analizadores existentes. Parece que estas técnicas pueden ser reemplazadas en un futuro próximo por sensores electroquímicos que brindan excelentes posibilidades para la determinación de fosfatos con alta precisión, larga vida útil, bajo límite de detección y buena reproducibilidad.
<b>Sólidos sedimentables</b>	Pesquera Quintero	En las aguas residuales pesqueras, estas incluyen escamas de pescado, porciones de músculo de pescado y despojos, cuyas proporciones relativas varían según el proceso particular que se utilice.
<b>Demanda biológica de oxígeno (DBO5)</b>	CODELCO Ventanas	Estimación del potencial natural de oxidar (degradar) la materia orgánica presente en un efluente.
<b>Estradiol</b>	ESVAL	Existe evidencia de que los esteroides de origen humano, como el estradiol y el etinilestradiol (el ingrediente activo de la píldora anticonceptiva) pueden afectar la biota acuática. No obstante, no está claro si tales sustancias persisten lo suficiente como para seguir causando tales efectos después de un lapso de tiempo, y cómo las sustancias podrían operar en ambientes más dinámicos o más diluidos (como el mar);
<b>Total hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero	Existen HAPs de origen petrogénicos y pirogénicos. Los HAPs petrogénicos generalmente ingresan al ambiente en fase gaseosa (por evaporación-depositación) y en fase líquida (derrames de crudo). De acuerdo a Thorsen et al. (2004), en general, dentro de los HAPs predominan los compuestos aromáticos padre de 3 y 5 anillos, tales como el antraceno y el benzo(a)pireno. Otros compuestos típicos son el fenantreno, pireno, benzo(a)antraceno, criseno y benzo(b+k)fluoranteno (Krauss et al. 2000; Wilcke 2007; Chrysikou et al. 2008).

Parámetro	Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)	Justificación de su incorporación al monitoreo de RILes
<b>Clorofila a</b>	ESVAL, ENAP Quintero, Pesquera Quintero	Generado indirectamente en el medio marino producto del aporte de nutrientes y generación de floraciones algales.
<b>Aceites y grasas</b>	ENAP Quintero, COPEC Quintero	Generado o presente en la UF pero recuperados en cámara interceptora de grasas.
<b>Sulfuro</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4	Generado por la combustión, priorizado por la EPA para su monitoreo
<b>Cianuro disuelto, Cianuro total</b>	Pesquera Quintero	Improbable de encontrar en materias primas de plantas pesqueras, ya que el cianuro en el agua no se acumula en el cuerpo de los peces.
<b>Clorometano (cloruro de metilo)</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4, GASMAR, GNL Quintero, ESVAL, Pesquera Quintero	Incluido en actualización del 2021 del D.S. 90. El clorometano es un gas a temperatura ambiente, y cuando está presente en el agua, la mayor parte se evaporará rápidamente al aire. El clorometano no se acumula en sedimentos o en animales a lo largo de la cadena alimentaria. Se degrada lentamente en el agua, pero ciertos microorganismos pueden degradarlo más rápido. En el pasado, el clorometano fue ampliamente usado como refrigerante. Sin embargo, ya no se usa en refrigeradores debido a sus efectos tóxicos. El clorometano puede encontrarse en aguas de descargas municipales y en corrientes de desechos como resultado de su formación o remoción incompleta.
<b>Temperatura</b>	ENAP Quintero, COPEC Quintero	Incorporación preventiva
<b>Triclorometano (cloroformo)</b>	GASMAR, GNL Quintero, ESVAL, COPEC Quintero, Pesquera Quintero	Incorporado en propuesta de modificación del D.S. 90 del año 2021. Cloro libre residual y trihalometanos suelen estar asociados a RILes de PTAS, termoeléctricas, entre otras. En Quintero solo se mide el triclorometano (o cloroformo) pero existe una amplia variedad de subproductos de desinfección potencialmente presentes con efectos ambientales. Los desinfectantes utilizados en la desinfección de RILes pueden inducir reacciones químicas que conducen a la producción de subproductos de desinfección y cambio en la toxicidad del efluente. El cloro, el ozono, el dióxido de cloro y las cloraminas son los desinfectantes más comunes que se utilizan en la actualidad: cada uno produce su propio conjunto de subproductos de desinfección (DBP) en el agua, con componentes superpuestos. Se han informado más de 600 DBP en la literatura (Richardson et al. 2007), no obstante, existen tres grupos principales de subproductos de la cloración: trihalometanos (representa la suma de la concentración de los 4 compuestos: cloroformo o triclorometano, bromodichlorometano, dibromoclorometano y bromoformo), ácidos acéticos halogenados y cloraminas.
<b>Potencial redox (Eh)</b>	ESVAL, Pesquera Quintero	Indicador de nivel de oxido-reducción de compuestos en sedimentos
<b>Caudal</b>	GASMAR, GNL Quintero, CODELCO Ventanas, ENAP Quintero, COPEC Quintero, Pesquera Quintero	Junto con la concentración es un parámetro requerido para calculo de aportes masicos de sustancias contaminantes.
<b>pH</b>	Pesquera Quintero	La emisión de amoníaco y la descomposición de la materia proteica dependen principalmente del pH (González, 1996). El pH determina en gran medida la toxicidad del amonio.
<b>Arsénico total</b>	CODELCO Ventanas	Las aguas residuales de la producción primaria de cobre contienen sólidos disueltos y suspendidos que pueden incluir concentraciones de cobre, plomo, cadmio, zinc, arsénico y mercurio y residuos de agentes desmoldantes (cal u óxidos de aluminio). También puede estar presente fluoruro y el efluente puede tener un pH bajo. Normalmente no hay ningún efluente líquido de la fundición que no sea agua de refrigeración; las aguas residuales se originan en depuradores ("scrubbers", si se usan), precipitadores electrostáticos húmedos, enfriamiento de cátodos de cobre, y en el lavado del cobre refinado electrolíticamente. En el proceso de refinado electrolítico, subproductos como el oro y la plata se recuperan como lodos que contienen además selenio. Las fuentes de aguas residuales incluyen los baños electrolíticos gastados, la



Parámetro	Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)	Justificación de su incorporación al monitoreo de RILEs
		recuperación de lodos, ácido gastado de procesos hidrometalúrgicos, agua de enfriamiento, depuradores de aire, lavados, aguas pluviales y lodos de procesos de tratamiento de aguas residuales que requieren reutilización / recuperación o eliminación adecuada.
<b>Aceites y grasas</b>	Pesquera Quintero	Las aguas residuales pesqueras contienen cantidades variables de aceite y grasa que dependen del proceso utilizado, las especies procesadas y el procedimiento operativo. Grasas y aceites deben eliminarse de las aguas residuales por numerosas razones: generalmente flota sobre la superficie del agua y afecta la transferencia de oxígeno al agua; es objetable desde el punto de vista estético y su descomposición genera olores desagradables.
<b>Amonio</b>	Pesquera Quintero	Las concentraciones elevadas de amoniaco son una preocupación potencial con respecto a la toxicidad. El grado de toxicidad del amoníaco depende principalmente de la concentración total de amoníaco y el pH. El nivel de pH determina qué proporción de ese amoníaco total presente está en forma tóxica sindicalizada.
<b>Arsénico total, Níquel total, Plomo total, Vanadio total</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero	Los compuestos metálicos de vanadio, níquel, plomo, arsénico, etc., también se encuentran en el petróleo crudo. El vanadio y el níquel se encuentran en forma de compuestos organometálicos principalmente en las fracciones más pesadas del petróleo crudo donde los átomos de metal se distribuyen dentro del compuesto en una forma compleja llamada porfirinas.
<b>Aluminio total, Antimonio total, Bario total, Cadmio total, Cobalto total, Cromo VI total, Estaño total, Galio total, Hierro total, Manganeso total, Molibdeno total, Plata total, Titanio total, Uranio total, Zinc total</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero	Los metales presentes en el petróleo crudo incluyen cobre, plomo, hierro, magnesio, sodio, molibdeno, zinc, cadmio, vanadio, titanio, manganeso, cromo, cobalto, antimonio, uranio, aluminio, estaño, bario, galio, plata y arsénico, entre otros. otros han sido documentados.
<b>Cromo total</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero	Los metales presentes en el petróleo crudo incluyen cobre, plomo, hierro, magnesio, sodio, molibdeno, zinc, cadmio, vanadio, titanio, manganeso, cromo, cobalto, antimonio, uranio, aluminio, estaño, bario, galio, plata y arsénico, entre otros. otros han sido documentados. El cromo también puede ser liberado al ambiente al quemar gas natural, petróleo o carbón.
<b>Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y sus sales</b>	ESVAL	Los PFOS son sustancias persistentes, bioacumulativas y tóxicas presentes en repelentes de manchas y productos químicos contra incendios. Fuertemente asociados a la actividad humana y detectado frecuentemente en plantas de tratamiento de aguas. Empleados como repelentes y protectores <sup>3</sup> en diferentes objetos y materiales
<b>Aceites y grasas, Hidrocarburos totales, Hidrocarburos volátiles</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4	Los procesos de combustión y enfriamiento tienen poco potencial de generación de estos hidrocarburos
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	Pesquera Quintero	Los sólidos en suspensión pueden afectar la vida acuática al reducir la cantidad de luz que ingresa al agua. Los sólidos totales en suspensión (TSS) representan aproximadamente el 10-30% de los sólidos totales (TS). El condensado de pescado tiene altos sólidos volátiles (VS) que consisten en trimetilamina (TMA) y ácidos grasos volátiles (VFA).
<b>Sulfuro</b>	Pesquera Quintero	Los sulfuros son generados mayormente por degradación anaeróbica (reducción de sulfatos), los cuales pueden inducir toxicidad y aumento de la DQO (por reoxidación).
<b>Magnesio total</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero	Magnesio es uno de los principales constituyentes del agua de mar. Los metales presentes en el petróleo crudo incluyen cobre, plomo, hierro, magnesio, sodio, molibdeno, zinc, cadmio, vanadio, titanio, manganeso,

Parámetro	Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)	Justificación de su incorporación al monitoreo de RILes
		chromo, cobalto, antimonio, uranio, aluminio, estaño, bario, galio, plata y arsénico, entre otros. otros han sido documentados.
<b>Materia orgánica disuelta, Materia orgánica total</b>	ESVAL	Medido indirectamente a través de la Demanda Química y biológica de Oxígeno, no obstante este tipo de mediciones son bastante inciertas en agua de mar. La demanda de oxígeno para la oxidación química es la Demanda Química de Oxígeno (DQO). El oxígeno que necesitan las bacterias es la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). Cuando la DQO y la DBO en un cuerpo de agua exceden el oxígeno disponible, el cuerpo de agua puede volverse hipóxico o anóxico, con una capacidad reducida para sustentar la vida acuática (Metcalf y Eddy, 2004).
<b>Metilmercurio</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero	Metal frecuente en cenizas de carbón y deposición de emisiones atmosféricas asociadas a material particulado de termoelectricas. Considerando que la planta de Esval solamente contempla un tratamiento preliminar, el emisario submarino puede contener una amplia variedad de contaminantes. Compuestos de mercurio se utilizan en termómetros, barómetros, baterías e interruptores eléctricos, empastaduras bucales. Subproducto del proceso de incineración, priorizado por la EPA. En agua de mar el Hg inorgánico puede metilarse a metilmercurio (MeHg) que se acumula y biomagnifica en la biota marina.
<b>Aluminio total, Arsénico total, Boro total, Cadmio total, Cianuro disuelto, Cianuro total, Cobre total, Cromo total, Cromo VI total, Estaño total, Hierro total, Manganeso total, Mercurio total, Molibdeno total, Níquel total, Plomo total, Selenio total, Zinc total</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4	Metal frecuente en cenizas de carbón. Subproducto del proceso de incineración, priorizado por la EPA
<b>Cianuro disuelto, Cianuro total</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero	Muchos de los cianuros en el suelo o el agua provienen de procesos industriales. Las fuentes principales de cianuro en el agua son las descargas de algunos procesos de minado de minerales, industrias de sustancias químicas orgánicas, plantas o manufactura de hierro o acero y facilidades públicas para el tratamiento de aguas residuales. Otras fuentes de cianuro son el tubo de escape de vehículos, liberaciones desde algunas industrias químicas, la incineración de basura municipal y el uso de plaguicidas que contienen cianuro.
<b>Coliformes fecales</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4	No forma parte directa de los procesos. Depende de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en planta.
<b>Demanda biológica de oxígeno (DBO5), Nitrógeno total Kjeldahl</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4	No forma parte directa de los procesos. Depende de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en planta.
<b>Mercurio total</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero	No se encontraron antecedentes sobre la presencia de mercurio en esta industria.
<b>pH</b>	GASMAR	No se encontraron antecedentes sobre diferencias significativas entre pH del RIL y cuerpo de agua receptor. El único efluente líquido relevante del Proyecto es agua de mar utilizada para el calentamiento del GNL (15.000 m3/hora). El efluente tendrá una temperatura media de 3,6 ° (7° e menos que su temperatura media natural) y una imperceptible mayor cantidad de cloro, producto del tratamiento con hipoclorito.
<b>Aluminio total, Arsénico total, Boro total, Cadmio total, Cromo total, Cromo VI total, Estaño</b>	Pesquera Quintero	No se espera concentraciones significativas de metales en RILes de plantas de proceso de productos pesqueros (totales y disueltos)

Parámetro	Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)	Justificación de su incorporación al monitoreo de RILes
<b>total, Fluoruro, Hierro total, Manganeso total, Mercurio total, Molibdeno total, Níquel total, Plomo total, Selenio total, Xilenos totales, Zinc total</b>		
<b>Sulfato</b>	Pesquera Quintero	Parte de la composición de iones principales del agua de mar.
<b>Cloruro</b>	Pesquera Quintero	Parte de la composición de iones principales del agua de mar. La utilización de cloro para fines de desinfección en la industria de procesamiento de pescado y marisco puede aumentar el contenido de cloruros en el RIL.
<b>Aceites y grasas</b>	AES GENER U1-U2	Poca generación en actividades de incineración y enfriamiento
<b>Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales</b>	GASMAR	Poco probable ya que el agua de mar captada será filtrada y sometida a un proceso de electrocloración.
<b>Tolueno</b>	GASMAR, GNL Quintero, COPEC Quintero	Por derrames accidentales pueden alcanzar el medio marino. El tolueno es un hidrocarburo aromático (también conocido como metilbenceno) derivado del Benceno, parte de los llamados BTEX, todos compuestos orgánicos volátiles (COVs). El Tolueno esta presente en forma natural en el petróleo crudo. Asimismo se encuentra en productos como detergentes, productos aromáticos, diluyentes de pintura, adhesivos, y gasolina. El tolueno puede entrar a aguas de superficie y al agua subterránea (pozos) cuando se derraman solventes o productos de petróleo. El tolueno puede ser degradado en agua bajo la superficie principalmente por microorganismos anaeróbicos. El tolueno se evaporará fácilmente al aire o será degradado por microorganismos en aguas de superficie.
<b>pH</b>	COPEC Quintero	Por posible efecto en la toxicidad de contaminantes dependiente del pH
<b>Coliformes fecales</b>	CODELCO Ventanas	Posee planta de tratamiento de aguas servidas. Solo fugas esporádicas.
<b>pH</b>	ENAP Quintero	Posible modificación de pH asociado a aguas tratadas en planta de tratamiento de aguas servidas y planta de tratamiento de efluentes vertidas a través de emisario submarino. El caudal de operación es de 250 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> , el cual contiene: 1) aguas lluvias, que previamente pasaron por una cámara desarenadora, 2) aguas servidas tratadas en Planta de Tratamiento de Aguas Servidas, 3) aguas oleosas tratadas en el sistema de tratamiento del sector remodelación, 4) aguas pretratadas del sector ampliación.
<b>Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)</b>	GASMAR, GNL Quintero, CODELCO Ventanas, ENAP Quintero, COPEC Quintero	Posible presencia asociada a la utilización de detergentes con sustancias tensoactivas (sustancias no polares).
<b>Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales</b>	ENAP Quintero	Posible presencia de sólidos en aguas lluvia y servidas. No obstante las ) aguas lluvias, son tratadas en una cámara desarenadora, y las aguas servidas son tratadas en Planta de Tratamiento de Aguas Servidas que pueden disminuir concentraciones de sólidos presentes.
<b>Hidrocarburos fijos</b>	COPEC Quintero	Posiblemente asociado a aguas lluvias y aguas tratadas previamente alteradas con hidrocarburos vertidas a través emisario submarino (350 L s <sup>-1</sup> ). Posiblemente asociado a derrames accidentales de productos derivados del petróleo desde naves (combustibles y lubricantes), o flexible con el que se conecta al terminal. Potencialmente asociada a derrames accidentales, tratamiento parcial y descargas ilegales.
<b>Hidrocarburos totales</b>	COPEC Quintero	Posiblemente asociado a aguas lluvias y aguas tratadas previamente alteradas con hidrocarburos vertidas a través emisario submarino (350 L s <sup>-1</sup> ). El RIL posee una concentración final no superior a los 20 ppm de

Parámetro	Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)	Justificación de su incorporación al monitoreo de RILes
<b>Hidrocarburos volátiles</b>	COPEC Quintero	hidrocarburos. El sistema de tratamiento de aguas residuales es por floculación y separación por coalescencia. Potencialmente asociada a derrames accidentales, tratamiento parcial y descargas ilegales. Posiblemente asociado a aguas lluvias y aguas tratadas previamente alteradas con hidrocarburos vertidas a través emisario submarino (350 L s-1). El RIL posee una concentración final no superior a los 20 ppm de hidrocarburos. El sistema de tratamiento de aguas residuales es por floculación y separación por coalescencia. Los BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) son un grupo de compuestos orgánicos volátiles (COV) presentes en derivados del petróleo, tales como la gasolina. Potencialmente asociada a derrames accidentales, tratamiento parcial y descargas ilegales, por ejemplo, cerca de plantas químicas / petroquímicas, refinerías de petróleo, plantas de energía, industrias manufactureras, instalaciones de producción de plástico y acero y plantas de enfriamiento. Los hidrocarburos también pueden llegar a los recursos de aguas superficiales o subterráneas a través de la escorrentía de aguas pluviales; derrames de carreteras, parques de tanques.
<b>Poder espumógeno</b>	COPEC Quintero	Posiblemente asociado a detergentes vertidos desde la planta de tratamiento de aguas servidas ubicada en planta de lubricantes.
<b>Coliformes fecales</b>	GNL Quintero	Posiblemente asociado a PTAS de Puchuncaví
<b>Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales</b>	GNL Quintero	Posiblemente generado en instalaciones sanitarias y emisario de aguas servidas. La planta de tratamiento posee un sistema de oxigenación, clarificación y desinfección. La depuración se realiza mediante lodos activados los cuales metabolizan como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en el agua.
<b>Hidrocarburos totales, Hidrocarburos volátiles</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, Pesquera Quintero	Potencialmente asociada a derrames accidentales, tratamiento parcial y descargas ilegales, por ejemplo, cerca de plantas químicas / petroquímicas, refinerías de petróleo, plantas de energía, industrias manufactureras, instalaciones de producción de plástico y acero y plantas de enfriamiento. Los hidrocarburos también pueden llegar a los recursos de aguas superficiales o subterráneas a través de la escorrentía de aguas pluviales; derrames de carreteras, parques de tanques.
<b>Hidrocarburos fijos, Hidrocarburos totales</b>	GASMAR, ENAP Quintero, Pesquera Quintero	Potencialmente asociada a derrames accidentales, tratamiento parcial y descargas ilegales.
<b>Tolueno</b>	Pesquera Quintero	Presencia poco probable en detergentes utilizados en la planta pesquera. Por derrames accidentales pueden alcanzar el medio marino. El tolueno es un hidrocarburo aromático (también conocido como metilbenceno) derivado del Benceno, parte de los llamados BTEX, todos compuestos orgánicos volátiles (COVs). El Tolueno esta presente en forma natural en el petróleo crudo. Asimismo se encuentra en productos como detergentes, productos aromáticos, diluyentes de pintura, adhesivos, y gasolina. El tolueno puede entrar a aguas de superficie y al agua subterránea (pozos) cuando se derraman solventes o productos de petróleo. También puede filtrarse desde tanques de almacenamiento bajo tierra en gasolineras y otras facilidades. El tolueno puede ser degradado en agua bajo la superficie principalmente por microorganismos anaeróbicos. El tolueno se evaporará fácilmente al aire o será degradado por microorganismos en aguas de superficie.
<b>Coliformes fecales, Demanda biológica de oxígeno (DBO5), Fósforo total, Nitrógeno total Kjeldahl</b>	ESVAL, COPEC Quintero	Probablemente asociado a planta de tratamiento de aguas servidas.
<b>Escherichia coli</b>	ESVAL	Probablemente asociado a planta de tratamiento de aguas servidas. Bacteria fecal. Algunas cepas pueden causar infecciones y provocar diarreas sangrantes. Se considera junto con Enterococcus un buen indicador de contaminación fecal en playas costeras.

Parámetro	Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)	Justificación de su incorporación al monitoreo de RILes
<b>Cloruro</b>	COPEC Quintero	Probablemente asociado a productos de limpieza utilizados en la planta.
<b>Índice de fenol</b>	Pesquera Quintero	quizás presente en productos desinfectantes y limpiadores que contiene compuestos a base de fenol. El fenol es una sustancia tanto manufacturada como natural. El fenol y los compuestos fenólicos constituyen materias primas o productos intermedios en numerosas industrias petroquímicas, químicas y farmacéuticas, y son así mismo productos de degradación oxidativa de hidrocarburos aromáticos de mayor peso molecular. La vida ambiental media de la mayoría de los fenoles es corta, no más de 1 mes. Algunos son fotodegradados, bajo condiciones aeróbicas se degradan en días. No se acumulan en tejido lipídico. El fenol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O, también llamado ácido carbólico, ácido fénico, alcohol fenílico, ácido fenílico, fenilhidróxido, hidrato de fenilo, oxibenceno o hidroxibenceno) es uno de los principales desechos de industrias carboníferas y petroquímicas. En contacto con cloro forma compuestos fenilclorados, muy solubles y citotóxicos.
<b>Temperatura</b>	GNL Quintero	Realiza la regasificación mediante agua de mar a temperatura ambiente (3 vaporizadores ORV y 1 vaporizador SCV) con tratamiento de cloración y antiespumante. En lo pertinente a este estudio el terminal posee una planta de regasificación con capacidad de 15 millones de m <sup>3</sup> estándar por día, tres equipos de gasificación tipo "Vaporizador de Panel Abierto, ORV" y un equipo de respaldo del tipo "Vaporizador de Combustión Sumergida, SCV" utilizado principalmente en periodos de mantención. El vaporizador de panel abierto requiere un flujo de agua de mar clorada de 15 mil m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> , la cual es descargada al mar con una temperatura de 7°C menos con respecto a la temperatura inicial.
<b>Materia orgánica disuelta</b>	GASMAR, GNL Quintero	RIL puede contener materia orgánica disuelta y particulada (aguas de aducción).
<b>Materia orgánica disuelta</b>	Pesquera Quintero	RIL puede contener materia orgánica disuelta y particulada.
<b>Materia orgánica total</b>	ESVAL, Pesquera Quintero	RIL puede contener materia orgánica particulada la cual puede alcanzar el lecho marino
<b>Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)</b>	Pesquera Quintero	SAAM es método para la determinación de tensoactivos aniónicos asociados a detergentes en aguas superficiales y residuales. Entre los riesgos y efectos producidos por la presencia de altas concentraciones de detergentes en las aguas residuales, destaca la generación de espuma, indeseable desde el punto de vista estético, además de su impacto en la penetración de los rayos solares y la difusión del oxígeno atmosférico. Asimismo los detergentes pueden generar eutrofización, producto de su alto contenido de fosfatos, y una mayor demanda de oxígeno que perjudica a la fauna.
<b>Selenio total</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero	Se desconoce posibles fuentes de selenio asociadas esta UF. La mayor parte del selenio que se procesa es usado en la industria electrónica, pero también es usado como suplemento nutritivo; en la industria del vidrio; como componente de pigmentos en plásticos, pinturas, esmaltes, tinturas y caucho; en la preparación de medicamentos; como aditivo nutricional en alimentos para aves de corral y el ganado; en formulaciones de pesticidas; en la producción de caucho; como ingrediente en champús contra la caspa; y como componente de fungicidas. El selenio radiactivo es usado en medicina de diagnóstico
<b>Tetracloroetano (Tetracloroetileno)</b>	COPEC Quintero	Se desconoce su utilización en la UF. Utilizado principalmente como solvente, para desengrasar superficies metálicas y limpieza en seco. También sirve de material inicial (componente básico) para elaborar otras sustancias químicas y se utiliza en algunos productos para el consumidor.
<b>Xilenos totales</b>	COPEC Quintero	Se encuentra naturalmente en el petróleo y en alquitrán. Pequeñas cantidades se encuentran en el combustible de aviones y en la gasolina.
<b>Índice de fenol</b>	CODELCO Ventanas	Siendo el Diesel un insumo importante de la fusión del mineral de cobre, residuos de compuestos fenólicos pueden encontrarse en toda la cadena de fundición y refinamiento

Parámetro	Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)	Justificación de su incorporación al monitoreo de RILes
<b>Sulfuro</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero	Subproducto de degradación anaeróbica de materia orgánica (reducción de sulfatos)
<b>Cloro libre residual, Cloruro, Índice de fenol, Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4	Subproducto de desinfección proveniente del agua de enfriamiento.
<b>Triclorometano (cloroformo)</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4	Subproducto de desinfección proveniente del agua de enfriamiento. Incorporado en propuesta de modificación del D.S. 90 del año 2021. Cloro libre residual y trihalometanos suelen estar asociados a RILes de PTAS, termoeléctricas, entre otras. En Quintero solo se mide el triclorometano (o cloroformo) pero existe una amplia variedad de subproductos de desinfección potencialmente presentes con efectos ambientales. Los desinfectantes utilizados en la desinfección de RILes pueden inducir reacciones químicas que conducen a la producción de subproductos de desinfección y cambio en la toxicidad del efluente. El cloro, el ozono, el dióxido de cloro y las cloraminas son los desinfectantes más comunes que se utilizan en la actualidad: cada uno produce su propio conjunto de subproductos de desinfección (DBP) en el agua, con componentes superpuestos. Se han informado más de 600 DBP en la literatura (Richardson et al. 2007), no obstante, existen tres grupos principales de subproductos de la cloración: trihalometanos (representa la suma de la concentración de los 4 compuestos: cloroformo o triclorometano, bromodichlorometano, dibromoclorometano y bromoformo), ácidos acéticos halogenados y cloraminas.
<b>Triclorometano (cloroformo)</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4, ESVAL, Pesquera Quintero	Subproducto de desinfección. El triclorometano es uno de los cuatro trihalometanos (cloroformo o triclorometano, bromodichlorometano, dibromoclorometano y bromoformo) principal grupo de subproductos de desinfección, seguidos de ácidos acéticos halogenados, y cloraminas. El agua que va a ser sometida al proceso de desinfección puede contener precursores orgánicos, fundamentalmente ácidos húmicos y fúlvicos, que proceden de la degradación microbiana y química de carbohidratos y proteínas. Estos precursores reaccionan con el desinfectante, dando lugar a la aparición de una serie de compuestos orgánicos clorados, muchos de los cuales son tóxicos y/o mutagénicos para el hombre. Los principales subproductos de la cloración son: trihalometanos, ácidos acéticos halogenados y cloraminas (Olmedo, 2008).
<b>Triclorometano (cloroformo)</b>	COPEC Quintero	Subproducto de desinfección. Quizás asociados a productos de desinfección utilizados en la planta. El triclorometano es uno de los cuatro trihalometanos (cloroformo o triclorometano, bromodichlorometano, dibromoclorometano y bromoformo) principal grupo de subproductos de desinfección, seguidos de ácidos acéticos halogenados, y cloraminas. El agua que va a ser sometida al proceso de desinfección puede contener precursores orgánicos, fundamentalmente ácidos húmicos y fúlvicos, que proceden de la degradación microbiana y química de carbohidratos y proteínas. Estos precursores reaccionan con el desinfectante, dando lugar a la aparición de una serie de compuestos orgánicos clorados, muchos de los cuales son tóxicos y/o mutagénicos para el hombre. Los principales subproductos de la cloración son: trihalometanos, ácidos acéticos halogenados y cloraminas (Olmedo, 2008).
<b>Triclorometano (cloroformo)</b>	GNL Quintero	Subproducto de desinfección. Riesgo de generación en agua de mar clorada proveniente del sistema principal de vaporización de GNL (que utiliza vaporizadores de panel abierto) con concentraciones de hipoclorito de sodio (cloro, NaClO) no superiores a 0,5 mg L <sup>-1</sup> (para evitar la formación de algas en los vaporizadores). El triclorometano es uno de los cuatro trihalometanos (cloroformo o triclorometano, bromodichlorometano, dibromoclorometano y bromoformo) principal grupo de subproductos de desinfección, seguidos de ácidos acéticos halogenados, y cloraminas. El agua que va a ser sometida al proceso de desinfección puede contener precursores orgánicos, fundamentalmente ácidos húmicos y

Parámetro	Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)	Justificación de su incorporación al monitoreo de RILEs
		fúlvicos, que proceden de la degradación microbiana y química de carbohidratos y proteínas. Estos precursores reaccionan con el desinfectante, dando lugar a la aparición de una serie de compuestos orgánicos clorados, muchos de los cuales son tóxicos y/o mutagénicos para el hombre. Los principales subproductos de la cloración son: trihalometanos, ácidos acéticos halogenados y cloraminas (Olmedo, 2008).
<b>Triclorometano (cloroformo)</b>	GASMAR	Subproducto de desinfección. Riesgo de generación en agua de mar pretratada (filtrada y clorada con hipoclorito de sodio 0,1 ppm) asociado al circuito de presurización (regasificación/calentamiento) de LPG. El triclorometano es uno de los cuatro trihalometanos (cloroformo o triclorometano, bromodiclorometano, dibromoclorometano y bromoformo) principal grupo de subproductos de desinfección, seguidos de ácidos acéticos halogenados, y cloraminas. El agua que va a ser sometida al proceso de desinfección puede contener precursores orgánicos, fundamentalmente ácidos húmicos y fúlvicos, que proceden de la degradación microbiana y química de carbohidratos y proteínas. Estos precursores reaccionan con el desinfectante, dando lugar a la aparición de una serie de compuestos orgánicos clorados, muchos de los cuales son tóxicos y/o mutagénicos para el hombre. Los principales subproductos de la cloración son: trihalometanos, ácidos acéticos halogenados y cloraminas (Olmedo, 2008).
<b>Sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico)</b>	ESVAL, Pesquera Quintero	Subproducto de la degradación anaeróbica de materia orgánica en sedimentos marinos. Altamente tóxico.
<b>Total hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4	Subproducto del proceso de incineración, priorizado por la EPA. La combustión de carbón pulverizado para producir energía eléctrica en centrales térmicas da como resultado grandes cantidades de ceniza de carbón con propiedades variables. Las cenizas de carbón (cenizas de fondo y cenizas volantes) son residuos de partículas de postcombustión. Contiene varios compuestos inorgánicos y orgánicos y algunos de los cuales ya han sido identificados como contaminantes como el mercurio y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Se está vertiendo una gran cantidad de cenizas de carbón en los sitios de deposición cercanos a la planta de energía, que pueden contaminar el suelo por su contenido comparativamente alto de PAH. Los PAH contienen metabolitos reactivos como epóxidos y dihidrodioles que tienen el potencial de unirse a proteínas y ADN, lo que resulta en tumores y cáncer a través de alteraciones bioquímicas y daño celular (TarafdarAlok and Sinha 2018). <a href="https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-13-3281-4_5">https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-981-13-3281-4_5</a>
<b>Dioxinas (Policlorodibenzodioxinas, PCDD), Furanos (Dibenzofuranos policlorados, PCDF)</b>	AES GENER U3, AES GENER U1-U2, AES GENER U4	Subproducto del proceso de incineración, priorizado por la EPA. Tanto las dioxinas como los furanos se encuentran comúnmente en actividades de refinera de hidrocarburos y en las cenizas de la combustión del carbón, tanto en emisiones atmosféricas como en agua residual y efluentes.
<b>Sulfato</b>	COPEC Quintero	Sulfate (SO4 <sup>2-</sup> ) es parte de la composición de iones principales del agua de mar.
<b>Nitrógeno total Kjeldahl</b>	Pesquera Quintero	Suma del nitrógeno orgánico (proteínas y ácidos nucleicos, urea, aminos, etc.) y el ion amonio NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> en una muestra de agua. Altas concentraciones de amoníaco pueden deberse a un alto contenido de sangre y lodo en la corriente de aguas residuales. El nitrógeno total Kjeldahl no incluye nitratos ni nitritos, pero mide el nitrógeno capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos y posteriormente desnitrificado a N <sub>2</sub> . Tanto el nitrógeno (N) como el fósforo (P) son motivo de preocupación para el medio ambiente porque son nutrientes y, si están presentes en exceso, pueden provocar la proliferación de algas (eutrofización) y afectar al resto de la vida silvestre en un cuerpo de agua.
<b>Cromo VI total</b>	CODELCO Ventanas	Sustancia peligrosa para la salud MINSAL R.E. 408-2016.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad(es) fiscalizable(s) potencialmente asociada(s)</b>	<b>Justificación de su incorporación al monitoreo de RILes</b>
<b>Fósforo total</b>	Pesquera Quintero	Tanto el nitrógeno (N) como el fósforo (P) son motivo de preocupación para el medio ambiente porque son nutrientes y, si están presentes en exceso, pueden provocar la proliferación de algas (eutrofización) y afectar al resto de la vida silvestre en un cuerpo de agua.
<b>Cianuro disuelto, Cianuro total</b>	CODELCO Ventanas	Usado en la minería del cobre, para separar el metal del molibdeno, y también en la purificación del oro y la plata.
<b>Cobre total</b>	GASMAR, GNL Quintero, ENAP Quintero, COPEC Quintero, Pesquera Quintero	Utilizado en pinturas antiincrustantes (Cu)
<b>Aluminio total, Cadmio total, Cobre total, Fluoruro, Mercurio total, pH, Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales, Temperatura, Zinc total</b>	CODELCO Ventanas	Ver comentario para Arsénico de Codelco Ventanas.
<b>Plomo total</b>	CODELCO Ventanas	Ver comentario para Arsénico de Codelco Ventanas. Constituye una impureza residual presente en el cobre refinado.



### 7.1.2.1.2 Otras fuentes emisoras rutinarias

Mas allá de las actividades industriales previamente descritas, existen múltiples actividades humanas con potencial de emitir contaminantes a la Bahía de Quintero asociados a actividades de defensa (Base Aérea de Quintero), agricultura (comercial y de subsistencia), pesca (cuatro caletas y cuatro Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos AMERB), además de actividad inmobiliaria, hotelera y turística, incluyendo actividades náuticas (ver distribución espacial de estas actividades en Figura 16).



Figura 15 Principales actividades humanas llevadas a cabo en y alrededor de la Bahía de Quintero.

Reflejo de esta multiplicidad de actividades, existen 44 unidades fiscalizables y 79 Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) en la comuna de Puchuncaví, y de 24 unidades fiscalizables y 46 RCA en la comuna de Quintero (a octubre de 2020 según SNIFA, SMA).

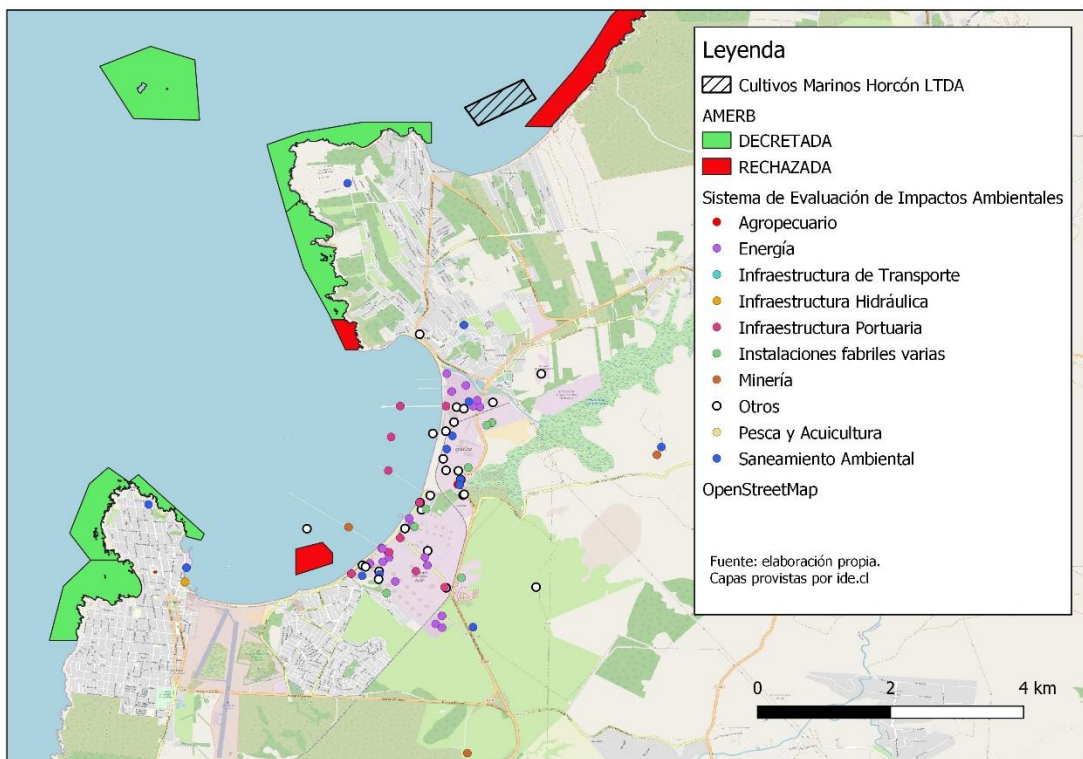


Figura 16 Representación espacial de la multiplicidad de actividades humanas llevadas a cabo en la Bahía de Quintero. Fuente de datos: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA).

A continuación, en la Tabla 41 y Tabla 42, y en adición a las fuentes emisoras ya descritas, se listan actividades industriales existentes y futuras con potencial impacto en el medio marino. Esta información fue recopilada a partir de la revisión de unidades fiscalizables del Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA).

Tabla 41 Actividades industriales existentes con potencial impacto en el medio marino. Fuente: Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA).


Fuente	Empresa y categoría	Ubicación	Descripción	Posible emisión al medio marino
Muelle ASIMAR	ASIMAR S.A.	Lado este de la península de Los Molles, adyacente a la playa el Durazno.	Se trata de un muelle multipropósito, destinado a la transferencia de carga y descarga de carga general, graneles sólidos y líquidos, así como de apoyo logístico de naves especiales y de pesca. El muelle fue habilitado para operar por DIRCTEMAR el 5 de agosto de 2020 (C.P. QUI. ORD. N° 12.600/ 107 /Vrs, <a href="#">link detalle</a> ).	Residuos y emisiones asociados al embarque y desembarque de pertrechos para naves que recalán a la Bahía, abastecimiento de combustible y lubricantes a naves menores y mayores, a través de naves especiales y/o camiones, entre otras.
Dragado Sector Caleta El Manzano V Región	Ministerio de obras públicas (Infraestructura hidráulica)	Comuna de Quintero	Dragado del sector del cabezo del muelle de la Caleta El Manzano, comuna de Quintero, para permitir el acceso de	Resuspensión de compuestos tóxicos presentes en sedimentos dragados (H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub> , etc.).

Fuente	Empresa y categoría	Ubicación	Descripción	Posible emisión al medio marino
			embarcaciones pesqueras artesanales. <a href="#">link detalle.</a>	
<b>Mejoramiento Agua Potable Rural Ventana Alto</b>	Ministerio de obras públicas (saneamiento ambiental)	Comuna de Puchuncaví	Ampliación sistemas de agua potable rural para sector Ventana Alto, Comuna de Puchuncaví, Provincia de Valparaíso. El proyecto fue ingresado a evaluación del SEA el 06/09/2012 y calificado favorablemente el <a href="#">link detalle.</a>	De acuerdo con la declaración ambiental del proyecto no se generarán efluentes líquidos en la etapa de operación.
<b>Sistema de Agua Potable loteo sector Punta del Fraile Localidad de Horcón</b>	N/A, (saneamiento ambiental)	Comuna de Puchuncaví	Proyecto de construcción de obras físicas, puesta en marcha y operación de sistemas de agua potable para loteo sector Punta Del Fraile localidad de Horcón <a href="#">link detalle.</a>	De acuerdo con la declaración ambiental del proyecto no se generarán efluentes líquidos en la etapa de operación.
<b>Planta de Molienda de Cemento Melón</b>	MELON S.A. (instalación fabril)	Comuna de Puchuncaví	Planta Industrial de Molienda de Cemento, Ventanas, V Región (RCA 87-2007, en operación desde febrero de 2011) <a href="#">link detalle.</a>	De acuerdo con la RCA del proyecto <i>“Dado que todo el proceso productivo es seco, no se prevé la generación de ningún tipo de residuos líquidos a parte de las aguas servidas. Como ya se indicó, estas serán tratadas en una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Lodos Activados y su efluente será utilizado para la humectación de las áreas de trabajo y para el riego de las áreas verdes proyectadas dentro del terreno.”</i>
<b>Planta de Molienda de Cemento Puerto Ventanas</b>	MELON S.A. Materiales de construcción Ventanas S.A. (instalación fabril)	Comuna de Puchuncaví	RCA 180-2005 <a href="#">link detalle.</a>	No se prevé descarga de residuos líquidos contaminantes al medio marino. De acuerdo con la DIA del proyecto: <i>“En el proyecto solo se generarán aguas servidas, las cuales serán tratadas y el afluente utilizado en el riego de las áreas verdes proyectadas, cumpliendo lo dispuesto en la Norma Chilena 1.333”</i>
<b>Desagüe Punta Ventanilla</b>	No disponible	Comuna de Puchuncaví	No se posee información en SNIFA sobre esta fuente de emisiones, solo conocimiento informal de su existencia.	Aguas servidas no tratadas

Tabla 42 Proyectos industriales, no implementados según el conocimiento de los consultores, con potencial impacto en el medio marino. Fuente: Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA).

Fuente	Empresa y categoría	Ubicación	Descripción	Posible emisión al medio marino
<b>Planta Desalinizadora Proyecto Aconcagua (aprobado en construcción al 2021-05-17)</b>	Aguas Pacifico SPA (saneamiento ambiental)	Comuna de Puchuncaví	Proyecto de instalación (RCA aprobada) de una planta desalinizadora (proyecto Aconcagua de Aguas del Pacífico SpA.) en la comuna de Quintero la cual tendrá un potencial de producción de hasta 1.000 l/s de agua dulce. <a href="#">link detalle.</a>	Potencial afectación de corrientes, mareas y oleajes, la calidad de la columna, los sedimentos y biota marina producto de los trabajos de construcción y operación del sistema de captación de agua de mar y del emisario submarino para descarga de salmuera (72 PSU). Potencial afectación por residuos asociados al pretratamiento, osmosis inversa, postratamiento y neutralización de agua desalinizada.
<b>Planta Desaladora de AES Gener (desistido al 2021-05-17)</b>	AES Gener	Comuna de Puchuncaví	Proyecto “Suministro de Agua Zona Centro”, cuyo objetivo es satisfacer necesidades hídricas de la zona central de Chile. La planta desaladora se espera entre en funcionamiento el 2023, utilizando parte de la infraestructura de la Termoeléctrica de Ventanas. <a href="#">link detalle.</a>	Potencial afectación de corrientes, mareas y oleajes, la calidad de la columna, los sedimentos y biota marina producto de los trabajos de construcción y operación del sistema de captación de agua de mar y del emisario submarino para descarga de salmuera (72 PSU). Potencial afectación por residuos asociados al pretratamiento, osmosis inversa, postratamiento y neutralización de agua desalinizada.
<b>Planta Desaladora Ventanas (en calificación ambiental al 2021-05-17, ingresada al SEIA el 18 de noviembre de 2020)</b>	Empresa Eléctrica Ventanas SpA. (AES Gener)	Comuna de Puchuncaví	Proyecto: Optimización e Independencia Operacional Planta Desaladora Ventanas <a href="#">link detalle.</a> Se trata de la optimización e Independencia Operacional Planta Desaladora Ventanas, aprobada ambientalmente mediante RCA 24/2019, la que aún no ha sido construida, mediante ajustes al sistema de pre-tratamiento y la incorporación de un sistema de remineralización como post tratamiento a fin de aumentar confiabilidad y disponibilidad de la planta desaladora, además de producir agua desalada industrial apta para la potabilización.	Los contaminantes potenciales que se encuentran en las descargas de salmuera concentrada y calentada y de los productos químicos añadidos para mejorar el rendimiento y prevenir la corrosión (cloro, cobre y antiincrustantes). Entre estos se incluye hipoclorito sódico (NaClO) utilizado como desinfectante, además de anticoagulante (e.g. cloruro férrico, FeCl3), y regulador de pH (ácido sulfúrico, H2SO4), bisulfito sódico (NaHSO3) utilizado para reducir oxidantes y un antiincrustante para proteger el sistema de osmosis inversa. La planta poseerá estanques de productos químicos para el almacenamiento de ácido sulfúrico (H2SO4), cloruro férrico (FeCl3, coagulante), bisulfito de sodio (NaHSO3), antiincrustante, hipoclorito de sodio (NaOCl), hidróxido de sodio (NaOH), floculante y dióxido de carbono (licuado). Considera un sistema de descargas de efluentes para agua de rechazo que será

Fuente	Empresa y categoría	Ubicación	Descripción	Posible emisión al medio marino
				<p>descargada dentro de la zona de protección litoral (ZPL) a través de un emisario submarino compuesto por dos tuberías paralelas de HDPE.</p> <p>El Programa de Vigilancia Ambiental (PVA) propuesto en Estudio de Impacto Ambiental (<a href="#">🔗 más información en este enlace web</a>) considera las siguientes variables de muestreo en la fase de operación:</p> <p><i>Agua de mar:</i> Temperatura, Salinidad, Densidad, Transparencia, Oxígeno Disuelto, pH, Turbidez, Cloro libre residual, Fluoruros, Sulfuro Total, Nitratos, Arsénico disuelto, Plomo disuelto, Cadmio disuelto, Mercurio disuelto, Cromo Total disuelto, Coliformes fecales, Coliformes totales.</p> <p><i>Sedimentos submareales:</i> Carbono Total, Materia Orgánica Total, Hidrocarburos Totales.</p> <p><i>Comunidades bentónicas submareales de fondo blando:</i> Abundancia, Biomasa, Índice Ecológicos, Curvas ABC, Análisis Clasificatorio, Análisis Ordenamiento.</p> <p><i>Comunidades fitoplanctónicas y zooplanctónicas:</i> Número de Especies, Abundancia, Índice Ecológicos, Análisis Clasificatorio, Análisis Ordenamiento.</p> <p><i>Comunidades bentónicas intermareales de fondo blando:</i> Abundancia, Biomasa, Índice Ecológicos, Curvas ABC, Análisis Clasificatorio, Análisis Ordenamiento.</p>
<p><b>Central Energía Minera (proyecto caducado al 2021-05-17 por no ejecutar obras)</b></p>	<p>Energía minera s.a. (energía)</p>	<p>Comuna de Puchuncaví</p>	<p>El proyecto consiste en una central termoeléctrica de tres unidades generadoras de 350 MW bruto cada una, cancha de acopio y manejo de carbón (bituminoso o mezclas con sub-bituminoso), y un depósito para las cenizas generadas en el proceso.</p> <p><a href="#">🔗 link detalle.</a></p> <p>El proyecto fue calificado favorablemente por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Resolución Exenta N°267 de 2009), no obstante, en octubre de 2015 CODELCO</p>	<p>El principal efluente líquido industrial del proyecto será el agua utilizada en el desulfurador y para el enfriamiento del condensador de cada Unidad. El flujo de agua de descarga se ha estimado en 196.874 m<sup>3</sup>/h para las tres unidades cumpliendo los límites establecidos por el D.S. 90/00 del MINSEGPRES para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marino dentro de la zona de protección del litoral (ZPL).</p> <p>El residuo sólido más significativo es la generación de cenizas (47.253 kg/h), las que serán dispuestas en el depósito de cenizas ubicado en el sector aledaño a la CTEM. Los residuos de tipo domiciliario y</p>

Fuente	Empresa y categoría	Ubicación	Descripción	Posible emisión al medio marino
			anunció su decisión de no continuar con el proyecto de la Central Termoeléctrica Energía Minera (CTEM), llevado a cabo por Energía Minera S.A., filial de CODELCO.  <i>link detalle.</i>	asimilables se enviarán a rellenos sanitarios autorizados de la Región. Los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas servidas serán extraídos por un camión limpia fosas que posea las autorizaciones correspondientes. Los residuos peligrosos regulados por el D.S. 148/03 serán depositados transitoriamente en contenedores para ser enviados a una empresa autorizada para recibir y eliminar residuos peligrosos, según lo establece el D.S. Nº 148/03.

Adicionalmente, en la Tabla 43 se señalan otras fuentes de descargas comerciales, industriales, institucionales y residenciales al sistema de alcantarillado de la ciudad de Quintero, informadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), cuyos residuos tienen el potencial de alcanzar las aguas de la Bahía de Quintero.

**Tabla 43 Fuentes de descargas comerciales, industriales, institucionales y residenciales al sistema de alcantarillado de la ciudad de Quintero. Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).**

Nombre	Rubro	Categoría
Pesquera Quintero	Pesca industrial	Industrial
Pesquera Quintero	Pesca industrial	Industrial
Inmobiliaria e Inversiones Villa Alemana Ltda	Centro comercial (supermercado, carnicería, lavandería, sushi, comida rápida, clínica dental, veterinaria)	Industrial
Maria F Vda De Perez	Panadería y abarrotes	Industrial
Sts Ingenieria Y Construccion Limitada	Buceo y mantención de barcos	Industrial
Nayfi Nazer Ibacache	Almacén/Panadería	Industrial
Pesquera Parramar	Elaboración de congelados de pescados y mariscos	Comercial
Sociedad Pesquera Marlimar	Elaboración de congelados de pescados y mariscos	Comercial
Estacion De Servicio Copec (Quintero)	Venta al por menor de combustible para automotores	Comercial
Hospital Adriana Cousiño	Hospitales y clínicas	Institucional
Ultramar	Servicios de almacenamiento y depósito	Residencial

### 7.1.2.2 Caracterización de emisiones según insumo a producción

Junto con San Antonio, Mejillones, San Vicente y Valparaíso, el puerto de Quintero es uno de los más activos del país, con un significativo movimiento de carga (graneles líquidos y sólidos). La Figura 17 presenta una síntesis de la variedad de insumos utilizados por las Unidades Fiscalizables identificadas y las variables ambientales que son monitoreados en la Bahía de Quintero según DIRINMAR (2019). Los colores utilizados en las líneas indican si la UF cuenta o no con un sistema de tratamiento de agua (azul= cuenta con un sistema de tratamiento, rojo=no).

*(Continúa en la siguiente página)*

## Insumos, UF y parametros del RPM

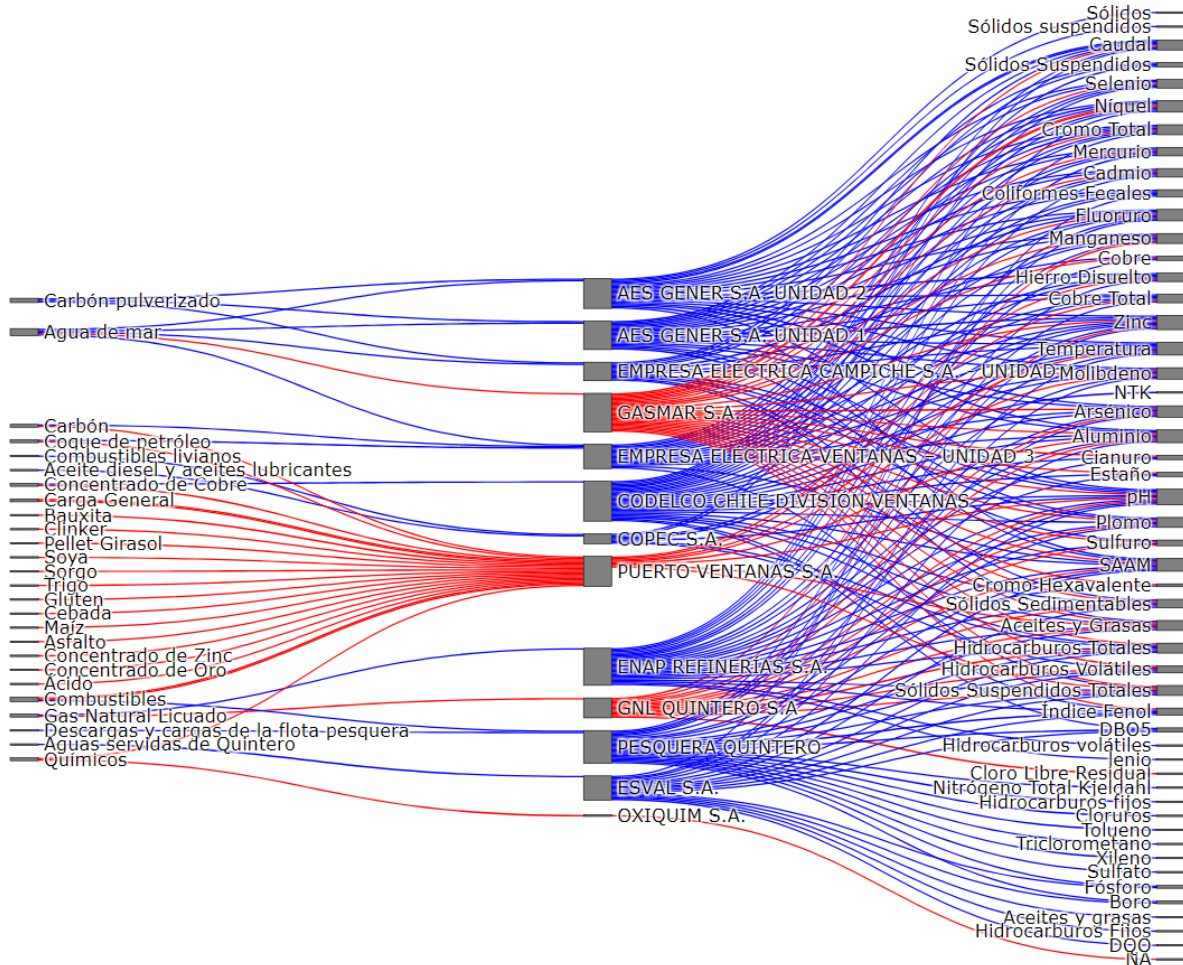


Figura 17 Relación entre insumos de producción, por unidad fiscalizable y parámetros de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero. Fuente: DIRINMAR (2019). Los colores utilizados en las líneas indican si la UF cuenta o no con un sistema de tratamiento de agua (azul= cuenta con un sistema de tratamiento, rojo=no). Fuente: Elaborado con datos propios sistematizados en el archivo DB\_QNTR\_INSUMOS\_UFs\_PARAMETROS.xlsx en ruta \02\_CODIGOS\_Y\_BASES\_DE\_DATOS\01\_BASES\_DE\_DATOS.

Por las líneas rojas se puede observar que cuatro de las trece empresas no cuentan con un sistema de tratamiento de RILES (Puerto Ventanas S.A., GNL Quintero S.A., GASMAR S.A. y OXIQUIM S.A.). GNL Quintero S.A. genera Riles, producto del uso de agua de mar para la vaporización del GNL la cual es clorada para control de fauna incrustante. Por su parte GASMAR tiene una captación de agua de mar para presurizar el LPG y para condensar el vapor LPG y almacenarlo. Mas información sobre descargas en la Tabla 36 más arriba. El número de parámetros puede variar independientemente de contar o no con un sistema de tratamiento de RILES. Es importante mencionar que varias de las unidades manipulan insumos potencialmente peligrosos y han tenido frecuentes incidentes de derrames y varamientos de materiales potencialmente peligrosos.

La Tabla 44 resume las principales materias primas movilizadas a través del Puerto de Quintero agrupadas según establecimiento industrial. De acuerdo con DIRINMAR (2007) la mayor parte de estas materias primas y/o insumos de producción se clasifican como *mercancías peligrosas*. Considerando esta realidad se llevó a cabo un análisis formal de peligrosidad de estas materias primas y/o insumos de producción tanto para el medio ambiente como para la salud humana.

Tabla 44 Descripción de principales materias primas o insumos de producción que circulan por la Bahía de Quintero, incluyendo clasificación de peligrosidad en caso de derrame, vertimiento o fuga al medio ambiente. Fuente: DIRINMAR (2019), declaraciones y/o estudios de impacto ambiental, además de memorias anuales de empresas.

Materia prima o insumo de producción	AES Gener S.A. Unidad 1	AES Gener S.A. Unidad 2	Empresa eléctrica Ventanas – unidad 3	Empresa eléctrica Campiche S.A. – Unidad 4	COPEC S.A.	CODELCO Chile división Ventanas	ENAP refineries S.A.	Gasmar S.A.	GNL Quintero S.A.	Puerto Ventanas s.a.	Empresa de servicios sanitarios de Valparaíso	Pesquera Quintero S.A.	Oxiqim s.a.
Agua de mar													
Carbón													
Coque de petróleo (petcoke)													
Concentrado de Cobre													
Gas Natural Licuado													
Gas Licuado de Petróleo													
Combustibles livianos													
Petróleo diésel y aceites lubricantes													
Descargas y cargas de la flota pesquera													
Bauxita													
Clinker													
Cereales y granos													
Carga General													
Químicos													
Combustibles													
Asfalto													
Concentrado de Zinc													
Concentrado de Oro													
Ácido													
Aguas servidas de Quintero													

A continuación, en la Tabla 45 se clasifican las principales materias primas y/o insumos de producción movilizados en las unidades fiscalizables asociadas a la Bahía de Quintero.

Tabla 45 Clasificación de los principales insumos de producción circulantes en la Bahía de Quintero. Fuente: Convenio sobre sustancias peligrosas y nocivas CPN/HNS<sup>18</sup>, CAS Número de registro, asignación e identificación de sustancia<sup>19</sup>, El Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH)<sup>20</sup>, Asociación Nacional de Protección contra el Fuego

<sup>18</sup> <https://www.hnsconvention.org/>

<sup>19</sup> <https://www.cas.org/>

<sup>20</sup> <https://www.cdc.gov/niosh/>



(NFPA)<sup>21</sup>, Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA)<sup>22</sup>, Administración Federal de Seguridad de Autotransportes (FMCSA)<sup>23</sup>.

Materia prima	Utilizado por	Componentes principales	Número CAS	Número UN/NA	Etiqueta de peligro Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT) <sup>24</sup>
<b>Gas natural licuado</b>	GNL Quintero S.A.	Metano, Etano	74-82-8	1972	Gas inflamable
<b>Gas licuado de petróleo</b>	ENAP refineras S.A.	Propano, Butano	74-98-6	1978	Gas inflamable
<b>Aceite diesel y aceites lubricantes</b>	COPEC S.A.	Gasoil, Petróleo diésel, Kerosén, Kerosén de aviación,	8008-20-6 8006-61-9 86290-81-5	1223 1202 1203	Líquido inflamable
<b>Combustibles livianos</b>	COPEC S.A.	Gasolina, Combustibles livianos,	86290-81-5	1203	Líquido inflamable
<b>Carbón</b>	AES Gener S.A. Unidad 1, AES Gener S.A. Unidad 2, Empresa eléctrica Ventanas Unidad 3, Empresa eléctrica Campiche S.A. Unidad 4	Carbón	7440-44-0	1362	Esponáneamente combustible
<b>Carbón de petróleo (Petcoke)</b>	Empresa eléctrica Ventanas Unidad 3,	Carbón con partes de azufre y Metales pesados como Vanadio y Níquel		6474 1-79-3	-
<b>Bauxita</b>	Puerto Ventanas S.A.	Alumina	1344-28-1	-	-
<b>Clinker</b>	Puerto Ventanas S.A.	Silicato tricálcico, Silicato dicálcico, Aluminato tricálcico, Ferroaluminato tetracálcico.	12168-85-3 10034-77-2 12068-35-8 12042-78-3	-	-
<b>Asfalto</b>	Puerto Ventanas S.A.	Hidrocarburos complejos	8052-42-4	1999	Líquido inflamable
<b>Concentrado de cobre, oro y zinc</b>	CODELCO Chile división Ventanas, Puerto Ventanas S.A.	sulfuros de cobre, oro y zinc.	-	3077	Class 9
<b>Metanol</b>	OXIQUM S.A.		67-56-1	1230	Líquido inflamable Veneno (internacional)
<b>Acetona</b>	OXIQUM S.A.		67-64-1	1090	Líquido inflamable
<b>Estireno</b>	OXIQUM S.A.		100-42-5	2055	Líquido inflamable
<b>Acetato de etilo</b>	OXIQUM S.A.		141-78-6	1173	Líquido inflamable

<sup>21</sup> <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/>

<sup>22</sup> <https://www.osha.gov/>

<sup>23</sup> <https://www.fmcsa.dot.gov/regulations/hazardous-materials/>

<sup>24</sup> PART 172 - HAZARDOUS MATERIALS TABLE, SPECIAL PROVISIONS, HAZARDOUS MATERIALS COMMUNICATIONS, EMERGENCY RESPONSE INFORMATION, TRAINING REQUIREMENTS, AND SECURITY PLANS Authority:49 U.S.C. 5101-5128, 44701; 49 CFR 1.81, 1.96 and 1.97. Source: Amdt. 172-29, 41 FR 15996, Apr. 15, 1976, unless otherwise noted.

Materia prima	Utilizado por	Componentes principales	Número CAS	Número UN/NA	Etiqueta de peligro Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT) <sup>24</sup>
Butil acrilato	OXIQUM S.A.		141-32-2	2348	Líquido inflamable
Sulfhidrato de sodio	OXIQUM S.A.		16721-80-5	2922	Corrosivo Veneno
Fenol	OXIQUM S.A.		108-95-2	2821	Veneno
Ácido Sulfúrico	OXIQUM S.A.		7664-93-9	1830	Corrosivo
Soda Caustica	OXIQUM S.A.		1310-73-2	1824	Corrosivo

### 7.1.2.2.1 Perfiles de peligrosidad ambiental

A continuación, y basado en el análisis de literatura científica y técnica, se entrega un perfil de peligrosidad ambiental para las principales materias primas utilizadas y/o movilizadas por las industrias presentes en la Bahía de Quintero. Adicionalmente, en el Anexo C se describen los perfiles de peligrosidad humana según la NFPA 704 (según su riesgo a la salud, inestabilidad, inflamabilidad, y especial).

#### Gas natural licuado (GNL)

- **Por liberación (accidental):** El GNL está compuesto por metano y etano, ambos hidrocarburos livianos de rápida volatilización. Ni el metano ni el etano son compuestos tóxicos ni corrosivos y no representan un riesgo de contaminación al suelo o al agua. Sin embargo, el cambio de fase en grandes cantidades puede llegar a tener un efecto térmico de enfriamiento en la superficie de cuerpos de agua.
- **Por modificación (en procesos):** el proceso más común para el GNL es la combustión, donde se libera grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera (Zhiyi & Xunmin 2019). Sin embargo, la combustión es completa y no suele generar otros subproductos tóxicos de combustión.

#### Gas licuado de petróleo (GLP)

- **Por liberación (accidental):** El GLP está compuesto por gases más pesados que el GNL, tiene un poder calorífico superior y a diferencia de GNL, deja un residuo aceitoso al volatilizarse (denominado olefinas, compuestos por hidrocarburos solubles desde C10 hasta C4025). Esto representa un riesgo ambiental donde el efecto es similar a los derrames de hidrocarburos. Al igual que el GNL, su volatilización tiene un efecto de rápido enfriamiento y congelamiento. El alto contenido de olefinas en la mezcla de GLP es una preocupación importante debido a su alto potencial de formación de ozono troposférico y residuos aceitosos en el agua.
- **Por modificación (en procesos):** el proceso más común en el que el GLP es utilizado es en la combustión. La combustión puede ser violenta y liberar subproductos tóxicos por la combustión de olefinas (Gamas et al. 2000, Shipman 2002, Zhiyi & Xunmin 2019). Dependiendo de la cantidad, diferentes compuestos pueden acumularse en el ambiente y generar problema para los ecosistemas acuáticos y terrestres.

#### Aceite diésel y aceites lubricantes

- **Por liberación (accidental):** los hidrocarburos de aceites minerales consisten en una mezcla compleja de hidrocarburos, cuya composición principal suele ser de hidrocarburos alifáticos (MOSH) e hidrocarburos aromáticos (MOAH). Las principales clases son parafinas, naftenos y aromáticos. En particular, el aceite diésel es un hidrocarburo de petróleo complejo formado de alcanos de bajo peso molecular e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), los cuales pueden ser muy tóxicos para el medio ambiente. Los hidrocarburos complejos como

<sup>25</sup> Cadenas de hidrocarburos que contienen entre 10 y 40 átomos de carbono en su estructura.

aceites y lubricantes en su mayoría son no reactivos e incompatible con agentes oxidantes fuertes como el ácido nítrico. En el ambiente pueden ser altamente resistentes a la biodegradación y capaces de acumularse en los seres vivos con potencial cancerígeno y neurotóxico (Muratova et al. 2012, Kaur et al. 2015, Hewelke et al. 2018, Borowik et al. 2019).

- **Por modificación (en procesos):** Puede ocurrir carbonización del hidrocarburo seguida de la ignición del hidrocarburo sin reaccionar y otros combustibles cercanos. En otros entornos, los hidrocarburos saturados alifáticos son en su mayoría no reactivos. No se ven afectados por las soluciones acuosas de ácidos, álcalis, la mayoría de los agentes oxidantes y la mayoría de los agentes reductores<sup>26</sup>.

### **Combustibles livianos**

- **Por liberación (accidental):** Los combustibles livianos como la gasolina son líquidos volátiles transparentes, incoloros o de color ámbar, con olor a petróleo. Poseen puntos de inflamación por debajo de 0 °F (-17.8 °C), son menos denso que el agua e insoluble en la misma (por lo tanto, flotan sobre el agua). Los combustibles livianos tienen el potencial de volatilizarse y los vapores son más pesados que el aire. Por lo cual, en caso de derrame accidental pueden acumularse temporalmente en la superficie de cuerpos de agua. Estos combustibles pueden contener diversos compuestos capaces de dejar residuos y subproductos después de su volatilización o combustión.
- **Por modificación (en procesos):** el proceso más común es la combustión donde su impacto principal es a la contaminación atmosférica por emisión de gases como el monóxido de carbono (CO), ozono (a través de sus precursores atmosféricos, compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno NOx), partículas finas y dióxido de nitrógeno. Otros compuestos creados por combustión incluyen aldehídos (acetaldehído, formaldehído y otros), benceno, 1,3-butadieno, materia orgánica policíclica (incluidos los hidrocarburos aromáticos policíclicos [HAP]) y metales (Greenbaum 2017, Perera 2018) El éter butílico terciario de metilo (metil-ter-butyl-eter o MTBE), uno de los productos químicos que se agregan a la gasolina para ayudar a quemar más limpio, es tóxico. A pesar de su prohibición en muchos países, aun se utiliza en Chile. Según la Agencia de Información Energética de Estados Unidos<sup>27</sup>, en octubre de 2019, Chile importó 209 mil toneladas de MBTE.

### **Carbón**

- **Por liberación (accidental):** El carbón es asociado a una gran cantidad de contaminantes, desde su composición química hasta los procesos donde es utilizado y las tecnológicas de control. Debido a las grandes cantidades que necesitan ser transportadas para su uso en termoeléctricas, a menudo ocurren derrames y varamientos de carbón en ecosistemas marinos. No se considera peligroso según la Norma de comunicación de peligros de la OSHA (29 CFR 1910.1200). Según el Convenio sobre sustancias peligrosas y nocivas en el mar, su transporte marítimo es clasificado como materiales sólidos a granel que presentan peligros químicos cubiertos por el Código marítimo internacional de cargas sólidas a granel.
- **Por modificación (en procesos):** El proceso más común para el carbón es su combustión en plantas termoeléctricas para la generación de energía. La generación de cenizas es el mayor punto de riesgo por la alta movilidad que tiene una vez liberado. Según la EPA, el carbón y su combustión contribuye 50 a 60% de todos los contaminantes tóxicos descargados a cuerpos de agua por todas las categorías industriales (Roberts 2019). En la ceniza flotante o de fondo puede generarse dióxido de sulfuro, óxido nitroso, ozono, material particulado suspendido, hidrocarburos distintos al metano, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)(Tarafdar & Sinha 2019) y otros subproductos de la combustión como dioxinas (PCDD) y furanos (PCDF)(Mokhtar et al. 2014). Dependiendo de la composición del carbón, pueden encontrarse metales pesados como el plomo, antimonio, arsénico, berilio, cadmio, níquel, selenio, manganeso, radio, uranio y mercurio. Muchos son bioacumulativos y pueden causar deformidades en animales,

---

<sup>26</sup> CAMEO chemicals database: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/960>

<sup>27</sup> <https://www.milenio.com/negocios/fallo-scn-favorece-eter-gasolin-as-especialista>

mortalidad, peligros a la salud y a las personas. Se estima que un 91% de las plantas termoeléctricas en los Estados Unidos están contaminado el agua subterránea con compuestos provenientes del carbón.

### **Carbón de petróleo (Petcoke)**

- **Por liberación (accidental):** Corresponde a una combinación compleja de material carbonoso que incluye hidrocarburos de peso molecular extremadamente alto obtenidos como un material sólido a partir de la refinación del petróleo denominado coque de petróleo o petcoke, compuesto principalmente de carbón con partes de azufre y metales pesados como Vanadio y Níquel. Al igual que el carbón, el carbón de petróleo es transportado en grandes cantidades y sujeto a vertimientos accidentales. Estos vertimientos pueden liberar metales pesados potencialmente bioacumulativos y de peligro para la biota y las personas. El carbón de petróleo (petcoke) se considera peligroso según la Norma de OSHA sobre la Comunicación de Riesgos (29 CFR 1910.1200). Según el Convenio sobre sustancias peligrosas y nocivas en el mar, su transporte marítimo es clasificado como materiales sólidos a granel que presentan peligros químicos cubiertos por el Código marítimo internacional de cargas sólidas a granel.
- **Por modificación (en procesos):** Los hidrocarburos presentes en el petcoke calcinado tienen una relación carbono:hidrógeno muy alta. El petcoke es combinado con carbón y utilizado como combustible en termoeléctricas, y es asociado a impactos negativos por el incremento de emisiones de material particulado, anhídrido sulfuroso, la generación de lluvia ácida y la liberación de metales pesados (Wang et al. 2004).

### **Bauxita**

- **Por liberación (accidental):** la bauxita está compuesta en su mayoría por alúmina y, en menores proporciones óxido de hierro y sílice. Es la fuente principal de donde se extrae el aluminio. Su extracción está asociada a emisiones de materia particulada al aire por las operaciones de manejo minerales, transporte y cribado de minerales es el principal contaminante del aire. Aunque el proceso de extracción puede tener impactos ambientales, por sí solo es un mineral estable e inerte y no está asociado a una contaminación en los procesos de transporte (Kamble & Bhosale 2019).
- **Por modificación (en procesos):** al igual que el peligro por liberación, la bauxita es predominantemente estable e inerte, no está asociado a una contaminación directa.

### **Clinker**

- **Por liberación (accidental):** El clínker se forma tras calcinar caliza y arcilla molida a una temperatura que está entre 1350 y 1450 °C (Tang et al. 2018) para la producción de cemento. Sin embargo, fuera de su producción, el Clinker por sí solo no es una fuente de contaminación, pudiendo reaccionar con el agua y fraguar en un sólido, con impedimentos a infraestructuras como tuberías o filtros.
- **Por modificación (en procesos):** el proceso de producción del Clinker genera fuertes contaminantes atmosféricos producto de la incineración. En 2000, la EPA actualizó el Estándar Nacional de Emisiones para Contaminantes Atmosféricos Peligrosos (NESHAP) para combustiones de desechos peligrosos (incluidos los hornos de cemento que recuperan energía de desechos peligrosos) en el Registro Federal (64 FR 52828)<sup>28</sup>, para requerir que todas las plantas de cemento conduzcan periódicamente pruebas de dioxinas y furanos.

### **Asfalto**

- **Por liberación (accidental):** El asfalto puede obtenerse de manera natural en depósitos de petróleo, u obtenerse como residuo de la destilación del petróleo. El asfalto es considerado una mezcla compleja de hidrocarburos de diferente polaridad cuya composición química depende del petróleo crudo de origen y los procesos de destilación. Su composición elemental es aproximadamente 84% carbón, 10% hidrógeno, 1% oxígeno y 5% trazas de elementos

---

<sup>28</sup> EPA United States Environmental Protection Agency. Guidance. Cement Kilns Section [https://ofmpub.epa.gov/apex/guideme\\_ext/f?p=guideme:gd:::gd:dioxin\\_4\\_3](https://ofmpub.epa.gov/apex/guideme_ext/f?p=guideme:gd:::gd:dioxin_4_3)

como azufre, níquel, vanadio y hierro. El asfalto natural, contiene minerales adicionales que el asfalto de petróleo residual no. Cuando se expone a una radiación solar moderada, aumenta en un 300% los aerosoles orgánicos secundarios (SOA), importantes contribuyentes al material particulado (PM2.5)(Khare et al. 2020). Derrames y varamientos puede liberar compuestos tóxicos al ambiente, afectando ecosistemas marinos.

- **Por modificación (en procesos):** El proceso más común es la quema del asfalto para aumentar su maleabilidad. El asfalto puede contener hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), al igual que metales pesados que se liberan fácilmente al medio ambiente cuando se queman. Estos son dañinos para los seres humanos y ecosistemas, causando infertilidad.

#### **Concentrado de cobre, oro y zinc**

- **Por liberación (accidental):** Los concentrados de cobre, oro y zinc provienen de las celdas de flotación o lixiviación y son el resultado de la trituración, chancado y molienda de los minerales sulfurados de minas subterráneas o de tajo abierto. Esta pulpa espesa contiene una mezcla de sulfuros, fierro y una serie de sales de otros metales. Por sí solo, el cobre inhibe el crecimiento de plantas y desarrollo de microorganismos, disminuyendo la descomposición de la materia orgánica. El zinc, si bien en cantidades trazas es un nutriente esencial para los seres humanos, en cantidades mayores es perjudicial para la salud. En humanos, los efectos incluyen náuseas y calambres estomacales. La exposición prolongada a altas concentraciones puede causar "fiebre por vapores metálicos" que afecta los pulmones y el sistema de control de temperatura del cuerpo. Las liberaciones de zinc, cobre y oro pueden afectar significativamente los entornos acuáticos locales: por la bioacumulación en animales acuáticos (pero no en las plantas) y la consecuente acumulación en la cadena alimentaria.
- **Por modificación (o uso en procesos):** El concentrado de cobre en fundiciones y refinerías genera contaminantes tóxicos tanto para los seres humanos como para el medio ambiente. Los principales contaminantes encontrados en los concentrados son el cobre, el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, el plomo, el arsénico, el cadmio, el mercurio, el zinc y el selenio. El Arsénico es de especial importancia por su alta toxicidad y abundancia en los minerales de sulfuro de cobre en Chile. La liberación de subproductos del procesamiento de cobre puede contaminar cuerpos de agua y productos agrícolas, afectando el suelo y el aire. Emisiones al aire por la fundición de cobre incluye óxidos de azufre que puede generar eventos de lluvia ácida que puede contaminar cuerpos de agua y productos agrícolas. Los gases liberados tienen un fuerte efecto invernadero y los metales pesados contaminan aguas subterráneas y superficiales. Los concentrados que contienen sulfuros pueden generar drenaje ácido de mina al interactuar con el agua, acidificándola e inhibiendo el desarrollo de ecosistemas.

#### **7.1.2.2 Clasificación de acuerdo con el Convenio sobre sustancias nocivas y peligrosas (Convenio SNP/HNS)**

A continuación, en la Tabla se señala la clasificación SNP/HNS para las principales materias primas movilizadas en la Bahía de Quintero y/o utilizadas por sus industrias.

*(Continúa en la siguiente página)*

Tabla 46 Clasificación de Sustancias Peligrosas y Nocivas (HNS) para las principales materias primas y/o insumos de producción que son movilizados en la Bahía de Quintero. n.d. = información no disponible.

Materia prima o insumo de producción	I	II	III	IV	V	VI
Metanol						
Acetona						
Estireno						
Acetato de etilo						
Butil acrilato						
Sulfhidrato de sodio	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fenol						
Ácido Sulfúrico						
Soda cáustica						
Gas natural licuado						
Gas licuado de petróleo						
Aceite diésel y aceites lubricantes						
Combustibles livianos						
Carbón						
Carbón de petróleo (Petcoke)						
Bauxita	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Clinker	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Asfalto						
Concentrado de cobre, oro y zinc						

La mayor peligrosidad se encuentra en las categorías II, III y IV, que corresponden con los insumos identificados. La categoría predominante es la IV, que corresponde a sustancias, materias u objetos peligrosos, potencialmente peligrosos o perjudiciales transportados en bultos. Aunque esto solo corresponde al número de categorías y no cantidad de insumos, todos los insumos presentan algún grado de peligrosidad y amenaza para el ambiente.

A los insumos asociados a unidades fiscalizables en funcionamiento se suman aquellos asociados a la potencial operación de plantas desalinizadoras en la Bahía de Quintero. Dentro de los productos químicos añadidos al agua de mar captada para desalinización se incluye el hipoclorito sódico (NaClO), cloruro férrico (FeCl3), ácido sulfúrico (H2SO4), bisulfito sódico (NaHSO3), antiincrustante, hidróxido de sodio (NaOH), floculante y dióxido de carbono (licuado). A continuación se muestra el listado de desinfectantes, detergentes, fungicidas y otros autorizados por la autoridad marítima (de marzo de 2021).

### 7.1.3 Identificación de parámetros ambientales de importancia no regulados y/o no monitoreados en la Bahía de Quintero

Con el fin de identificar parámetros relevantes no normados y/o no monitoreados en la Bahía de Quintero se siguieron tres líneas de evidencia basadas en la revisión crítica de 1) estudios previos llevados a cabo en la Bahía de Quintero, 2) casos globales similares al complejo industrial de Quintero-Puchuncaví, y 3) de convenciones y estándares internacionales.

#### 7.1.3.1 Revisión de estudios previos

Se revisan a continuación los aportes relevantes para este informe proveniente de tres estudios licitados por el Ministerio Ambiente para apoyar el trabajo de formulación de las Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la Bahía de Quintero-Puchuncaví. Los estudios en cuestión son HOLON SPA. (2019), CEA (2020) y BIOMA S.A. Consultores Ambientales (2020).

##### 7.1.3.1.1 HOLON SPA. (2019) Análisis crítico de informes de Seguimiento de Variables Ambientales y Planes de Vigilancia Ambiental de establecimientos que descargan RILes a la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-39-LE19

*Análisis de datos de impacto, colectados en el ambiente (PVAs, POAL, CEA 2014):* El análisis de toda esta información reveló una alta heterogeneidad en cuanto al diseño de cada uno de los programas individuales, incluyendo: número y disposición

de estaciones de muestreo, subcomponentes o matrices ambientales evaluadas, número y tipo de parámetros evaluados en cada matriz, además de la frecuencia de monitoreo.

Dada la alta variación en el número de observaciones, variables medidas y ubicación de los sitios de muestreo, al considerar todos los registros entre 1993 y 2019, se realizó un primer análisis caso a caso para cada Programa de Vigilancia Ambiental y UF. Posteriormente se seleccionó aquellas matrices y parámetros que mostraron mayor transversalidad y destacó los contrastes existentes entre los resultados informados por cada UF.

Análisis estadístico en base a PVAs individuales: Los resultados de la primera etapa, caso a caso, permitieron establecer que, para los datos hidrográficos, las diferencias son principalmente estacionales (entre trimestres) y entre estratos de profundidad. Para las variables medidas en columna de agua, la mayoría mostró diferencias entre años y estaciones y, en el caso de los muestreos de sedimentos, se observaron diferencias principalmente entre años. Para las observaciones de la biota, el mayor número de observaciones corresponde a la macrofauna bentónica submareal, observaciones que muestran una alta transversalidad siendo realizadas por 11 de las 12 unidades fiscalizables consideradas en el estudio. El estudio mostro también que con menor transversalidad se efectúan análisis de macrofauna intermareal (5), fitoplancton (3), zooplancton (2) y megafauna (3).

Un problema común a la información sobre macrofauna submareal, fitoplancton, zooplancton y megafauna, fueron las serias dificultades de identificación taxonómica que impidió la ejecución de análisis temporales transversales. Esto obligó a restringir el análisis a índices globales de riqueza de especies y biodiversidad.

Finalmente, en cuanto a las estaciones de muestreo, el hecho que cada PVA sea definida al iniciarse la actividad de una industria da por resultado que la ubicación de las estaciones de “impacto”, que se encuentran próximas a sus propios emisarios tengan definidas estaciones de “control”, entremezcladas con estaciones de “impacto” de otras UF, dado que los emisarios de varias industrias están muy cerca uno de otro. Esto es altamente inapropiado en cualquier programa de seguimiento que pretenda comparar una situación alterada con una situación no alterada de control.

Análisis estadístico integrado de PVAs: El análisis integrado de las variables con suficiente transversalidad entre industrias y mejor cobertura temporal y espacial, muestra que, para el caso de la temperatura, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos y tamaño de grano, la mayor variación de la temperatura es estacional, mientras que para el oxígeno disuelto se observaron importantes variaciones entre años, sin detectarse tendencias. Para los sólidos suspendidos medidos en agua, y para el tamaño de grano medidos en los sedimentos, la posición geográfica de los puntos de muestreo explicó la mayor variabilidad observada. Se observaron mayores concentraciones de sólidos suspendidos en la zona centro-norte de la bahía.

En los datos colectados por el PVA de ESVAL, que se obtienen en el sector sur de la bahía, se observan sistemáticamente menores niveles de temperatura y presencia de limo. Esto habla de la heterogeneidad espacial que existe dentro de la Bahía, donde la zona norte puede estar influenciada por la ocurrencia de surgencias costeras en la zona externa a la bahía y la acumulación de limo puede deberse a patrones de circulación local y al aporte de material particulado por el emisario mismo.

Un análisis global de la riqueza de especies y de biodiversidad de la macrofauna para datos proveniente de 10 UF indicó que la diferenciación espacial (dónde fue obtenida la muestra) explica un 33% de toda la variabilidad observada para la riqueza de especies y un 23% de la biodiversidad, observándose que los promedios más bajos de riqueza y diversidad de especies se observan en la zona central de la bahía a niveles menores de 10 m.

Análisis de los efluentes: Por su relevancia para este informe, transcribimos un resumen del análisis de HOLON (2019) de la base de datos disponible de efluentes fiscalizados (2013 – 2019). Esta base de datos incluye datos provenientes de 9 UF: Aes Gener Unidad 3, Aes Gener Unidad 4, Aes Gener Unidad 1 Y 2, Codelco, GASMAR, ENAP, GNL Quintero, Tm COPEC Y Pesquera Quintero.

Una primera caracterización permitió establecer que la mayoría de los parámetros fiscalizados no presentó excedencias a la norma (DS 90), o bien, que las excedencias se registraron en baja proporción y sólo para algunas UF. En cuanto a los parámetros inorgánicos en GNL Quintero se registraron niveles más altos de cloro libre residual, cloruros, nitrógeno total Kjeldahl y fósforo; mientras que el cianuro y sulfuros presentaron altos niveles promedio en GASMAR. Los fluoruros, presentaron niveles similares en todas las UF donde este parámetro fue analizado (en torno a  $1 \text{ mg L}^{-1}$ ), situación similar se observa con los detergentes SAAM (Sustancias Activas al azul de metileno), los cuales mostraron niveles promedio en torno a  $0,1 \text{ mg L}^{-1}$  en todas las UF donde se analizó este parámetro. Finalmente, los sulfatos presentaron niveles promedio cercanos a  $3000 \text{ mg L}^{-1}$  en AES Gener Unidad 1 y 2, muy por sobre lo reportado para Pesquera Quintero cuyos niveles promedio están en torno a  $1300 \text{ mg L}^{-1}$ .

En cuanto a los parámetros orgánicos se registraron niveles más altos de aceites y grasas en AES Gener Unidad 3 y Unidad 4 con niveles en torno a 10 mg L<sup>-1</sup>. ENAP presentó los niveles promedio más altos de fenol con valores superiores a 0,01 mg L<sup>-1</sup> y los niveles más bajos de hidrocarburos totales con niveles en torno a 0,5 mg L<sup>-1</sup>, muy por debajo del resto de las UF que miden este parámetro, cuyos niveles promedio son superiores a 3 mg L<sup>-1</sup>.

En cuanto a hidrocarburos volátiles este parámetro fue más alto en Pesquera Quintero con niveles promedio en torno a 1 mg L<sup>-1</sup>; mientras que en Aes Gener Unidad 3 el triclorometano presentó niveles en torno a 0,1 mg L<sup>-1</sup> comparado con niveles en torno a 0,001 mg L<sup>-1</sup> en Pesquera Quintero. Finalmente, los parámetros hidrocarburos fijos, tolueno y xileno medidos en Pesquera Quintero no presentan variabilidad.

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos y biológicos se observa que los coliformes fecales presentaron niveles similares en torno a 1 NMP 100 ml<sup>-1</sup> para las UF que miden este parámetro; mientras que la DBO<sub>5</sub> presentó niveles promedio superiores en GNL Quintero con niveles promedio superiores a 30 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>. El pH presentó niveles similares en torno 8, en la mayoría de las UF donde fue analizado, salvo AES Gener 1 Y 2, ENAP y TM COPEC, donde este parámetro es levemente inferior.

Los sólidos sedimentables fueron mayores en CODELCO, ENAP y GNL Quintero con niveles en torno a 1 mg L<sup>-1</sup>. Por otro lado, los sólidos suspendidos totales, presentaron mayores niveles en ENAP y GNL Quintero con niveles promedio superiores a 10 mg L<sup>-1</sup>. Finalmente, la temperatura presentó los niveles más altos en las 3 termoeléctricas que operan en la bahía (AES Gener Unidad 3; AES Gener Unidad 4; AES Gener Unidad 1 y 2) con niveles superiores a 20°C.

Algunos parámetros (boro, cloruros, hierro, sulfatos, triclorometano y xileno) presentaron excedencias en el 100% de las observaciones en todas las UF analizadas. Sin embargo, el número de observaciones de estos parámetros fue bajo e inferior a 6 determinaciones en cada caso.

Análisis de datos del Programa POAL y estudio CEA (2013): El análisis estadístico de la base de datos provenientes del programa POAL detectó para la columna de agua, una importante diferenciación entre años, con una alta proporción de parámetros bajo los límites de detección, particularmente desde el 2014. Para el caso de los sedimentos, y de manera similar al agua de mar la principal fuente de variación estadística fue el año, siendo los cambios en la granulometría, los que explicaron mayoritariamente la diferenciación estadística entre años.

Para la biota, especímenes de “chorito maico” (*Perumytilus purpuratus*), se han monitoreado 2 sitios en la bahía, entre los cuales no se observó diferencias significativas. La base de datos proveniente del estudio del CEA (2013) presentó una mayor consistencia entre campañas de muestreo, pero el estudio incluye solo el invierno 2012 y verano 2013.

Los resultados de los análisis estadísticos de la base de datos provenientes del POAL reveló que, para columna de agua que, de los 60 parámetros medidos, el 47% presentó más de un 90% de los registros bajo los límites de detección de laboratorio y para los sedimentos un 12% de los parámetros analizados presentó más de un 90% de los registros bajo los límites de detección de laboratorio, lo que apunta a posibles deficiencias en las técnicas analíticas empleadas.

Parámetros sugeridos por HOLON SPA. (2019): En un esfuerzo por proponer una adecuada vigilancia ambiental de las diferentes actividades industriales presentes en la bahía, a continuación, se reproducen las recomendaciones de parámetros que, de acuerdo a la experiencia del equipo de trabajo de HOLON SPA. (2019), debieran ser monitoreados de acuerdo con el tipo de matriz ambiental en estudio. En términos generales, se recomienda el análisis de los siguientes parámetros (Tabla 47):

**Tabla 47** Parametros de monitoreo clave sugeridos por HOLON SPA. (2019) para agua de mar, sedimentos y biota en la Bahía de Quintero.

Agua de mar	Sedimentos	Biota
Cloro libre residual	Cloro libre residual	Arsénico
Arsénico	Arsénico	Ácidos grasos
Cadmio	Cadmio	Cadmio
Carbono organico total	Carbono organico total	Cobre
Clorofila	Cobre	Plomo
Cobre	Plomo	Hidrocarburos totales
Mercurio	Hidrocarburos totales	Mercurio
Plomo	Mercurio	Vanadio
Sulfuros	Sulfuros	
Vanadio disuelto	Vanadio absorbido	



Adicionalmente, existen parámetros específicos, relacionados con los materiales y sustancias que cada uno de los proyectos evaluados declara dentro de sus emisiones específicas o difusas, los cuales deben ser incluidos en el monitoreo ambiental.

*Idoneidad de los métodos empleados:* Según HOLON SPA. (2019), los principales problemas detectados al analizar los parámetros reportados por los Informes de Seguimiento o Programas de Vigilancia Ambiental de la Bahía de Quintero (PSBQ) son:

1. En algunos casos, los parámetros analizados no concuerdan con la actividad a monitorear.
2. En algunos Planes de Seguimiento Ambiental de la Bahía de Quintero (PSBQ) solo se evalúan parámetros químicos, sin analizar variables complementarias que permitan contextualizar los resultados (i.e. hidrografía, mediciones *in situ*).
3. En la mayoría de las PSBQ no existe trazabilidad entre las matrices evaluadas.
4. En las mediciones realizadas en columna de agua, un porcentaje significativo de PSBQ analiza solo muestras de superficie o dos estratos (superficie y fondo). Este diseño no caracteriza adecuadamente la columna de agua, matriz donde coexisten diversos procesos hidrográficos, para lo cual es relevante realizar una caracterización detallada a diferentes niveles de profundidad.

**7.1.3.1.2 Centro de Ecología Aplicada (2020) Sistematización de información de calidad de agua, sedimentos, objetos de valoración ambiental y fuentes de emisión, como insumos para la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad de Aguas en la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-34-LE19.**

CEA (2020) realizó un cuidadoso análisis de la relevancia de la información disponible para caracterizar el impacto de la actividad del Complejo Industrial Ventanas sobre el ecosistema de la bahía. El conjunto de datos históricos obtenidos en la Bahía de Quintero, principalmente de los Planes de Vigilancia Ambiental, POAL y el estudio de CEA (2013) fueron analizados poniendo énfasis en la continuidad temporal de los datos, y su cobertura espacial con el fin de caracterizar procesos en la comunidad biológica y el ecosistema.

Para definir el conjunto de variables y parámetros a regular, se ejecutó una evaluación comparativa (benchmarking) con regulaciones nacionales y otras normas internacionales, cuya lista se presenta a continuación en la Tabla 48.

**Tabla 48 Lista de normas nacionales e internacionales analizadas por CEA 2020.**

Estado	Institución	Norma/Antecedente	Criterio
<b>Australia - Australia Del Sur (2003)</b>	Environmental Protection Authority - South Australia (EPA South Australia)	South Australia Environment Protection (Water Quality) Policy 2003	Ecosistema acuático marino
<b>Australia &amp; Nueva Zelandia (2018)</b>	National Water Quality Management Strategy (NWQMS)	Australian And New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality (NWRC & WQPSC, 2018)	Valores de alerta para sustancias tóxicas en niveles diferentes de protección (% de especies)
<b>Brasil (2005)</b>	CONAMA Brasil	Resolución 357/2005	Clase I - Estándares de agua salada Clase I - Estándares de agua salada para cuerpos de agua en que se realizan actividades de pesca o el cultivo de organismos con fines de consumo intensivo
<b>Canadá (2001)</b>	Canadian Council of Ministers of The Environment (CCME)	Canada CCME Water Quality Guidelines for The Protection of Aquatic Life	Marino
<b>Canadá - British Columbia (2019)</b>	Ministry of Environment &	British Columbia Approved Water Quality Guidelines:	Vida acuática marina

Estado	Institución	Norma/Antecedente	Criterio
	Climate Change Strategy	Aquatic Life, Wildlife & Agriculture (2019)	
<b>Chile (2004)</b>	CONAMA Chile	Guía CONAMA Para El Establecimiento De Las Normas Secundarias De Calidad Ambiental Para Aguas Continentales Superficiales Y Marinas (2004)	IV. Criterios nacionales específicos para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas marinas Recuperación del estado trófico de fiordos, canales y estuarios
<b>Estados Unidos (2004)</b>	United States Environmental Protection Agency (US EPA)	US EPA National Recommended Water Quality Criteria	Tabla de criterios de vida acuática recomendados a nivel nacional
<b>Estados Unidos - California (2019)</b>	California Environmental Protection Agency	Water Quality Control Plan - Ocean Waters of California (2019)	Objetivos para la protección de la vida acuática marina
<b>Estados Unidos - Maryland (2020)</b>	Maryland Department Of The Environment	Maryland's Surface Water Quality Standards	Criterios numéricos para sustancias tóxicas en aguas superficiales - vida acuática en agua salada
<b>Japón (2003)</b>	Ministry Of The Environment Government Of Japan	Japan Environmental Quality Standards for Water Pollution	Estándares de calidad ambiental para la conservación del ambiente vivo - 3. Aguas costeras Sustancias monitoreadas, cuerpos de agua, clase y valores referenciales para la conservación de la vida acuática

Concluyendo su análisis, CEA (2020) propone un conjunto de variables y parámetros a medir en futuros sistemas de monitoreo en la Bahía de Quintero que se indican en la Tabla 49, donde el grupo A está conformado por variables que dicen relación con el funcionamiento de los ecosistemas, el grupo B corresponde a variables que son metales pesados, el grupo C son variables asociadas a plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS), y el grupo D a descargas de combustibles y navegación.

Tabla 49. Propuesta de variables a medir en Bahía de Quintero. Fuente: CEA (2020).

Grupo A: Funcionamiento ecosistémico	Grupo B: Metales pesados	Grupo C: PTAS	Grupo D: Carga y descarga de combustibles / Navegación
pH	Arsénico total (µg/L)	Cloro libre residual (ppm) (mg/L)	Hidrocarburos totales (mg/L)
Fósforo total (mg/L)	Mercurio total (µg/L)	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	
Nitrato (mg/L)	Plomo total (µg/L)	Sólidos suspendidos (mg/L)	
Nitrógeno total (mg/L)	Cobre total (µg/L)		
Temperatura (°C)	Cadmio total (µg/L)		
Oxígeno disuelto (mg/L)			
DBO (mg/L)			
DQO (mg/L)			

### **7.1.3.1.3 BIOMA S.A. Consultores Ambientales (2020) Monitoreo de humedales boca Maule (región del Biobío), estero Campiche (Puchuncaví, región de Valparaíso) y desembocadura del río Huasco (región de Atacama), en el contexto de la red de monitoreo de ecosistemas acuáticos del Ministerio de Medio Ambiente.**

Este estudio se centró en identificar y definir una metodología apropiada para la evaluación de la condición de los humedales en Chile analizando métodos o indicadores de condición ambiental implementadas en Chile y el extranjero. Como resultado del análisis de 19 casos se sugiere utilizar a lo menos un indicador de cada área general: Físicoquímica, Biota y Estadística. Se sugieren como más idóneos:

- índice de estado trófico basado en clorofila a y apoyado por disco secchi y nutrientes;
- salud básica del ecosistema basado en el pH y los valores de oxígeno,
- análisis de impacto aparente observado en el humedal;
- uso de bioindicadores cuando estén disponibles,
- uso de la diversidad como indicador de salud;
- análisis multivariados de Componente Principales (ACP), apoyado por o AC, ACC;
- análisis de Amenaza Ambiental, que resume la condición ambiental actual y futura del humedal.

Como segundo resultado de este estudio, se determinó que la condición ambiental es buena para el Humedal del Huasco, regular para el Humedal Boca Maule y mala para el Estero Campiche. Lo anterior se sustenta en los distintos indicadores utilizados: Físicoquímica, Biota y Estadística, además de una matriz de Amenaza Ambiental aplicado a este estudio. El humedal de Estero Campiche evidenció valores de nutrientes que acusan un estado hipertrófico continuo y un mayor nivel de impacto (alta) en relación con el humedal de Huasco y de Maule.

El análisis de la Matriz de Amenaza Ambiental determinó que el humedal del Huasco fue evaluado mayoritariamente con un grado de amenaza bajo. El Humedal de Boca Maule fue evaluado mayoritariamente con una amenaza ambiental media, presentando en BM-3 una amenaza muy alta; mientras que el Humedal Estero Campiche fue evaluado con amenaza ambiental muy alta siempre en todas sus estaciones.

Los resultados de este estudio establecen que la condición ambiental para el Humedal del Huasco es buena, regular para el Humedal Boca Maule con sectores de mala calidad y que para el Estero Campiche la condición ambiental es muy mala.

### **7.1.3.2 Revisión de complejos industriales similares a nivel mundial**

#### **Hallazgos y/o mensajes clave:**

- 1) Los complejos industriales estudiados se ubican en la costa y presentan actividades marítimo-portuarias significativas bajo diferentes jurisdicciones y son monitoreados por diferentes autoridades locales, estatales y federales. Algunos, con el tiempo, y como un esfuerzo para mejorar el monitoreo y lograr economías de escala, han logrado unir en un gran consorcio cooperativo que ejecuta un programa de monitoreo ambiental integral.
- 2) Otro aspecto importante de algunos complejos industriales internacionales estudiados es la planificación territorial, la cual ha sido muy importante para minimizar el conflicto con la creciente presión de expansión urbana que circunda la Zona Industrial. Con este fin, el establecimiento de una zona buffer entre el complejo industrial y la zona autorizada para la construcción de viviendas, ha sido clave para construir una gobernanza cooperativa eficaz.
- 3) Como estrategia de lograr sustentabilidad del desarrollo y con el fin de disminuir los conflictos y mejorar el desempeño ambiental de los complejos, existe una tendencia a concebir y gestionar los complejos como unidades integradas, fomentando la interconexión de las industrias individuales, descubriendo y utilizando las sinergias mediante el desarrollo de encadenamiento productivos entre varias industrias.

En esta sección se revisan y comparan enfoques, medidas y normas que se aplican en situaciones similares a las que existen en la Bahía de Quintero. Los casos escogidos corresponden a complejos industriales costeros, con actividades marítimo-portuarias significativas. Estos complejos industriales que suelen desarrollarse próximos a centros urbanos, ponen en tensión el aparato de regulación ambiental y territorial en atención a la serie de conflictos potenciales que es preciso regular y que exigen del establecimiento de gobernanzas participativas y transparentes (ver Anexo B).

El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) de Chile ha validado la utilización de normativa de referencia de los siguientes países (art. 11, D.S. No 40/2012, MMA): "... República Federal de Alemania, República Argentina, Australia, República Federativa del Brasil, Canadá, Reino de España, Estados Unidos Mexicanos, Estados Unidos de América, Nueva Zelandia, Reino de los Países Bajos, República Italiana, Japón, Reino de Suecia y Confederación Suiza (MMA, 2017)" (citado por CEA 2020).

El monitoreo ambiental se lleva a cabo a través de diferentes enfoques en todo el mundo, con variables, frecuencia de muestreo y valores límites elegidos en función de los objetivos específicos y prioritarios de protección, conservación o remediación. Incluye descripciones de los siguientes complejos industriales:

- 1) Eagle Harbour (Washington, United States)
- 2) Southern California Bight (California, Estados Unidos)
- 3) Kwinana (Perth, Western Australia, Australia)
- 4) Derwent River (Hobart, Tasmania, Australia)
- 5) Oil Spills: 1989 petrolero Exxon Valdez, 2002 petrolero MV Prestige, 2010 Derrame de la plataforma petrolífera Deepwater Horizon.

La descripción detallada de los complejos industriales con características similares al complejo industrial Quintero-Puchuncaví se proporciona en el Anexo B de este informe.

A continuación, a modo de resumen se señalan los parámetros monitoreados en dos complejos industriales similares a la Bahía de Quintero; el primero corresponde al Seno del Sur de California el cual incluye metales traza, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), bifeniles policlorinados (PCBs), pesticidas, y esterés de difenil polibromuros (PBDEs) (Ver Tabla 50), el segundo caso corresponde a Cockburn Sound, Australia Occidental 2008 (Ver Tabla 51).

**Tabla 50 Analitos medidos en estudio de la química del sedimento en el Seno del Sur de California en el último estudio quinquenal "Bight '18" <sup>1</sup>. Fuente: Southern California Bight 2018 Regional Monitoring Program: Volume II. Sediment Chemistry. Bowen Du, Charles S. Wong, Karen McLaughlin, and Kenneth Schiff. July 2020 SCCWRP Technical Report 1130.**

Metales Trazas	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	Bifeniles policlorinados (PCBs)	Pesticidas	Esteres de difenil polibromuros (PBDEs)
Aluminio	1,6,7-Trimetilnaftaleno	PCB-8	<b>Pesticidas Clorinados<sup>2</sup></b>	BDE-17
Antimonio	1-Metilnaftaleno	PCB-18	4,4'-DDT	BDE-28
Arsénico	1-Metilfenantreno	PCB-28	2,4'-DDT	BDE-47
Bario	2,6-Dimetilnaftaleno	PCB-37	4,4'-DDD	BDE-49
Berilio	2-Metilnaftaleno	PCB-44	2,4'-DDD	BDE-66
Cadmio	Acenafteno	PCB-49	4,4'-DDE	BDE-85
Cromo	Acenaftileno	PCB-52	2,4'-DDE	BDE-99
Cobre	Antraceno	PCB-66	4,4'-DDMU	BDE-100
Fierro	Benz[ <i>a</i> ]antraceno	PCB-70	alfa-clordano	BDE-138
Mercurio	Benzo[ <i>a</i> ]pireno	PCB-74	gamma-clordano	BDE-153
Níquel	Benzo[ <i>b</i> ]fluoranteno	PCB-77	<i>cis</i> -nonachlor	BDE-154
Plata	Benzo[ <i>e</i> ]pyreno	PCB-81	<i>trans</i> -nonachlor	BDE-183
Plomo	Benzo[ <i>g,h,i</i> ]perileno	PCB-87	oxiclordano	BDE-190
Selenio	Benzo[ <i>k</i> ]fluoranteno	PCB-99	<b>Pesticidas Piretroides (PHS) <sup>3</sup></b>	
Zinc	Bifenil	PCB-101	Bifentrin	
	Criseno	PCB-105	Cyfluthrin (total)	
	Dibenz[ <i>a,h</i> ]antraceno	PCB-110		

Fenantreno	PCB-114	Cypermethrin (total)
Fluoranteno	PCB-118	lambda-Cyhalothrin
Fluoreno	PCB-119	(total)
Indeno[1,2,3-c,d]pireno	PCB-123	<i>cis</i> -Permethrin
Naftaleno	PCB-126	<i>trans</i> -Permethrin
Perileno	PCB-128	Deltamethrin
Pireno	PCB-138	Esfenvalerate
	PCB-149	<b>Pesticidas de Fipronil</b>
	PCB-151	Fipronil
	PCB-153	Fipronil Desulfinil
	PCB-156	Fipronil Sulfuro
	PCB-157	Fipronil Sulfona
	PCB-158	
	PCB-167	
	PCB-168	
	PCB-169	
	PCB-170	
	PCB-177	
	PCB-180	
	PCB-183	
	PCB-187	
	PCB-189	
	PCB-194	
	PCB-195	
	PCB-201	
	PCB-206	

<sup>1</sup> Los constituyentes generales medidos en el sedimento de California fueron: granulometría, carbono orgánico total y nitrógeno total.

<sup>2</sup> DDT = diclorodifeniltricloroetano, DDD = diclorodifenildicloroetano, DDE = diclorodifenildicloroetileno, y DDMU = di(p-clorofenil)-2-cloroetileno

<sup>3</sup> Las piretrinas y los piretroides son insecticidas que se aplican a cosechas, plantas de jardines, animales domésticos y también directamente a seres humanos.

Tabla 51 Contaminantes analizados en Cockburn Sound, Australia Occidental 2008 (126 analitos). Fuente: PB (2009) Study of the Contaminants in the Waters of Cockburn Sound 2008. Prepared for the Cockburn Sound Management Council by Parsons Brinckerhoff Australia, Perth, Western Australia, January 2009.

Analito	Analito	Analito
Naphthalene	2,6 Dichlorophenol	Parathion (Ethyl)
Acenaphthylene	2-Nitrophenol	Parathion Methyl
Acenaphthene	4-Chloro-3-methylphenol	Pirimiphos Methyl
Fluorene	2,4,6-Trichlorophenol	Pirimiphos Ethyl
Phenanthrene	4-Nitrophenol	Azinphos Methyl
Anthracene	2,4,5-Trichlorophenol	Azinphos Ethyl
Fluoranthene	2,3,4,6-Tetrachlorophenol	TPH C6 - C9
Pyrene	Pentachlorophenol	TPH C10 - C14
Benz(a)anthracene	Atrazine	TPH C15 - C28
Chrysene Benzo(b)&(k)fluoranthene	Hexazinone	TPH C29 - C36
Benzo(a)pyrene	Metribuzine	Aluminium-Filtered
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	Prometryne	Aluminium-Total
Dibenz(ah)anthracene	Simazine	Antimony-Filtered
Benzo(ghi)perylene	Dimethyl phthalate	Antimony-Total
Tributyltin as Sn	Diethyl phthalate	Arsenic-Filtered
Monobutyltin as Sn	Di-n-butyl phthalate	Arsenic-Total
Dibutyltin as Sn	Benzyl butyl phthalate	Cadmium-Filtered

HCB	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	Cadmium-Total
Heptachlor	Di-n-octyl phthalate Benzene	Chromium-Filtered
Heptachlor epoxide	Toluene	Chromium-Total
Aldrin	Ethyl Benzene	Copper-Filtered
gamma-BHC (Lindane)	m, p - Xylene	Copper-Total
alfa-BHC	o - Xylene	Chromium - Trivalent
beta-BHC	Aroclor 1016	Iron-Filtered
delta-BHC	Aroclor 1221	Iron-Total
trans Chlordane	Aroclor 1232	Lead-Filtered
cis Chlordane	Aroclor 1242	Lead-Total
Oxychlordane	Aroclor 1248	Mercury-Filtered
Dieldrin	Aroclor 1254	Mercury-Total
pp-DDE	Aroclor 1260	Nickel-Filtered
pp-DDD	Total PCB's (as above)	Nickel-Total
pp-DDT	Dichlorvos	Silver-Filtered
Endrin	Demeton-S-Methyl	Silver-Total
alpha-Endosulfan	Diazinon	Zinc-Filtered
beta-Endosulfan	Dimethoate	Zinc-Total
Endosulfan Sulfate	Chlorpyrifos	Chromium - Hexavalent
Methoxychlor	Chlorpyrifos Methyl	TOC
Phenol	Malathion	Glyphosate
2-Chlorophenol	Fenthion	Butoxyethanol
2-Methylphenol	Ethion	
2,4 Dichlorophenol	Fenitrothion	
3- & 4-Methylphenols	Chlorfenvinphos (E)	
2,4 Dimetylphenol	Chlorfenvinphos (Z)	

### 7.1.3.3 Revisión de normativas y convenciones internacionales

#### Hallazgos y/o mensajes clave:

- 1) El D.S. 144/2008 que establece los estándares primarios de calidad para la protección de aguas marinas y estuarinas aptas para actividades recreativas regula Color, pH, Cianuro, Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Plomo, Coliformes Fecales (NMP). De los 17 plaguicidas COPs del convenio de Estocolmo, 15 se encuentran en la lista de las sustancias prohibidas por el SAG. La Sulfluramida (PFOS) y Pentaclorofenol y Pentaclorofenato de Sodio son los dos únicos COP excluidos en esta prohibición. A estos se suman las regulaciones de PCBs, dioxinas y furanos en alimentos según el D.S. 977/1996.
- 2) No existe registro acerca del tricloroetano, o metilcloroformo, del hexaclorobenceno, de los bifenilos policlorados, pese a que todos ellos se encuentran contemplados en convenios internacionales suscritos por Chile.

La regulación de las sustancias químicas en Chile se desarrolla tanto por la normativa interna, como por instrumentos internacionales ratificados por nuestro país, que habiendo sido promulgados en Chile sus normas son exigibles y se encuentran vigentes. A nivel nacional, existen diferentes estándares de calidad de aguas (primarios y secundarios) y normas de emisión de contaminantes al agua y aire los cuales se indican en la Tabla 52 a continuación.

Tabla 52 Listado de estándares primarios, secundarios y de emisiones al agua y el aire vigentes en Chile.

#### Estándares de calidad primarios

D.S. 144/2008. Establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo

D.S. 143/2008. Establece normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo

D.S. 136/2000. Establece norma de calidad primaria para plomo en el aire  
 D.S. 112/2002. Establece norma primaria de calidad de aire para ozono (O3)  
 D.S. 115/2002. Establece norma primaria de calidad de aire para monóxido de carbono (CO)  
 D.S. 114/2002. Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno (NO2)  
 D.S. 104/2018. Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO2)  
 D.S. 12/2011. Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP 2.5  
 D.S. 45/1998 Modifica decreto N° 59, de 1998, que establece la norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10

#### Estándares de calidad secundarios

No existen para ambientes y ecosistemas marinos, solo existen para algunas cuencas fluviales.

#### Normas de emisión

D.S. 90/2001. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales  
 D.S. 609/1998. Establece norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado  
 D.S. 46/2002. Establece norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas  
 D.S. 13/2011. Establece norma de Emisión para Centrales Termoeléctricas  
 D.S. 38/2011. Establece norma de emisión de ruidos generados por fuentes que indica  
 D.S. 80/2005. Establece norma de Emisión para Molibdeno y Sulfatos de Efluentes Descargados desde Tranques de Relaves al Estero Carén  
 D.S. 28/2013. Establece norma de emisión para fundiciones de cobre y fuentes emisoras de arsénico

Los parámetros regulados por estas normativas nacionales han sido integrados en una base de datos para la posterior identificación de parámetros ambientales de importancia no regulados y/o no monitoreados en la Bahía de Quintero.

#### 7.1.3.3.1 Convenios y estándares internacionales

Del mismo modo, en la Tabla 53 se listan los convenios internacionales y regionales adoptados por Chile a través de decretos en materia de contaminación del medio marino de acuerdo a DIRECTEMAR (2014).

**Tabla 53 Convenios internacionales y regionales adoptadas por Chile en relación con contaminación marina. Fuente: Adaptado de DIRECTEMAR (2014).**

N°	Convenios internacionales relacionados con contaminación marina
1	D.L. N° 1.809, Convenio y Protocolo sobre prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias, del 26 de mayo de 1977.
2	D.L. N° 1.808, Convenio Internacional sobre responsabilidad civil por daños causados por la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos, del 26 de mayo de 1977.
3	D.S. (RR.EE.) N° 1.689, Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques MARPOL 73 y su protocolo de 1978, del 04 de mayo de 1995. Promulgado en Chile el 14 de noviembre de 1994.
4	D.S. (RR.EE.) N° 296, Convenio para la Protección del Medio Ambiente y la Zona Costera del Pacífico Sudeste, del 14 de junio de 1986.
5	D.S. N° 295, Protocolo para la Protección del Pacífico Sudeste contra la Contaminación Proveniente de Fuentes Terrestres y sus anexos, del 19 de junio de 1986.
6	D.S. (RR.EE.) N° 425, Acuerdo sobre la Cooperación Regional para el Combate contra la Contaminación del Pacífico Sudeste por Hidrocarburos y otras Sustancias Nocivas en casos de Emergencia, del 07 de abril de 1986.
7	D.S. N° 656, Protocolo Complementario del Acuerdo sobre la Cooperación Regional para el Combate contra la Contaminación del Pacífico Sudeste por Hidrocarburos y otras Sustancias Nocivas, del 24 de noviembre de 1986.
8	D.S. (RR.EE.) N° 358, Convenio Internacional Relativo a la Intervención en Altamar, en caso de accidentes que causen una contaminación por hidrocarburos. Intervención 1969, del 03 de junio de 1995.
9	D.S. N° 107, Convenio Internacional sobre Cooperación, Preparación y Lucha contra la Contaminación por Hidrocarburos de 1990, del 23 de enero de 1998.
10	D.S. (RR.EE.) N° 1393, Convención Internacional sobre el Derecho del Mar, del 18 de junio de 1997.

<b>11</b>	D.S. N° 358, Convenio Internacional relativo a la Intervención en Alta Mar, en Casos de Accidentes que Causen una Contaminación por Hidrocarburos, de 1969, y el Protocolo relativo a la Intervención en Alta Mar en Casos de Contaminación por Sustancias Distintas de los Hidrocarburos, de 1973, del 21 de marzo de 1995.
<b>12</b>	D.S. (RR.EE) N° 101, Protocolo al Convenio Internacional sobre responsabilidad civil por daños causados por la contaminación de las aguas del mar por hidrocarburos de 1992, del 16 de abril de 2003.
<b>13</b>	D.O. N° 40.234, Protocolo de 1996, relativo al Convenio sobre Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias, con sus Anexos I, II y III, del año 1972, del 17 de octubre de 2011.
<b>14</b>	Tratado Antártico, de 1959.
<b>15</b>	D.S. N° 396, Protocolo de Madrid al Tratado Antártico sobre la Protección del Medio Ambiente.
<b>16</b>	D.S. N° 777, Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas, de 1978.
<b>17</b>	Convenio Internacional sobre Responsabilidad e Indemnización de daños, en relación con el Transporte de Sustancias Nocivas y Potencialmente Peligrosas, de 1996.
<b>18</b>	D.S. N° 173, "Promulga el Protocolo sobre cooperación, preparación y lucha contra los sucesos de contaminación por sustancias nocivas y potencialmente peligrosas y su anexo", del 27 de marzo de 2008.
<b>19</b>	Resolución SAG N° 639, Norma que obliga a que las partes restrinjan producción y utilización de los productos químicos incluidos en el anexo B de la Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, COPs de 1984.
<b>20</b>	D.S. N° 37 (Ministerio de Relaciones Exteriores), que promulga el Convenio de Rotterdam para la Aplicación del Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional y sus Anexos. Fue firmado por Chile el 11 de septiembre de 1998, siendo ratificado el 20 de enero de 2005.
<b>21</b>	D.S. N° 685 (Ministerio de Relaciones Exteriores), sobre el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación ratificado en Chile el 14 de mayo de 1992, publicado en el D.O. de 13 de octubre de 1992.

Entre los convenios internacionales destacan aquellos que regulan, controlan y/o eliminan sustancias químicas o residuos peligrosos, de protección de la capa de ozono, entre otros (ver Figura 18) y aquellos acuerdos internacionales relativos a materias comerciales y de cooperación, en los cuales se establecen disposiciones particulares sobre sustancias químicas (entre ellos, el TLC con EE. UU. y TLC con Canadá).



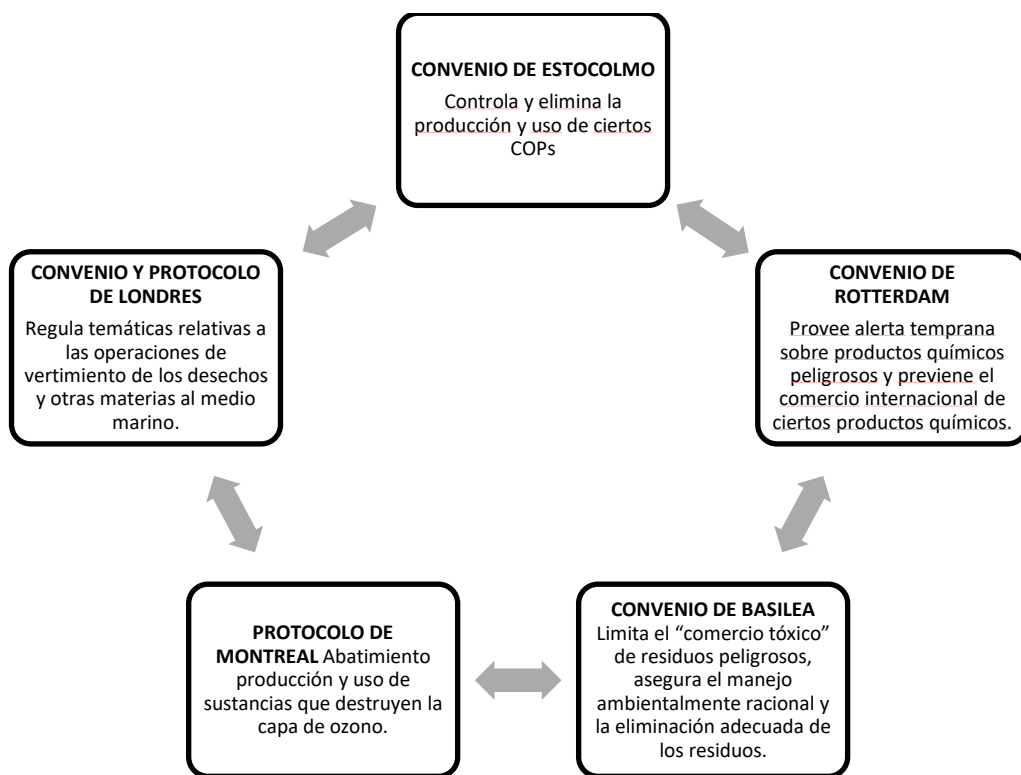


Figura 18 Esquematización de los convenios internacionales que regulan, controlan y/o eliminan sustancias químicas o residuos peligrosos, de protección de capa de Ozono, entre otros. Fuente: CSIRO Chile.

A continuación, se describen los convenios y estándares internacionales ratificados en Chile (especificados en la Tabla 53), específicamente aquellos relacionados con contaminación marina.

### Convenio de Estocolmo

En el año 2001, los estados parte del Convenio de Estocolmo, reconocieron la necesidad de adoptar medidas que tiendan a eliminar el uso de 12 COPs a nivel mundial, que incluyen plaguicidas, productos químicos industriales y subproductos contaminantes fabricados no deliberadamente (Tabla 2, Anexo D). El Convenio exige que cada país prohíba o adopte las medidas jurídicas y administrativas necesarias para eliminar y/o reducir al mínimo su uso o producción como también las importaciones o exportaciones. En el caso de las emisiones que son liberadas no intencionalmente, como las dioxinas y furanos, se establece la necesidad de reducir al mínimo sus liberaciones totales derivadas de fuentes antropogénicas.

En Chile, habiéndose ratificado el convenio en enero de 2005, mediante resolución N°639/1984 del SAG se prohíbe la importación, fabricación, venta, distribución y uso de plaguicidas que contengan el ingrediente activo DDT. La prohibición de otros plaguicidas COPs se ha realizado de manera progresiva por parte del SAG a partir del año 1984. De las 12 sustancias COPs originales del Convenio, 9 corresponden a plaguicidas y de las 14 sustancias incorporadas al Convenio entre 2005 y 2009, 8 son plaguicidas, por tanto, de 26 sustancias incluidas actualmente en el Convenio de Estocolmo, 17 de ellas corresponden a plaguicidas.

De esta manera, de los 17 plaguicidas COPs, 15 de ellos están listados en el Anexo A del convenio de Estocolmo (sustancias a ser eliminadas), y únicamente 2 de ellos, el DDT y los PFOS, se encuentran listados en el Anexo B (sustancias a ser restringidas). Para más detalles revisar Tabla 3 y Tabla 4 de Anexo D del presente documento.

Así, en el caso chileno, se observa que, de estos 17 plaguicidas, 15 se encuentran en la lista de las sustancias prohibidas por el SAG. La Sulfuramida (PFOS) y Pentaclorofenol y Pentaclorofenato de Sodio son los dos únicos COP excluidos de esta prohibición.

### Convenio de Rotterdam

El Convenio de Rotterdam sobre Consentimiento Fundamentado Previo aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos objeto de Comercio Internacional se aplica a plaguicidas y productos químicos industriales que han sido prohibidos o rigurosamente restringidos por razones sanitarias o ambientales por las partes. A nivel internacional, el texto

del Convenio fue adoptado el 10 de septiembre de 1998 (Conferencia de Plenipotenciarios en Rotterdam, Países Bajos), entrando en vigor el 24 de febrero de 2004. En Chile, el Convenio fue firmado por Chile el 11 de septiembre de 1998, siendo ratificado el 20 de enero de 2005 (D.S. N° 37 de 2005 del Ministerio de Relaciones Exteriores). Se aplica a los productos químicos prohibidos o rigurosamente restringidos; y las formulaciones plaguicidas extremadamente peligrosas. El Convenio, en su procedimiento CFP incluye 41 productos químicos, de los cuales 24 son plaguicidas; 6 formulaciones plaguicidas extremadamente peligrosas; y 11 productos industriales.

### **Convenio de Basilea**

Por su parte, Chile ratificó el Convenio de Basilea el 14 de mayo de 1992, y fue promulgado mediante D.S. N° 685 de 1992, del Ministerio de Relaciones Exteriores, publicado en el D.O. de 13 de octubre de 1992. La Convención aborda el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación es el tratado multilateral de medio ambiente que se ocupa más exhaustivamente de los residuos peligrosos y otros desechos (más antecedentes Anexo D, Tabla 4).

### **MARPOL 73/78**

El Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques, 1973, modificada por el Protocolo de 1978, MARPOL (M.RR.EE. Decreto N° 1689 del 14 de noviembre de 1994), del cual Chile es país signatario, define regulaciones para el manejo y disposición segura de hidrocarburos, sustancias nocivas líquidas transportadas a granel, sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos, aguas sucias o residuales de los buques, basura con énfasis en plásticos (prohibida el vertimiento al mar), y emisiones de contaminantes atmosféricos ocasionada por los buques.

En 1997, se adoptó un Protocolo adicional para enmendar el Convenio y se añadió un nuevo Anexo VI que entró en vigor el 19 de mayo de 2005. MARPOL se ha actualizado mediante enmiendas a lo largo de los años. El Convenio incluye reglamentos destinados a prevenir y minimizar la contaminación procedente de los buques.

MARPOL consta de seis Anexos que contienen reglas que abarcan las diversas fuentes de contaminación por los buques:

- **Anexo I.** Reglas para prevenir la contaminación por Hidrocarburos.
- **Anexo II.** Reglas para prevenir la contaminación por Sustancias Nocivas Líquidas Transportadas a Granel.
- **Anexo III.** Reglas para prevenir la contaminación por Sustancias Perjudiciales Transportadas por Mar en Bultos. Se trata de un anexo opcional ya que el transporte de mercancías peligrosas está reglado por el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas.
- **Anexo IV.** Reglas para prevenir la contaminación por las Aguas Sucias de los Buques.
- **Anexo V.** Reglas para prevenir la contaminación por las Basuras de los Buques.
- **Anexo VI.** Reglas para prevenir la contaminación Atmosférica ocasionada por los Buques. Este anexo entró en vigor el 19 de mayo de 2005.

### **Convenio sobre sustancias nocivas y peligrosas (Convenio SNP/HNS)**

Una sustancia está clasificada como nociva y/o peligrosa en el Convenio SNP/HNS si figura en una o más listas de los instrumentos de la Organización Marítima Internacional (OMI) concebidos para garantizar la seguridad marítima y la prevención de la contaminación. Esas sustancias son las siguientes:

- (I) Hidrocarburos transportados a granel, según se definen en la regla 1 del Anexo I del Convenio MARPOL, entre ellos los combustibles de alto contenido energético (según se definen en el anexo 12 de la circular anual de la serie MEPC.2) y las mezclas de hidrocarburos del petróleo o combustibles de alto contenido energético con biocombustibles reconocidos (según se identifican en el anexo 11 de la misma circular), junto con los hidrocarburos sujetos a contribución reconocidos por los FIDAC.
- (II) Sustancias nocivas líquidas transportadas a granel, según se definen en la regla 1.10 del Anexo II del Convenio MARPOL, y aquellas sustancias clasificadas provisionalmente en las categorías de contaminación X, Y o Z y enumeradas en la circular actual de la serie MEPC.2 como sustancias sujetas a acuerdos tripartitos, o enumeradas en el registro del sitio web de la OMI de nuevos acuerdos tripartitos que aún no han sido incorporados a la circular anual de la serie MEPC.2. En este contexto también se contemplan las «mezclas únicamente contaminantes» anotadas (o cuya adición está pendiente) como productos de la lista 2 que figura en el anexo 2 de la circular de la serie MEPC.2.

- (III) Sustancias peligrosas líquidas transportadas a granel, enumeradas en el capítulo 17 del Código CIQ.
- (IV) Sustancias, materias u objetos peligrosos, potencialmente peligrosos o perjudiciales transportados en bultos y contemplados en el actual Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (Código IMDG), enmendado.
- (V) Gases licuados enumerados en el capítulo 19 del Código CIG actual, junto con cualquier acuerdo tripartito en vigor.
- (VI) Sustancias líquidas transportadas a granel cuyo punto de inflamación no exceda de 60 °C.

#### **7.1.3.3.2 Normativas relacionadas de otros países**

Como parte del Objetivo 2 de este proyecto se levantó una base de datos de criterios de referencia para matrices marinas (agua de mar, sedimento y biota). Los criterios de referencia se asocian a directrices elaboradas por los siguientes países: Australia, Brasil, Canadá, Chile, Estados Unidos, Japón, y Noruega. Los resultados de este trabajo se integraron en una base de datos para la posterior identificación de parámetros ambientales de importancia no regulados y/o no monitoreados en la Bahía de Quintero. Los métodos y resultados del levantamiento de directrices ambientales internacionales se entregan en las secciones 6.2.2.2 (Métodos) y 7.2.2 (Resultados).

#### **7.1.4 Listado de parámetros de posible preocupación ambiental y brechas de monitoreo en la Bahía de Quintero**

En la Tabla 54 a continuación se listan los parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero definidos a partir del levantamiento y análisis crítico de información disponible sobre las unidades fiscalizables con emisiones a la Bahía de Quintero, de complejos industriales similares a nivel internacional, de convenios internacionales de los cuales Chile es estado parte, además de otros parámetros sugeridos en estudios previos (HOLON SPA. (2019), CEA (2020)). Como se discute en la sección 7.1.3.1 anterior, en HOLON SPA. (2019) se priorizó una lista de parámetros para ser incluidos en programas de monitoreo de la Bahía de Quintero en base a su transversalidad. En el caso de los parámetros identificados por CEA (2020) se priorizaron en base al análisis de puntos de referencia (*benchmarks*) internacionales (Japón, Estados Unidos, Canadá, Australia, Nueva Zelanda, Brasil, EPA).

Tabla 54. Listado de sustancias contaminantes (elementos y compuestos) de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero.

Parámetro	Agua de mar				Sedimentos marinos		Biota		Aire		RILes	
	Convenciones	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Normado en Chile	Sugerido en este estudio
<b>Bifenilos polibromados (PBB)</b>												
Hexabromociclododecano (HBCDD)	■											
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>												
Total bifenilos policlorados (PCB)	■		■		■			■		■		■
<b>Compuestos fenólicos</b>												
Nonilfenol			■					■				■
Pentaclorofenol	■											
<b>Compuestos orgánicos volátiles (COVs)</b>												
Total compuestos orgánicos volátiles (COVs)			■		■			■		■		■
<b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>												
Benceno			■		■			■		■		■
Etilbenceno			■		■			■		■		■
Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano			■		■			■		■		■
Total benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)			■		■			■		■		■
Xilenos totales			■		■			■		■		■
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>												
Naftaleno	■											
Total hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)			■		■			■		■		■
<b>Iones de importancia ambiental</b>												
Cloruro			■									■
Fluoruro			■									■
Fosfato			■									■
Sulfato			■							■		■
Sulfuro				■		■						■
<b>Metales y metaloides</b>												
Aluminio disuelto			■									■
Aluminio total			■		■			■				■
Antimonio disuelto			■					■				■
Antimonio total			■		■			■		■		■
Arsénico disuelto		■	■	■	■	■		■		■		■
Arsénico total		■	■	■	■	■	■	■		■		■
Azufre total			■		■			■		■		■
Bario disuelto			■									■

Parámetro	Agua de mar				Sedimentos marinos		Biota		Aire		RILes	
	Convenciones	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Normado en Chile	Sugerido en este estudio
Bario total												
Berilio total												
Boro disuelto												
Boro total												
Cadmio disuelto												
Cadmio total												
Cobalto disuelto												
Cobalto total												
Cobre disuelto												
Cobre particulado												
Cobre total												
Cromo absorbido												
Cromo disuelto												
Cromo particulado												
Cromo total												
Cromo VI absorbido												
Cromo VI disuelto												
Cromo VI particulado												
Cromo VI total												
Estaño disuelto												
Estaño total												
Galio disuelto												
Galio total												
Hierro disuelto												
Hierro total												
Magnesio disuelto												
Magnesio total												
Manganeso disuelto												
Manganeso total												
Mercurio disuelto												
Mercurio total												
Molibdeno disuelto												
Molibdeno total												
Níquel disuelto												
Níquel particulado												
Níquel total												
Plata disuelto												
Plata total												
Plomo disuelto												
Plomo total												

Parámetro	Agua de mar				Sedimentos marinos		Biota		Aire		RILes	
	Convenciones	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Normado en Chile	Sugerido en este estudio
Selenio disuelto												
Selenio total												
Sodio disuelto												
Sodio total												
Telurio total												
Titanio disuelto												
Titanio total												
Uranio disuelto												
Uranio total												
Vanadio absorbido												
Vanadio disuelto												
Vanadio particulado												
Vanadio total												
Zinc disuelto												
Zinc total												
<b>Nutrientes</b>												
Amonio												
Fósforo disuelto												
Fósforo total												
Nitrato												
Nitrito												
Nitrógeno amoniacal (NH3)												
Nitrógeno total												
Nitrógeno total Kjeldahl												
Óxidos de nitrógeno (NOx)												
<b>Organoclorados</b>												
Bencenos clorados												
Toxafeno												
Triclorometano (cloroformo)												
<b>Organoestaño</b>												
Tributilestaño (TBT)												
<b>Organometálico</b>												
Metilmercurio												
<b>Otras sustancias inorgánicas</b>												
Aldrina												
Carbono Negro												
Cenizas												
Cianuro disuelto												
Cianuro total												
Clordano												

Parámetro	Agua de mar				Sedimentos marinos		Biota		Aire		RILes	
	Convenciones	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Normado en Chile	Sugerido en este estudio
Clordecona												
Cloro libre residual												
Dicloro difenil tricloroetano (DDT)												
Dieldrina												
Dióxido de azufre (SO2)												
Endrina												
Heptacloro												
Hexaclorociclohexano-*												
Mirex												
Monóxido de carbono (CO)												
Oxido nitroso (N2O)												
Ozono												
Sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico)												
<b>Otras sustancias orgánicas</b>												
Aceites y grasas												
Carbón no combustionados (crudo)												
Carbón semi combustionado (cenizas)												
Carbono orgánico disuelto												
Carbono orgánico total (TOC)												
Carbono total												
Clorometano (cloruro de metilo)												
Dibenzoparadioxinas policloradas y furanos (PCDD/F)												
Dióxido de carbono (CO2)												
Dioxinas (Policlorodibenzodioxinas, PCDD)												
Endosulfán												
Estradiol												
Éteres de difenilo polibromados (PBDE)												
Etinilestradiol												
Fluoruro de sulfonilo perfluorooctano												
Furanos (Dibenzofuranos policlorados, PCDF)												
Hexabromobifenilo												
Hexaclorobenceno (HCB)												
Hexaclorobutadieno (HCBD)												
Materia orgánica disuelta												
Materia orgánica total												
Metano (CH4)												
PCBs coplanares												
Tetracloroetano (Tetracloroetileno)												
<b>Otros contaminantes industriales o mezclas de sustancias</b>												

Parámetro	Agua de mar				Sedimentos marinos		Biota		Aire		RILes	
	Convenciones	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Normado en Chile	Sugerido en este estudio	Normado en Chile	Sugerido en este estudio
Aguas sucias de buques (oleosas, de sentina, de lastre)												
Basuras de buques												
Material particulado (>10 µm)												
Material particulado fino respirable (MP2,5)												
Material particulado grueso respirable (MP10)												
Sustancias nocivas líquidas transportadas a granel en buques												
Sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos												
<b>Otros hidrocarburos</b>												
Hidrocarburos de buques												
Hidrocarburos fijos												
Hidrocarburos totales												
Hidrocarburos volátiles												
<b>Perfluoroalquilados</b>												
Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y sus sales												
<b>Radionucleidos</b>												
Radionucleidos												

A este grupo de sustancias (elementos y compuestos) se suman variables fisicoquímicas e indicadores biológicos de interés de monitoreo en la Bahía de Quintero, los cuales se especifican en la Tabla 55 a continuación.



Tabla 55. Listado de variables fisicoquímicas e indicadores biológicos de interés de monitoreo en la Bahía de Quintero.

Parámetro	Agua de mar		Sedimentos marinos	Biota	Aire	RILes
	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos	Sugerido en este estudio	Sugerido en este estudio	Sugerido en este estudio	Sugerido en este estudio
<b>Indicadores biológicos de calidad ambiental</b>						
Abundancia macrofauna						
Biomasa						
Clorofila a						
Coliformes fecales						
Coliformes totales						
Curvas ABC						
Escherichia coli						
Índice de diversidad de especies de Shannon-Wiener (H')						
<b>Indicadores físico/químicos de calidad ambiental</b>						
Alcalinidad						
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)						
Demanda química de oxígeno (DQO)						
Densidad						
Flujo						
Humedad						
Índice de fenol						
Oxígeno						
Oxígeno disuelto						
pH						
Poder espumógeno						
Potencial redox (Eh)						
Salinidad						
Saturación de oxígeno						
Sólidos sedimentables						
Sólidos suspendidos totales						
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)						
Temperatura						
Transparencia						
Turbidez						
<b>Parámetros de la descarga / emisario</b>						
Caudal						
Presión						

Se identificó las brechas de monitoreo y/o de regulación en la normativa nacional respecto a listado de parámetros de posible preocupación ambiental de la Bahía de Quintero. Los resultados de este análisis se muestran en la Tabla 56 para la matriz agua de mar, Tabla 57 para sedimentos marinos, y Tabla 58 para biota marina.

Tabla 56 Brechas de monitoreo y/o regulación en la matriz agua de mar respecto a listado de parámetros de posible preocupación ambiental de la Bahía de Quintero.

Parámetro	Convenciones	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos
<b>Bifenilos polibromados (PBB)</b>			
Hexabromociclododecano (HBCDD)			
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>			
Total bifenilos policlorados (PCB)			
<b>Compuestos fenólicos</b>			
Nonilfenol			
Pentaclorofenol			
<b>Compuestos orgánicos volátiles (COVs)</b>			
Total compuestos orgánicos volátiles (COVs)			
<b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>			
Total benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)			
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>			
<b>Indicadores biológicos de calidad ambiental</b>			
Clorofila a			
Escherichia coli			
<b>Indicadores físico/químicos de calidad ambiental</b>			
Alcalinidad			
Poder espumógeno			
Turbidez			
<b>Iones de importancia ambiental</b>			
Cloruro			
Sulfato			
Sulfuro			
<b>Metales y metaloides</b>			
Aluminio total			
Antimonio disuelto			
Antimonio total			
Azufre total			
Bario disuelto			
Bario total			
Boro disuelto			
Boro total			
Cobalto disuelto			
Cobalto total			
Cromo VI disuelto			
Cromo VI total			
Estaño disuelto			
Estaño total			
Galio disuelto			
Galio total			
Magnesio disuelto			
Magnesio total			
Manganeso disuelto			
Manganeso total			
Molibdeno disuelto			
Molibdeno total			
Plata disuelto			
Plata total			

Parámetro	Convenciones	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos
Selenio disuelto			
Selenio total			
Sodio disuelto			
Sodio total			
Titanio disuelto			
Titanio total			
Uranio disuelto			
Uranio total			
Vanadio absorbido			
<b>Nutrientes</b>			
Fósforo disuelto			
Nitrógeno total			
<b>Organoclorados</b>			
Bencenos clorados			
Toxafeno			
Triclorometano (cloroformo)			
<b>Organoestaño</b>			
Tributilestaño (TBT)			
<b>Organometálico</b>			
Metilmercurio			
<b>Otras sustancias inorgánicas</b>			
Aldrina			
Cianuro disuelto			
Clordano			
Clordecona			
Dicloro difenil tricloroetano (DDT)			
Dieldrina			
Endrina			
Heptacloro			
Hexaclorociclohexano-*			
Mirex			
<b>Otras sustancias orgánicas</b>			
Carbono orgánico total (TOC)			
Clorometano (cloruro de metilo)			
Dioxinas (Policlorodibenzodioxinas, PCDD)			
Endosulfán			
Estradiol			
Éteres de difenilo polibromados (PBDE)			
Etinilestradiol			
Fluoruro de sulfonilo perfluorooctano			
Furanos (Dibenzofuranos policlorados, PCDF)			
Hexabromobifenilo			
Hexaclorobenceno (HCB)			
Hexaclorobutadieno (HCBD)			
Materia orgánica disuelta			
Materia orgánica total			
Tetracloroetano (Tetracloroetileno)			
<b>Otros contaminantes industriales o mezclas de sustancias</b>			
Aguas sucias de buques (oleosas, de sentina, de lastre)			

Parámetro	Convenciones	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos
Basuras de buques			
Sustancias nocivas líquidas transportadas a granel en buques			
Sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos			
<b>Otros hidrocarburos</b>			
Hidrocarburos de buques			
<b>Parámetros de la descarga / emisario</b>			
Caudal			
<b>Perfluoroalquilados</b>			
Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y sus sales			

Tabla 57 Brechas de monitoreo y/o regulación en la matriz sedimentos marinos respecto a listado de parámetros de posible preocupación ambiental de la Bahía de Quintero.

Etiquetas de fila	Sugerido en este estudio	Sugerido en estudios previos
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>		
Total bifenilos policlorados (PCB)		
<b>Compuestos orgánicos volátiles (COVs)</b>		
Total compuestos orgánicos volátiles (COVs)		
<b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>		
Total benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)		
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>		
<b>Indicadores biológicos de calidad ambiental</b>		
Abundancia macrofauna		
Biomasa		
Curvas ABC		
Índice de diversidad de especies de Shannon-Wiener (H')		
<b>Indicadores físico/químicos de calidad ambiental</b>		
pH		
Potencial redox (Eh)		
<b>Iones de importancia ambiental</b>		
<b>Metales y metaloides</b>		
Aluminio total		
Antimonio total		
Arsénico disuelto		
Azufre total		
Bario total		
Boro total		
Cadmio disuelto		
Cobalto total		
Cobre disuelto		
Cobre particulado		
Cromo VI total		
Estaño total		
Galio total		

Hierro total		
Magnesio total		
Manganeso total		
Mercurio disuelto		
Mercurio total		
Molibdeno total		
Plata total		
Plomo disuelto		
Selenio total		
Sodio total		
Titanio total		
Uranio total		
Vanadio absorbido		
Vanadio disuelto		
Vanadio particulado		
Zinc total		
<b>Nutrientes</b>		
Nitrógeno total Kjeldahl		
<b>Organoestaño</b>		
Tributilestaño (TBT)		
<b>Organometálico</b>		
Metilmercurio		
<b>Otras sustancias inorgánicas</b>		
Cianuro total		
Cloro libre residual		
Sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico)		
<b>Otras sustancias orgánicas</b>		
Aceites y grasas		
Carbón no combustionados (crudo)		
Carbón semi combustionado (cenizas)		
Carbono orgánico disuelto		
Carbono total		
Dioxinas (Policlorodibenzodioxinas, PCDD)		
Estradiol		
Etinilestradiol		
Furanos (Dibenzofuranos policlorados, PCDF)		
Materia orgánica total		
<b>Otros hidrocarburos</b>		
<b>Perfluoroalquilados</b>		
Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y sus sales		

Tabla 58 Brechas de monitoreo y/o regulación en biota marina respecto a listado de parámetros de posible preocupación ambiental de la Bahía de Quintero.

Etiquetas de fila	Sugerido en este estudio
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>	
Total bifenilos policlorados (PCB)	
<b>Compuestos fenólicos</b>	
Nonilfenol	

<b>Compuestos orgánicos volátiles (COVs)</b>	
Total compuestos orgánicos volátiles (COVs)	
<b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>	
Benceno	
Etilbenceno	
Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano	
Total benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)	
Xilenos totales	
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>	
Total hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	
<b>Indicadores biológicos de calidad ambiental</b>	
Abundancia macrofauna	
Biomasa	
Curvas ABC	
Índice de diversidad de especies de Shannon-Wiener (H')	
<b>Metales y metaloides</b>	
Aluminio total	
Antimonio total	
Azufre total	
Bario total	
Boro total	
Cobalto total	
Cromo total	
Cromo VI total	
Galio total	
Magnesio total	
Manganeso total	
Molibdeno total	
Níquel total	
Plata total	
Sodio total	
Titanio total	
Uranio total	
Vanadio total	
<b>Organoestaño</b>	
Tributilestaño (TBT)	
<b>Organometálico</b>	
Metilmercurio	
<b>Otras sustancias inorgánicas</b>	
Cianuro total	
<b>Otras sustancias orgánicas</b>	
Carbón no combustionados (crudo)	
Carbón semi combustionado (cenizas)	
Estradiol	
Etinilestradiol	
Furanos (Dibenzofuranos policlorados, PCDF)	
Materia orgánica total	
<b>Perfluoroalquilados</b>	
Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y sus sales	

## 7.1.5 Definición de un modelo conceptual de emisiones a la Bahía de Quintero

### 7.1.5.1 Aspectos generales

Se distinguen múltiples mecanismos de especiación química y migración de contaminantes (sólidos, líquidos y gaseosos) entre matrices ambientales (aire, agua, sedimento, biota) que afectan su concentración y biodisponibilidad. En la Figura 19 se ilustran los principales mecanismos de especiación y migración de contaminantes y una breve reseña de estos se entrega a continuación.

1. **Procesos físicos**, donde destaca el intercambio gaseoso en las interfases aire-agua y agua-sedimento, procesos de precipitación – resuspensión de material particulado (desde y hacia suelos y sedimentos marinos), además de los procesos de advección de masas de aguas y aire (mediados por corrientes) y de difusión (mediados por gradientes de concentración, y procesos de mezcla mediados por difusión turbulenta). La turbulencia puede generarse en las aguas marinas por una amplia variedad de mecanismos, como el flujo cortante (*shear flow*), la ruptura de las olas superficiales e internas, y la inestabilidad flotante debido al enfriamiento de la superficie o inversiones internas en la columna de agua normalmente estratificada. Los procesos de resuspensión de sedimentos y agua intersticial, están mediados por corrientes marinas, oleaje y actividades humanas donde destaca el dragado de sedimentos, el cual se realiza principalmente con fines portuarios. Todos estos factores alteran la concentración y tiempo de residencia de contaminantes en la Bahía de Quintero.
2. **Reacciones químicas abióticas**, donde destacan reacciones ácido-base, reacciones de óxido-reducción, procesos de adsorción-desorción de partículas, y fotólisis (también denominada fotodisociación o fotodescomposición) las cuales ocurren en el agua y sedimentos marinos.
3. **Procesos biológicos**, donde destacan los procesos de captación de contaminantes desde el medio por parte de la biota marina (mediante absorción, ingestión/asimilación, y respiración), además de los procesos metabólicos y reacciones bioquímicas que pueden transformar compuestos dentro de los organismos. Se considera aquí también los procesos de bioturbación y/o irrigación de sedimentos que pueden afectar la disponibilidad de contaminantes y su migración hacia la columna de agua.

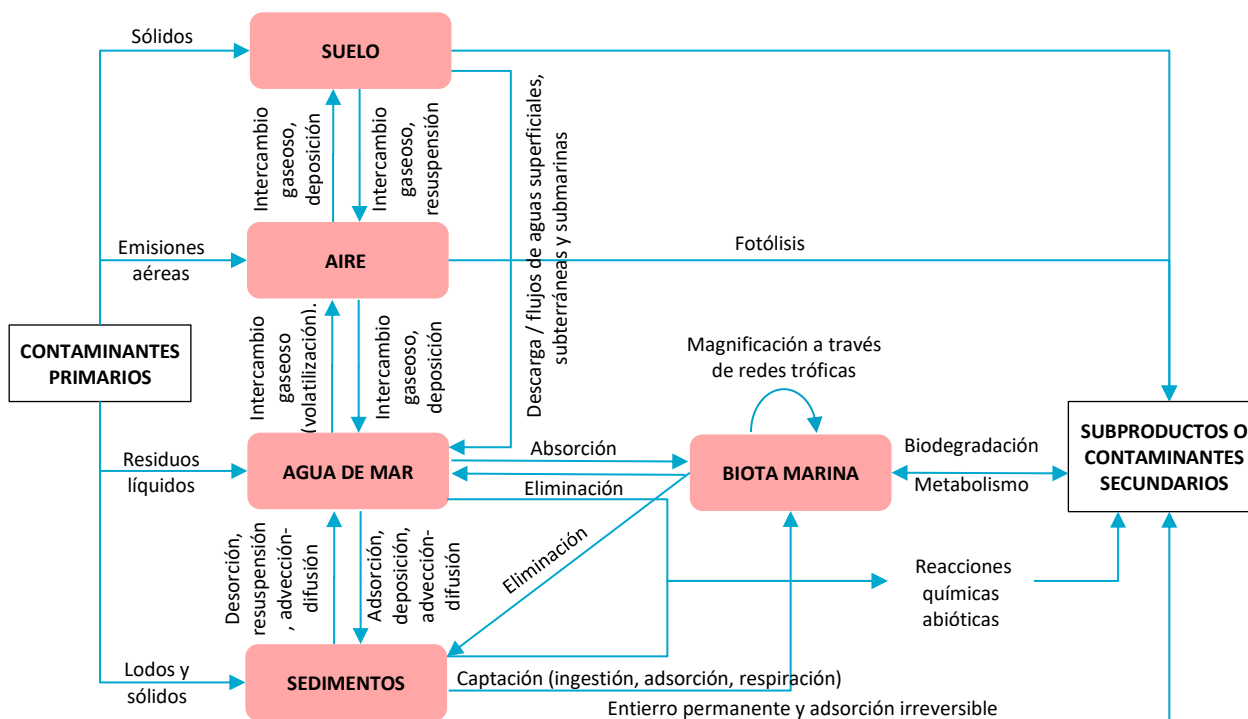


Figura 19 Esquematación de matrices ambientales (suelo, aire, agua, sedimento, biota) y mecanismos de migración de contaminantes (flechas). Fuente: CSIRO Chile.

Junto con los factores físicos y químicos previamente mencionados, la componente biológica afecta significativamente el destino de los contaminantes en el agua de mar. Las comunidades marinas (pelágicas y bentónicas) son de gran importancia para la degradación de la materia orgánica natural, y también para la mitigación del impacto de los contaminantes en el medio ambiente.

En ambientes acuáticos, el Hg, As, Cr, Pb, Cd, Ni y Zn son los metales de mayor importancia toxicológica y ecotoxicológica. Esto debido a que los iones de estos elementos son capaces de traspasar la pared y membranas celulares utilizando los mismos mecanismos de transporte que utilizan otros cationes metálicos fisiológicamente importantes (Ca, Mg, Cu, Zn). Dentro de la red trófica, los productores primarios (micro y macroalgas) son las principales vías de acceso de los metales pesados hacia consumidores superiores incluido el hombre (Lyman 1995, Castañé et al. 2003). En la Figura 20, y a modo de ejemplo, se ilustra los resultados del análisis de redes tróficas de la Bahía de Quintero desarrollado por CEA (2020) y el flujo de materia (disuelto y particulado, descargas difusas y directas, etc.) entre la columna de agua y las comunidades biológicas marinas.

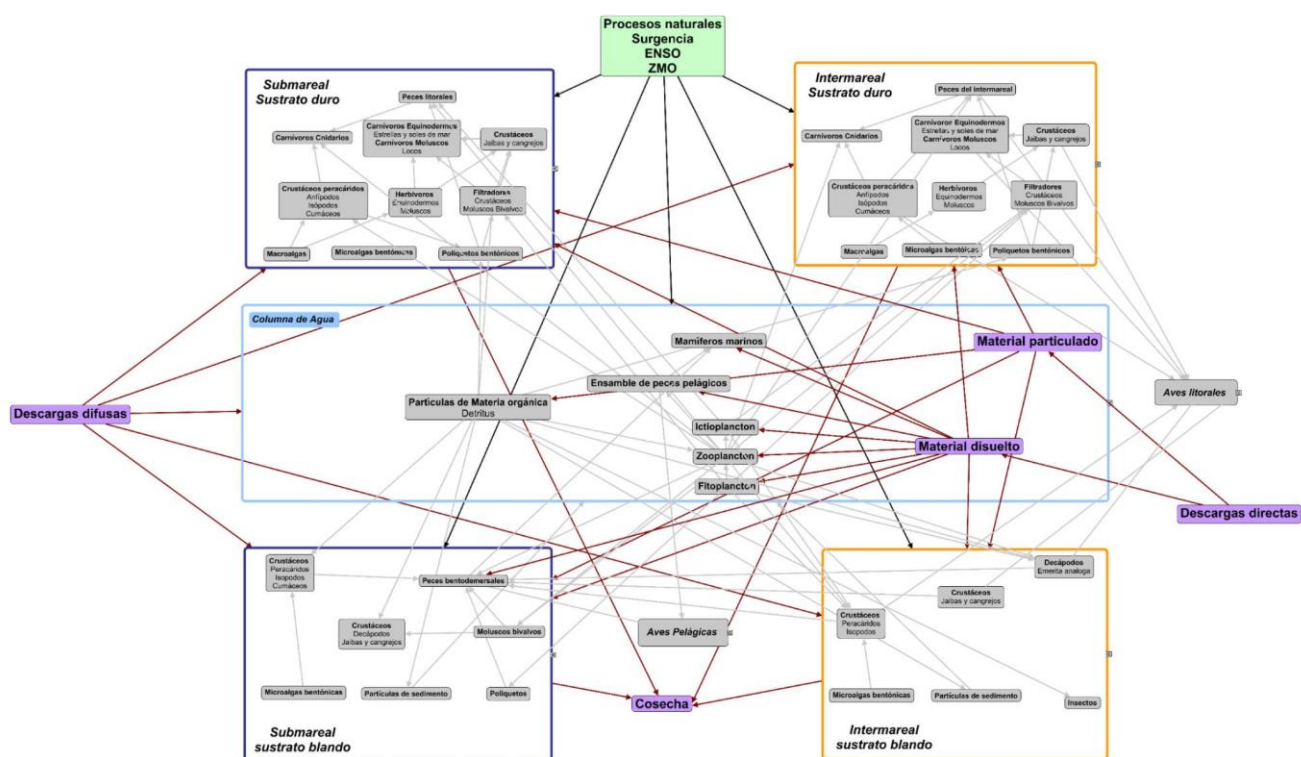


Figura 20 Modelo de interacciones de red la red trófica con flujos de materia a la Bahía de Quintero y diferentes hábitats (columna de agua, intermareal y submareal). Las relaciones tróficas aparecen en líneas tenues. Fuente: CEA (2020).


La química de los sedimentos afecta en gran medida la biodisponibilidad de los contaminantes Simpson & Batley (2016). A medida que los contaminantes químicos terrestres se descargan o ingresan a las aguas costeras, pueden alcanzar el lecho marino por deposición, en algunos casos previa precipitación química y/o adsorción en otras partículas. Una vez los contaminantes alcanzan los sedimentos, su concentración dependerá de su persistencia temporal, las composición química y mineralógica de los sedimentos, su grado de oxidación y niveles de materia orgánica, entre otros factores (Krumgalz 1989, De Gregori et al. 1996). Es más probable que los sedimentos finos tengan una carga de contaminantes proporcionalmente más alta, tanto por su alta relación entre superficie a volumen, porque es más probable que estén asociados con el carbono orgánico y porque están compactados, lo que minimiza su capacidad de intercambio de agua intersticial (Tessier et al. 1982, Tessier & Campbell 1987). La reducción de las concentraciones de oxígeno en los sedimentos también aumenta la proporción de sulfuros en el sedimento (P. ej. H<sub>2</sub>S), que no están biológicamente disponibles (Simpson et al. 1998).

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y metales ligados a sedimentos pueden resuspenderse por corrientes, paso de embarcaciones y actividades de dragado, oxigenarse por bioturbación y volverse biodisponibles (Simpson et al. 1998,



2000, Xie et al. 2019). Como referencia, en la Tabla 59 a continuación se provee un registro de actividades de dragado llevadas a cabo en la Bahía de Quintero desde el año 2005. Asimismo, los metales recalcitrantes pueden volverse biodisponibles al interior de los organismos que se alimentan de depósitos (Chen & Mayer 1999, Ahrens et al. 2001, Mayer et al. 2001, Weston et al. 2004). La mayor parte del petróleo en el medio ambiente es degradado por bacterias (Head et al., 2006). Este proceso ocurre más rápidamente en el agua que en el sedimento y ocurre más rápidamente en el sedimento óxico que en el anóxico. La consideración de los procesos de especiación y migración de contaminantes en sedimentos es clave para evaluar su biodisponibilidad y potenciales impactos sobre la flora y fauna marina.

**Tabla 59 Registro histórico de actividades de dragado de la Bahía de Quintero.**

<b>Año</b>	<b>Zona de dragado</b>
<b>2005</b>	Construcción Terminal Marítimo de Quintero. Compañía de petróleos de Chile S.A. Dragado submarino para entierre de anclas.
<b>2005</b>	Dragado Sector Caleta El Manzano, V Región
<b>2014</b>	Dragado de sedimentos asociado a derrame de petróleo en Quintero de ENAP
<b>Por definir</b>	Posible dragado de 17,5 hectáreas del fondo marino asociado a proyecto de ampliación del muelle de OXIQIIM en Quintero, equivalentes a 831.000 metros cúbicos, cuyo material será vertido a 5 millas marinas frente a Horcón.  <a href="#">link detalle</a>

La Bahía de Quintero ha sido expuesta a la deposición de material particulado proveniente de la actividad de la Fundición-Refinería de ENAMI (hoy CODELCO) y de la planta termoeléctrica de Chilectra (hoy AES 1), que operaron sin grandes sistemas de abatimiento de partículas en sus emisiones atmosféricas desde su instalación y hasta la implementación del primer plan de descontaminación atmosférica 1995-1999 (CONAMA 2003, PGS Chile 2015).

Aunque los humanos y la mayoría de la vida silvestre nunca entrarán en contacto directo con la capa superficial de sedimentos, organismos como poliquetos anélidos excavadores y crustáceos decápodos, algunos de importancia comercial, pasan toda su vida allí, y estos organismos forman la base de las redes alimentarias que se extienden hasta los humanos. Por esta razón en Quintero, la contaminación del agua y los sedimentos es motivo de preocupación, ya que en el área existen actividades de pesca artesanal, caletas de pescadores, recolectores de orilla, además de un gran número de visitantes en los balnearios en verano. Universidad Católica de Temuco (2015) realizó una evaluación de riesgo ecológico focalizada en el componente sedimento, por la presencia de potenciales contaminantes en la Bahía de Quintero a través de la cual se estableció una relación entre la concentración del elemento presente en sedimentos y la respuesta observada en los individuos. Asimismo, Oyarzo-Miranda et al. (2020) demostró recientemente los efectos deletéreos de altas concentraciones de cobre y arsénico, entre otros metales, sobre los estados de desarrollo temprano y juvenil (esporofitos) de especímenes de *Lessonia spicata* (Huiro) colectados en la Bahía de Quintero. El huiro es la principal especie formadora de hábitat y estructurador de comunidades marinas en el litoral central de Chile. En la fauna de Quintero y Ventanas se han registrado altas concentraciones de cobre y arsénico en crustáceos (CEA (2013), Cu > 600 mg k<sup>-1</sup>, As > 160 mg k<sup>-1</sup>). Además del cobre y el arsénico, debido a la acumulación de pequeños derrames operativos de hidrocarburos durante los años 70, también puede haber una importante contaminación crónica de los sedimentos originada en las actividades asociadas al transporte y almacenamiento de hidrocarburos.

### **7.1.5.2 Fuentes de contaminantes a la Bahía de Quintero**

Para el caso específico de la Bahía de Quintero se identifican siete fuentes genéricas de aportes potenciales de contaminantes que pueden contribuir a la contaminación del borde costero y el medio marino:

1. emisarios y descarga de RILes (emisiones puntuales),
2. descarga fluvial (estero Campiche),
3. derrames (líquidos) y vertimientos (sólidos),
4. escorrentía superficial de aguas y lavado de superficies impermeables,
5. descarga de aguas subterráneas al medio marino,
6. deposición de emisiones atmosféricas, y

## 7. otras fuentes de emisiones

Una breve descripción de cada una de estas fuentes de contaminación se entrega a continuación:

### 7.1.5.2.1 Emisarios y descarga de RILes (emisiones puntuales)

La fuente más evidente de contaminantes a la Bahía de Quintero son las descargas puntuales de residuos líquidos industriales. A continuación, en la Tabla 60 se señala el listado de emisarios conocidos a la Bahía de Quintero, junto con datos de caudales y concentraciones de contaminantes regulados por la autoridad ambiental. Actual e históricamente, los metales pesados más descargados en la zona de estudio son aluminio, hierro disuelto, molibdeno, cobre, zinc y cromo total.

**Tabla 60 Estimaciones de emisiones de residuos líquidos para 14 descargas reconocidas a la Bahía de Quintero. Fuente Con Potencial Consultores (2020).**

ID	Fuente Emisora	Coordenada WGS84 H19S		Caudal de diseño sistema de tratamiento (m <sup>3</sup> /día)	Promedio						
		Norte (m)	Este (m)		Arsénico (mg/l)	Cadmio (mg/l)	Cobre Total (mg/l)	Mercurio (mg/l)	Fósforo (mg/l)	Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/l)	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)
P1	AES GENER - Central Termoeléctrica Ventanas Unidad 1	267.146	6.373.530	266.400	0,006	0,002	0,025	0,0011	-	-	30.219.784
P2	AES GENER - Central Termoeléctrica Ventanas Unidad 2	267.115	6.373.602	426.240	0,006	0,002	-	0,001	-	-	104.831.463
P3	Central Termoeléctrica Nueva Ventanas	266.348	6.373.673	1.032.000	0,006	-	-	-	-	-	-
P4	Central Termoeléctrica Campiche	267.036	6.373.842	1.032.000	-	-	0,01	-	-	-	-
P5	CODELCO - Refinería Ventanas	267.001	6.372.631	1.496	0,029	0,005	0,122	0,0005	-	3,5	10.434.785
P6	Terminal Marítimo GNL Quintero - Descarga Quintero	265.826	6.371.216	360.007	0,006	-	-	-	-	-	-
P7	Terminal Marítimo GNL Quintero - Descarga Baño Modular	265.204	6.371.599	1,8	0,002	-	-	-	-	-	-
P8	ENAP - Terminal Marítimo Quintero	266.392	6.371.798	500	0,006	0,005	0,135	-	-	-	-
P9	COPEC	265.554	6.370.759	60	-	-	-	-	-	-	-
P10	GASMAR - Descarga Bahía de Quintero Circuito 1200	266.510	6.372.160	139.240	0,003	0,002	0,016	0,001	-	-	-
P11	Pesquera Quintero	263.491	6.370.574	984,96	0,002	-	-	-	0,3	4,1	-
P12	Puerto Ventanas S.A. - Terminal Marítimo Puerto Ventanas S.A. (Muelle Mecanizado de Ventanas)	266.922	6.373.402	300							
P13	ESVAL - ES-Quintero	262.585	6.372.997	7.695,65	0,005	0,003	0,049	0	6,8	75,9	10.554.101
P14	Descarga directa aguas servidas Puchuncaví <sup>1</sup>	265.902	6.374.491	1.600	0.05	0.01	1	0.00125	10	50	107

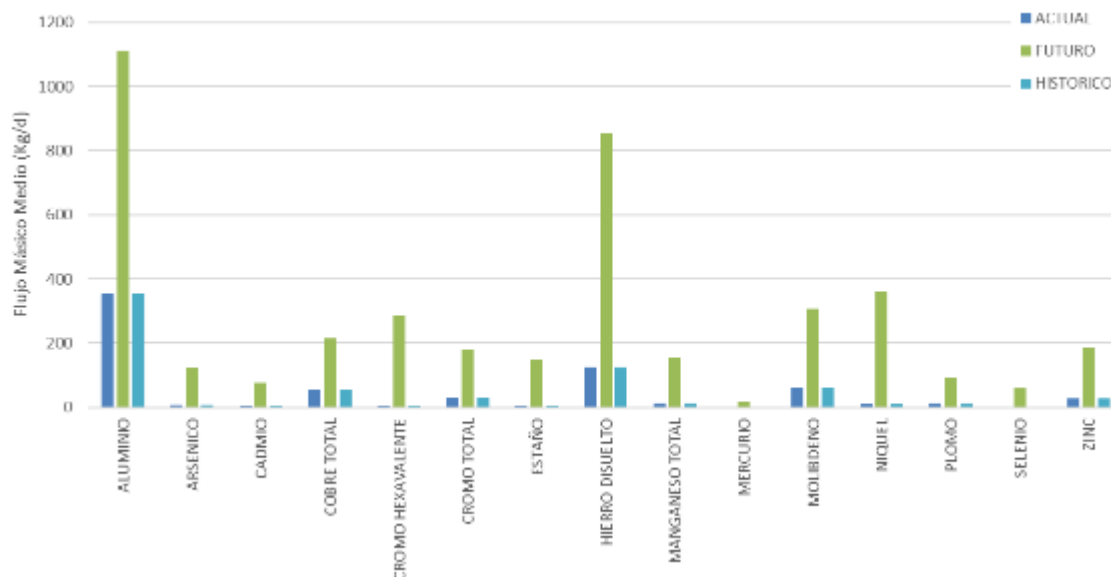
<sup>1</sup> Descarga directa sin tratamiento

En la en la Figura 21 a continuación se detallan estimaciones de flujos o descargas máxicas medias (kg d<sup>-1</sup>) de metales a la Bahía de Quintero de acuerdo a CEA (2013) para tres escenarios:

1. histórico, el cual contempla la totalidad de industrias en operación hasta 2013 y aquellas que alguna vez estuvieron operativas,
2. actual, el cual considera solo aquellas empresas operativas a 2013 en la Bahía de Quintero,
3. y futuro, que contempla las industrias existentes en 2013 y posibles futuras industria.

Como fuentes futuras de emisiones se considera específicamente los proyectos 1) Central Térmica Campiche (ya construida y en operación), 2) Central Térmica Ventanas (ya construida y en operación), 3) Central Térmica Energía Minera (aún no existente en 2013), y 4) Seafood Resources Chile S.A. (existencia no confirmada).

Figura 21 Estimaciones de flujos masicos en tres escenarios temporales: Fuente: CEA (2013).



Después del ascenso de la pluma y su dilución inicial, la nube efluente diluida (a menudo sumergida por debajo de la termoclina) es transportada con las corrientes y se somete a una variedad de procesos físicos, químicos y biológicos. El transporte, destino y los efectos posteriores difieren si la pluma se mantiene sumergida debajo de la capa de mezcla de la superficie o si la pluma se mantiene en la superficie a corto plazo (del orden de días a semanas). Dependiendo de su especiación en la columna de agua (mediada por reacciones químicas abióticas y procesos biológicos abordadas en la sección 7.1.5.1) estos pueden permanecer en la columna de agua o depositarse en sedimentos de la bahía, donde pueden según su concentración, biodisponibilidad y bioacumulación afectar a las comunidades bentónicas.

#### Actividad marítimo-portuaria:

A los flujos masicos antes señalado se debe agregar también las descargas desde fuentes móviles, particularmente desde embarcaciones de recreo, transporte, y pesca que operan en la bahía. Entre los posibles tipos de emisiones asociadas a embarcaciones destacan 1) combustibles, lubricantes y refrigerantes; 2) aparatos eléctricos; 3) pinturas, disolventes y otras sustancias químicas almacenadas; 4) materiales flotantes (por ejemplo, plásticos, material aislante de espuma de estireno); 5) lodos; 6) carga; 7) organismos acuáticos perjudiciales, y 8) emisiones de ruido submarino.

De acuerdo a estadísticas portuarias de la Armada de Chile (DIRECTEMAR 2018), entre 2015 y 2017 un total de 931, 878 y 950 embarcaciones respectivamente, recalaron en Bahía de Quintero. Estas recaladas consideran sólo las naves de mayor tamaño que recibieron servicio de practica (atraque, amarre de boyas y amarra a una boya). En el año 2017, arribaron específicamente 104 portacontenedores, 99 graneleros, 466 petroleros, 132 tanque-químico, 94 tanque liquido-específico, 53 gaseros, entre otros. Clasificadas por tonelaje, arribaron 198 buques de más de 40.000 TRG, 169 entre 31.000 y 40.000 TRG, 318 entre 20001 y 30000 TRG, 83 entre 10.001 y 20.000 TRG, y 182 de menos de 10.000 TRG.

A las emisiones asociadas a embarcaciones mayores, hay que agregar aquellas asociadas a embarcaciones menores, tanto pesqueras como aquellas utilizadas en actividades recreativas. De acuerdo con el Registro de Embarcaciones Artesanales (RPA) de SERNAPESCA, en las cuatro caletas de pescadores existentes en la Bahía de Quintero, específicamente caleta El Embarcadero (134), caleta El Manzano (133), caleta Loncura (66), y caleta Ventana (84), existen un total de 417 embarcaciones registradas, entre botes a motor, lanchas y botes a remo o vela. A este número se debe sumar las embarcaciones que realizan actividades de tipo recreativas, mayormente asociadas al Club de Yates de Quintero, que agrupa un total de 71 embarcaciones<sup>29</sup>, no obstante, se desconoce la composición exacta por tipo de embarcación y mecanismos de propulsión.

<sup>29</sup> Club de Yates de Quintero. <https://www.cyq.cl/historia.html>

### 7.1.5.2.2 Descarga fluvial (estero Campiche)

El estero Campiche es la principal fuente de agua dulce a la Bahía de Quintero. Su desembocadura se ubica en el extremo norte de la playa de La Herradura. Posee una pendiente de escurrimiento baja que determina la formación de vegas y una significativa captación de aguas subterráneas en zonas aledañas. De acuerdo a Con Potencial Consultores (2020), el área de drenaje de la cuenca del estero Campiche es de aproximadamente 103 km<sup>2</sup>. El estero Campiche se caracteriza por un régimen de tipo pluvial con mayores caudales medios durante los meses de invierno (junio, julio y agosto) y los menores caudales, en los meses de verano (enero, febrero y marzo).

De acuerdo a estimaciones de CEA (2013), entre los años 1986 y 2000, el estero Campiche ha desembocado en la costa solo un 3% del tiempo, razón por la cual no debería ser considerado como un afluente a la costa. No obstante, ejercicios de modelación hidrodinámica en la Bahía de Quintero llevados a cabo por Con Potencial Consultores (2020) si consideraron los aportes de agua dulce asociados al estero Campiche. Con Potencial Consultores (2020) aproximaron el ingreso diario de agua dulce a la Bahía de Quintero en invierno (~ 12.412,8 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>) y verano (1.123,2 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>) basado en el método de transposición de caudal utilizando datos de la estación fluviométrica “Estero Quintero” ubicada en la localidad cercana de Valle Alegre, comuna de Quintero. Basado en estas estimaciones, la relación entre el volumen de intercambio mareal (estimado por Universidad de Valparaíso (2005)) y el aporte de agua dulce es de 1683.9 en verano y 18609.7 en invierno.

### 7.1.5.2.3 Derrames (líquidos) y vertimientos (sólidos)

La probabilidad de grandes derrames de petróleo es baja, pero sus impactos inmediatos en los ecosistemas costeros y actividades económicas locales (por ejemplo, pesca, turismo) pueden y han sido devastadoras en la Bahía de Quintero (2016). Sin embargo, poco se sabe de las decenas a cientos de pequeños derrames y fugas no publicados que ocurren por ejemplo producto de la eliminación ilegal de aceite usado de automóviles en alcantarillados y que se suman a los grandes derrames de hidrocarburos ocurridos en el pasado.

Aquí se incluye derrames (líquidos), vertimientos (sólidos) y fugas (gases) de productos industriales y comerciales, ocurridos por accidente y/o negligencia humana. En cuanto a frecuencia, los vertimientos de mayor significancia se asocian al vertimiento de carbón semi combustionado (cenizas) y no combustionados (crudo) asociado a los procesos térmicos propio de las termoeléctricas ubicadas en Ventanas y al desembarque de carbón mediante cinta transportadora en el puerto Ventanas. Entre 2009 y 2019, los varamientos de carbón en la Bahía de Quintero totalizaron 712, de los cuales 185 ocurrieron solo en 2019 (Ramírez 2020). La ocurrencia de eventos de varamientos de carbón particulado también puede ser explicada por eventos de resuspensión y movilización de partículas desde el fondo marino producto de marejadas costeras. Otros eventos de mayor frecuencia relativa se asocian con el vertido de concentrados minerales (cobre principalmente) exportados a través del Puerto Ventanas, entre otras vertimientos y derrames. Un listado de incidentes mayores con resultado de contaminación registrados en la Bahía de Quintero se entrega en la Tabla 61 a continuación.

**Tabla 61 Historial de incidentes mayores con resultado de contaminación del medio marino registrados en la Bahía de Quintero. Fuente: Boletines Estadísticos Marítimos de DIRECTEMAR Ediciones 2010 a 2020, Piraino et al. (2017) y notas de prensa digital.**

Fecha	Puerto o lugar	Tipo emisor	Nave o empresa	Bandera	Causa contaminación	Producto	Cantidad (lts)
30-06-2019	Cercanías de Caleta Quintero, Patache, Iquique (L:20°38'24"S; G:70°12'46"W)	Lancha Motor	Reina del Pacifico III	Chilena	Varamiento	Diesel	2.000
05-06-2018	Quintero (L:32°46'18"S)	Copec S.A.	Terminal El	Chilena	Filtración ducto de conexión	Kerosene de aviación (Jet Fuel Oil)	5
14-08-2018	TTMM Puerto Ventanas, Bahía de Quintero	TTMM Puerto Ventanas	Puerto Ventanas S.A.	N/A	Derrame menor en faenas mantención tuberías	Asfalto	N/A
14-05-2016	Termo Multiboya, Bahía de Quintero	Enap	Ikaros PGC	Bahamas	Aceite decantado de un ducto con fugas se hundió debido a gravedad API (4) y cubrió 10,000 m2 de	Decantado Aceite (slurry oil)	investigación

Fecha	Puerto o lugar	Tipo emisor	Nave o empresa	Bandera	Causa contaminación	Producto	Cantidad (Its)
					lecho marino (Piraino et al. 2017).		
13-08-2015	Playa Loncura, sector Barcazas ENAP, Bahía de Quintero. (L: 32°46'11,00"S G:071°29'45,00"W)	Buque Tanque	Petrolero	Chilena	desde casco Filtración	Intermediate Fuel Oil	500
4-09-2014	"Bahía de Quintero, Playa Loncura. L: 32° 45' 44" S; G: 071° 31' 03" W "	Monoboya Enap / B/T LR Mimosa	Mimosa	Isla Marshall	Corte de flexible entre Buque Tanque y Terminal Monoboya	Crudo Oriente Ecuatoriano	38.700
08-10-2012	TTMM Puerto Ventanas	N/A	Puerto Ventanas S.A.	N/A	Filtración en playa Ventanas desde ducto no autorizada de muelle	Concentrado de cobre	N/A
28-03-2012	Vertimiento de carbón bahía de Ventanas						
18-06-2011	Bahía de Quintero, Sector Monoboya, Impacto de B/T Angamos	Empresa	ENAP Quintero	N/A	Colisión de BT Punta Angamos con Monoboya	Petróleo Crudo	2.000
2011	Estero Campiche, en Puchuncaví.	Empresa	Puerto Ventanas	N/A	Vertimiento de concentrado de cobre y petcoke al estero Campiche, en Puchuncaví.		
01-03-2011	Vertimiento de carbón en bahía Ventanas	Empresa	Puerto Ventanas	N/A	N/A	Carbón	N/A
23-01-2010	Bahía de Quintero, Playa El Bato	Empresa	Enap Refinerías Aconcagua	Chilena	Derrame/filtración ducto submarino	Intermediate Fuel Oil 380	300
14-03-2009	Quintero	Remolcador	Ritoque	Chilena	Tocar fondo	Lubricante	250
Múltiples	Mayormente en caleta Ventanas		Terminal Ventanas	N/A	Vertimiento de carbón bahía de Ventanas. Sobre 200 eventos de varamiento registrados desde 2020 de acuerdo a Ramirez (2020)	Carbón	

#### 7.1.5.2.4 Escorrentía superficial de aguas y emisiones no puntuales

Una fuente potencialmente relevante de contaminantes se asocia a fuentes difusas, que se produce como resultado de la escorrentía. La contaminación de fuentes difusas incluye muchas fuentes pequeñas, como perdidas de aceites desde vehículos motorizados (automóviles, camiones, etc.), además de fuentes mayores, como agricultura y la actividad forestal. Gran parte de estos contaminantes pueden llegar al mar por escorrentía superficial. Se distinguen aquí dos fuentes de emisiones difusas: lavado de superficies impermeables y escorrentía sobre suelos permeables.

Lavado de superficies impermeables: La impermeabilización de suelos, por medio de asfalto, cemento, alcantarillado, compactación de suelos, entre otros, puede alterar significativamente la capacidad de escurrimiento, infiltración o la interceptación del agua en los suelos (McGrane 2016). El escurrimiento sobre superficies impermeables recoge además contaminantes que pueden alcanzar cuerpos de agua superficiales cuando los sistemas de drenaje y alcantarillado se

saturan. La concentración de escorrentía superficial, particularmente en periodos de alta precipitación, puede generar descargas con alto poder erosivo y transporte de materiales aguas abajo.

En este contexto, el escurrimiento de aguas contaminadas (nutrientes, contaminantes tóxicos, sedimentos) es reconocida como una de las mayores amenazas para la calidad del agua, debido a que los cauces son usualmente el primer cuerpo de agua que recibe la escorrentía proveniente de las zonas urbanas. Se desconoce la existencia de estudios en las comunas de Quintero-Puchuncaví enfocados en la estimación de flujos de contaminantes a zonas costeras producto del lavado de superficies impermeable en zonas urbanas (Quintero, Loncura, Las Ventanas y complejo industrial asociado) y rurales.

**Escorrentía sobre suelos permeables:** Existe un potencial de arrastre o escorrentía superficial de contaminantes depositados en suelos a la Bahía de Quintero. Basado en análisis de muestras de suelo (n = 582), PGS Chile (2015) reportó concentraciones de metales pesados (cobre, arsénico, mercurio, plomo, cadmio y hierro) significativamente mayores a las concentraciones naturales registradas en zonas de referencia. Entre un 66% (Hg) y 99% (Fe) de las muestras de suelo superaron los valores naturales de la zona, y Fe, Vn, Cu y As superaron valores de referencia internacional (en Chile no existe norma de concentración de metales en suelos). Asimismo, se encontraron correlaciones espaciales entre arsénico, cobre, plomo, molibdeno, cadmio, mercurio y en menor medida zinc, probablemente asociadas al proceso metalúrgico de fundición y refinación de mineral de cobre en Codelco Ventanas. El vanadio y hierro, en tanto, probablemente se podrían asociar a termoeléctricas de la zona y/o a actividad de refinación de petróleo. Se desconoce el potencial de escorrentía de estos metales a las aguas de la Bahía de Quintero.

Otra fuente potencial de contaminantes se relaciona con la posible lixiviación de agroquímicos a zonas costeras. Los pesticidas que ingresan al suelo insaturado son transportados por el flujo de agua y son adsorbidos, desorbidos y / o degradados a medida que atraviesan el suelo. Los antecedentes disponibles son insuficientes para evaluar la magnitud de esta fuente potencial de contaminantes, no obstante, preliminarmente se anticipa de baja preocupación dado que la bahía se encuentra completamente rodeada de áreas urbanas e industriales, además de humedales y vegas. Detrás de estas se encuentran mayormente praderas y matorrales, además de otras áreas desprovistas de vegetación. Como se observa en la Figura 22 existen plantaciones forestales de eucalipto (aprox. 40 Ha) en Punta Ventanilla colindantes al borde costero, además de terrenos agrícolas colindantes con el Estero Puchuncaví (aprox. 380 Ha), pero se desconoce los cultivos específicos desarrollados en esta zona. De acuerdo con el Catastro Frutícola de la Región de Valparaíso 2020 (de Estudios et al. 2020) en las comunas de Quintero y Puchuncaví existen respectivamente 32,3 y 101,5 Ha de frutales, los cuales corresponden a un 4,4% y 14,01 % de la superficie total plantada de la comuna de Valparaíso (724 Ha), y un 0,06% y 0,2% de la superficie total plantada a nivel regional (49.051,41 Ha). Los principales cultivos frutícolas de ambas comunas corresponden a limoneros, paltos, olivos y nogales a lo que se suma el cultivo de hortalizas (ver Tabla 62).

**Tabla 62 Superficie (ha) frutícolas de las comunas de Quintero y Puchuncaví. Fuente: de Estudios et al. (2020).**

Especie frutícola	Quintero	Puchuncaví
Palto	-	42,44
Limonero	21 ,94	27,21
Nogal	-	12,55
Olivo	10,39	10,44
Naranja	-	4,79
Mandarino	-	2,98
Tuna	-	0,81
Pomelo	-	0,32
<b>Total</b>	<b>32,33</b>	<b>101,54</b>

Considerando el listado de plaguicidas con autorización vigente del Servicio Agrícola Ganadero existen cientos de plaguicidas potencialmente asociados a estos cultivos, no obstante en conocimiento de los consultores no existen registros de uso de agroquímicos a nivel de predio que permitan definir prioridades de monitoreo.

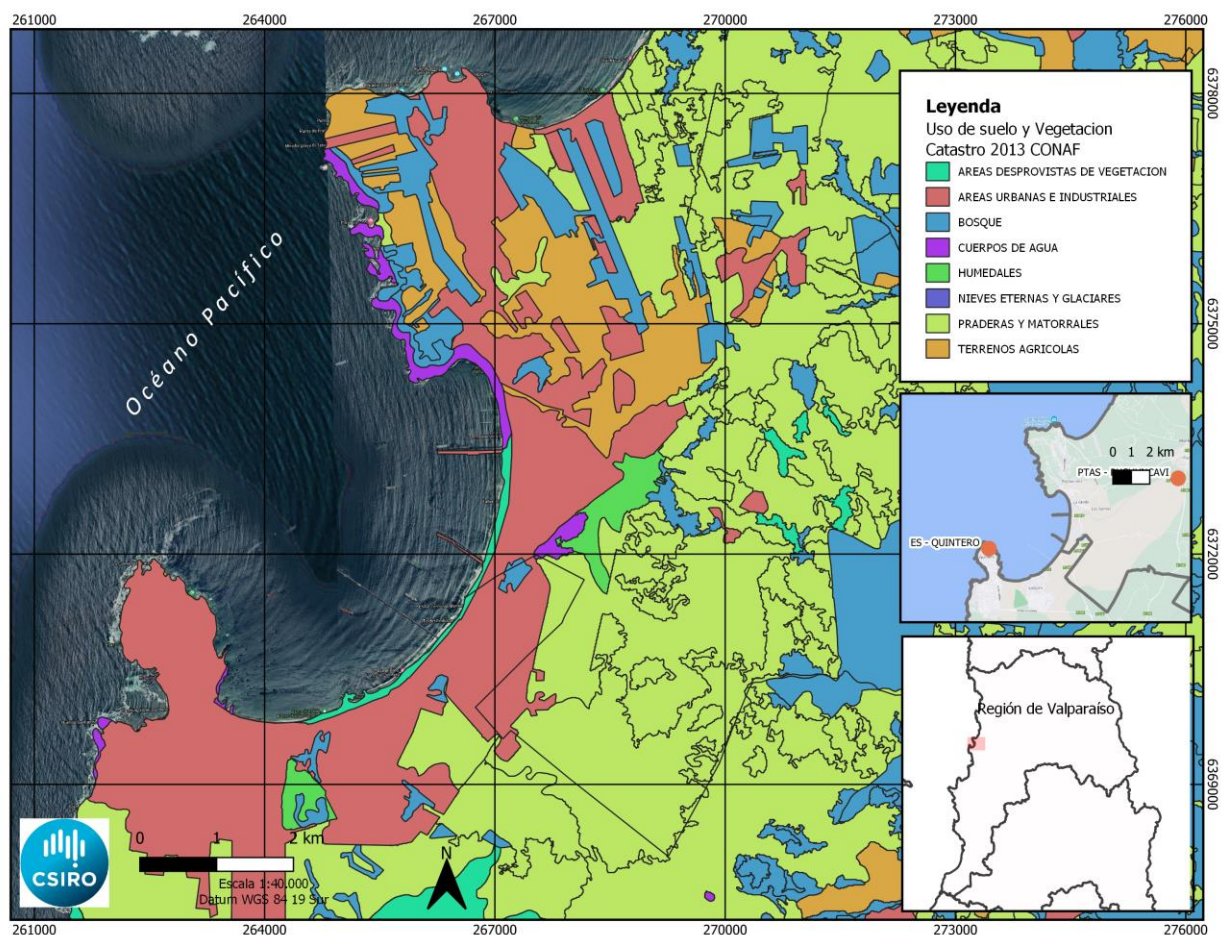


Figura 22 Usos de suelo y tipos vegetaciones circundantes a la Bahía de Quintero. Fuente: Datos CONAF desde IDE Chile<sup>30</sup>.

#### 7.1.5.2.5 Descarga de aguas subterráneas al medio marino

De acuerdo a DGA (2004) existen dos formaciones acuíferas asociadas a la Bahía de Quintero que poseen las siguientes propiedades hidráulicas:

- 1) Estero Puchuncaví: El espesor total de los rellenos varía gradualmente desde unos 50 m en la parte alta y en la localidad de Campiche, hasta unos 80 m en el sector de desembocadura. La transmisividad se ha estimado en 20 m<sup>2</sup>/d. La recarga media anual estimada, es decir la cantidad de agua de precipitaciones que se infiltra en la cuenca ponderada por el área de la misma es de 66 l s<sup>-1</sup> (DGA 2004). Basado en estimaciones realizadas en 2014 la recarga asociada al estero de Puchuncaví es insuficiente en relación con los usos existentes y la explotación previsible en el largo plazo de los derechos solicitados al 31 de diciembre de 2004 (Demanda vigente).
- 2) Quintero: El espesor total del relleno es de unos 60 m. La transmisividad de los rellenos es bastante baja, alcanzando 40 m<sup>2</sup>/d en el sector de Pucalán. Se considera, además, como un relleno de permeabilidad relativa. Para el caso de los subsectores de Estero Pucalán (comuna de Quillota) y Estero Mantagua (al sur de la ciudad de Quintero) la recarga es superior a los usos existentes y previsible de los derechos solicitados al 31 de diciembre del 2004, mientras que en el subsector Dunas de Quintero la recarga es insuficiente en relación con los usos existentes y la explotación previsible en el largo plazo.

<sup>30</sup> <https://www.ide.cl/index.php/flora-y-fauna/item/1513-catastros-de-uso-de-suelo-y-vegetacion>

La descarga de agua subterránea dulce en el océano costero es impulsada por gradientes hidráulicos en los acuíferos costeros. Para su ocurrencia se requiere que el nivel freático se ubique por encima del nivel del mar, que el acuífero costero esté conectado hidráulicamente al océano que y la evaporación no exceda la recarga del agua subterránea (Santos et al. 2012). Producto de las variaciones estacionales del nivel del acuífero entre otros factores la filtración de agua subterránea es a menudo irregular, difusa, y variable en el tiempo. A pesar de la dificultad de evaluar la descarga directa de aguas subterráneas a zonas costeras existe evidencia que esta puede representar localmente un riesgo de eutrofización y contaminación para los ecosistemas costeros (Burnett et al. 2001). Las fuentes incluyen filtración de aguas residuales desde sistemas sépticos, desechos mineros, entre otros desechos solubles. Para el caso de la Bahía de Quintero, existe evidencia de contaminación de suelos con metales pesados (cobre y arsénico) en torno al Complejo Industrial de Ventanas (PGS Chile 2015), no obstante, en conocimiento de estos autores, se desconoce si estos contaminantes han infiltrado las aguas subterráneas, así como la dirección y magnitud del intercambio de aguas subterráneas con el ambiente costero (descarga de agua dulce o intrusión marina de los acuíferos costeros), y su rol como potencial fuente difusa de contaminantes.

#### **7.1.5.2.6 Contaminantes de origen atmosférico**

Otra vía potencial de contaminación de la Bahía de Quintero ocurre a través de la atmósfera. Los procesos productivos de las empresas de generación de energía, fundición y refinación de minerales, entre otros, generan emisión de gases y material particulado a la atmósfera, los que eventualmente se depositan en los suelos y cuerpos de aguas. Una vez emitidos a la atmósfera, estos contaminantes (primarios y secundarios) pueden alcanzar el sistema acuático a través de procesos de deposición seca y húmeda, intercambio gaseoso en la interfase aire-agua, y a través de escorrentía superficial previa depositación de contaminantes en suelos (Figura 23).

Si bien existe abundante información de emisiones atmosféricas en la Bahía de Quintero y una red de monitoreo del aire, no se ha establecido la magnitud y potencial impacto de contaminantes atmosféricos sobre la calidad química, física y biológica de la componente marina. No obstante existen antecedentes sobre las tasas de deposición y acumulación de contaminantes en suelos de las comunas de Quintero y Puchuncaví, específicamente de metales pesados (CEA 2013, PGS Chile 2015), las cuales pueden servir de insumo para comprender las interacciones del material particulado sedimentable (MPS) con el sistema marino.

PGS Chile (2015) demostró la existencia de concentraciones significativamente mayores de metales pesados en los suelos de la comuna comparado con zonas de referencia y correlaciones espaciales directas con las diferentes industrias presentes en la zona. Elementos como arsénico, cobre, plomo, molibdeno, cadmio, mercurio y en menor medida el zinc, se relacionan probablemente a los procesos de refinación de cobre llevados a cabo en CODELCO Ventanas. Asimismo, selenio y antimonio (correlacionados entre sí), fueron asociados a los procesos de tratamiento de barros anódicos para la recuperación de plata, oro, telurio, antimonio y selenio, también llevados a cabo en CODELCO Ventanas. Finalmente, vanadio y hierro se relacionaron probablemente con las termoeléctricas de la zona y/o a las actividades de refinación de petróleo. En un estudio relacionado, CEA (2013) reportó concentraciones de metales en material particulado sedimentable (MPS), además de estimaciones de tasas de acumulación de MPS en suelos que alcanzaron en el periodo de estudio (Julio de 2012 a Febrero de 2013) hasta  $1.83 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (promedio =  $0,37 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), las cuales pueden ser extrapolables a las aguas de la Bahía de Quintero.

En este contexto, un hito importante a destacar en la reducción de contaminantes atmosféricos fue la entrada en vigor, en diciembre de 2013, de la Norma de Emisiones para Fundiciones de Cobre que ha reducido de manera significativa las emisiones de  $\text{SO}_2$ , material particulado y metales pesados como As y Hg, provenientes de estas instalaciones fabriles. El listado completo de estándares primarios, secundarios y de emisiones al agua y el aire vigentes en Chile se entrega en la Tabla 52.



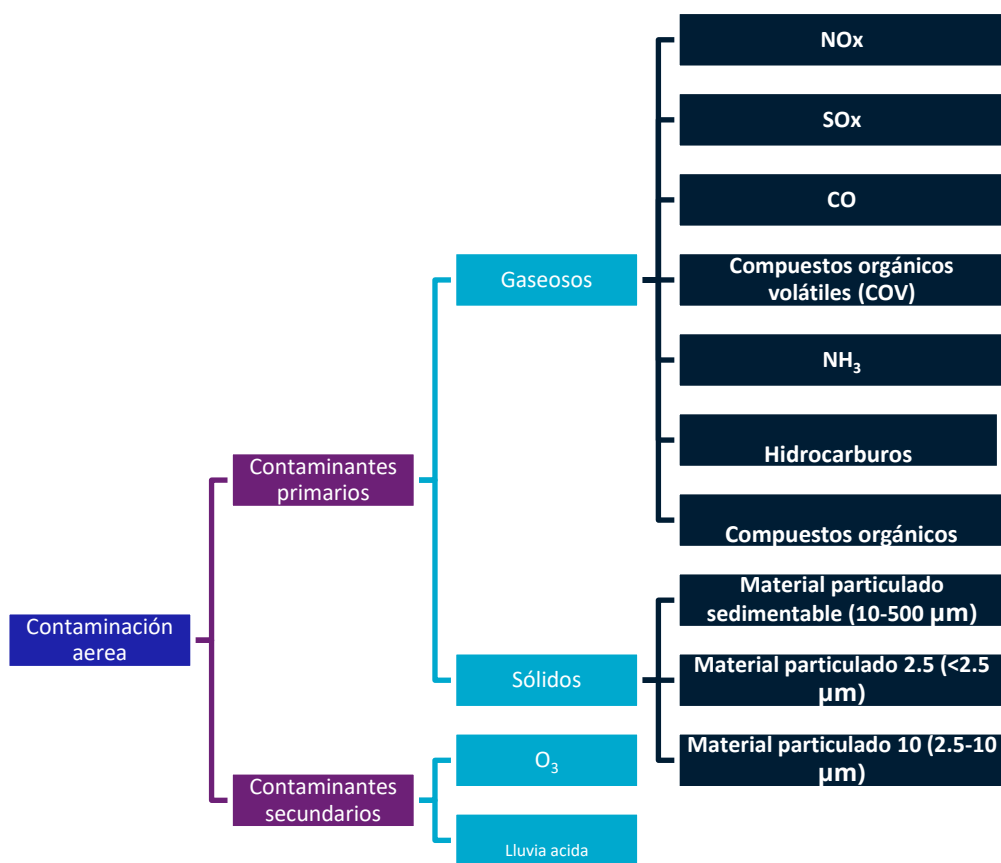


Figura 23 Contaminantes primarios y secundarios asociados a emisiones atmosféricas y quema de combustibles fósiles.

La información sobre monitoreo de emisiones atmosféricas se puede dividir en dos grandes categorías: emisiones atmosféricas desde fuentes puntuales y emisiones atmosféricas difusas. En cuanto a las emisiones puntuales, estas son reportadas al RETC por el Ministerio de Salud a través del Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas o Formulario 138 (F138) que se basa normativamente en la D.S. N° 138/2005 del MINSAL y por D.S. N° 13/2011 del Ministerio de Medio Ambiente, que establece un estándar de emisión para las plantas termoeléctricas.

Tabla 63 Emisiones de fuentes puntuales monitoreadas en las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso. Fuente: <http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/emisiones-al-aire>

Rubro	Contaminante	Región	Comuna
Producción química	Arsénico	Valparaíso	Quintero
Producción química	Benceno	Valparaíso	Quintero
Producción química	Compuestos Orgánicos Volátiles	Valparaíso	Quintero
Producción química	Dibenzoparadioxinas policloradas y furanos (PCDD/F)	Valparaíso	Quintero
Producción química	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Valparaíso	Quintero
Producción química	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Valparaíso	Quintero
Producción química	Material particulado	Valparaíso	Quintero
Producción química	Mercurio	Valparaíso	Quintero
Producción química	Monóxido de carbono	Valparaíso	Quintero
Producción química	MP10	Valparaíso	Quintero
Producción química	MP2,5	Valparaíso	Quintero
Producción química	Nitrógeno amoniacal (o NH <sub>3</sub> )	Valparaíso	Quintero

Rubro	Contaminante	Región	Comuna
Producción química	NOx	Valparaíso	Quintero
Producción química	Plomo	Valparaíso	Quintero
Producción química	Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano	Valparaíso	Quintero
Producción de metal	Arsénico	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	Benceno	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	Compuestos Orgánicos Volátiles	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	Dibenzoparadioxinas policloradas y furanos (PCDD/F)	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	Dióxido de azufre (SO2)	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	Dióxido de carbono (CO2)	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	Material particulado	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	Mercurio	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	Monóxido de carbono	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	MP10	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	MP2,5	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	Nitrógeno amoniacal (o NH3)	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	NOx	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	Plomo	Valparaíso	Puchuncaví
Producción de metal	Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano	Valparaíso	Puchuncaví

En cuanto a las emisiones atmosféricas difusas, estas son reportadas al RETC en base a diferentes métodos de estimación, aplicables a la combustión de leña residencial, incendios forestales, incendios urbanos y quemas agrícolas. Incluye también estimaciones de emisiones del transporte por carretera para 22 ciudades, con modelo de transporte y cinco sin modelo de transporte. A continuación, en la Tabla 64 se señalan las principales fuentes de emisiones atmosféricas difusas monitoreadas en las comunas de Quintero y Puchuncaví.

**Tabla 64 Fuentes difusas de Compuestos Orgánicos Volátiles identificadas en las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso. Fuente: Emisiones al aire, RETC [link detalle](#)**

Fuente	Contaminante	Región
Incendios urbanos	Compuestos Orgánicos Volátiles	Valparaíso
Combustión de leña residencial urbana	Compuestos Orgánicos Volátiles	Valparaíso
Incendios forestales	Compuestos Orgánicos Volátiles	Valparaíso
Combustión de leña residencial rural	Compuestos Orgánicos Volátiles	Valparaíso

La deposición atmosférica implica la entrada de polvo, metales, ácidos, nutrientes y contaminantes en los ecosistemas terrestres y acuáticos. Se ha prestado mucha atención a la deposición de compuestos de azufre y nitrógeno liberados a la atmósfera por la quema de combustibles fósiles y una amplia gama de otras actividades industriales. Estos compuestos pueden afectar la calidad de las aguas, ya que el nitrógeno es un nutriente importante y el azufre puede provocar condiciones ácidas. Para dilucidar el rol de contaminantes atmosféricos sobre la calidad de las aguas de la bahía se recomienda evaluar si las aguas de la Bahía de Quintero están cumpliendo con criterios de referencia nacionales e internacionales y definir si corresponde cargas máximas totales diarias (CTMD) para contaminantes priorizados en la Bahía de Quintero en función del tiempo de residencia de las aguas de la Bahía de Quintero y sensibilidad de comunidades marinas.

A continuación, se recopilamos los contaminantes más monitoreados en el aire bajo los distintos programas, principalmente los del monitoreo de fuentes fijas reportadas al RETC por el Ministerio de Salud a través del Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas o Formulario 138 (F138) que se sustenta normativamente en el D.S. N° 138/2005 del MINSAL y por el D.S. N° 13/2011 del Ministerio del Medio Ambiente el que establece una norma de emisión para centrales termoeléctricas. Adicionalmente, se recopilamos los reportes individuales de monitoreo ambiental reportados al SNIFA para las principales industrias con emisión atmosférica: ENAP, GNL, Codelco Ventanas y el Complejo Termoeléctrico Ventanas.

Tabla 65 Parametros atmosféricos monitoreados, las Resoluciones de Programas de Monitoreo (datos SNIFA, 2017-2020), Reportes de Monitoreo individuales y de unidades fiscalizables según SNIFA, Bases de datos de fuentes fijas (RETC), incluyendo el DS 13/2011 para termoeléctricas y el estudio del CEA (2013).

Medio	Grupo	Contaminante	RETC Emisiones	Termoeléctricas (13/2011)	Emisiones	RPM (ENAP, GNL, CODELCO, CEA 2013 (MPS)
Gases	Compuestos orgánicos	Benceno				
Gases	Compuestos orgánicos	Compuestos Orgánicos Volátiles				
Gases	Compuestos orgánicos	Dibenzoparadioxinas policloradas y furanos (PCDD/F)				
Gases	Compuestos orgánicos	Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano				
Gases	Gases	Monóxido de carbono				
Gases	Gases	Dióxido de carbono (CO2)				
Gases	Gases	Dióxido de azufre (SO2)				
Gases	Gases	Oxidos de Nitrogeno				
Gases	Gases	Oxidos de azufre				
Gases	Gases	Oxidos de nitrogeno				
Gases	Gases	Ozono				
Gases	Hidrocarburos	Hidrocarburos				
Gases	Hidrocarburos	Hidrocarburos Totales (HCT) e Hidrocarburos No-Metánicos (HCNM)				
MPS	Metales	Aluminio				
MPS	Metales	Arsénico				
MPS	Metales	Azufre				
MPS	Metales	Berilio				
MPS	Metales	Boro				
MPS	Metales	Cadmio				
MPS	Metales	Cobalto				
MPS	Metales	Cobre				
MPS	Metales	Cromo				
MPS	Metales	Hierro				
MPS	Metales	Manganeso				
MPS	Metales	Molibdeno				
MPS	Metales	Mercurio				
MPS	Metales	Metales Pesados				
MPS	Metales	Niquel				
MPS	Metales	Plata				
MPS	Metales	Plomo				
MPS	Metales	Selenio				
MPS	Metales	Vanadio				
MPS	Metales	Zinc				
MP	Particulas	Cenizas				
MP	Particulas	Material particulado				
MP	Particulas	MP10				
MP	Particulas	MP2.5				

### **7.1.5.2.7 Descargas desde embarcaciones menores y mayores**

Se desconoce la existencia de estudios previos de caracterización de descargas de desechos desde embarcaciones, es posible encontrar material de dragado, aguas de sentina y/o lastre, desechos derivados de las faenas de pesca (restos de pescado, comida, envases, plásticos, materiales de pesca, y residuos peligrosos como lubricantes, entre otros)(WCS 2019).

Chile se encuentra suscrito al Convenio MARPOL “Convenio internacional para prevenir la contaminación por buques”, la cual establece “cómo prevenir la contaminación por basura de los buques”, no obstante, este convenio solo aplica a embarcaciones de eslora mayor a 12 metros y/o arqueo bruto mayor a 400 toneladas, dejando un número significativo de embarcaciones menores, principalmente asociadas a la pesca artesanal, fuera del ámbito de aplicación de esta convención, las cuales no tienen obligación de cumplir las condiciones de manejo y la gestión de residuos establecidas en el convenio. En este sentido la disposición final de los residuos queda sujeto al criterio de cada usuario y el acceso a instalaciones en tierra para la recepción y manejo de estos residuos.

### **7.1.5.2.8 Acumulación y/o liberación de contaminantes desde sedimentos marinos**

Los sedimentos acumulan contaminantes y sirven como fuente difusa de contaminación de los ecosistemas (patógenos, nutrientes, metales y sustancias químicas orgánicas), no obstante, tienden a ser ignorados cuando el principal problema de la contaminación son las descargas industriales. Debido a que el sedimento superficial puede adsorber / desorber o precipitar / disolver nutrientes y elementos metálicos, los efectos de los sedimentos en el transporte de contaminantes no pueden ignorarse, ya que son responsables de la contaminación secundaria de la bahía (Yuan et al. 2019). Como resultado, importantes esfuerzos se han realizado para definir estándares mínimos de calidad de sedimentos (Burton Jr 2002, Bakke et al. 2010, Simpson & Batley 2016).

En áreas donde el esfuerzo cortante del lecho y el nivel de turbulencia son bajos da como resultado el almacenamiento temporal de contaminantes en el sedimento, lo que puede afectar a los organismos acuáticos que habitan en el fondo y otros organismos de la cadena alimentaria (Rhoads & Cahill, 1999). En la columna de agua la deposición de contaminantes depende de floculación, adsorción en partículas, y precipitación química de sustancias (P. ej. óxidos de Fe y Mn).

### **7.1.5.2.9 Otras formas de emisión (térmica, lumínica, radiación, acústica)**

Mención aparte merece las fuentes de contaminación asociada a fuentes de energía tales como ruido submarino, calor, lumínica, electricidad, vibraciones, y radiación.

Ruido submarino y perturbación de la superficie marina: En el agua, los sonidos se propagan con mayor rapidez y con menor pérdida de energía que en el aire, alcanzando velocidades hasta 4.5 veces más rápidas en comparación con el aire. Los peces e invertebrados producen sonidos durante el comportamiento reproductivo, la defensa territorial y la evitación de depredadores. Muchas especies, como mamíferos marinos, utilizan el sonido para comunicarse y navegar, evitar a los depredadores y buscar comida. La alteración del paisaje acústico de la bahía puede afectar estos procesos, como se ha demostrado en moluscos (Lillis et al. 2013, Simpson et al. 2016), peces y mamíferos marinos (Slabbekoorn et al. 2018), entre otros.

La mayor parte del ruido antropogénico acuático se crea de manera incidental, por ejemplo, asociado a actividades de transporte, dragado y construcción, exploración y explotación de recursos minerales, uso de sonar, entre otros, o pueden ser generados a propósito, como en el caso del uso de dispositivos acústicos para ahuyentar a los mamíferos marinos.

En la Bahía de Quintero la mayor fuente de ruido antropogénico esta probablemente asociada a tráfico marítimo dentro de la bahía. Como se señala anteriormente (sección Emisarios y descarga de RILes (emisiones puntuales), pp. 170) sobre 850 naves de tamaño mayor recalán anualmente en Bahía de Quintero (P. ej. portacontenedores, graneleros, petroleros, etc.). A estas embarcaciones se suman alrededor de 400 embarcaciones pesqueras artesanales y alrededor de 70 embarcaciones de tipo recreativo que circulan rutinariamente por la bahía.

Si bien no existen regulaciones a nivel nacional que aborden los impactos del ruido submarino, existen estudios puntuales en la materia (Colpaert et al. 2016, Yori 2017, Yori Fernandez 2018), una guía técnica para la evaluación de impacto producido por ruido subacuático (Buchan et al. 2018) desarrollada a través de una consultoría en el ministerio del Medio Ambiente (MMA), además de disposiciones generales pertinentes en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982 (Convención LOS) que tratan de la protección y preservación del medio marino (Dottinga & Elferink 2000).

También, vale la pena destacar la reciente creación (2019) de un comité operativo<sup>31</sup>, encabezado por el ministerio de Medio Ambiente, para el fortalecimiento de la gestión del control de ruido submarino y la prevención de sus impactos en la biodiversidad. Se espera genere insumos para elaboración e implementación de políticas, planes o proyectos en esta materia.

**Contaminación térmica:** La mayor fuente de contaminación térmica proviene de la descarga de agua de enfriamiento desde centrales termoeléctricas (AES Gener S.A.) y plantas regasificadoras de gas licuado natural (GNL Quintero S.A.). En total alrededor de 3 millones de metros cúbicos de agua con temperatura modificada ingresan diariamente a la Bahía de Quintero (detalles en Tabla 67), que representan entre un estimado de un 11 a un 13% del volumen de recambio de aguas de la bahía por mareas y corrientes costeras. Para detalles de los parámetros hidrológicos, oceanográficos y geográficos de la Bahía de Quintero ver Tabla 66.

**Contaminación lumínica:** No se tiene antecedentes respecto a fuentes concretas de contaminación lumínica en la Bahía de Quintero, no obstante, existe extensa evidencia de cómo la vida marina se ve afectada por la luz artificial de ciudades costeras y operaciones nocturnas de puertos, entre otras actividades (Davies et al. 2015, Navarro-Barranco & Hughes 2015, [CSL STYLE ERROR: reference with no printed form.]). El efecto del comportamiento alterado puede ser perjudicial para el ecosistema, ya que las criaturas utilizan la luz para regular cuándo y dónde tienen lugar los procesos biológicos (sincronización del desove, migración vertical del plancton, patrones de alimentación e interacciones visuales presa / depredador, entre otros).

Desde 1998 Chile cuenta con una Norma de Emisión para la Regulación de la Contaminación Lumínica<sup>32</sup>, actualizada en 2012 mediante D.S. N°43/2012 MMA (vigente desde 2014), que busca evitar la emisión de luz hacia el cielo que obstaculiza la observación astronómica (aplicable a las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo), no obstante, se desconoce la existencia de estudios y/o normativas similares aplicables al medio marino. El tema de la contaminación lumínica puede volverse más relevante especialmente considerando posibles ampliaciones de puertos (P. ej. OXIQUM) o el desarrollo de nuevas instalaciones portuarias.

### **7.1.5.3 Sumideros de contaminantes de la Bahía de Quintero**

#### **7.1.5.3.1 Intercambio de aguas de la bahía**

La acumulación de contaminantes en la bahía y susceptibilidad de contaminación depende significativamente del intercambio de aguas costeras con aguas oceánicas, un proceso determinado en mayor medida por corrientes de marea, y del potencial de dilución de contaminantes al interior de la bahía. El potencial de dilución de las aguas de la bahía depende a su vez del volumen de agua de la bahía y de las condiciones de estratificación y mezcla de la columna de agua. Estos aspectos se resumen en la Figura 24 a continuación.

Los parámetros estructurales se pueden utilizar para determinar la susceptibilidad de un sistema costero a la contaminación (por ejemplo, enriquecimiento de nutrientes). Bricker et al. (2003) han desarrollado un índice de susceptibilidad basado en la dilución y el potencial de exportación del sistema costero. Como se muestra en la Figura 2, el potencial de dilución se basa en el volumen y las características de estratificación de la masa de agua, mientras que el potencial de exportación se determina por la amplitud de la marea y, si corresponde, la relación entre de entrada de agua dulce y el volumen de agua de la bahía o estuario.

---

<sup>31</sup> <https://ruido.mma.gob.cl/submarino/>

<sup>32</sup> <https://luminica.mma.gob.cl/>

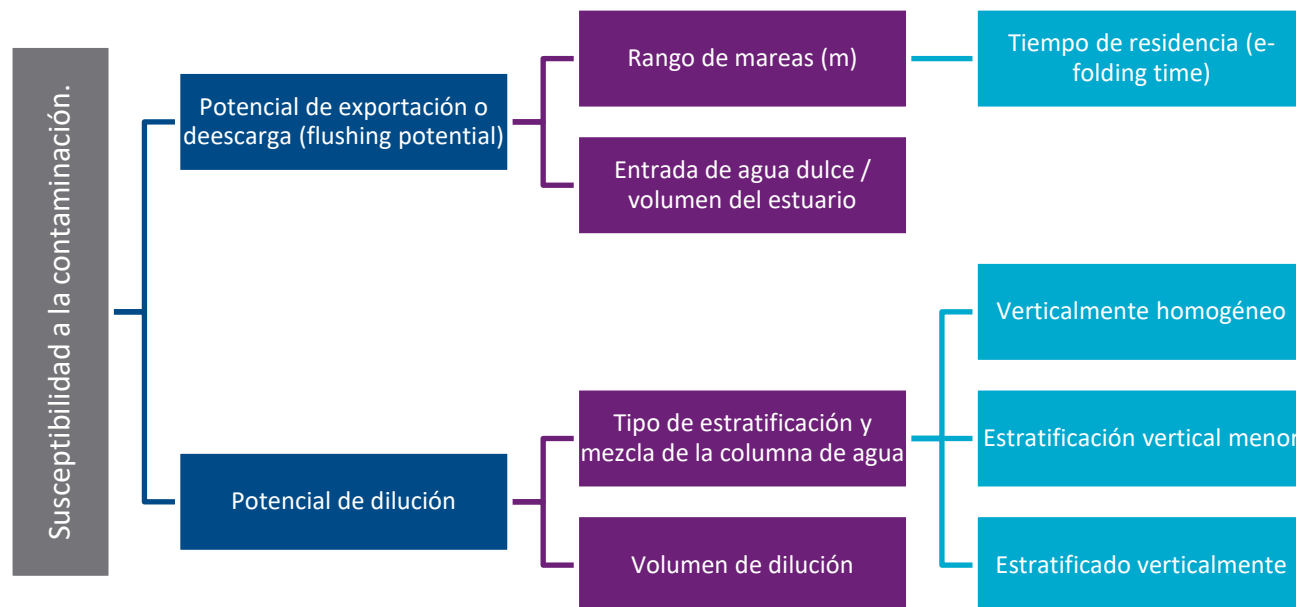


Figura 24 Susceptibilidad de contaminación de estuarios y bahías y factores de incidencia. Modificado de Bricker et al. (2003) y Brylinsky (2006).

Los patrones de circulación de las aguas de la Bahía de Quintero ha sido estudiada por Con Potencial Consultores (2020), Bakovic & Balic ingenieros consultores (1984), la Universidad de Valparaíso (2005), CEA (2013), entre otros. El régimen mareal de la bahía es de tipo mixto, es decir, la altura de las pleamares (y bajamares) registradas diariamente son distintas entre sí, con un predominio de la componente semidiurna (período 12,42 horas). El rango medio de las mareas de sicigia al interior de la bahía es de 1,88 m (SHOA 2018).

En la Tabla 66 a continuación se resumen los parámetros hidrológicos, oceanográficos y geográficos más relevantes de la Bahía de Quintero. La tabla se elaboró en base a estudios anteriores y estimaciones propias del equipo de CSIRO Chile.

Tabla 66. Parámetros hidrológicos, oceanográficos y geográficos de la Bahía de Quintero.

Parámetro	Valor	Referencia
Área drenaje Estero de Puchuncaví (Campiche)	110,3 km <sup>2</sup>	DGA (2004)
Área de la bahía	21,4 km <sup>2</sup>	Propia de este estudio a partir de Capitania de Puerto de Quintero (2019)
Perímetro de la bahía	21,5 km	Propia de este estudio a partir de Capitania de Puerto de Quintero (2019)
Longitud boca de la bahía <sup>1</sup>	6,01 km (desde Quintero a Punta Ventanilla)	Propia de este estudio a partir de Capitania de Puerto de Quintero (2019)
Volumen de la bahía	271,720 millones m <sup>3</sup>	Universidad de Valparaíso (2005)
Régimen mareal	Semidiurna mixta	
Rango medio de las mareas de sicigia	1,88 m	SHOA (2018)
Tiempo de residencia	4-5 días	(Bakovic & Balic ingenieros consultores 1984)
Caudal de renovación de aguas por efecto de la marea <sup>2</sup>	20.902.400 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	Universidad de Valparaíso (2005)

Caudal de renovación de aguas por efecto de las corrientes costeras	2.903.040 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	Universidad de Valparaíso (2005)
Caudal de agua dulce a la bahía <sup>3</sup>	Invierno: ~ 12.412,8 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> Verano: 1.123,2 m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	Con Potencial Consultores (2020)

<sup>1</sup> Línea imaginaria que une punta Liles, con el punto geográfico ubicado en latitud 32°44'54" S y longitud 071°31'56" W y desde allí con Punta Fraile.

<sup>2</sup> Calculado en base al prisma mareal el cual fue estimado asumiendo una área de la bahía de 13,064 km<sup>2</sup> y una diferencia mínima de altura entre una marea alta y una baja de 0,7 m y máxima de 2,5 m.

<sup>3</sup> Los caudales mensuales promedio fluctúan entre 0,011 y 0,016 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en verano (enero - marzo) y entre 0,112 y 0,180 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en invierno (junio-agosto).

De acuerdo a Universidad de Valparaíso (2005) y basado en estimaciones de prisma mareal y corrientes lagrangianas, la capacidad de dilución de la Bahía de Quintero considerando el caudal de renovación de aguas por efecto de la marea (20.902.400 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>) y corrientes costeras (2.903.040 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>), junto con el volumen de agua de la bahía (271,720 millones m<sup>3</sup>) es de 23.805.440 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>. Dicho de otra manera, se estima que un 8,76% de las aguas de la bahía es renovada diariamente producto de mareas y corrientes costeras. Asumiendo que las aguas de la bahía se encuentran bien mezcladas internamente, y que la mezcla entre las aguas que ingresan y salen de la bahía por efecto mareal es insignificante, se puede concluir que la Bahía de Quintero posee una buena capacidad de dilución de contaminantes relativo a otros cuerpos de agua costeros similares (bahías, ensenadas, fiordos, etc.). De acuerdo a estimaciones de Bakovic & Balic ingenieros consultores (1984) el tiempo de residencia de las aguas de la bahía varía entre 4 y 5 días. Se desconoce si existen estimaciones de las variaciones espaciales del tiempo de residencia (horas) de las aguas en la bahía (y por tanto contaminantes), no obstante, considerando el flujo de dos celdas dominante en la bahía es de esperar un mayor tiempo de residencia en el área norte y sur de la bahía, relativo al centro de esta.

La captación diaria de agua de mar con fines industriales en Bahía de Quintero (Tabla 67 a continuación), luego retornada, es cercana al 1% del volumen de la bahía, y de un poco más de un 11,1 % del volumen de recambio diario de agua por efecto de las mareas y corrientes litorales.

**Tabla 67 Volumen de aducción de agua de mar para procesos industriales en la Bahía de Quintero. Fuente: DIRINMAR (2019) y referencias en el mismo.**

Empresa	Valor	Unidad	Uso de aguas de aducción
Central Termoeléctrica Ventanas Unidad 1	294.336	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	Sistema de enfriamiento húmedo abierto (paso único), donde el agua fría circula a un condensador
Central Termoeléctrica Ventanas Unidad 2	457.776	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	
Central Termoeléctrica Ventanas Unidad 3	1.032.000	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	
Central Termoeléctrica Ventanas Unidad 4	900.000 (máx.: 1.032.000)	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	
Terminal marítimo de embarque, descarga y almacenamiento de gas licuado de petróleo (GLP) - GASMAR S.A.	21.120	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	Presurizar el gas de propano líquido (LPG) y para condensar el vapor LPG y almacenarlo.
GNL Quintero	240.000	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	Regasificación de gas natural licuado y para el sistema contra incendio.
<b>TOTAL</b>	<b>2.650.896</b>	<b>m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup></b>	

De acuerdo a Con Potencial Consultores (2020), en verano se presentan las condiciones menos propicias de autolimpieza en la bahía debido a la existencia casi única del oleaje de fondo reinante (oleaje presente la mayor parte del tiempo, mayormente observado en verano), en comparación con invierno donde se adiciona el llamado oleaje dominante (oleaje extremo, o de mayor intensidad), el cual se presenta en condiciones de mal tiempo (periodos de marejadas), aumentando la capacidad de renovación de aguas de la bahía.

### **7.1.5.3.2 Enterramiento en sedimentos locales**

Los sedimentos marinos son el sitio primario de acumulación y transformación de material orgánico y contaminantes en ecosistemas costeros, no obstante, la magnitud de las tasas de deposición y permanencia y/o secuestro permanente de materia (incluyendo contaminantes) depende en gran medida de los patrones oceanográficos del área. El material fino es característico de zonas de depositación, con baja energía de flujo producto de una menor influencia de corrientes mareales y el efecto del oleaje. En este contexto la calidad de los sedimentos del lecho marino es un indicador centinela de la salud de los ecosistemas marinos costeros.

Aunque no existe un estudio completo y detallado de las facies sedimentarias de la Bahía de Quintero y su variabilidad temporal, varios estudios y programas de monitoreo ambiental han recolectado datos de granulometría de sedimentos y hay algunos análisis esporádicos de la presencia de contaminantes en los sedimentos y organismos bentónicos (Cañete et al. 2000, CEA 2013, 2020, Encina et al. 2014, Parra et al. 2015, Universidad Católica de Temuco 2015, 2016).

La descarga de aguas residuales en el área sur exacerba probablemente la persistencia de contaminantes en los sedimentos finos, ya que el aumento de materia orgánica, la disminución de oxígeno en los sedimentos conduce a una disminución de la remediación microbiana de contaminantes (P. ej. de hidrocarburos aromáticos policíclicos). Cualquier desperdicio de la planta de procesamiento pesquero que se descargue en la bahía es de esperar cause aumentos locales en la demanda biológica de oxígeno, con impactos similares en la especiación de metales y la degradación de hidrocarburos.

Encina et al. (2014) estimaron tasas de sedimentación ( $\text{cm año}^{-1}$ ) en zonas de acumulación y depositación del material fino ubicadas en el área más profunda de la Bahía de Quintero ( $> 70 \text{ m}$ ). Asumiendo un suministro constante de  $^{210}\text{Pb}$  (utilizado para datación de sedimentos), las tasas de sedimentación variaron entre  $0,15 \pm 0,04 \text{ cm año}^{-1}$  (Estación A) y  $0,74 \pm 0,08 \text{ cm año}^{-1}$  (Estación B). Es importante en este contexto, y para el futuro diseño de un programa de monitoreo de calidad ambiental de la Bahía de Quintero, distinguir aquellas zonas de acumulación neta de contaminantes de aquellas zonas sujetas a procesos continuos de erosión, transporte, resuspensión y reposición de sedimentos.

### **7.1.5.4 Modelo conceptual de emisiones**

A partir de la información recopilada en este estudio, incluyendo las contribuciones de expertos nacionales que participaron en el primer taller técnico y encuestas asociadas (detalles en la sección 7.1.6.1, página 186), se elaboró un modelo conceptual de fuentes y sumideros de contaminantes a la Bahía de Quintero. Los diferentes tipos de contaminantes fueron clasificados de acuerdo con su origen (empresa) y características específicas (emisión puntual versus difusa, directas e indirectas, aéreas, fluviales, antropogénicas, acústicas, subterráneas). El resultado final se entrega en la Figura 25.



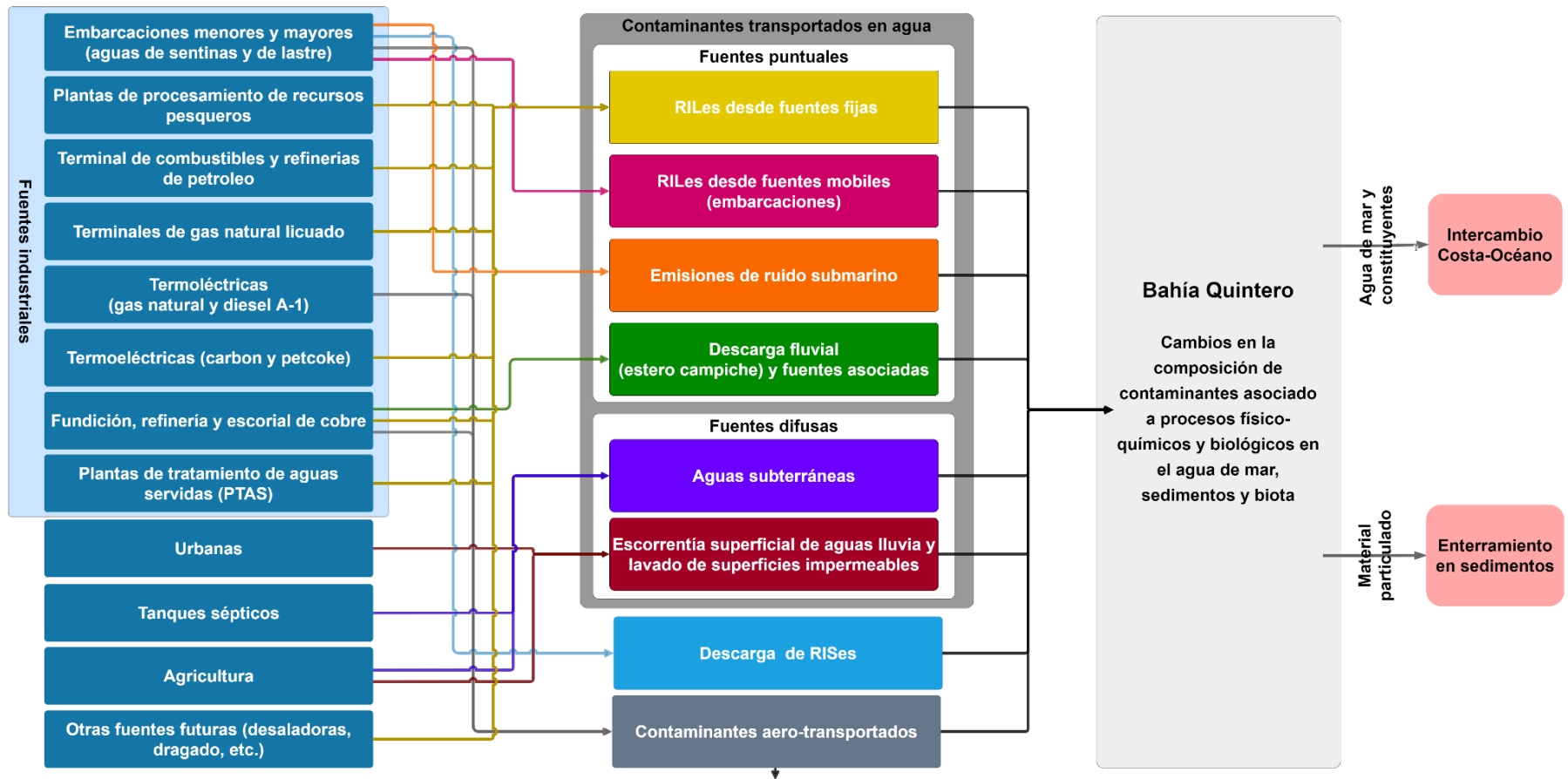


Figura 25 Modelo conceptual de fuentes, emisiones, y su clasificación (puntuales y difusas, directas e indirectas, aéreas, fluviales, antropogénicas, acústicas, subterráneas) a la Bahía de Quintero. Fuente: elaboración propia.

## 7.1.6 Talleres y reuniones

### 7.1.6.1 Taller de trabajo N°1 de validación de resultados

El taller técnico N°1 del proyecto se realizó el miércoles 16 de septiembre de 2020, entre 4:00 PM-5:30 PM, mediante video conferencia a través de la plataforma Webex. La convocatoria fue realizada en conjunto por el Ministerio de Medio Ambiente y CSIRO Chile Research.

De análisis de las encuestas a expertos (vía Zeeting y Google Form) se identificaron las siguientes emisiones, elementos y compuestos a monitorear en adición a los ya considerados en los Planes de Seguimiento Ambiental (PVA) del complejo industrial de la Bahía de Quintero (señalados en el Anexo E de este documento):

- 1) Centrales termoeléctricas: Las más importantes son SO<sub>2</sub>, material particulado MP<sub>10</sub> y MP<sub>2.5</sub>, mercurio, cadmio y arsénico. Además, se mencionó carbón, cenizas, vanadio cuando se usa petcoke, residuos sólidos de acopios de cancha de petcoke, y molibdeno. En emisiones aéreas PCDD/F, mercurio y compuestos orgánicos volátiles (COVs).
- 2) Fundiciones y refineries de cobre: PCDD/F (en emisiones aéreas)
- 3) Plantas de tratamiento de aguas servidas: patógenos, derivados farmacéuticos, y cobre, mercurio, plomo, cadmio, PCDD/F
- 4) Plantas de procesamiento de productos pesqueros: mercurio, cadmio y materia orgánica.
- 5) Terminales de recepción, descarga, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado (GNL): mercurio, temperatura, azufre y vanadio (disuelto y particulado), toda la gama de Hidrocarburos, no sólo los HCT y HCV.
- 6) Terminales marítimos de transferencia de combustibles livianos principalmente, petróleo diésel y aceites lubricantes: mercurio, vanadio, plomo y toda la gama de Hidrocarburos, no sólo los HCT y HCV.
- 7) Terminales de recepción, descarga, almacenamiento y regasificación de combustibles tales como gasolina, diésel, y kerosene: Toda la gama de Hidrocarburos, no sólo los HCT y HCV, además de aguas oleosas de embarcaciones.
- 8) Terminales marítimos de carga/descarga y almacenamiento de graneles sólidos: mercurio, azufre, arsénico, plomo, hidrocarburos incluyendo HAPs, carbón, aguas de sentina y de lastre.
- 9) Terminales de transferencia de graneles líquidos tipo OXIQUM S.A.: Compuestos Orgánicos Volátiles.

El acta que contiene el listado y registros de asistencia se adjunta en el Anexo E de este informe.

### 7.1.6.2 Presentación al Consejo para la Restauración Ambiental y Social (CRAS) de Quintero y Puchuncaví

El jueves 19 de noviembre de 2020 se realizó a petición de la contraparte técnica una presentación del proyecto y sus avances ante el Consejo de Restauración Ambiental y Social (CRAS) de Quintero y Puchuncaví. La presentación de Power Point realizada se adjunta en formato PDF bajo el nombre "SP\_PPT\_OC608897150SE20\_CRAS\_20201119.pdf".

## 7.2 Objetivo 2

### 7.2.1 Calidad y disponibilidad de datos de monitoreo ambiental en la Bahía de Quintero

#### 7.2.1.1 Análisis exploratorio de datos

En la Tabla 68 a continuación se entrega una visión general de los datos de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero considerados en este estudio. Se consideraron resultados de los muestreos de agua de mar, sedimentos y metales en biota marina. El volumen de datos de monitoreo de agua de mar es significativamente mayor, comparado con sedimentos y biota marina (concentraciones de metales). En los tres conjuntos de datos se observa porcentajes significativos de observaciones

incompletas, ya sea porque no especifican la unidad de medida (P. ej. concentración) o porque el valor medido no es reportado a pesar de existir la entrada correspondiente en la base de datos.

**Tabla 68 Resumen de datos de monitoreo ambiental disponibles para la Bahía de Quintero (agua de mar, sedimentos y biota). Fuente de los datos: Generación propia a partir de datos de PVA, POAL, SEA y CEA (2020).**

	Agua de mar	Sedimentos marinos	Metales pesados en biota marina	RILes
<b>Observaciones</b>	104440	15328	693	41906
<b>Observaciones que no especifican unidades</b>	0,6% (n = 654)	6,4% (n = 981)	6,5% (n = 45)	17,3% (n = 7250)
<b>Observaciones que no especifican valor del parámetro</b>	19,7% (n = 20613)	24,9% (n = 3816)	11,0% (n = 76)	0% (n = 0)
<b>Número de parámetros</b>	127 (138 diferenciadas por unidad de medida)	78 (123 diferenciadas por unidad de medida)	25 (35 diferenciadas por unidad de medida)	42 (42 diferenciadas por unidad de medida)
<b>Parametros sin observaciones en la base de datos</b>	7,0% (n = 9 de 138)	20,0% (n = 24 de 123)	0% (0 de 39)	0% (0 de 39)
<b>Parametros con insuficientes observaciones (&lt;50) en la base de datos</b>	44 de 138 (32%) variables-unidad	75 de 123 (61,0%) variables-unidad	28 de 35 (80,5 %) variables-unidad	31 de 39 (80,0 %) variables-unidad

Estadísticas descriptivas de los datos de monitoreo (variables ambientales y contaminantes) de la Bahía de Quintero se adjuntan en el Anexo C.1 de este informe.

Se observa la presencia de un alto número de valores atípicos<sup>33</sup> en las bases de datos de monitoreo de contaminantes (en agua de mar y sedimentos), indicativo de la posible presencia de valores erróneos. En este contexto, es importante destacar la necesidad de definir e implementar, cuando sea posible, rangos de validación (absolutos y recomendados)<sup>34</sup> para el registro de contaminantes y variables fisicoquímicas medidas en la Bahía de Quintero, a fin de mejorar la captura de información que es declarada por los titulares y reducir las inconsistencias. Esto en paralelo a los esfuerzos de estandarización de métodos analíticos (in-situ y en laboratorio) y de colección/preservación de muestras ambientales (agua de mar y sedimento). Para más detalles sobre la presencia de valores atípicos en los datos de monitoreo (sustancias y variables fisicoquímicas) ver Anexo C.2 de este estudio.

Respecto al balance en el número de observaciones por parámetro monitoreado en la Bahía de Quintero estos varían para agua de mar entre 3 (P. ej. flúor, litio, potasio, sodio) a sobre 5000 observaciones en el caso de salinidad, pH, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno y temperatura. En el caso de los análisis de contaminantes en sedimentos marinos, el número de observaciones por parámetro varían entre menos de 10 (P. ej. cromo, zinc nitrógeno, hidrocarburos orgánicos totales) hasta un máximo de 896 observaciones por parámetro (materia orgánica).

De manera arbitraria, se consideró un parámetro monitoreado como insuficientemente descrito para los propósitos de priorización de contaminantes, si posee menos de 50 observaciones en el rango de tiempo analizado (1975-2020). Considerando este criterio, entre un 19.5% (biota, 7 de 35) y un 68% (agua de mar, 94 de 138) de los parámetros ambientales

<sup>33</sup> Valores atípicos: definidos como aquellos valores que se encuentran 1,5 veces fuera del rango intercuartil (IQR) por encima del cuartil superior (Q1 - 1,5 \* IQR) y por debajo del cuartil inferior (Q3 + 1,5 \* IQR).

<sup>34</sup> Rango absoluto(error): rango de valores factibles en los que se puede mover una variable. Todo valor fuera de este rango se considera un error, por tanto no puede ser declarado.

Rango recomendado: rango de valores en los que usualmente se mueve una variable. Un valor fuera de este rango indica que es un comportamiento anómalo y sería apropiado revisarlo, pero no se considera un error.

monitoreados (diferenciados por unidad de medida) se consideran suficientemente descritos para el ejercicio la priorización de contaminantes (para otras matrices ver Tabla 68). Los parámetros con mayor número de observaciones en agua de mar incluyen variables fisicoquímicas como la temperatura, pH, O<sub>2</sub>, salinidad y coliformes fecales, además de sustancias contaminantes tales como aceites y grasas, hidrocarburos totales, hidrocarburos aromáticos totales, cobre total, entre otros. En sedimentos los parámetros con observaciones más abundantes incluyen: materia orgánica, sulfuros, cobre total, plomo total, cadmio total, mercurio total y fósforo total. Las Figura 26 y Figura 27 muestran la disponibilidad de datos por parámetro para las matrices de agua de mar y sedimento, respectivamente.

Agua de mar

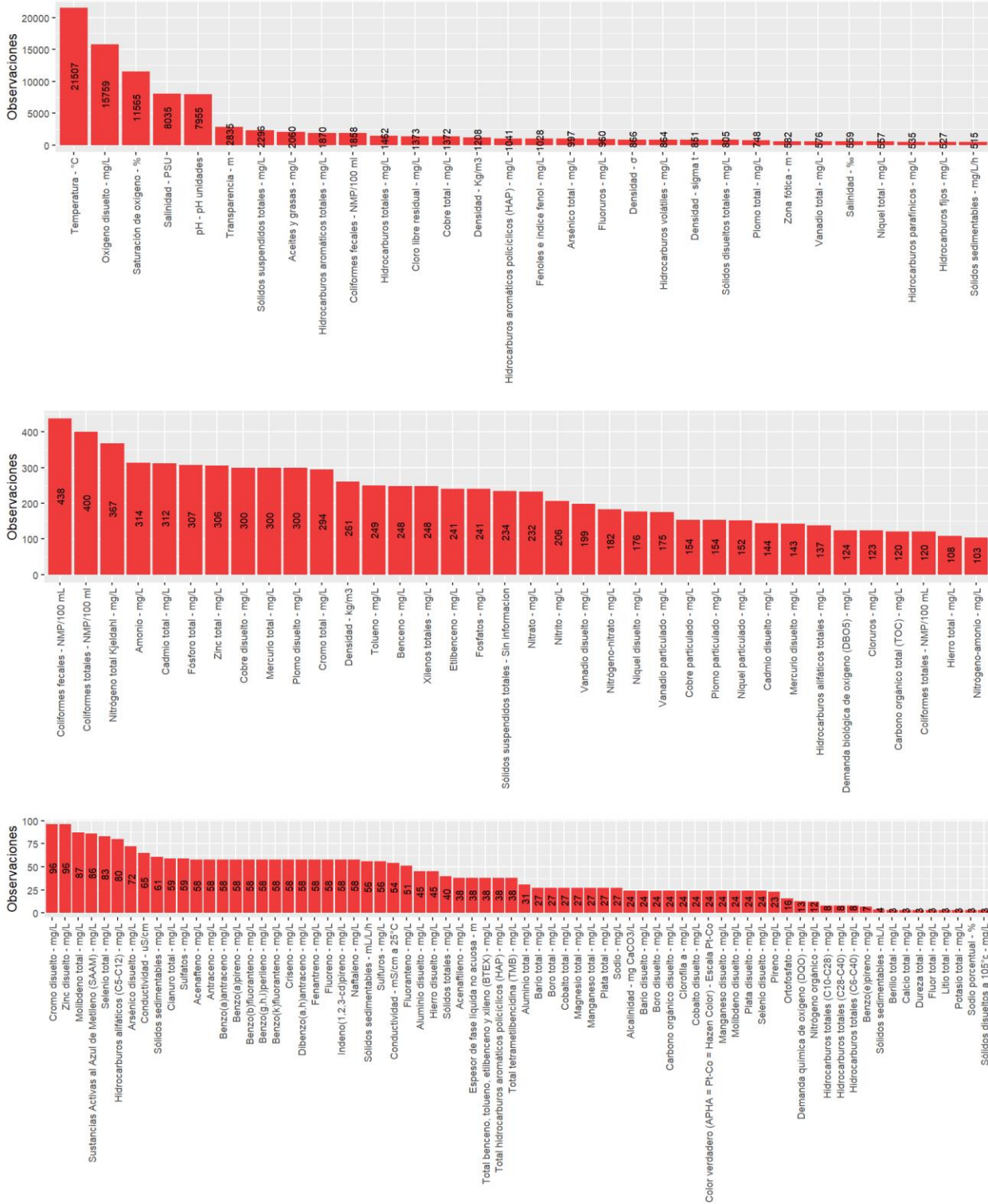
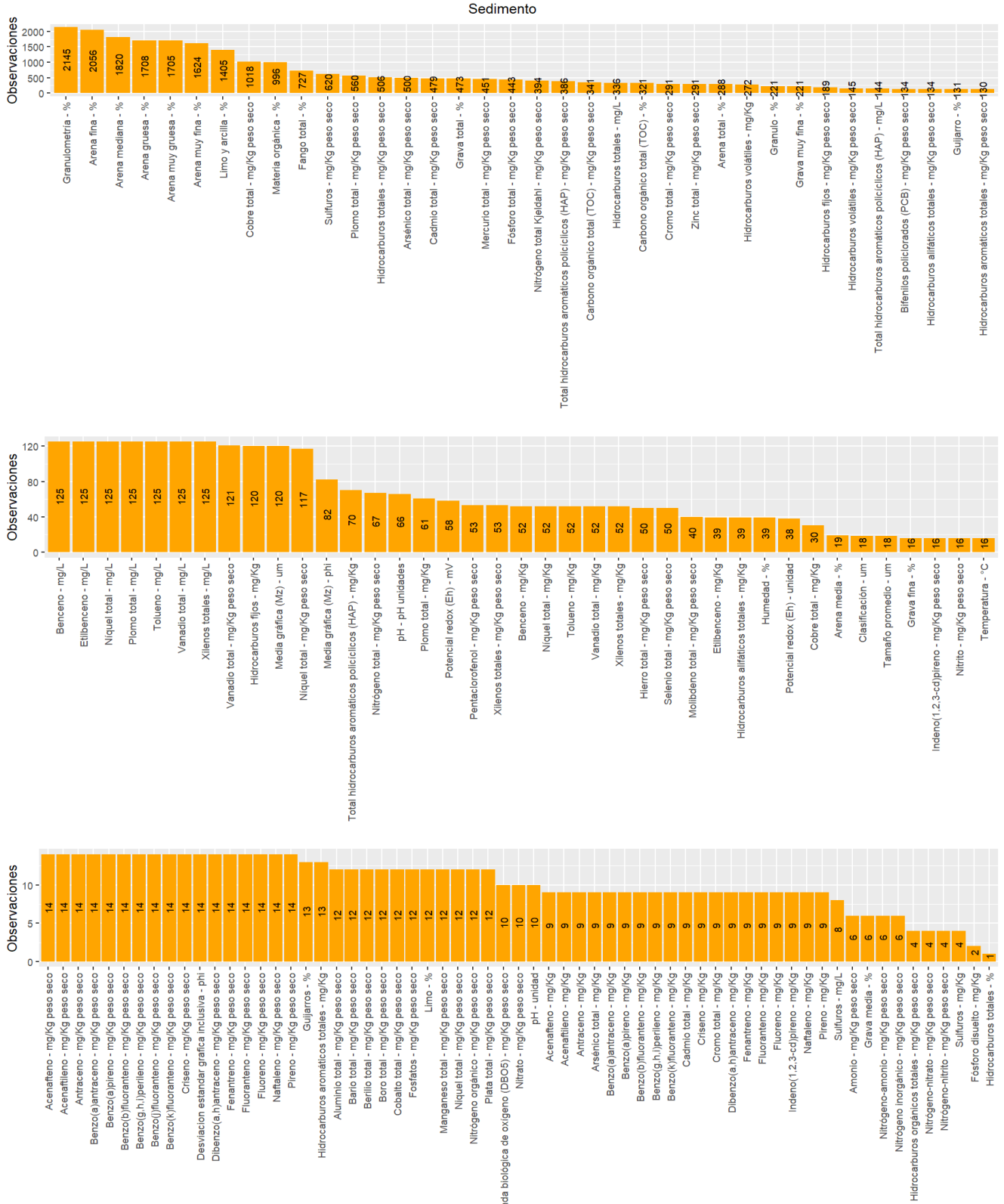
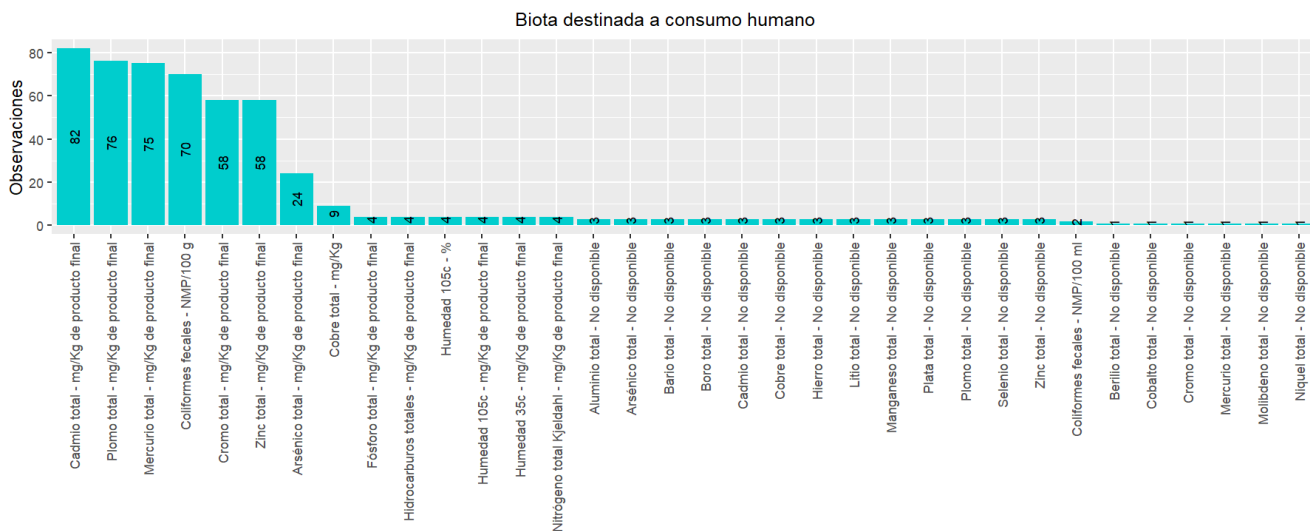


Figura 26 Número de observaciones históricas de contaminantes medidos en muestras de agua de mar en la Bahía de Quintero. Fuente: datos SEA (DIA-EIA), PVA, y POAL compilada por CEA (2020).



**Figura 27** Número de observaciones históricas de contaminantes medidos en muestras de sedimento de la Bahía de Quintero. Fuente: datos SEA (DIA-EIA), PVA, y POAL compilada por CEA (2020).



**Figura 28** Número de observaciones históricas de contaminantes medidos en biota destinada a consumo humano proveniente de la Bahía de Quintero. Fuente: datos SEA (DIA-EIA), PVA, y POAL compilada por CEA (2020).

Es importante destacar que, la existencia de datos desbalanceados<sup>35</sup>, obedece a la existencia de instrumentos de gestión ambiental distintos e independientes, incluyendo el Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) y las Resoluciones de Monitoreo (RPM-PVA). La existencia de datos desbalanceados afecta la idoneidad de la estructura de datos para análisis estadísticos posteriores, por ejemplo, la aplicación de pruebas paramétricas que requieren el cumplimiento de supuestos sobre la distribución de probabilidad de las observaciones. También importante es el efecto sobre el entendimiento de la variabilidad espacio-temporal de los parámetros medidos y su relación con covariantes tales como la estacionalidad, y los patrones de circulación / ventilación de la bahía. Para el diseño del futuro programa de monitoreo de contaminantes de la Bahía de Quintero se considerarán criterios para fomentar el muestreo balanceado de sustancias y variables fisicoquímicas priorizadas en la bahía, por ejemplo, a través de técnicas de muestreo de multifrecuencia (P. ej. alta y baja frecuencia).

Respecto a la disponibilidad de datos asociados a sitios de referencia o de línea base, y en concordancia con CEA (2020) cabe señalar que no existen registros significativos de concentraciones de contaminantes, ni datos sobre el estado de las comunidades biológicas (pelágicas y bentónicas) previo al inicio de actividades productivas industriales en la Bahía de Quintero (en 1958 con instalación de Chilectra y en 1964 con la puesta en marcha de la Fundición ENAMI Ventanas). Esta situación limita la potencial priorización de contaminantes basada en la presencia, frecuencia y magnitud de excedencia (exposición) de concentraciones naturales en la zona de estudio.

Respecto a la disponibilidad de datos para evaluar los efectos de la deposición atmosférica de contaminantes en la química y ecología de las comunidades marinas de Bahía de Quintero, no se cuenta con datos de deposición directa (seca o húmeda) o escorrentía superficial (P. ej. asociada al Estero Campiche) de contaminantes atmosféricos, particularmente aquellos normados y/o monitoreados en la Bahía de Quintero (principalmente asociados a Codelco Ventanas y termoelectricas): Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), Monóxido de Carbono (CO), Material Particulado grueso (MP<sub>10</sub>), Material Particulado Fino (MP<sub>2.5</sub>), Ozono (O<sub>3</sub>), Hidrocarburos totales (HCT), Hidrocarburos No Metánicos (HCNM), y Plomo (Pb). La falta de este tipo de datos limita la priorización de contaminantes de origen atmosférico en la Bahía de Quintero y la indagación de sus potenciales efectos ambientales.

<sup>35</sup> Datos desbalanceados: Referido a un conjunto de datos donde el número de observaciones pertenecientes a un grupo o clase es significativamente mayor que las pertenecientes a las otras clases.

La tasa de muestreo en agua de mar se mantuvo baja y relativamente constante entre 1993 y hasta 2012 aproximadamente, año en el cual la tasa de muestreo comenzó a aumentar significativamente, particularmente desde 2015 en adelante a través del Programa de Vigilancia Ambiental de DIRECTEMAR. Este aumento en el número de observaciones se debió tanto a el aumento de la intensidad de muestreo de contaminantes monitoreados tradicionalmente en la bahía (Figura 29) como a la incorporación de nuevos parámetros de monitoreo en PVA, POAL, además de estudios específicos llevados a cabo entre 2012 y 2017 (EIA, DIA y CEA (2013)) (Ver Figura 30). Un patrón similar de aumento en el número de muestras colectadas/analizadas y parámetros analizados en sedimentos marinos se observa a partir de 2012, aunque de menor intensidad comparado con agua de mar (Figura 29 y Figura 30). En el Anexo C.3 se adjuntan gráficas del número acumulativo de observaciones de sustancias y variables fisicoquímica monitoreadas en la Bahía de Quintero. En el caso de biota marina la tasa de muestreo de contaminantes se ha mantenido relativamente constante desde 1993 a 2019, excepto en 2013 donde se observa un aumento en el número de parámetros analizados en la bahía asociados al estudio de CEA (2013).

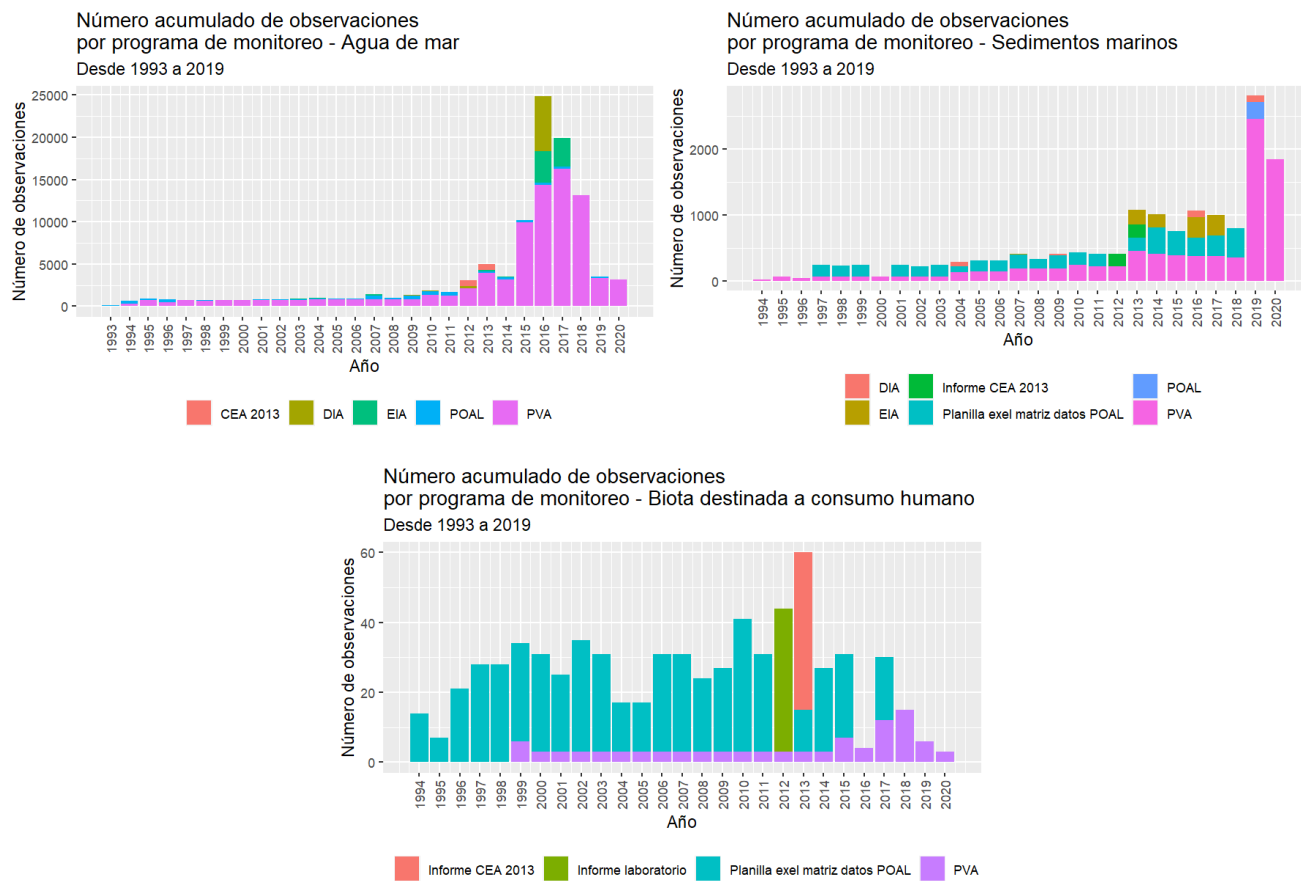


Figura 29 Número acumulado de mediciones de contaminantes y parámetros fisicoquímicos en agua de mar, sedimentos y biota en la Bahía de Quintero entre 1993 y 2019 agrupadas por programa de monitoreo (DIA, EIA, POAL, PVA, otros).





**Figura 30** Número acumulado de parámetros (contaminantes y variables fisicoquímicas) monitoreadas en agua de mar, sedimentos y biota en la Bahía de Quintero entre 1993 y 2019 y por programa de monitoreo ambiental.

Respecto a la distribución estacional de las observaciones de contaminantes y variables fisicoquímicas monitoreadas en agua de mar, sedimentos y biota en la Bahía de Quintero entre 1993 y 2019, estas no muestran diferencias considerables entre estaciones, excepto para el caso de datos de agua de mar colectados en el marco de EIAs, DIAs, y el estudio de CEA (2013) que se concentran particularmente en invierno y verano (panel superior de la Figura 31). Un número ligeramente mayor de observaciones en sedimentos se observa también en primavera comparado con las otras estaciones, particularmente desde 2013 en adelante.



Figura 31 Número de observaciones de contaminantes y variables fisicoquímicas monitoreadas en agua de mar, sedimentos y biota en la Bahía de Quintero entre 1993 y 2019, por programa de monitoreo ambiental y estación del año.

### 7.2.1.2 Perfiles de contaminantes (frecuencia acumulada de observaciones)

A continuación, se entrega una caracterización general de los tipos de distribuciones empíricas de datos asociados a los registros históricos de monitoreo de sustancias y parámetros fisicoquímicos de la Bahía de Quintero. En el Anexo C.4 se adjuntan gráficas de distribución empírica (acumulada) para cada una de las sustancias y variables fisicoquímicas monitoreadas en la Bahía de Quintero, junto a información detallada de las directrices internacionales y normas nacionales aplicables. La inspección visual de las funciones de distribución acumulada de datos permite distinguir cuatro tipos generales los cuales se describen a continuación:

**Distribución simétrica o normal:** Caracterizados por una distribución simétrica u homogénea de las observaciones hacia la derecha e izquierda en relación con un valor central. En este caso la media, mediana y moda de los datos tiende a coincidir. Este tipo de distribución se observa en parámetros como Zn disuelto (ver Figura 32 a continuación), molibdeno disuelto en agua de mar, y hierro total en sedimentos marinos.

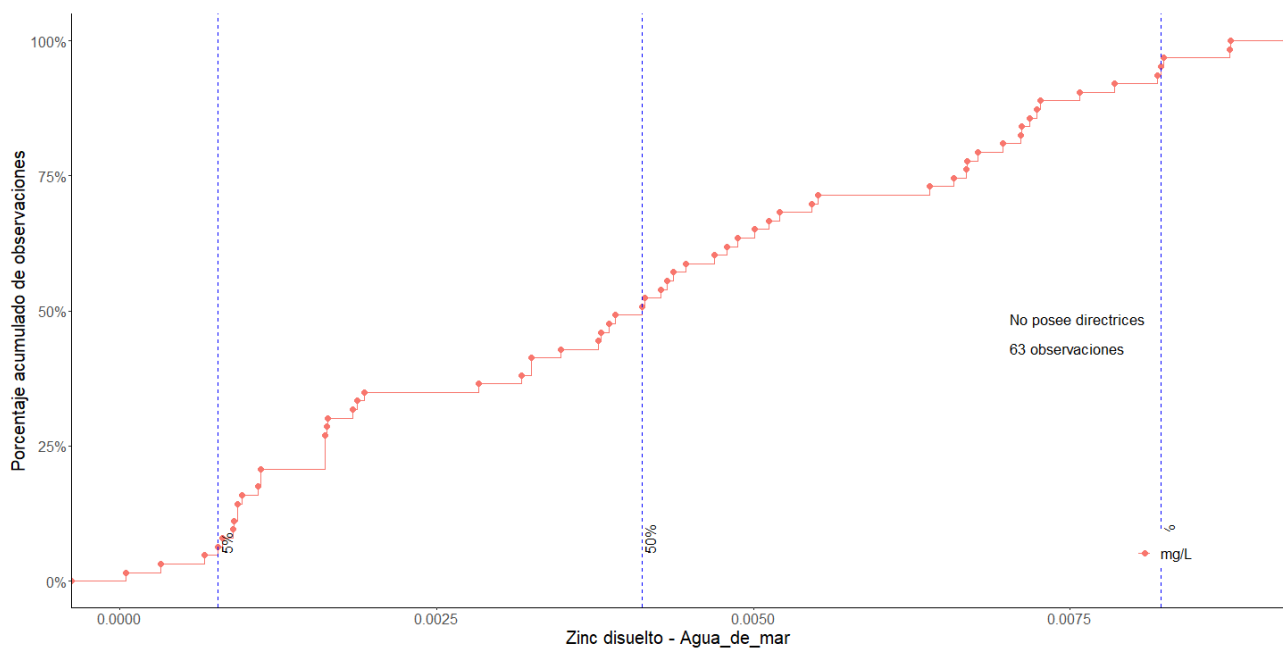


Figura 32 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de concentración de Zinc disuelto en agua de mar de la Bahía de Quintero. La FDA muestra distribución relativamente simétrica o normal de las observaciones.

**Distribución de colas pesadas:** Este tipo de distribución se caracteriza por una mayor probabilidad de encontrar valores bajos y altos de concentración del contaminante comparado con una distribución normal. Este tipo de distribución es muy infrecuente en los datos de Bahía de Quintero. Como ejemplo se muestra el caso de las observaciones de selenio medidas en sedimentos (ver Figura 33 a continuación). No obstante el número de datos disponibles es bastante bajo.

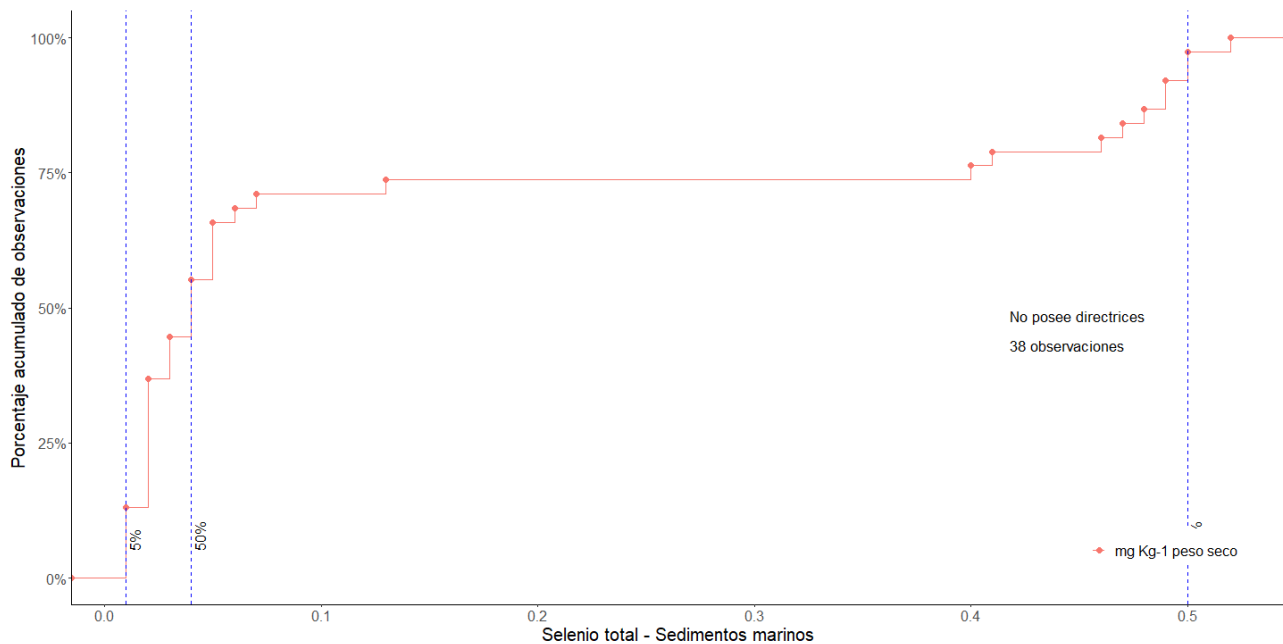


Figura 33 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de selenio en sedimentos marinos de la Bahía de Quintero. La FDA muestra distribución de colas relativamente pesadas.

**Distribución de colas liviana:** Este tipo de distribución se caracteriza por la existencia de una baja probabilidad en las colas (es decir de valores extremos) comparado con una distribución normal. Este es el caso de algunos parámetros monitoreados

en Quintero como la saturación de oxígeno (Ver Figura 34 a continuación), el pH, y la concentración de clorofila-a en agua de mar.

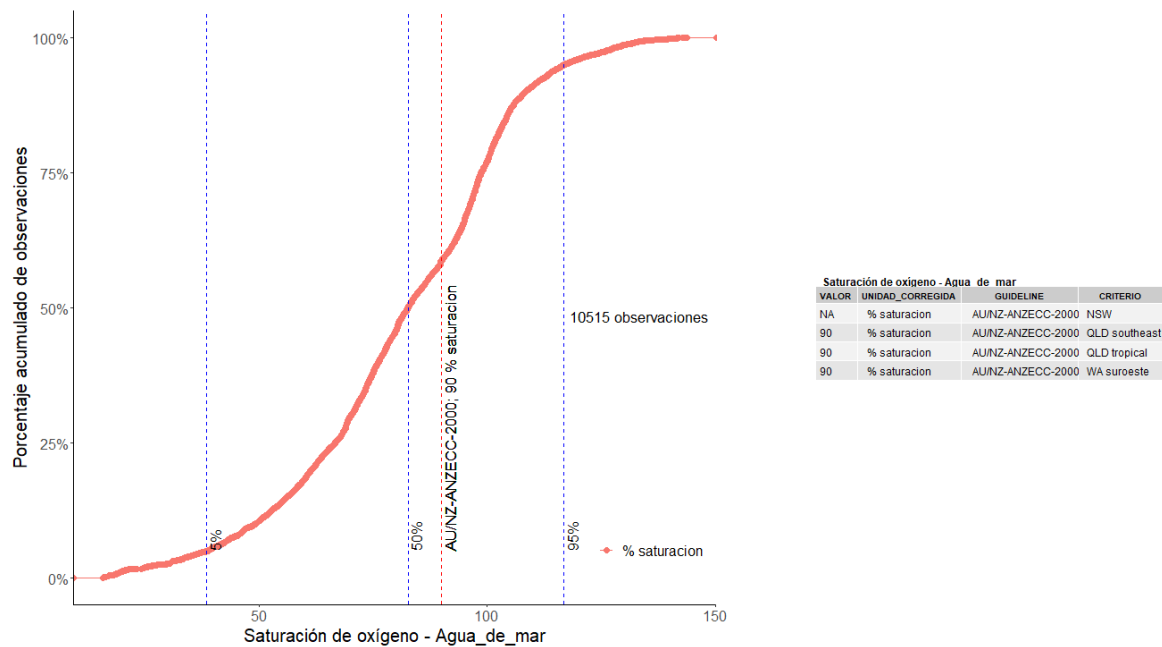
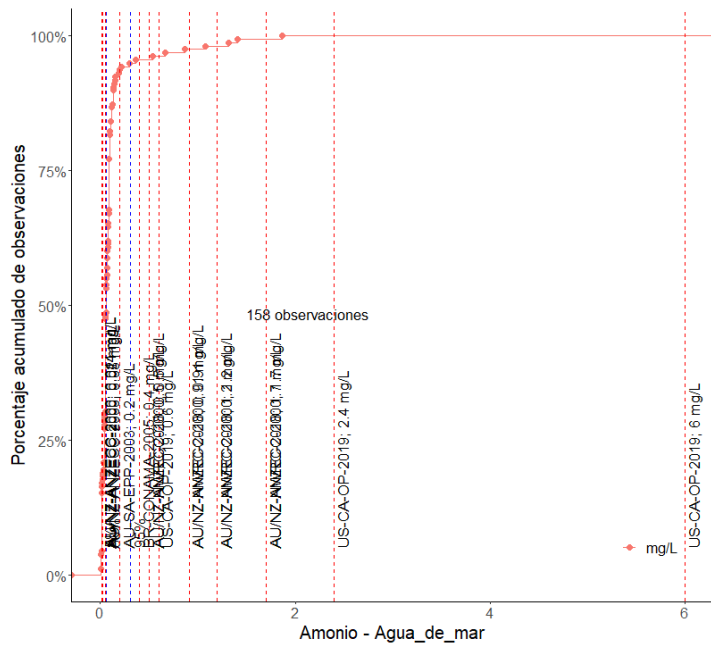


Figura 34 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de saturación de oxígeno en muestras de agua de mar de la Bahía de Quintero. La FDA muestra distribución de colas relativamente livianas.

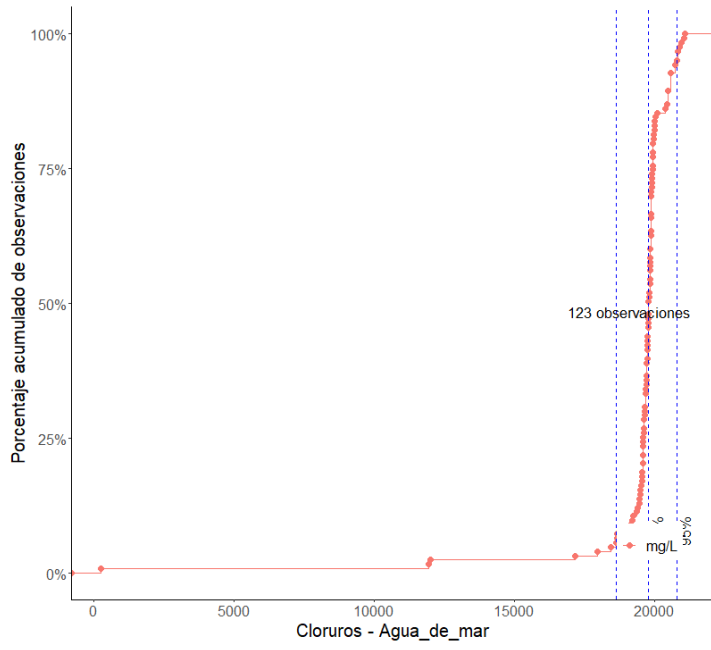
**Distribución sesgada a la izquierda o positiva:** En este caso la concentración media del contaminante es mayor que la mediana y la moda. La mayoría de las sustancias y variables fisicoquímicas analizadas (agua de mar y sedimentos) muestra esta distribución. Este es el caso del amonio en agua de mar (ver Figura 35 a continuación), mercurio total, plomo total, vanadio disuelto/particulado, zinc total, sólidos suspendidos totales, entre otros). El fuerte sesgo a la izquierda puede ser indicativo de dos tipos de errores: i) de la presencia de valores atípicos muy altos los cuales pueden ser el resultado de mediciones erróneas (in-situ o en laboratorio) o ii) la presencia de un gran número de mediciones bajo el límite de detección o cuantificación de un método. Esta incertidumbre hace imperativo confirmar la calidad de la información y la introducción a futuro de mecanismos de aseguramiento de la calidad de los datos en cuanto a técnicas de muestreo, trazabilidad, análisis de laboratorio o medición in-situ, y reporte a la autoridad.



VALOR	UNIDAD_CORREGIDA	GUIDELINE	CRITERIO
1.700	mg/L	AUINZ-ANZECC-2000	80% protección de especies
1.200	mg/L	AUINZ-ANZECC-2000	90% protección de especies
0.910	mg/L	AUINZ-ANZECC-2000	95% protección de especies
0.500	mg/L	AUINZ-ANZECC-2000	99% protección de especies
0.014	mg/L	AUINZ-ANZECC-2000	QLD southeast
0.011	mg/L	AUINZ-ANZECC-2000	VIC
0.020	mg/L	AUINZ-ANZECC-2000	NSW
0.050	mg/L	AUINZ-ANZECC-2000	SA
1.700	mg/L	AUINZ-NWRC-2018	80% protección de especies
1.200	mg/L	AUINZ-NWRC-2018	90% protección de especies
0.910	mg/L	AUINZ-NWRC-2018	95% protección de especies
0.500	mg/L	AUINZ-NWRC-2018	99% protección de especies
0.200	mg/L	AU-SA-EPP-2003	Marino
0.400	mg/L	BR-CONAMA-2005	Clase I de agua de mar
0.800	mg/L	US-CA-OP-2019	Conc. límite: mediana de 6 meses
2.400	mg/L	US-CA-OP-2019	Conc. límite: máximo diario
6.000	mg/L	US-CA-OP-2019	Conc. límite: Máx instantánea
NA	mg/L	AUINZ-ANZECC-2000	QLD tropical
NA	mg/L	AUINZ-ANZECC-2000	WA suroeste
NA	mg/L	AUINZ-ANZECC-2000	WA tropical
NA	NA	CA-BC-WQG-2019	Pauta de calidad del agua a largo plazo (cróni

Figura 35 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de concentraciones de amonio en muestras de agua de mar de la Bahía de Quintero. La FDA muestra un significativo sesgo a la izquierda o negativo.

**Distribución sesgada a la derecha o negativa:** En este caso la media < mediana < moda. Este es el caso de los registros históricos de monitoreo de cloruros (Ver Figura 36 a continuación), magnesio total, y sulfatos, entre otros.



VALOR	UNIDAD_CORREGIDA	GUIDELINE	CRITERIO
NA	NA	CA-BC-WQG-2019	Directriz máxima de calidad del agu

Figura 36 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de concentraciones de cloruros en muestras de agua de mar de la Bahía de Quintero. La FDA muestra un significativo sesgo a la izquierda o negativo.

**Distribución bimodal:** Este es el caso del plomo disuelto (ver Figura 37 a continuación), la densidad del agua de mar, entre otros. La presencia de distribuciones bi- o multimodales es indicativa de que la existencia de límites de detección variables de sustancias en laboratorios de análisis, o de la entrega de resultados redondeados o aproximados como ocurre con la transparencia de agua de mar medida a través de la técnica del disco Secchi.

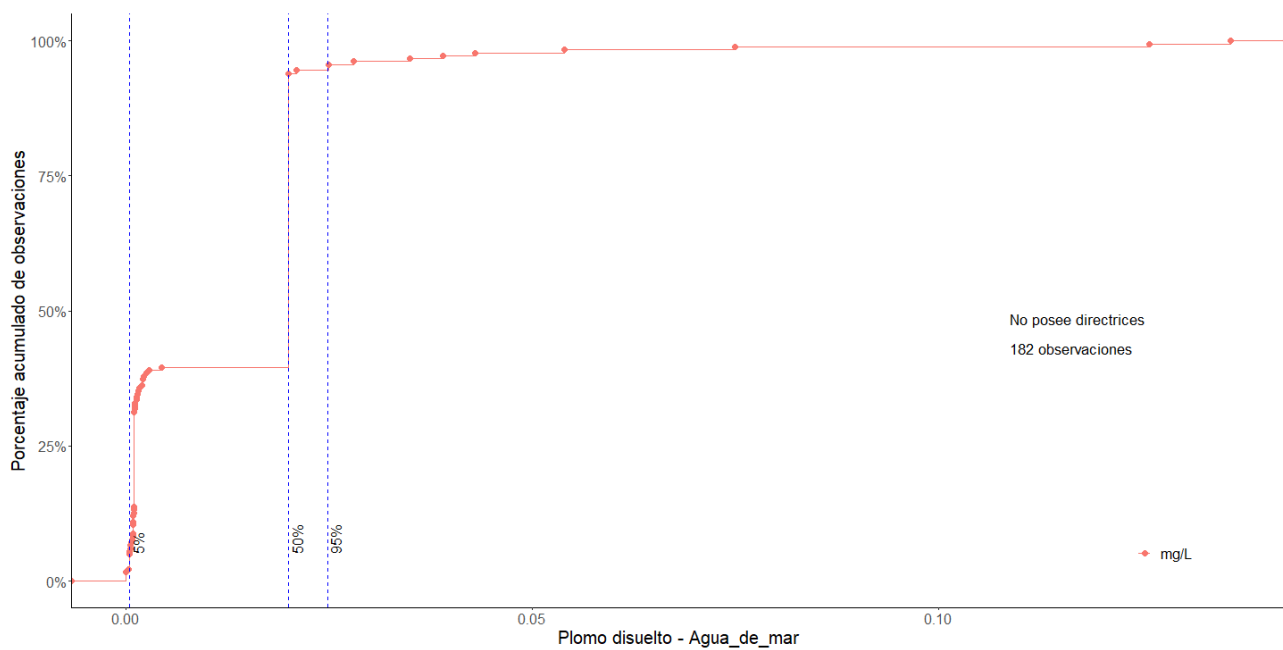


Figura 37 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de concentraciones de amonio en muestras de agua de mar de la Bahía de Quintero. La FDA muestra un significativo sesgo a la izquierda o negativo.

## 7.2.2 Sustancias contaminantes y variables fisicoquímicas reguladas en directrices internacionales

Se compilaron 2201 criterios de referencia para contaminantes en agua de mar, sedimentos marinos, biota, RILes, y aire, asociados a 30 normas nacionales y directrices internacionales (Australia/Nueva Zelanda, Brasil, Canadá, Japón, Noruega, Estados Unidos). En la Tabla 69 a continuación se resume para cada norma o directriz el número de parámetros (elementos, compuestos o variables ambientales) con criterios de referencia. La base de datos completa de directrices se adjunta en formato EXCEL con el nombre "DB\_DIRECTRICES\_v17.xlsx". La gran mayoría de las directrices recopiladas se asocian a agua de mar (n = 1064), seguido por sedimentos marinos (n = 701), sedimentos dulceacuícolas (n = 240), sedimentos sin especificar marino o dulceacuícola (n = 128), RILes (n = 59), y aire (n = 9).

Tabla 69 Número de parámetros (elementos, compuestos o variables ambientales) con criterios de referencia disponibles a partir de la revisión de normas nacionales y directrices internacionales para agua de mar, sedimentos, biota (destinada a consumo humano), aire y RILES. Los nombres completos de las abreviaciones utilizadas para identificar normas y directrices se entregan en la Tabla 4 (página 42 de la sección de Métodos).

Norma o directriz	Agua de mar	Sedimentos marinos	Sedimentos sin especificar marino o dulceacuícola	Biota	Aire	RILES
AU/NZ-ANZECC-2000	30		21			
AU/NZ-NWRC-2018	18					
AU-SA-EPP-2003	32					
BR-CONAMA-2005	28					
CA-BC-WQG-2019	31					
CA-CCME-2001	25					
CA-CEQG-2003		33		6		
D.S. 104/2018					1	
D.S. 112/2002					1	
D.S. 114/2002					1	
D.S. 115/2002					1	
D.S. 136/2000					1	
D.S. 144/2008	9					
D.S. 46/2002						15
D.S. 609/1998						23
D.S. 977/1996				12		
JP-EQS-2003	10					
US-CA-OP-2019	18					
US-EPA-NRWQC-2004	35					
US-MD-WQS-2020	12					
US-SQG-NOAA-1999			22			
<b>Total general</b>	<b>248</b>	<b>33</b>	<b>43</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>38</b>

Las directrices para sedimentos dulceacuícolas están incluidas en la base de datos en función de su posible relevancia en la evaluación de los aportes por escorrentía o infiltración de aguas contaminadas del Estero Compiche. El humedal del Estero Campiche, adyacente al sitio y escorial de la Fundición y Refinería de Cobre de Ventanas (CODELCO), ha sido recientemente evaluado como parte del estudio “Monitoreo de humedales Boca Maule (Región del BíoBío), Estero Campiche (Puchuncaví, Región de Valparaíso) y Desembocadura del Río Huasco (Región de Atacama)”, en el contexto de la red de monitoreo de ecosistemas acuáticos del Ministerio de Medio Ambiente (BIOMA S.A. Consultores Ambientales. Informe Final, abril 2020; ID: 608897-85-LE19).

Las estaciones del humedal Estero Campiche analizadas en este estudio fueron evaluadas con “mala salud fisicoquímica del ecosistema”, por sus altos niveles de temperatura (24°C) y pH (9,47), considerados como “adversos para la vida”, reportando en la columna de agua altas concentraciones de sulfatos (349,2 – 590,4 mg L<sup>-1</sup>), cobre total (0,017 – 0,043 mg L<sup>-1</sup>) y cobre disuelto (0,008 - 0,037 mg L<sup>-1</sup>). En los sedimentos del Humedal de Campiche, el arsénico se encuentra en concentraciones elevadas por sobre 5 mg Kg<sup>-1</sup>. En base a las concentraciones de clorofila-a observadas, el humedal está en estado “hipertrófico”. En función de estas y otras observaciones adicionales, el Humedal Estero Campiche fue evaluado “con amenaza ambiental muy alta” en todos los sitios muestreados por el estudio.

En la Tabla 70, a continuación, se desglosa el número de criterios de referencia registrados para los diferentes parámetros de posible preocupación ambiental de la Bahía de Quintero (señalados en la Tabla 54), agrupados por matriz ambiental y directriz y/o norma nacional. Los valores específicos asociados a cada criterio de referencia se especifican junto a los gráficos de frecuencia acumulada de observaciones en el Anexo C.3.

Sin embargo, el número indicado en la Tabla 8 incluye registros con varios valores de referencia, correspondientes a múltiples umbrales definidos en una misma norma. Esto no significa necesariamente una “mejor” directriz o más información. Por ejemplo: si el valor es un rango definido por sus dos valores límites, estos aparecerán como 2 registros en

la base de datos. Asimismo, si una directriz presenta varios umbrales según diferentes criterios toxicológicos (ej. ERL, ERM, TEC, PEC) estos aparecen como varios registros en la base de datos en la Tabla 8.

Tabla 70 Numero de criterios de referencia extraídos desde normas nacionales y directrices internacionales (señaladas en la Tabla 54, página 156 de este informe) diferenciados por matriz de analisis. Los nombres completos de las abreviaciones utilizadas para identificar normas y directrices se entregan en la Tabla 4 (página 42 de este informe).

Parámetro	Agua de mar										Sedimentos		Aire					RILES			
	AU/NZ-ANZECC-2000	AU/NZ-NWRC-2018	AU-SA-EPP-2003	BR-CONAMA-2005	CA-BC-WQG-2019	CA-CCME-2001	D.S. 144/2008	JP-EQS-2003	US-CA-OP-2019	US-EPA-NRWQC-2004	US-MD-WQS-2020	AU/NZ-ANZECC-2000	CA-CEQG-2003	US-SQG-NOAA-1999	D.S. 104/2018	D.S. 112/2002	D.S. 114/2002	D.S. 115/2002	D.S. 136/2000	D.S. 46/2002	D.S. 609/1998
Acenafteno					1							4	4								
Acenaftileno												4	4								
Ácido metilclorofenoxiacético						1															
Ácido sulfhídrico									1												
Aldrina									1												
Aluminio disuelto				1																	
Aluminio total																					2
Amonio	11	4	1	1				3													
Antimonio total			1								2										
Antraceno												4	4								
Aroclor												4									
Arsénico total			1	2	1	1	3	3	2	2	2	4	4								2
Azinfos-metil									1												
Bario total				1																	
Benceno	4	4	1		1	1															
Benzo(a)antraceno												4	4								
Benzo(a)pireno					1							4	4								
Benzo(b)fluoranteno													4								
Benzo(k)fluoranteno													4								
Berilio total				1																	
Boro total				1	1																2
Cadmio total	4	4	1	1		1	3	3	2	2	2	4	4								2
Cianuro total	4	4		1	1		3	3	2	2											2
Clorato					1																
Clordano									2		2	4									
Cloro libre residual			1	1	2	1		3	2	2											
Clorofila a	7																				
Clorpirifos						1			2												
Clortalonil						1															
Cloruro																					
Cobalto total	4	4																			
Cobre disuelto				1																	
Cobre total	4	4	1		2			3	2	2	2	4	4								2
Coliformes fecales							2														
Coliformes totales									1												
Color verdadero (APHA = Pt-Co = Hazen Color)			1				3														
Criseno					1							4	4								
Cromo III	4	4				1															
Cromo total				1			3				2	4	4								2
Cromo VI total	4	4	1			1		3	2	2											2
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)			1																		2
Demanda química de oxígeno (DQO)							3														



Parámetro	Agua de mar										Sedimentos			Aire				RILES				
	AU/NZ-ANZECC-2000	AU/NZ-NWRC-2018	AU-SA-EPP-2003	BR-CONAMA-2005	CA-BC-WQG-2019	CA-CCME-2001	D.S. 144/2008	JP-EQS-2003	US-CA-OP-2019	US-EPA-NRWQC-2004	US-MD-WQS-2020	AU/NZ-ANZECC-2000	CA-CEQG-2003	US-SQG-NOAA-1999	D.S. 104/2018	D.S. 112/2002	D.S. 114/2002	D.S. 115/2002	D.S. 136/2000	D.S. 46/2002	D.S. 609/1998	
Demeton									1													
Diazinon									2													
Dibenzo(a,h)antraceno												4	2									
Diclodifeniltricloroetano (P) 4,4'									2													
Dicloro difenil dicloroetano (DDD)											2	4										
Dicloro difenil dicloroetileno (DDE)											2	4										
Dicloro difenil tricloroetano (DDT)											2	4										
Dicloroanilina 3,4	4																					
Diclorobenceno 1,2						1																
Dieldrina									1		2	4										
Dióxido de azufre															3							
Dioxinas (Policlorodibenzodioxinas, PCDD)			1									4										
Endosulfán						2			3	4												
Endrina									3	2	2	4										
Epóxido de heptacloro										2												
Éter metil tert-butílico (MTBE)						1	1															
Etilbenceno		4				1	1															
Fenantreno												4	4									
Fenoles clorados									3													
Fluoranteno												4	4									
Fluoreno							1					4	4									
Fluoruros					1	1																
Formaldehido									2													
Fósforo disuelto				1																		
Fósforo reactivo filtrable	5																					
Fósforo total	7		1	1				4														2
Heptacloro										2		4										
Hexaclorobenceno (HCB)	4																					
Hexaclorociclohexano-*									3			4										
Hexaclorociclohexano-δ (lindano)									1		2											
Hidrocarburos totales												2										2
Hierro disuelto				1																		
Imidacloprid						1																
Índice de fenol				1				2	3													
Malatión										1												
Manganeso total					1																	2
Mercurio total	4	4	1	1		1	3		3	2	2	2	4	4								2
Metilnaftaleno					2							4										
Metoxicloro										1												
Mirex										1												
Molibdeno total																						
Monoclorobenceno						1																
Monóxido de carbono																	2					
Naftaleno	4	4			1	1						4	4									
Níquel total	4	4	1	1					3	2	2	2		4								2
Nitrato				1	1	2																
Nitrato y Nitrito	7		1																			
Nitrito				1												2						
Nitrógeno total Kjeldahl	6		1					4														

Parámetro	Agua de mar											Sedimentos		Aire					RILES			
	AU/NZ-ANZECC-2000	AU/NZ-NWRC-2018	AU-SA-EPP-2003	BR-CONAMA-2005	CA-BC-WQG-2019	CA-CCME-2001	D.S. 144/2008	JP-EQS-2003	US-CA-OP-2019	US-EPA-NRWQC-2004	US-MD-WQS-2020	AU/NZ-ANZECC-2000	CA-CEQG-2003	US-SQG-NOAA-1999	D.S. 104/2018	D.S. 112/2002	D.S. 114/2002	D.S. 115/2002	D.S. 136/2000	D.S. 46/2002	D.S. 609/1998	
Nitrogeno-amonio																					2	
Nonilfenol						1				2			4									
Oxígeno disuelto			1	1		1		3														
Ozono																1						
Pentaclorobenceno	4																					
Pentaclorofenol			1							2												
pH	5			2	2	2	6	6		1												
Pireno													4	4								
Plata total	4	4	1	1	2				3	1	1	2										
Plomo total	4	4	1	1	2		3		3	2	2	2	4	4					1			2
Poder espumógeno																						2
Saturación de oxígeno	3																					
Selenio total			1	1	1				3	2	2											
Sólidos sedimentables																						1
Sólidos suspendidos totales	1		1																			2
Subproductos de desinfección (Trihalometanos, cloroformo, el bromodichlorometano, el dibromoclorometano y el bromoformo)																						
Sulfatos																						2
Sulfuro			1	1																		2
Talio total			1	1																		
Temefos	4																					
Temperatura																						
Tolueno		4				1																
Total bifenilos policlorados (PCB)			1			1				1		2	4									
Total hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)			1									2										
Toxafeno										2			4									
Tributilestaño (TBT)			1			1				2		2										
Triclorobenceno 1,2,4		4				1																
Tricloroetano 1,1,1	4																					
Tricloroetano 1,1,2	4																					
Triclorofenol 2,4,5			1																			
Triclorometano (cloroformo)								2														
Turbiedad	5		1																			
Uranio total				1																		
Vanadio total	4	4																				
Zinc total	4	4	1	1	2			2	3	2	2	2	4	4								2
Total general	137	72	32	30	29	28	29	29	54	60	23	42	132	86	3	1	2	2	1			43

En agua de mar los parámetros con mayor número de criterios de referencia fueron los metales pesados (Hg, Pb, Zn, Cd, F, Cu, Ar, Ni, Ag, Cr, Co) además de Benceno, Amonio, pH, Cianuro total. En sedimentos los parámetros con mayor número de criterios de referencia encontrados fueron los metales pesados, compuestos orgánicos persistentes, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), además de plaguicidas y productos de degradación. Las directrices internacionales mejor representadas en la base de datos a la fecha (es decir con el mayor número de criterios de referencia específicos) son AU/NZ-ANZECC-2000, CA-CEQG-2003, US-SQG-NOAA-1999, y AU/NZ-NWRC-2018.

## 7.2.3 Priorización de sustancias contaminantes y variable fisicoquímicas a monitorear en matrices ambientales de la Bahía de Quintero

### 7.2.3.1 Resumen general

La Tabla 71 a continuación detalla resultados del proceso de priorización de elementos y compuestos de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero. La priorización se realizó para cada matriz ambiental, a decir, agua de mar, sedimentos marinos, y biota marina destinada a consumo humano, de acuerdo con la metodología señalada en la sección 6.2.1 de este documento. En subsecciones siguientes se aborda en detalle cada grupo de prioridad de monitoreo.

Tabla 71 Priorización de elementos y compuestos de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero. EL grupo 1 en general agrupa todos los compuestos y variables ambientales de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero. Los grupos 1A y 1C diferencian elementos y compuestos que presentan (1A) o no (1C), excedencias históricas de normas nacionales (D.S. 144.-2009) y directrices internacionales. El grupo 1B integra Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero que cuentan con directrices nacionales e internacionales (umbrales definidos) cuya presencia no ha sido medida o cuantificada en la Bahía. El Grupo 1D integra sustancias de posible preocupación ambiental que no cuentan con directrices internacionales que permitan caracterizar su riesgo ambiental o para la salud humana. Se omitieron los grupos (columnas) sin parámetros.

Parámetro	Agua de mar					Sedimentos marinos					Biota		
	Grupo 1A	Grupo 1B	Grupo 1C	Grupo 1D	Grupo 1E	Grupo 1A	Grupo 1B	Grupo 1C	Grupo 1D	Grupo 1E	Grupo 1B	Grupo 1D	Grupo 1E
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>													
Total bifenilos policlorados (PCB)		■					■				■		
<b>Compuestos fenólicos</b>													
Nonilfenol		■											■
<b>Compuestos orgánicos volátiles (COVs)</b>													
Total compuestos orgánicos volátiles (COVs)					■					■			■
<b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>													
Benceno	■								■				■
Etilbenceno	■							■					■
Tolueno / metil benceno / Toluol / Fenilmetano			■						■				■
Total benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)		■								■			■
Xilenos totales				■				■					■
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>													
Total hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	■					■							■
<b>Iones de importancia ambiental</b>													
Cloruro		■											
Fluoruro			■										
Fosfato			■										
Sulfato					■								
<b>Metales y metaloides</b>													
Aluminio disuelto			■										
Aluminio total					■		■						■
Antimonio disuelto		■											
Antimonio total		■					■						■
Arsénico disuelto			■										
Arsénico total	■					■							■
Azufre total					■					■			■

Parámetro	Agua de mar					Sedimentos marinos					Biota		
	Grupo 1A	Grupo 1B	Grupo 1C	Grupo 1D	Grupo 1E	Grupo 1A	Grupo 1B	Grupo 1C	Grupo 1D	Grupo 1E	Grupo 1B	Grupo 1D	Grupo 1E
Bario disuelto													
Bario total													
Boro disuelto													
Boro total													
Cadmio disuelto													
Cadmio total													
Cobalto disuelto													
Cobalto total													
Cobre disuelto													
Cobre total													
Cromo disuelto													
Cromo total													
Cromo VI disuelto													
Cromo VI total													
Estaño disuelto													
Estaño total													
Galio disuelto													
Galio total													
Hierro disuelto													
Hierro total													
Magnesio disuelto													
Magnesio total													
Manganeso disuelto													
Manganeso total													
Mercurio disuelto													
Mercurio total													
Molibdeno disuelto													
Molibdeno total													
Níquel disuelto													
Níquel total													
Plata disuelto													
Plata total													
Plomo disuelto													
Plomo total													
Selenio disuelto													
Selenio total													
Sodio disuelto													
Sodio total													
Titanio disuelto													
Titanio total													
Uranio disuelto													
Uranio total													
Vanadio disuelto													

Parámetro	Agua de mar					Sedimentos marinos					Biota		
	Grupo 1A	Grupo 1B	Grupo 1C	Grupo 1D	Grupo 1E	Grupo 1A	Grupo 1B	Grupo 1C	Grupo 1D	Grupo 1E	Grupo 1B	Grupo 1D	Grupo 1E
Vanadio total													
Zinc disuelto													
Zinc total													
<b>Nutrientes</b>													
Amonio													
Fósforo disuelto													
Fósforo total													
Nitrato													
Nitrito													
Nitrógeno total Kjeldahl													
<b>Organoclorados</b>													
Bromoformo													
Triclorometano (cloroformo)													
<b>Organoestaño</b>													
Tributilestaño (TBT)													
<b>Organometálico</b>													
Metilmercurio													
<b>Otras sustancias inorgánicas</b>													
Cianuro disuelto													
Cianuro total													
Cloro libre residual													
Sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico)													
<b>Otras sustancias orgánicas</b>													
Aceites y grasas													
Carbón no combustionados (crudo)													
Carbón semi combustionado (cenizas)													
Carbono orgánico disuelto													
Carbono orgánico total (TOC)													
Carbono total													
Clorometano (cloruro de metilo)													
Dioxinas (Policlorodibenzodioxinas, PCDD)													
Estradiol													
Etinilestradiol													
Furanos (Dibenzofuranos policlorados, PCDF)													
Materia orgánica disuelta													
Materia orgánica total													
Tetracloroetano (Tetracloroetileno)													
<b>Otros hidrocarburos</b>													
Hidrocarburos fijos													
Hidrocarburos totales													
Hidrocarburos volátiles													
<b>Perfluoroalquilados</b>													
Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y sus sales													

Dentro del grupo de prioridad 1 de monitoreo también se incluyen variables fisicoquímicas descriptoras del cuerpo de agua receptor (agua de mar y sedimentos). Estas se señalan en la Tabla 72 a continuación.

Tabla 72 Variables fisicoquímicos de monitoreo en agua de mar, sedimentos y biota de la Bahía de Quintero.

Etiquetas de fila	Agua de mar	Sedimentos marinos
<b>Indicadores biológicos de calidad ambiental</b>		
Abundancia macrofauna		
Biomasa		
Curvas ABC		
Escherichia coli		
Índice de diversidad de especies de Shannon-Wiener (H')		
<b>Indicadores físico/químicos de calidad ambiental</b>		
Alcalinidad		
Carbono organico total (COR)		
Clorofila a		
Densidad		
Índice de fenol		
Materia orgánica		
Oxígeno disuelto		
pH		
Poder espumógeno		
Potencial redox (Eh)		
Salinidad		
Sólidos sedimentables		
Sólidos suspendidos totales		
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)		
Temperatura		
Transparencia		
Turbidez		
Granulometría		

### 7.2.3.2 Grupo de prioridad 1 de monitoreo

El grupo de prioridad 1(A y C) agrupa a aquellas sustancias de posible preocupación ambiental en el área de interés que cuentan con directrices nacionales e internacionales (umbrales definidos), es decir cuentan con valores umbrales de concentración del contaminante, ampliamente aceptados, sobre los cuales existe un riesgo evidente sobre la vida humana o los ecosistemas. Se discriminaron aquellos parámetros que presenten excedencias históricas a las normas nacionales o directrices internacionales (Grupo 1A), de aquellos que no presentan (Grupo 1C). Es importante destacar aquí que debido a la mala calidad de los datos de monitoreo (más detalles en HOLON SPA. (2019) y sección 7.2.1.2, pp. 194) solo se utilizaron los datos de frecuencia de excedencia, ignorando aquellos asociadas a la magnitud de estas. Debido a que las excedencias observadas, el Grupo 1A se considera el de mayor prioridad de monitoreo en la Bahía de Quintero, e incluye para la matriz de agua de mar nutrientes (nitrógeno total Kjeldahl y fósforo total), cloro libre residual, hidrocarburos aromáticos monocíclicos (P. ej. BTEX), además de múltiples metales pesados (Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Mercurio, Níquel, Plomo, Vanadio, Zinc). Para sedimentos considera principalmente metales pesados, HAPs (probablemente asociados a la incineración incompleta de carbón y otros combustibles) y sulfuros (donde destaca el H<sub>2</sub>S generado como subproducto de

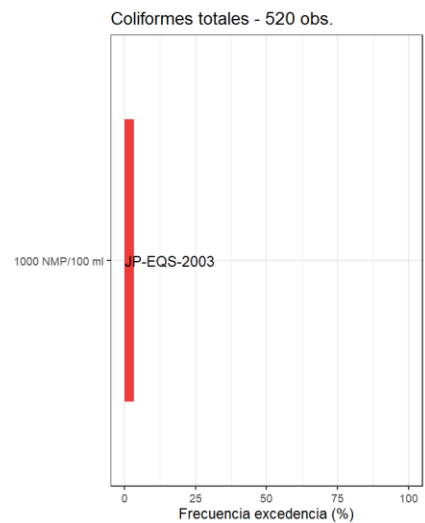
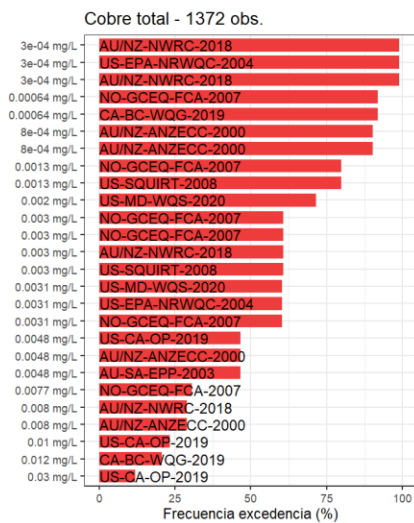
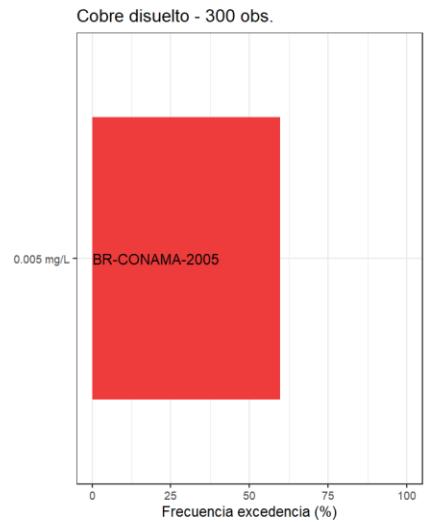
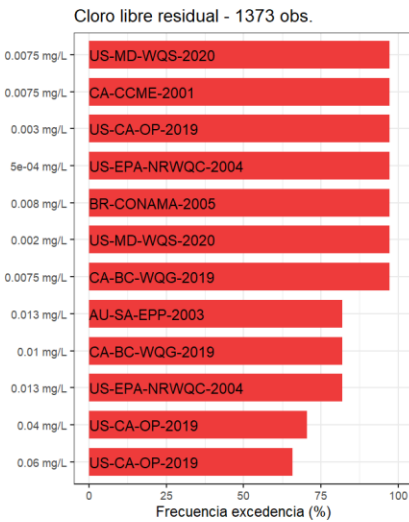
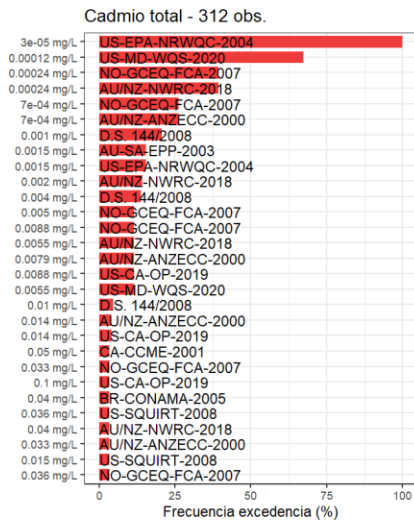
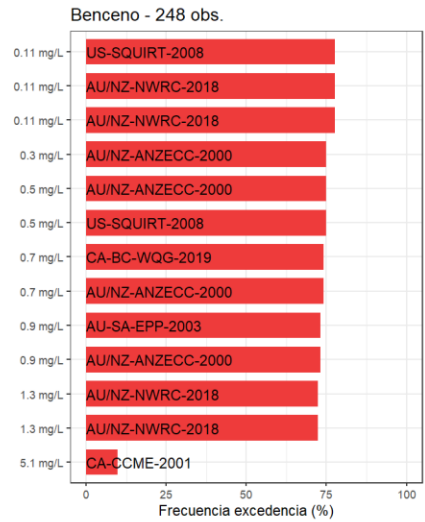
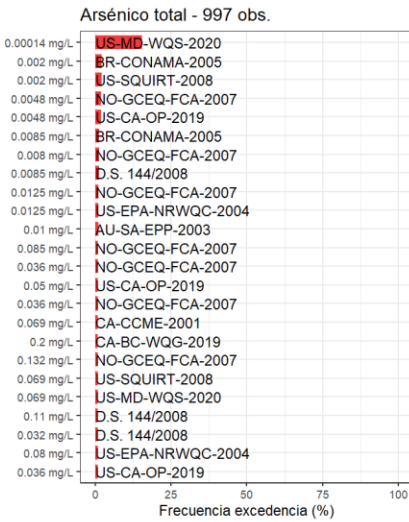
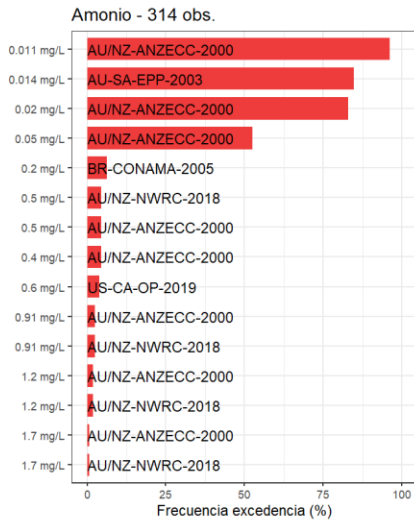
la degradación anaeróbica de sulfatos). Es importante señalar que en el análisis se consideraron las excedencias observadas en todo el registro histórico, desde 1993 en adelante, no obstante, considerando el perfeccionamiento de las técnicas analíticas y calidad de los datos, sería recomendable enfocar el análisis solo en el periodo más reciente, por ejemplo, la última década. Para saber que directrices específicas fueron superadas o excedidas en la Bahía de Quintero revisar la Figura 38 (agua de mar), Figura 39 (sedimentos marinos), y para RLEs entre la Figura 40 y la Figura 42.

Respecto al Grupo 1C de sustancias con directrices que no muestran excedencias históricas en la Bahía de Quintero, incluye para la matriz de agua de mar un grupo reducido de metales pesados (aluminio disuelto, bario, berilio, boro, cobalto, hierro, manganeso molibdeno, plata y selenio total), además de contaminantes específicos tales como cianuro, hidrocarburos aromáticos policíclicos, cloruros, fluoruros y sulfuros (probablemente re-oxidados rápidamente en la columna de agua). En sedimentos, el Grupo 1C incluye compuestos orgánicos persistentes (bifenilos policlorados (PCB) y pentaclorofenol), además de hidrocarburos totales, aromáticos monos y policíclicos (múltiples) que cuentan con directrices internacionales bien definidas. No se consideran inicialmente parámetros en el grupo 1C en biota marina.

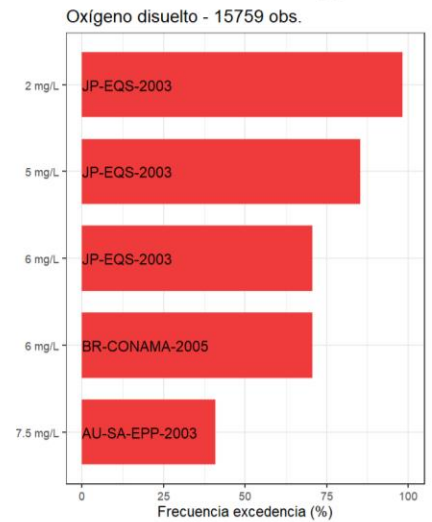
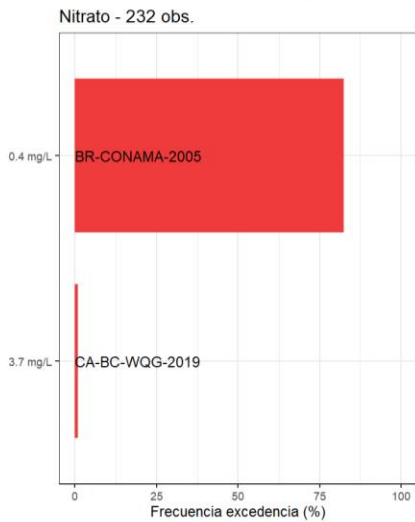
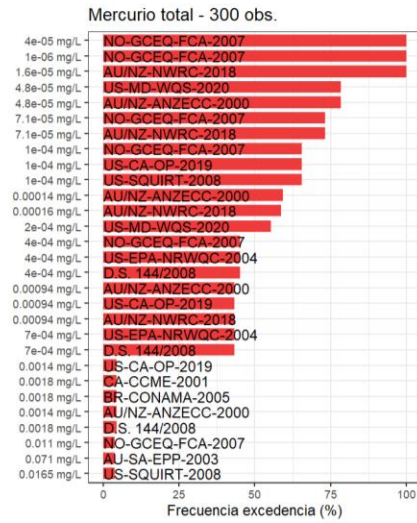
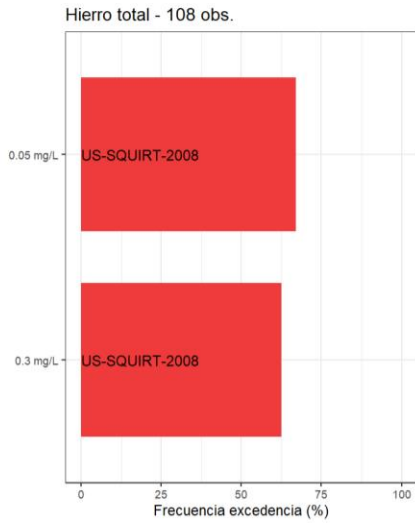
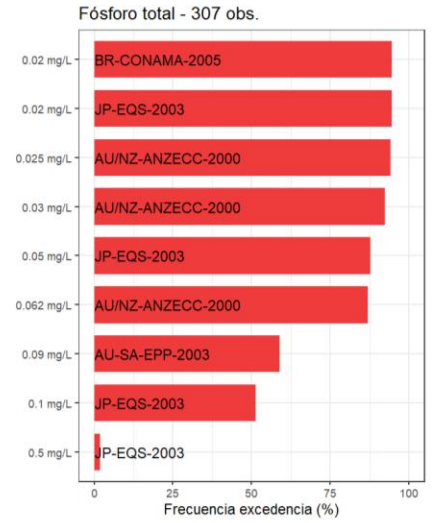
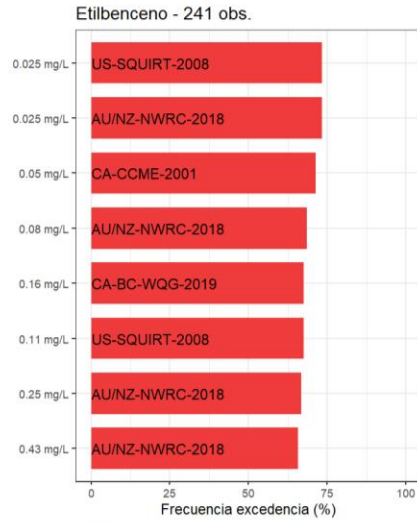
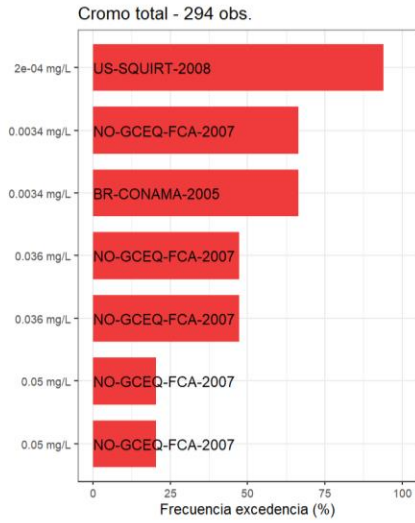
El grupo 1D se trata de elementos o compuestos que sin poseer directrices que definan valores umbrales de concentración ampliamente aceptados, muchas de sus propiedades y efectos son conocidos. Aquí se excluye criterios de referencias para agua de mar establecidos en la guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas (2004), que incluye compuestos inorgánicos (nutrientes), PCBs, hidrocarburos totales, HAPs, fenoles, metales pesados y múltiples plaguicidas. Esta guía es una versión obsoleta, siendo la versión vigente la Guía para la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas 2017 del ministerio de Medio Ambiente. Se hace por tanto necesario revisar otros criterios de referencias internacional ya establecidos. De no existir se puede recurrir también a valores de referencia internacionales definidos por consenso u opinión experta.

En las Figura 38 y Figura 39 a continuación se gráfica los resultados del análisis de frecuencia de excedencia histórica de normas nacionales y directrices internacionales para contaminantes monitoreados en agua de mar y sedimentos marinos de la Bahía de Quintero, respectivamente. Es importante señalar que, en este estudio no se realizó priorización alguna de los criterios de referencia, ya que este trabajo requiere de la definición de los objetos y/o objetivos de protección y/o conservación del medio marino en la Bahía de Quintero. Propuestas de objetos e conservación han sido realizadas por CEA (2020), pero se desconoce si estas son las que finalmente se adoptaran para la elaboración de la Norma de Calidad de las Aguas de la Bahía de Quintero. Ejemplos de objetos de conservación incluyen la protección de porcentajes predefinidos de biodiversidad, la protección de especies icónicas o de valor comercial, entre otros. Por esta razón, los gráficos de las figuras Figura 38 consideran todos los criterios de referencia disponibles para cada contaminante (a nivel nacional e internacional).

Respecto a las excedencias observadas para contaminantes monitoreados en biota marina destinada a consumo humano se omitieron los resultados ya que el reducido número de replicas no permite una comparación confiable con estándares nacionales como el Reglamento Sanitario de los Alimentos (D.S. 977/1996).







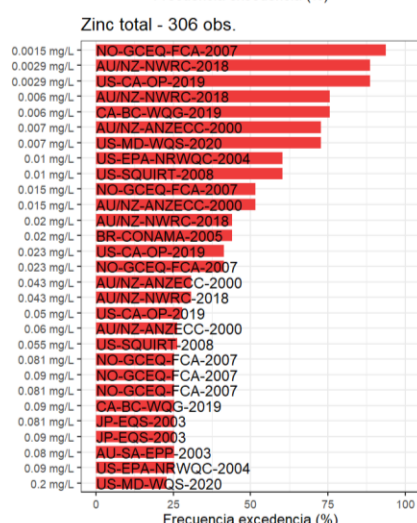
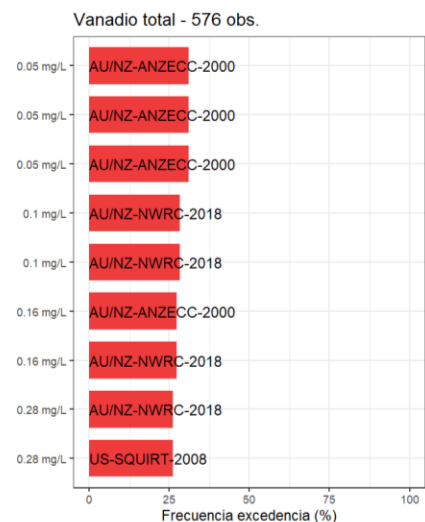
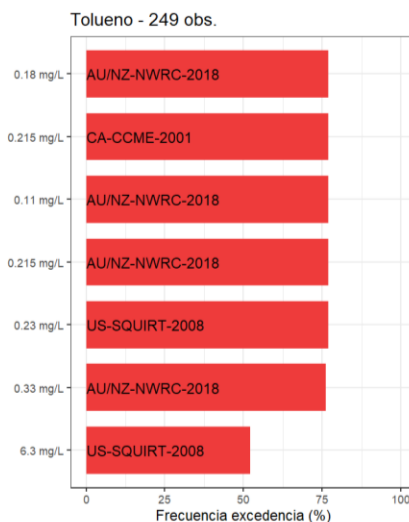
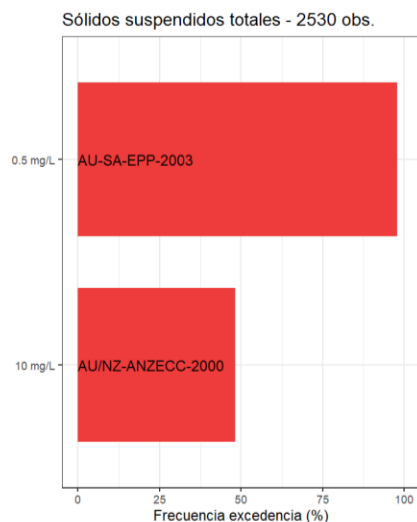
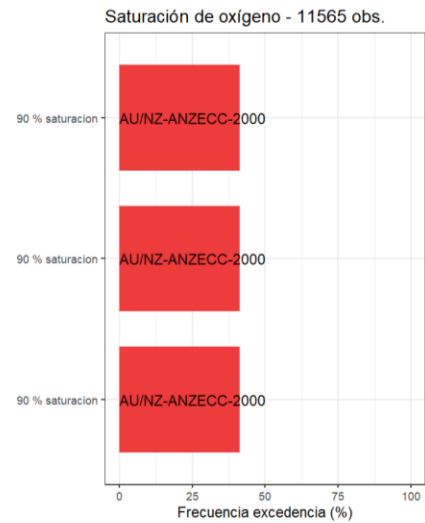
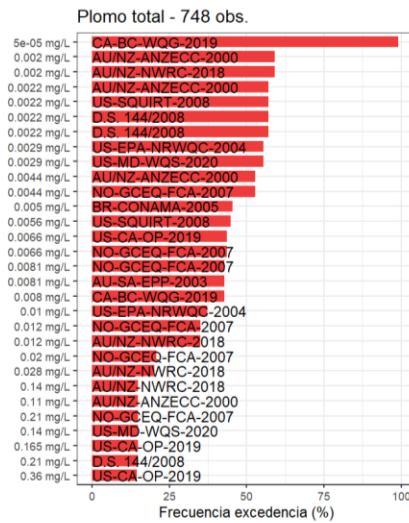
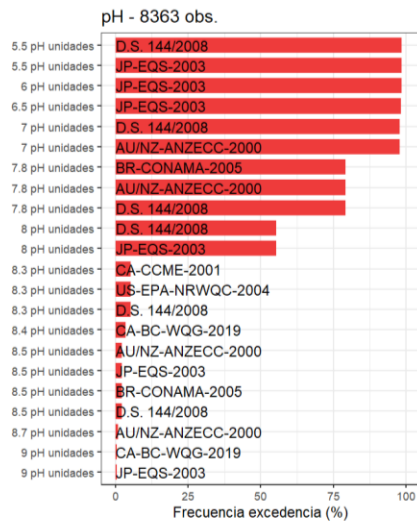


Figura 38 Frecuencia de excedencia de directrices internacionales para contaminantes monitoreados en agua de mar en la Bahía de Quintero. Las normas y directrices que no presentan excedencias no se incluyen en los gráficos. Para significado de abreviaciones de directrices consultar la Tabla 4 de este informe.

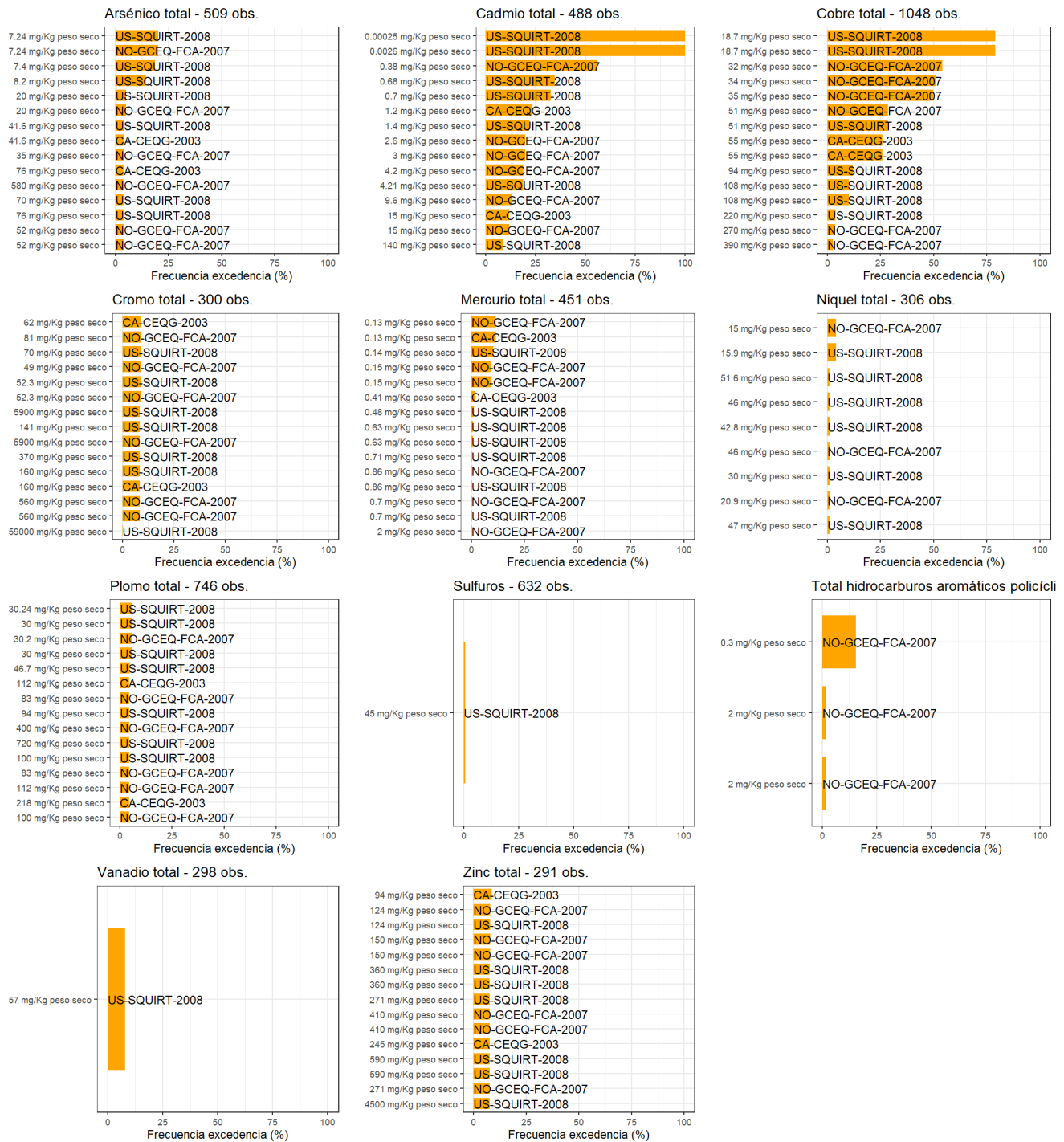


Figura 39 Frecuencia de excedencia de directrices internacionales para contaminantes monitoreados en sedimentos de la Bahía de Quintero. Las normas y directrices que no presentan excedencias no se incluyen en los gráficos. Para significado de abreviaciones de directrices consultar la Tabla 4 de este informe.

Como se observa en la Figura 42 a la Figura 42, históricamente han ocurrido excedencias significativas de concentraciones de contaminantes en RILes vertidos a la Bahía de Quintero, particularmente para coliformes fecales (CODELCO, AES GENER), Cadmio (CODELCO), Molibdeno (AES GENER), Selenio (AES GENER) y Níquel (ENAP Refinerías), no obstante se requiere un análisis más detallado para establecer en qué fecha ocurrieron estas excedencias así como la calidad de los datos colectados.

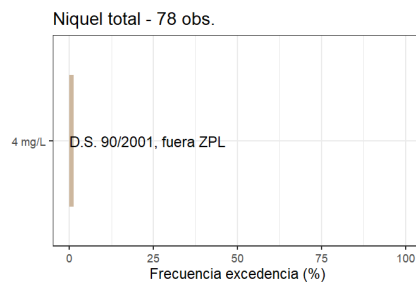


Figura 40 Frecuencia de excedencia del D.S. 90 (2001) en RILes evacuados por ENAP Refinerías S.A. a la Bahía de Quintero. Las normas y directrices que no presentan excedencias no se incluyen en los gráficos. Se han excluido de este análisis todos aquellos parámetros (sustancias o variables fisicoquímicas) con menos de 50 observaciones en el periodo histórico analizado. Para significado de abreviaciones de directrices consultar la Tabla 4 de este informe.

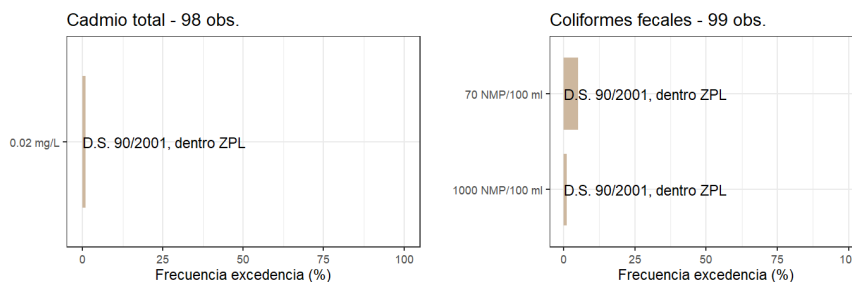


Figura 41 Frecuencia de excedencia del D.S. 90 (2001) en RILes evacuados por la CODELCO Ventanas a la Bahía de Quintero. Las normas y directrices que no presentan excedencias no se incluyen en los gráficos. Se han excluido de este análisis todos aquellos parámetros (sustancias o variables fisicoquímicas) con menos de 50 observaciones en el periodo histórico analizado. Para significado de abreviaciones de directrices consultar la Tabla 4 de este informe.

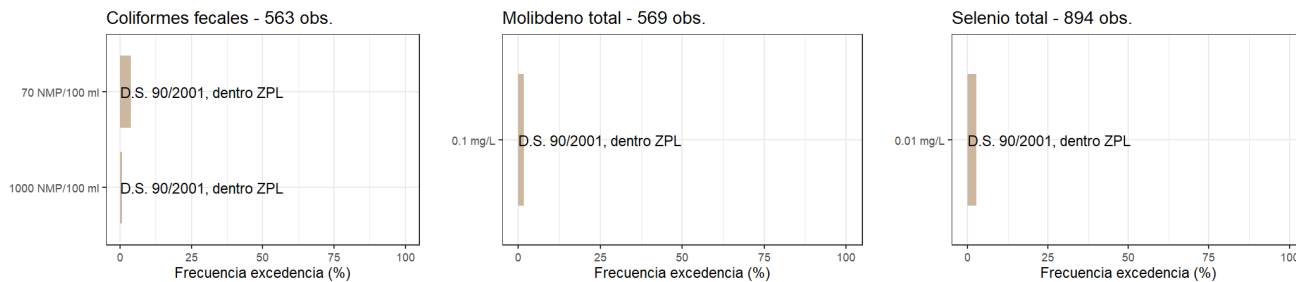


Figura 42 Frecuencia de excedencia del D.S. 90 (2001) en RILes evacuados por AES Gener S.A. a la Bahía de Quintero. Las normas y directrices que no presentan excedencias no se incluyen en los gráficos. Se han excluido de este análisis todos aquellos parámetros (sustancias o variables fisicoquímicas) con menos de 50 observaciones en el periodo histórico analizado. Para significado de abreviaciones de directrices consultar la Tabla 4 de este informe.

La Tabla 73 a continuación entrega una caracterización de peligrosidad de algunas de las sustancias (elementos y compuestos) del grupo de prioridad 1 de monitoreo en la Bahía de Quintero. Esta no es una caracterización exhaustiva de todos los compuestos y sus características, sino más bien una descripción general de los principales. Esta tabla fue construida con la opinión de expertos (Sharon Hook) y consultas de referencia a las bases de datos de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades<sup>36</sup> (ATSDR por sus siglas en inglés), y el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas de la OMS<sup>37</sup>. Los criterios utilizados fueron agrupados de la siguiente manera:

- Toxicidad: definido por la ATSDR como “toda sustancia química que puede lesionar o matar a una persona, un animal o una planta”. Las categorías utilizadas describen en potencial de tener efectos tóxicos a diferentes concentraciones (esto depende completamente de cada contaminante y el ambiente fisicoquímico).
  - Tóxico
  - Toxicidad reproductiva (pueden producir alteraciones en capacidad de concebir hijos de hombres y mujeres, (abortos, daños al feto en desarrollo), alterar la capacidad de lactar, o producir efectos negativos no hereditarios en el desarrollo de la descendencia)
  - Tóxico a bajas concentraciones
  - Tóxico a concentraciones muy bajas
  - Algunas formas son tóxicas a bajas concentraciones (algunos especies o formas del contaminante pueden tener mayor toxicidad, dependiendo de los procesos de transformación e interacción con el ambiente)
  
- Ambiental: se refiere a los efectos que puede tener con el medio físico-biológico una vez liberado (principalmente en medio acuático).
  - Producto de la degradación de otro contaminante (se refiere a contaminantes secundarios o compuestos químicos no tóxicos por sí mismos pero utilizados como proxies para indicar la presencia de un contaminante).
  - Puede cambiar el crecimiento y la estructura de la comunidad (contaminantes que puede alterar las estructuras de comunidades, principalmente mediante la eutrofización del medio, incluyendo algas y cianobacterias con potencial de generación de toxinas).
  - Conduce a hipoxia
  - Puede cambiar la biodisponibilidad y las formas químicas de otros (principalmente se usa para describir compuestos que por sí solos no son peligrosos, pero pueden interactuar con otros contaminantes para modificar su toxicidad, biodisponibilidad u otro).
  - Sustancia que agota la capa de ozono
  - Persistente en el medio ambiente (compuestos de difícil descomposición que pueden ser complicados de mitigar)
  - Bioacumula (potencial de acumularse en organismos)
  - Bioacumula (principalmente en invertebrados, aunque puede encontrarse en organismos superiores)
  - Biomagnifica (bioacumulable a través de la cadena trófica donde puede aumentar su concentración).
  - Algunas formas se biomagnifican (dependiendo de la especiación y su interacción con el medio fisicoquímico).
  
- Humano: contaminantes de peligrosidad conocida para la salud humana
  - Carcinógeno (potencial cancerígeno, principalmente por ingesta)
  - Carcinógeno humano (confirmado como cancerígeno en humanos, principalmente por ingesta)
  - Neurotóxico (que puede causar efectos adversos al sistema nervioso central, periférico u órganos sensoriales).
  - Algunas formas son carcinógenos en humanos (dependiendo de la especiación y su interacción con el medio fisicoquímico).

---

<sup>36</sup> <https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>

<sup>37</sup> <https://www.who.int/ipcs/assessment/es/>

- Reproductivo: contaminantes que pueden causar abortos, daños al feto en desarrollo, alterar la capacidad de lactar, o producir efectos negativos no hereditarios en el desarrollo de la descendencia.
  - Neurotóxico en el desarrollo (la exposición durante períodos críticos de la organogénesis e histogénesis del cerebro puede interferir en que el niño sufra una alteración de la función cerebral)
  - Disruptor endocrino (capaz de alterar el equilibrio hormonal de los organismos de una especie, pudiendo causar la interrupción de algunos procesos fisiológicos controlados hormonas).
  - Algunas formas tienen efectos de disruptores endocrinos (dependiendo de la especiación y su interacción con el medio fisicoquímico).

Tabla 73 Caracterización de peligrosidad de sustancias (elementos y compuestos) pertenecientes al grupo de prioridad 1 de monitoreo en la Bahía de Quintero.

Contaminante	Toxicidad				Ambiental							Humano			Reproductivo									
	Tóxico	Toxicidad reproductiva	Tóxico a bajas concentraciones	Tóxico a concentraciones muy bajas	algunas formas son tóxicas a bajas concentraciones	Producto de la degradación de otro contaminante	Puede cambiar el crecimiento de las algas y la	Conduce a hipoxia	Puede cambiar la biodisponibilidad y las formas	Sustancia que agota la capa de ozono	Persistente en el medio ambiente	Bioacumula	Bioacumula (invertebrados)	Biomagnifica	Algunas formas se biomagnifican	Carcinógeno	Carcinógeno humano	Neurotóxico	Algunas formas son carcinógenos en humanos	Neurotóxico en el desarrollo	Disruptor endocrino	Algunas formas tienen efectos de disruptores		
*-hexaclorociclohexano																								
Acenafteno																								
Acenaftileno																								
Ácido perfluorooctano sulfónico y sus sales																								
Aldrín																								
Aluminio																								
Amonio																								
Antraceno																								
Arsénico																								
Bario																								
Benceno																								
Benzo(ghi)perileno																								
Benzo(j)fluoranteno																								
Benzo(k)fluoranteno																								
Benzoantraceno																								
Benzofluoranteno																								
Benzopireno																								
Berilio																								
Bifenilos policlorados (PCB)																								
Boro																								
Cadmio																								

Cianuro	■	■		■															■					■	
Clordano										■															■
Cloro libre residual				■			■																		
Cloruros				■																					
Cobalto	■																								
Cobre	■																								
Criseno	■																								
Cromo	■			■																					■
Dibenzoantraceno	■																								
Dicloro difenil tricloroetano (DDT)	■																								
Dieldrina	■																								
Dioxinas (policlorodibenzodioxinas, PCDD)	■																								■
Endosulfán	■																								■
Endrina	■																								
Estaño	■																								■
Éteres de difenilo polibromados (PBDE)	■																								■
Etilbenceno	■																								
Fenantreno	■																								
Fluoranteno	■																								
Fluoreno	■																								
Fluoruro de sulfonilo perfluorooctano	■																								
Fluoruros	■																								
Furanos (Dibenzofuranos policlorados, PCDF)	■																								■
Heptacloro	■																								
Hexabromociclododecano (HBCDD)	■	■																							
Hexaclorobenceno (HCB)	■		■																						
Hexaclorobutadieno (HCBd)	■																								
Hidrocarburos	■																								■
Hidrocarburos alifáticos	■																								■
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	■																								■
Hidrocarburos aromáticos totales	■																								■
Hidrocarburos totales	■																								■
Hidrocarburos volátiles	■																								■
Hierro	■																								■
Indeno (1,2,3) pireno	■																								■
Indeno(1 2 3-cd)pireno	■																								■
Lindano	■																								■
Magnesio	■																								■
Manganeso	■																								■
Mercurio	■																								■
Mirex	■																								■
Molibdeno	■																								■
Naftaleno	■																								■
Niquel	■																								■
Nitrogeno (varios)	■																								■
PCBs coplanares	■																								■
Pentaclorofenol	■																								■
Pireno	■																								■
Plata	■																								■
Plomo	■																								■





muestra que el impacto de estos es poco significativo, dada su interacción con la matriz agua de mar y su sedimentación (especiación, adsorción), estos podrían omitirse del listado.

En cuanto a las emisiones de ruido submarino, no existen regulaciones a nivel nacional que aborden los impactos del ruido submarino, existen estudios puntuales en la materia (Colpaert et al. 2016, Yori 2017, Yori Fernandez 2018), una guía técnica para la evaluación de impacto producido por ruido subacuático (Buchan et al. 2018) desarrollada a través de una consultoría en el ministerio del Medio Ambiente (MMA), además de disposiciones generales pertinentes en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 1982 (Convención LOS) que tratan de la protección y preservación del medio marino (Dottinga & Elferink 2000). También, vale la pena destacar la reciente creación (2019) de un comité operativo<sup>41</sup>, encabezado por el ministerio de Medio Ambiente, para el fortalecimiento de la gestión del control de ruido submarino y la prevención de sus impactos en la biodiversidad. Dado el desconocimiento de los impactos locales del ruido submarino en la Bahía de Quintero es difícil priorizar su monitoreo.

Respecto a las aguas sucias de buques (oleosas, de sentina, de lastre) y sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos, reguladas por MARPOL, no tienen directrices, ya que se trata de mezclas de compuestos, los cuales si poseen regulaciones (normas y directrices) señaladas en los listados de contaminantes priorizados. No se pueden medir como mezcla.

Finalmente, un grupo de sustancias de especial interés son los subproductos de desinfección (DBPs, por sus siglas en inglés, incluyendo Trihalometanos, THM) y desalinización, resultado de la extracción de agua de mar para enfriamiento en procesos industriales. El mayor estudio de estas sustancias se enfoca en la salud humana y se encuentran en directrices de consumo de agua<sup>42</sup>. Debido a que los DBPs no se acumulan en el ambiente y el agua de mar no está considerada en el consumo humano, no han sido explorados como contaminantes ambientales en la Bahía de Quintero. No obstante, las emisiones de agua de enfriamiento a la bahía pueden contener subproductos de limpieza, desinfección y desalinización. Los subproductos de limpieza están asociados al uso de detergente y los principales parámetros de medición son el poder espumógeno, SAAM y fosfatos. Los subproductos de desinfección son generados cuando el cloro usado en las plantas de desalinización reacciona con la materia orgánica para producir diversos subproductos de la desinfección (DBP) como el cloro residual, cloratos, clorofenoles, trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA) y haloacetnitrilos (HAN)<sup>43</sup>. Los subproductos de desalinización contienen concentrados, resultado de la separación de los minerales del agua de origen y contiene la mayoría de los minerales y contaminantes del agua de origen y aditivos de pretratamiento en forma concentrada. Si se utilizan productos químicos como coagulantes, antiincrustantes, polímeros o desinfectantes para el pretratamiento del agua de mar, algunos o todos pueden llegar o eliminarse junto con el concentrado de descarga de la planta. Los ácidos e inhibidores de incrustaciones que se agregan al agua de origen de la planta desalinizadora son rechazados por las membranas de ósmosis inversa de agua de mar (SWRO) en el concentrado y tienen un impacto en su contenido y calidad minerales generales. A menudo, los inhibidores de incrustaciones contienen fosfatos o polímeros orgánicos<sup>44</sup>. Muchos de estos compuestos no cuentan con directrices específicas para agua de mar o sedimentos, pero si para agua potable<sup>45</sup>, calidad del aire o salud humana<sup>46</sup>.

Los subproductos de desinfección han sido priorizados internacionalmente en los últimos años por su impacto en los ecosistemas y pesar de que aún no se cuenta con estándares o directrices internacionales para definir su toxicidad en el ambiente, su efecto toxico es conocido y de prioridad para la Bahía de Quintero.

### **7.2.3.3 Grupo de prioridad 2 de monitoreo**

Respecto al Grupo 2 que agrupa sustancias contaminantes que aunque potencialmente presentes no se han considerado de preocupación ambiental en la Bahía de Quintero pero cuentan con directrices internacionales (umbrales definidos), incluye un grupo amplio de sustancias donde destacan múltiples plaguicidas, compuestos orgánicos (bifenilos polibromados,

---

<sup>41</sup> <https://ruido.mma.gob.cl/submarino/>

<sup>42</sup> Disinfection By-products (DBPs). Disponible en: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp130.html>

<sup>43</sup> <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.040>

<sup>44</sup> Desalination 273 (2011) 205–219: DOI: 10.1016/j.desal.2010.10.018

<sup>45</sup> [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/water-quality/guidelines/chemicals/trihalomethanes-fs-new.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/trihalomethanes-fs-new.pdf)

Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization, 1996;

“Chloroform” originally published in Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Addendum to Vol. 2. Health criteria and other supporting information. Geneva, World Health Organization, 1998.

<sup>46</sup> <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2020-038960>

bifenilos policlorados, organoclorados específicos), etc. Llama la atención en este grupo la presencia del cromo hexavalente (VI), forma más tóxica de cromo, no monitoreada directamente en las aguas de la Bahía de Quintero (si en RILes de ENAP y ESVAl), pero si la concentración total y disuelta. En sedimentos considera plaguicidas, bifenilos polibromados o PBB (Aroclor una mezcla de PCBs) y algunos metales. Se prevé que la profundización en el análisis del complejo industrial de Quintero-Puchuncaví podría significar en el futuro cercano la rápida reclasificación de contaminantes hacia el Grupo 1 de prioridad de monitoreo.

**Tabla 74 Priorización de elementos y compuestos de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero. Grupo 2 de sustancias que a la fecha no se consideran de preocupación ambiental en la Bahía de Quintero que cuentan con directrices internacionales (es decir con criterios de referencia o umbrales de toxicidad definidos)**

Parámetro	Agua de mar	Sedimentos marinos	Biota
	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
<b>Anilinas</b>			
Dicloroanilina 2,4			
<b>Bifenilos polibromados (PBB)</b>			
Aroclor			
Eter de polibromodifenilo			
Hexabromociclododecano (HBCDD)			
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>			
Diclorobifenilo 2,3'			
Triclorobenceno			
<b>Compuestos fenólicos</b>			
Bifenol A			
Clorofenol 2-			
Cresol (o-) (2-metil fenol)			
Cresol (p-) (4-metil fenol)			
Diclorofenol 2,4			
Dimetilfenol 2,4			
Fenoles			
Fenoles clorados			
Nitrofenol			
Nonilfenol			
Octilfenol			
Pentaclorofenol			
<b>Compuestos orgánicos volátiles (COVs)</b>			
Triclorofluorometano			
<b>Dinitroanilinas</b>			
Trifluralina			
<b>Ftalatos o ésteres de anhídrido ftálico</b>			
Dimetil oftalato			
<b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>			
Nitrobenzeno			
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>			
Benzo(j)fluoranteno			
Dimetilnaftaleno 2,6			
Metilfenantreno			
Metilnaftaleno			
Perileno			
<b>Indicadores físico/químicos de calidad ambiental</b>			
Índice de fenol			
<b>Metales y metaloides</b>			
Arsénico +III disuelto			

Parámetro	Agua de mar	Sedimentos marinos	Biota
	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Arsénico +V disuelto			
Berilio disuelto			
Berilio total			
Cromo III			
Cromo III disuelto			
Cromo total disuelto			
Cromo V disuelto			
Talio disuelto			
Talio total			
<b>Nutrientes</b>			
Fósforo total			
<b>Organoclorados</b>			
Bis(2-cloretoxi) metano			
Diclorobenceno 1,2			
Diclorobenceno 1,3			
Diclorobenceno 1,4			
Diclorobenceno Total			
Dicloroetano 1,1			
Dicloroetano 1,2			
Dicloroetano 1,1			
Dicloroetano 1,2			
Diclorometano			
Dicloropropano 1,2			
Hexafluoroetano			
Pentafluoroetano			
Tetrafluoroetano 1,1,2,2			
Tetrafluoroetileno			
Tetracloruro de carbono			
Tetraclorobenceno 1,2,3,4			
Tetraclorobenceno 1,2,3,5			
Tetraclorobenceno 1,2,4,5			
Tetraclorobencenos			
Tetraclorofenol 2,3,4,6			
Toxafeno			
Tricloroetano 1,1,1			
Tricloroetano 1,1,2			
Tricloroetano			
<b>Organofosforado</b>			
Paratión			
Temefos			
<b>Otras sustancias inorgánicas</b>			
Ácido 2- (2,4,5-triclorofenoxi) propiónico			
Ácido 2-metil-4-clorofenoxiacético (MCPA)			
Ácido metilclorofenoxiacético			
Ácido sulfhídrico			
Aldicarb			
Aldrina			
Atrazina			
Azinfos-metil			
Bromodiclorometano (Diclorobromometano)			

Parámetro	Agua de mar	Sedimentos marinos	Biota
	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Carbarilo			
Carbofurano			
Clorato			
Clordano			
Clorfenvinfos			
Cloroanilina			
Cloronaftaleno			
Cloropirifos			
Clorotalonil			
Demeton			
Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)			
Diazinon			
Diclodifeniltricloroetano (P) 4,4'			
Dicloro difenil dicloroetano (DDD)			
Dicloro difenil dicloroetileno (DDE)			
Dicloro difenil tricloroetano (DDT)			
Dicloro difenil tricloroetano (DDT), dicloro difenil dicloroetileno (DDE) y dicloro difenil dicloroetano (DDD)			
Dicloroanilina 3,4			
Dicloropropeno 1,3			
Dicofol			
Dieldrina			
Endrina			
Epóxido de heptacloro			
Estaño como trifenilo			
Heptacloropóxido			
Heptacloro			
Hexaclorociclohexano-*			
Hexaclorociclohexano- $\delta$ (lindano)			
Hexaclorociclopentadieno			
Imidacloprid			
Isoforona			
Isoproturon			
Malatión			
Metoxicloro			
Pentaclorobenceno			
Permetrina			
Sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico)			
Tiram			
<b>Otras sustancias orgánicas</b>			
Acido benzoico			
Acroleina			
Alcohol bencílico			
Bifenil			
Dibromometano			
Dietil oftalato			
Di-n-butil ftalato			
Dinitrofenol 2,4			
Dinitrotolueno 2,4			
Di-n-octil ftalato			

Parámetro	Agua de mar	Sedimentos marinos	Biota
	Grupo 2	Grupo 2	Grupo 2
Dioxinas y furanos			
Diuron			
Éter metil tert-butílico (MTBE)			
Formaldehido			
Hexaclorobenceno (HCB)			
Hexaclorobutadieno (HCBD)			
Irgarol			
Monoclorobenceno			
Nitrosodipenilamina			
Parafinas cloradas de cadena corta (SCCP)			
Parafinas cloradas de cadena media (MCCP)			
Tetrabromobifenil A			
Triclorobenceno 1,2,4			
Tricloroetano			
Tricloroetano 1,1,1			
Tricloroetano 1,1,2			
Triclorofeno 2,4,5			
Triclorofeno 2,4,6			
Triclorofenol 2,4,5			

En la Tabla 75 a continuación entrega una caracterización de peligrosidad de algunas de las sustancias (elementos y compuestos) del grupo de prioridad 2 de monitoreo en la Bahía de Quintero. Esta no es una caracterización exhaustiva de todos los compuestos y sus características, sino más bien una descripción general de los principales (según opinión de experto). Esta tabla fue construida con la opinión de expertos (Sharon Hook) y consulta referencia a las bases de datos de la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades<sup>47</sup> (ATSDR por sus siglas en inglés), y el Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas de la OMS<sup>48</sup>.

**Tabla 75 Caracterización de peligrosidad de sustancias (elementos y compuestos) pertenecientes al grupo de prioridad 2 de monitoreo en la Bahía de Quintero.**

	Toxicidad	Ambiental	Humano	Reproductivo
--	-----------	-----------	--------	--------------

<sup>47</sup> <https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>

<sup>48</sup> <https://www.who.int/ipcs/assessment/es/>

Contaminante	Tóxico	Toxicidad reproductiva	Tóxico a bajas concentraciones	Tóxico a concentraciones muy bajas	algunas formas son tóxicas a bajas concentraciones	Producto de la degradación de otro contaminante	Puede cambiar el crecimiento de las algas y la estructura de la comunidad	Conduce a hipoxia	Puede cambiar la biodisponibilidad y las formas químicas de otros	Sustancia que agota la capa de ozono	Persistente en el medio ambiente	Bioacumula	Bioacumula (invertebrados)	Biomagnifica	Algunas formas se biomagnifican	Carcinógeno	Carcinógeno humano	Neurotóxico	Algunas formas son carcinógenos en humanos	Neurotóxico en el desarrollo	Disruptor endocrino	Algunas formas tienen efectos de disruptores endocrinos
*-hexaclorociclohexano																						
1,1,1-Tricloroetano																						
1,1,2-Tricloroetano																						
1,2,4-Triclorobenceno																						
1,2-Diclorobenceno																						
2,4,5-triclorofenol																						
3,4-Dicloroanilina																						
Ácido metilclorofenoxiacético																						
Ácido perfluorooctano sulfónico y sus sales																						
Aldrín																						
Amonio																						
Antimonio																						
Antraceno																						
Aroclor																						
Azinfos-metil																						
Bifenilos policlorados (PCB)																						
Clorato																						
Clordano																						
Cloroformo																						
Cloropirifos																						
Clortalonil																						
Demeton																						
Diazinon																						



Dentro de los parámetros adicionales de monitoreo de RILs identificados destacan dioxinas y furanos en centrales termoeléctricas. Destaca asimismo la posible presencia de hidrocarburos aromáticos monocíclicos (BTEX) en RILs asociados a los terminales de transferencia, almacenamiento y producción de hidrocarburos (COPEC Quintero, ENAP Quintero, GASMAR y GNL Quintero). Se identificó asimismo la necesidad de considerar el monitoreo de subproductos de desinfección (trihalometanos, ácidos acéticos halogenados y cloraminas) en RILs de termoeléctricas (sistemas de enfriamiento), ESVAL, GASMAR y GNL Quintero. En la Pesquera Quintero solo se mide el triclorometano (o cloroformo) pero existe una amplia variedad de subproductos de desinfección potencialmente presentes con efectos ambientales, donde destacan los trihalometanos (representa la suma de la concentración de los 4 compuestos: cloroformo o triclorometano, bromodiclorometano, dibromoclorometano y bromoformo), ácidos acéticos halogenados (9 compuestos con diferente contenido de cloro y bromo) y cloraminas (múltiples derivados de amonio por sustitución de uno, dos o tres átomos de hidrógeno con átomos de cloro). Aunque no se encuentran asociados a RILs se incluyen también varios metales pesados adicionales presentes en el petróleo crudo y sus derivados los cuales por fugas y/o derrames pudiesen ingresar a aguas de la Bahía de Quintero.

Respecto a los metales pesados, el monitoreo de las concentraciones totales en el afluente es muy importantes para comprender las cargas totales a la Bahía de Quintero. Una vez descargada en la Bahía, se puede considerar que existe (se deben especificar límites) una zona de mezcla donde generalmente se produce el cambio más rápido en la especiación y partición de metales. Estos cambios a menudo resultan en una disminución en la concentración de metales disueltos (utilizando un filtro de 0.2 o 0.45 µm), pero depende del metal, así como de factores como el pH, redox y la presencia de materia orgánica en suspensión, entre otros. Es difícil predecir concentraciones/especiaciones de especies disueltas, pero las estimaciones (predicción del modelo) pueden variar hasta un orden de magnitud (es decir, 1 = 10). Es probable que la fracción particulada (total - disuelta) precipite o se adsorba en partículas en la columna de agua que potencialmente lleguen al fondo marino, pero la concentración final en los sedimentos dependerá de lo que se "exporte" debido a la hidrodinámica antes de la sedimentación. Una vez en los sedimentos es muy probable que se convierta en una fuente secundaria de contaminación de la bahía. En este contexto, es donde tener mediciones tanto disueltas como totales es muy útil (necesario para estimaciones y modelos).

Las directrices ambientales para metales pesados en agua de mar son en muchos de los casos (AU/NZ-NWRC-2018, US-SQUIRT-2008, BR-CONAMA-2005) para concentraciones disueltas, es decir, la fracción que causa toxicidad en el agua de mar, y no incluyen las fracciones particulada (más información en Tabla 5 de la sección 6.2.2.2). Por lo tanto, la comparación con las directrices solo se puede realizar correctamente utilizando la fracción disuelta, la misma fracción utilizada para desarrollar las directrices. Es posible comparar la concentración total (sin filtrar) con las directrices en el entorno receptor. Si la concentración total medida es menor que las directrices basadas en la fracción disuelta, entonces no se excede la directriz. Sin embargo, si la concentración sin filtrar (es decir total) excede la directriz basada en la fracción disuelta, entonces no se puede tomar una decisión clara con respecto al riesgo usando la directriz, potencialmente existe un riesgo para la salud humana y el medio ambiente.

En este contexto, se sugiere en primera instancia monitorear la concentración total y disuelta de metales pesados en la matriz del agua de mar, en un ciclo estacional, lo que permitirá conocer mejor las cargas a la bahía, la biodisponibilidad potencial y el destino. Asimismo permitirá estimar en un futuro próximo los factores de conversión específicos para la Bahía de Quintero entre la concentración total: disuelto (quizás también corregido por sólidos suspendidos totales, pH, salinidad, estacionalidad, etc.) que se pueden utilizar en la futura red de monitoreo asociada a la norma secundaria de calidad ambiental de la Bahía de Quintero.

**Tabla 76 Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) monitoreados en RILs de unidades fiscalizables asociadas a la Bahía de Quintero, junto con parámetros adicionales no monitoreados identificados en este estudio.**

Parámetro	Parámetro monitoreado en emisario del RIL										Parámetro adicional propuesto a monitorear en emisario del RIL									
	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>																				



Parámetro	Parámetro monitoreado en emisario del RIL									Parámetro adicional propuesto a monitorear en emisario del RIL											
	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	
Total bifenilos policlorados (PCB)																					
<b>Compuestos fenólicos</b>																					
Nonilfenol																					
Pentaclorofenol																					
<b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>																					
Benceno																					
Etilbenceno																					
Tolueno																					
Total benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)																					
Xilenos totales																					
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>																					
Total hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)																					
<b>Indicadores biológicos de calidad ambiental</b>																					
Coliformes fecales																					
<b>Indicadores físico/químicos de calidad ambiental</b>																					
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)																					
Demanda química de oxígeno (DQO)																					
Índice de fenol																					
pH																					
Poder espumógeno																					
Potencial redox (Eh)																					
Sólidos sedimentables																					
Sólidos suspendidos totales																					
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)																					
Temperatura																					
<b>Iones de importancia ambiental</b>																					
Cloruro																					
Fluoruro																					
Fosfato																					
Sulfato																					
Sulfuro																					
<b>Metales y metaloides</b>																					
Aluminio total																					
Antimonio total																					
Arsénico total																					
Bario total																					
Boro total																					
Cadmio total																					
Cobalto total																					
Cobre total																					

Parámetro	Parámetro monitoreado en emisario del RIL										Parámetro adicional propuesto a monitorear en emisario del RIL										
	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	
Cromo total																					
Cromo VI total																					
Estaño total																					
Galio total																					
Hierro total																					
Magnesio total																					
Manganeso total																					
Mercurio total																					
Molibdeno total																					
Níquel total																					
Plata total																					
Plomo total																					
Selenio total																					
Titanio total																					
Uranio total																					
Vanadio total																					
Zinc total																					
<b>Nutrientes</b>																					
Amonio-Nitrógeno																					
Fósforo total																					
Nitrógeno total Kjeldahl																					
Nitrógeno total																					
<b>Organoclorados</b>																					
Triclorometano (cloroformo)																					
<b>Otras sustancias inorgánicas</b>																					
Cianuro disuelto																					
Cianuro total																					
Cloro libre residual																					
Triclorometano (cloroformo)																					
Sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico)																					
Bromoformo																					
<b>Otras sustancias orgánicas</b>																					
Aceites y grasas																					
Clorometano (cloruro de metilo)																					
Dioxinas (Policlorodibenzodioxinas, PCDD)																					
Estradiol																					
Etinilestradiol																					
Furanos (Dibenzofuranos policlorados, PCDF)																					
Materia orgánica disuelta																					
Materia orgánica total																					
Tetracloroeteno (Tetracloroetileno)																					
<b>Otros hidrocarburos</b>																					
Hidrocarburos fijos																					

Parámetro	Parámetro monitoreado en emisario del RIL									Parámetro adicional propuesto a monitorear en emisario del RIL											
	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	
Hidrocarburos totales																					
Hidrocarburos volátiles																					
<b>Parámetros estructurales del cuerpo receptor</b>																					
Caudal																					
<b>Perfluoroalquilados</b>																					
Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y sales																					

Parámetro	Parámetro monitoreado en emisario del RIL									Parámetro adicional propuesto para monitoreo											
	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>																					
Total bifenilos policlorados (PCB)																					
<b>Compuestos fenólicos</b>																					
Nonilfenol																					
Pentaclorofenol																					
<b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>																					
Benceno																					
Etilbenceno																					
Tolueno																					
Total benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)																					
Xilenos totales																					
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>																					
Total hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)																					
<b>Indicadores biológicos de calidad ambiental</b>																					
Coliformes fecales																					
<b>Indicadores físico/químicos de calidad ambiental</b>																					
Demanda biológica de oxígeno (DBO5)																					
Demanda química de oxígeno (DQO)																					
Índice de fenol																					
pH																					

Parámetro	Parámetro monitoreado en emisorio del RIL									Parámetro adicional propuesto para monitoreo											
	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	
Poder espumógeno																					
Potencial redox (Eh)																					
Sólidos sedimentables																					
Sólidos suspendidos totales																					
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)																					
Temperatura																					
<b>Iones de importancia ambiental</b>																					
Cloruro																					
Fluoruro																					
Fosfato																					
Sulfato																					
Sulfuro																					
<b>Metales y metaloides</b>																					
Aluminio total																					
Antimonio total																					
Arsénico total																					
Bario total																					
Boro total																					
Cadmio total																					
Cobalto total																					
Cobre total																					
Cromo total																					
Cromo VI total																					
Estaño total																					
Galio total																					
Hierro total																					
Magnesio total																					
Manganeso total																					
Mercurio total																					
Molibdeno total																					
Níquel total																					
Plata total																					
Plomo total																					
Selenio total																					
Titanio total																					
Uranio total																					
Vanadio total																					
Zinc total																					
<b>Nutrientes</b>																					
Amonio																					
Fósforo total																					
Nitrógeno total Kjeldahl																					

Parámetro	Parámetro monitoreado en emisario del RIL									Parámetro adicional propuesto para monitoreo										
	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero
<b>Organoclorados</b>																				
Triclorometano (cloroformo)		■			■					■	■	■					■	■	■	
<b>Otras sustancias inorgánicas</b>																				
Cianuro disuelto											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Cianuro total	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										
Cloro libre residual		■							■		■	■								■
Triclorometano (cloroformo)											■	■	■		■			■	■	■
Sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico)																	■			■
<b>Otras sustancias orgánicas</b>																				
Aceites y grasas	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										
Clorometano (cloruro de metilo)											■	■	■				■	■	■	■
Dioxinas (Policlorodibenzodioxinas, PCDD)											■	■	■							
Estradiol																	■			
Etinilestradiol																	■			
Furanos (Dibenzofuranos policlorados, PCDF)											■	■	■							
Materia orgánica disuelta																	■	■	■	■
Materia orgánica total																	■	■	■	■
Tetracloroetano (Tetracloroetileno)					■															
<b>Otros hidrocarburos</b>																				
Hidrocarburos fijos					■		■	■		■										
Hidrocarburos totales	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										
Hidrocarburos volátiles	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■										
<b>Parámetros estructurales del cuerpo receptor</b>																				
Caudal	■	■	■		■		■	■	■					■		■				■
<b>Perfluoroalquilados</b>																				
Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y sus sales																	■			

## 7.2.5 Talleres y reuniones

### 7.2.5.1 Taller de trabajo N°2 de definición de criterios de selección y priorización de parámetros a monitorear en la Bahía de Quintero

Con fecha 17 de diciembre de 2020, entre 4:00 PM-6:00 PM, mediante video conferencia se realizó el taller técnico 2 del proyecto “Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero”, ejecutado por la Fundación CSIRO Chile Research, bajo mandato del ministerio de Medio Ambiente (O.C.608897-150-SE20).

La agenda de taller se detalla a continuación:

1. Palabras de bienvenida
2. Parte 1. Priorización de contaminantes a monitorear en zonas costeras (25’).
  - a. CSIRO y capacidades pertinentes, Dr. Andy Revill.

- b. Marco para la evaluación de riesgos de contaminantes. Dr. Stuart Simpson.
  - c. Estudios de caso y bioacumulación de contaminantes. Dr. Sharon Hook
3. Parte 2. Propuesta metodológica de priorización de contaminantes a monitorear en la bahía de Quintero (15'). (Dr. Francisco Bravo)
  4. Parte 3. Discusión en grupos (20') y panel abierto (20')
  5. Palabras de cierre

Se utilizó la plataforma [www.miro.com](http://www.miro.com), una plataforma colaborativa basada en la web para dibujar en pizarras en tiempo real y con videoconferencias. Las respuestas a las preguntas realizada a la audiencia se detallan en el Anexo A.

De los comentarios de la audiencia se desprende que:

1. La **calidad de los datos** es deficiente, y por tanto basarse en ellos para medir **excedencia** no es aconsejable.
2. **La inexistencia de una línea de base**, o sitios de referencia dificulta el establecimiento de criterios de referencia preindustriales, además la mayoría de los sitios cercanos ya están muy contaminados.
3. Autoridades esperan más de lo que es posible extraer desde los datos.
4. **Es importante profundizar en la frecuencia de observación** de contaminantes en la Bahía de Quintero a fin de cubrir las múltiples escalas de variación asociadas a eventos estacionales, mareales y otros ciclos industriales.

La presentación de Power Point realizada se adjunta en formato PDF bajo el nombre "SP\_PPT\_OC608897150SE20\_TALLER\_TECNICO\_2.pdf"

El acta que contiene el listado y registros de asistencia se adjunta en el Anexo G de este informe.

## 7.3 Objetivo 3

### 7.3.1 Revisión internacional de métodos analíticos y límites de detección por parámetro priorizado para aguas crudas y RILES

En el Anexo L adjunto a este informe se entregan resultados de la revisión crítica de métodos analíticos utilizados para el análisis de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas en Chile además de otros descritos a nivel internacional. Basado en opinión experta del equipo del proyecto se discrimina aquellos métodos analíticos que sí (o no) es probable logren un límite de detección adecuado para los fines de monitoreo de contaminantes en la Bahía de Quintero.

### 7.3.2 Revisión a nivel nacional de laboratorios que realicen análisis con las metodologías y límites de detección sugeridos a partir de Actividad 6.3.2

En la Tabla 77 se listan los laboratorios nacionales que realizan análisis de sustancias contaminantes y variables ambientales en matrices marinas con las metodologías y límites de detección sugeridos a partir de Actividad 6.3.2, específicamente aquellos métodos analíticos que por opinión experta es probable que logren un límite de detección adecuado para el análisis de contaminantes en matrices marinas.

**Tabla 77 Laboratorios nacionales (incluido código ETFA) que realizan análisis con las metodologías y límites de detección sugeridos a partir de Actividad 6.3.2**

Código ETFA	Nombre ETFA
003-01	HIDROLAB SANTIAGO
004-01	AGQ CHILE SA
010-01	CESMEC S.A SEDE SANTIAGO
010-02	CESMEC S.A SEDE CONCEPCIÓN
010-03	CESMEC S.A SEDE IQUIQUE

011-01	LABORATORIO ANAM CENTRO
011-02	LABORATORIO ANAM P. MONTT
013-01	SILOB LABORATORIO PUERTO MONTT
015-01	ALGORITMOS - CASA MATRIZ
016-01	DICTUC S.A - AGUAS Y RILES
017-01	CENTRO DE ECOLOGÍA APLICADA
021-01	UDC - LABORATORIO DE RECURSOS RENOVABLES
021-02	UDC - LABORATORIO DE OCEANOGRAFÍA QUIMICA
021-03	UDC - LABORATORIO DE ENSAYOS EULA
022-01	UCN - LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
023-01	AGQ CHILE SA
023-01	SGS CHILE LTDA - SANTIAGO
023-02	SGS CHILE LTDA - ANTOFAGASTA
028-01	BIOTECMAR
053-01	CEAMAR
No aplica	Metodologías Analíticas P.O.A.L. Periodo 2018-2023.

A continuación, en la Tabla 78 se listan los laboratorios nacionales con capacidades analíticas declaradas ante ETFA para el análisis de calidad del aire, es decir la cuantificación de sustancias contaminantes (en gases y material particulado) y variables atmosféricas.

Tabla 78 Laboratorios nacionales con capacidades analíticas declaradas ante ETFA para el análisis de calidad del aire. Fuente: Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) – Registro de Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental.

Parámetro	Aire - Gases														Aire - MP																	
	AEEG EMISSIONS SANTIAGO	AIRÓN INGENIERÍA Y CONTROL	AIRTESLAB SpA	ALGORITMOS - CASA MATRIZ	ANÁLISIS Y CONTROL AMBIENTAL SpA	ANÁLISIS Y MEDICIONES	AXIS TECNOLOGÍAS AMBIENTALES	CESMEC S.A DIVISIÓN MEDIO	JHG- JOSÉ DOMINGO CAÑAS	MÉNDEZ ASOCIADOS LTDA.	PROTERM SA	SERCOAMB TOBALABA	SERPRAM S.A.	SERVICIOS MINEROS	SGS CHILE LTDA - SANTIAGO	AB MEDICIONES AMBIENTALES	AEEG EMISSIONS SANTIAGO	AIRÓN INGENIERÍA Y CONTROL	AIRTESLAB SpA	ALGORITMOS - CASA MATRIZ	ANÁLISIS Y CONTROL AMBIENTAL SpA	ANÁLISIS Y MEDICIONES	AXIS TECNOLOGÍAS AMBIENTALES	CESMEC S.A DIVISIÓN MEDIO	JHG- JOSÉ DOMINGO CAÑAS	MÉNDEZ ASOCIADOS LTDA.	PROTERM SA	SERCOAMB TOBALABA	SERPRAM S.A.	SERVICIOS MINEROS	SGS CHILE LTDA - SANTIAGO	
1,1,1-Tricloroetano																																
1,1,2-Tricloroetano																																
1,1-Dicloroetano																																
1,1-Dicloroetano																																
1,2-Dicloroetano																																
1,2-Dicloropropano																																
1,3-Dicloropropeno																																
Ácido sulfúrico																																
Acronitrilo																																
Antimonio total																																
Arsénico total																																
Azufre Total Reducido																																
Bario total																																
Benceno																																
Berilio total																																
Bromo total																																
Bromodichlorometano (Diclorobromometano)																																
Bromuro de hidrógeno																																
Cadmio total																																
Carbono orgánico total (TOC)																																
Cloro libre residual																																





### 7.3.3 Propuesta de métodos analíticos y límites de detección para medición de cada parámetro priorizado.

#### 7.3.3.1 Revisión de estudios previos en la materia

Mas allá de los métodos analíticos definidos por normativa, HOLON SPA. (2019) llevo a cabo un análisis exhaustivo de los métodos declarados (efectivamente utilizados) para el análisis de elementos y compuestos contaminantes en muestras de agua de mar (n = 600 métodos) y sedimentos marinos (n=261 métodos). Del análisis crítico de esta información (técnicas de muestreo, preservación de muestras, métodos de lectura, métodos de digestión de muestras, límite de cuantificación y límite de detección, entre otros) el estudio concluye que la mayoría de los procedimientos analíticos utilizados no corresponden a los procedimientos apropiados para agua de mar, ya que fueron originalmente desarrollados para agua dulce y aguas residuales. El agua de mar contiene concentraciones significativas de sales y otros compuestos que pueden interferir en la determinación de elementos y compuestos objetivos lo cual debe ser considerado en los métodos de preprocesamiento y análisis de muestras. Respecto a los límites de detección (LD) y límites de cuantificación (LC), HOLON SPA. (2019) destacó también la necesidad de verificar o validar los métodos antes de ponerlos en práctica de acuerdo con estándares internacionales (Norma ISO/IEC 17025), y declarar ambos parámetros (LD y LC) junto a los resultados de los análisis de laboratorio. Finalmente, del análisis crítico de los métodos analíticos utilizados, HOLON SPA. (2019) propuso un listado de métodos validados para el análisis de muestras de agua de mar, incluyendo especificaciones de los límites de detección (LD) y cuantificación (LC) recomendados, la unidad de medida y las referencias a métodos validados. Esta información se incluye en la Tabla 79 a continuación. Esta información constituye un insumo importante para las siguientes fases del proyecto donde se diseñará y costeará la implementación de una red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero.

**Tabla 79 Resumen de los principales parámetros analizados en los programas de monitoreo ambiental (PVA) de unidades fiscalizables con emisiones de residuos líquidos a la Bahía de Quintero (agua y sedimentos). Se indican el límite de detección recomendado (LD), el límite de cuantificación recomendado (LC), la unidad de medida y las referencias a métodos validados. Fuente: HOLON SPA. (2019)**

Matriz	Parámetro	Metodología	LD	LC	Unidad	Referencia método validado en matriz marina
Agua de mar	Aceites y Grasas	Gravimetría	0,3		1 mg L-1	H. H. Rump and H. Krist: Laboratory Manual for the Examination of Water, Waste Water and Soil. 1988.
Agua de mar	Amonio	Espectroscopía UV/VIS	0,001	0,005	mg L-1	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua de mar	Amonio	Espectroscopía UV/VIS	0,07	0,25	µM	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua de mar	Arsénico Total	HGAAS	0,07	0,3	µg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3114.
Agua de mar	Arsénico Total	ICP-OES/HG	0,07	0,23	µg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3114.
Agua de mar	Carbono Orgánico Total	Combustión Catalítica	0,01	0,5	mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 5310 B.
Agua de mar	Cobalto Total	GFAAS	0,08	0,3	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. and Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Agua de mar	Cobalto Total	ICP-MS	***	0,01	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. and Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Agua de mar	Fosfato	Espectroscopía UV/VIS	0,004	0,012	mg L-1	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua de mar	Fosfato	Espectroscopía UV/VIS	0,04	0,13	µM	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua de mar	Fósforo Total	Espectroscopía UV/VIS	0,004	0,016	mg L-1	Solórzano, L., & Sharp, J. (1980). Limnol. Oceanogr., 25(4), 754758.
Agua de mar	Fósforo Total	Espectroscopía UV/VIS	0,14	0,5	µM	Solórzano, L., & Sharp, J. (1980). Limnol. Oceanogr., 25(4), 754758.
Agua de mar	HAP's	GC-MS	0,001	0,002	µg L-1	EPA Method 8270 D.
Agua de mar	HCT (C10-C38)	GC-MS	0,004	0,013	µg L-1	EPA Method 8270 D.
Agua de mar	Indice de Fenol	Espectroscopía UV/VIS	0	0,001	mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 5530 C.

Matriz	Parámetro	Metodología	LD	LC	Unidad	Referencia método validado en matriz marina
Agua de mar	Lípidos	Gravimetría (Soxhlet)	***		3 mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 5520 D.
Agua de mar	Níquel Total	GFAAS	0,15	0,6	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. and Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Agua de mar	Níquel Total	ICP-MS	0,01	0,03	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. and Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Agua de mar	Nitrato	Espectroscopía UV/VIS	0,019	0,062	mg L-1	Jones, M.N. (1984). Nitrate reduction by shaking with cadmium Water Res.18,643646.
Agua de mar	Nitrato	Espectroscopía UV/VIS	0,3		1 µM	Jones, M.N. (1984). Nitrate reduction by shaking with cadmium Water Res.18,643646.
Agua de mar	Nitrito	Espectroscopía UV/VIS	0,002	0,006	mg L-1	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua de mar	Nitrito	Espectroscopía UV/VIS	0,04	0,13	µM	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua de mar	Oxígeno Disuelto	Winkler	0,04	0,13	mg L-1	Parson, T., R., Maita, Y., & Lalli, C., M. (1984). A Manual of Chemical and Biological. Methods for Seawater analysis. First edition.
Agua de mar	pH	Potenciometría	***	***	***	NCh2313/1. Of95. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 4500H+.
Agua de mar	Plomo Total	GFAAS	0,13	0,5	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. and Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Agua de mar	Plomo Total	ICP-MS	0,004	0,015	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. and Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Agua de mar	SAAM	Espectroscopía UV/VIS	***	0,004	mg L-1	NCh2313/27. Of1998.
Agua de mar	Sólidos Disueltos Totales	Gravimetría	2,2		8 mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 2540 C.
Agua de mar	Sólidos Suspendidos Totales	Gravimetría	0,3		1 mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 2540 C.
Agua de mar	Sólidos Totales	Gravimetría	***	2,5	mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 2540 B.
Agua de mar	Sulfato	Cromatografía Iónica	0,03	0,1	mg L-1	EPA Method 300.1.
Agua de mar	Sulfato	Gravimetría		3	10 mg L-1	Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22st Edition. 2012. 4500S042 C.
Agua de mar	Vanadio Total	GFAAS	0,75	2,5	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. and Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Agua de mar	Vanadio Total	ICP-MS	0,01	0,03	µg L-1	Methods of Seawater Analysis, Grasshoff K., Kremling K. and Ehrhardt M. 1999. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3125 B.
Sedimentos	Arsénico Extraíble	HGAAS	0,3	1,5	µg g-1	EPA Method 3052.
Sedimentos	Arsénico Extraíble	ICP-OES/HG	0,07	0,23	µg kg-1	EPA Method 3052.
Sedimentos	Carbono Orgánico Total	Análisis Elemental (CHN)	***	***	***	Vector. CHN/O Analyzer. User Manual.TekmarDohrmann.
Sedimentos	Cobalto Extraíble	GFAAS	0,006	0,02	µg g-1	EPA Method 3051 A. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Sedimentos	Fosfato	Cromatografía Iónica	***	0,22	µg g-1	EPA Method 300.1.
Sedimentos	Granulometría	Gravimetría	***	***	***	Resolución Exenta N° 3612 de 2009, numeral 26, de la Subsecretaría de Pesca.
Sedimentos	HAP's	GC-MS	0,001	0,004	µg g-1	EPA Method 8270 D.
Sedimentos	HCT (C10-C38)	GC-FID	0,015	0,03	µg g-1	EPA 8015D (semivolatile organic compounds by gas chromatography)
Sedimentos	HCT (C10-C38)	GC-MS	0,004	0,012	µg g-1	EPA Method 8270 D.
Sedimentos	Humedad	Gravimetría	***	***	***	Hakanson, L. (1981). A manual of lake morphometry. Berlin: Springer-Verlag.
Sedimentos	Níquel Extraíble	FAAS	0,5		8 µg g-1	EPA Method 3051 A.

Matriz	Parámetro	Metodología	LD	LC	Unidad	Referencia método validado en matriz marina
Sedimentos	Niquel Extraíble	GFAAS	0,15	0,6	µg g-1	EPA Method 3051 A. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Sedimentos	Niquel Extraíble	ICP-MS	0,01	0,03	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Niquel Extraíble	ICP-OES	0,2	1,2	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Plomo Extraíble	FAAS	1	5	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Plomo Extraíble	GFAAS	0,13	0,5	µg g-1	EPA Method 3051 A. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Sedimentos	Plomo Extraíble	ICP-MS	0,004	0,015	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Plomo Extraíble	ICP-OES	0,3	2	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Sulfato	Cromatografía Iónica	4	13	µg g-1	EPA Method 300.1.
Sedimentos	Vanadio Extraíble	FAAS	7	50	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Vanadio Extraíble	GFAAS	0,75	2,5	µg g-1	EPA Method 3051 A. // Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st Edition. 2005. 3113 B.
Sedimentos	Vanadio Extraíble	ICP-MS	0,01	0,03	µg g-1	EPA Method 3051 A.
Sedimentos	Vanadio Extraíble	ICP-OES	***	0,1	µg g-1	EPA Method 3051 A.

\*\*\* Sin información

FAAS: Espectrometría de Absorción Atómica con Llama

GC-FID: Plasma Acoplado Inductivamente con detector de ionización de llama

GC-MS: Plasma Acoplado Inductivamente con Detector Masa

GFAAS: Espectrometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito

HGAAS: Espectrometría de Absorción Atómica con Generación de Hidruros

ICP-OES: Espectroscopía de Emisión Óptica de Plasma

ICP-OES/HG: Espectroscopía de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente con Generación de Hidruros

### 7.3.3.2 Aseguramiento de la calidad

Idealmente, los laboratorios analíticos deben estar acreditados para los métodos que se utilizan o, si no es factible, se debe evaluar que los laboratorios no acreditados posean mecanismos de aseguramiento de la calidad al menos equivalentes a los laboratorios acreditados. Los laboratorios que no estén acreditados solo deben utilizarse cuando los métodos y prácticas analíticas utilizados hayan demostrado una mayor precisión y exactitud analítica que un laboratorio aprobado comparable.

#### 7.3.3.2.1 Límites de detección de métodos

Los límites de detección de métodos (MDL, de sus siglas en inglés) describen la concentración más baja de analitos (elementos, sustancias) que se pueden detectar e informar con confianza utilizando el método. A menudo se usan diferentes términos, pero cada método tiene diferentes límites de detección (DL), límites informados (LOR, reporting limit), y/o límites de cuantificación práctica (PQL) para cada analito. Para algunos métodos/analitos, es posible que sea necesario volver a determinar el límite de detección, o al menos volver a comprobarlo, cada vez que se utilice el método. El uso de blancos, preparados en el laboratorio (blanco de laboratorio) y en el sitio de recolección de muestras (blanco de campo), son importantes para determinar los límites de detección.

#### Límites de detección (DL), límites de notificación (LOR), límites de cuantificación práctica (PQL)

En el caso del análisis de muestras marinas, algunos laboratorios acreditados pueden proporcionar LORs/PQLs muy por debajo de su capacidad analítica real en la matriz de la solución, lo que resulta en conjuntos de datos erróneos (por ejemplo, informando como <LOR cuando las concentraciones deben ser detectables con mayor cuidado y esfuerzo).

Cada laboratorio debe determinar para cada método/analito sus LORs/PQLs. Estos generalmente se determinan siguiendo procedimientos estandarizados relevantes para el conjunto de métodos. Los procedimientos comúnmente seguidos son documentados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y los Métodos Estándar para el Examen del Agua y las Aguas Residuales (APHA).

#### Blancos de laboratorio y de campo

Blanco de laboratorio (MB): una matriz libre de analitos a la que se agregan todos los reactivos en los mismos volúmenes o proporciones en la preparación estándar de la muestra. Esto se evalúa para monitorear la posible contaminación del laboratorio. Para mejorar tanto la precisión como el límite inferior de las determinaciones de elementos o sustancias trazas, es imperativo controlar la variabilidad del blanco analítico y mantenerlo lo más bajo posible.

Blanco de campo (FB): deben incluirse para el muestreo de agua y sedimentos. Estos ayudan a monitorear las prácticas de control de la contaminación de las muestras (filtración, preparación de botellas y manejo de muestreo y también la substracción de las concentraciones de fondo, es decir la concentración del elemento o sustancia que no es atribuible a las emisiones dentro del área de estudio o en otras palabras la concentración que se mediría si las fuentes locales de emisiones no estuvieran presentes).

### **7.3.3.2 Precisión y exactitud del método**

Para verificar la precisión del método analítico, generalmente se siguen una variedad de procedimientos, como se describe a continuación. Los criterios de aceptación generalmente se desarrollan para acompañar los "controles de precisión".

#### **Materiales de referencia certificados (CRM) o materiales de referencia estándar (SRM)**

Los materiales de referencia certificados (CRM) o materiales de referencia estándar (SRM) actúan como estándares de referencia, tienen concentraciones certificadas de elementos o compuestos objetivo dentro de matrices de muestra similares a las que se están probando. Un CRM es un material de referencia emitido y certificado por una organización generalmente aceptada como técnicamente competente. Un SRM es un material de referencia certificado emitido por una Oficina Nacional de Estándares. Son la clase más alta de muestra de evaluación. Por ejemplo, existen CRM para el agua de mar, los sedimentos y muestras de peces que contienen una gama de metales traza, lo que permite evaluar la realización de los procedimientos analíticos para detectar esos metales mediante una comparación de los resultados obtenidos con las concentraciones certificadas. Los CRM se utilizan para comprobar que el método funciona según lo deseado, por ejemplo, extrayendo (o recuperando) la parte deseada del analito objetivo de la matriz de muestra. Los criterios de aceptación para los CRM típicamente involucran que, los valores determinados por el laboratorio están dentro del 85-115% del valor especificado por la autoridad certificadora o dentro de un rango de concentración específica certificado. Las causas comunes de recuperaciones deficientes desde CRMs (es decir de purificación y concentración deficiente del CRM antes del análisis), son las bajas concentraciones y cercanía al LOD del elemento o sustancia en el laboratorio.

#### **Interferencias y recuperaciones de analitos para análisis con estándar o sustitutos**

Para comprobar los posibles efectos de la matriz (factores) que interfieren con la detección de analitos, se debe seleccionar una porción de muestras representativas del rango de matrices a muestrear (por ejemplo, gradiente de salinidades del agua, tipos de sedimentos) para las pruebas de recuperación de estándar (*spike-and-recovery*). En las pruebas de recuperación se agrega una cantidad conocida (un "spike") de analito a una muestra, se analiza la muestra enriquecida y determina si se recupera la cantidad agregada.

Estas comprobaciones se realizan mediante una combinación de análisis de blanco (sin interferencias) y muestras (diferentes matrices) a las que se añade una cantidad conocida del material de referencia certificado o estándar y luego se analizan ambos y se determina el %-recuperación del analito. Alternativamente se pueden utilizar sustitutos de los analitos de interés. Los analitos seleccionados como sustitutos imitan el comportamiento de los analitos objetivo durante la preparación y el análisis de la muestra, pero normalmente no se encuentran en el medio ambiente.

Se pueden realizar pruebas de recuperación de estándar o sustitutos en un cierto porcentaje de muestras. Por lo general, 5-10% del lote de muestras. Las recuperaciones de analitos deben estar dentro de un rango de criterios de aceptación especificados para que los resultados se consideren aceptables. Las pruebas de recuperación de estándar y sustitutos también pueden ayudar a establecer límite de cuantificación práctica (PQL, de sus siglas en ingles) para la metodología completa. Estos ayudan a monitorear la precisión y exactitud del método para una matriz de muestra dada. El PQL, es el nivel más bajo en el que el método puede discernir con confianza entre dos valores diferentes y donde existe suficiente certeza para informar los resultados.

Se establecen criterios de aceptación para estándares/sustitutos, por ejemplo, para los metales dentro del 85-115%, los compuestos orgánicos pueden ser un rango más grande, como 75-125%, dependiendo de la dificultad de detección en la matriz. Las recuperaciones bajas y altas se deben investigar si están fuera del rango de criterios de aceptación. Para un lote de muestras, las recuperaciones se consideran aceptables para todas las muestras excepto aquellas en las que la concentración añadida de estándar o sustituto es baja en relación con la concentración medida. Las recuperaciones deficientes de estándar o sustituto pueden tratarse como no representativas y pueden ignorarse, con comentarios.

### Replicar muestras y análisis

La recolección y el análisis de muestras replicadas (agua, sedimentos y biota, y extractos de laboratorio) ayudan a comprender la variabilidad del muestreo y el análisis. Por lo general, se recogen muestras replicadas de agua, sedimentos y biota y se analizan para cada ocasión de muestreo.

Los duplicados de laboratorio a menudo usan muestras seleccionadas al azar que se dividen y analizan más de una vez. Es decir, para comprobar la precisión de los procedimientos analíticos, normalmente el 5-10% de las muestras (agua, sedimentos, biota) deben ser duplicados de métodos (por ejemplo, como parte de los análisis y la extracción de analitos de las muestras).

### 7.3.3.3 Propuesta de métodos analíticos

Para el análisis de contaminantes en el agua de mar, el desafío es que los contaminantes suelen estar en concentraciones muy bajas (ppt a ppb) en una muestra con alto contenido de sólidos disueltos totales (TDS), lo que causa desafíos para la mayoría de las técnicas de análisis elemental. Para los sedimentos, el problema es similar al del agua de mar, es decir relativamente bajas concentraciones de analitos, sin el problema de altas concentraciones de TDS, pero en presencia de grandes cantidades de otros elementos y compuestos como hierro, aluminio, calcio, entre otros.

Por lo tanto, las metodologías tanto para el análisis de muestras de aguas de mar como para muestras de sedimentos deben ser capaces de detectar bajos niveles de analitos y ser capaces de hacer frente a una variedad de interferencias de la matriz. Estos desafíos analíticos requieren un desarrollo importante del método, por lo que tanto el método como el laboratorio deben tener un método completamente documentado que a menudo se denomina Procedimiento Operativo u Operacional Estándar (SOP) con el rendimiento del método que lo acompaña, incluido el límite de detección (LOD), el rango lineal de detección, los resultados para los materiales de referencia certificados (CRM) de las matrices de interés (agua de mar y sedimentos) y las pruebas de competencia tanto internas como externas. Otros factores para considerar incluyen la experiencia, las medidas de garantía de calidad, el equipo completamente operativo y bien mantenido. La Figura 43 muestra los aspectos a considerar para la selección de métodos analíticos:



Figura 43 Los aspectos a considerar para la selección del método analítico.

Considerando los aspectos antes mencionados (límites de detección de los métodos, precisión del método y SOPs) la selección de los métodos más apropiados depende no solo de la instrumentación, sino también de la experiencia, las garantías de calidad y operatividad del laboratorio. No existe necesariamente un método más adecuado para la estimación de cada contaminante, en otras palabras, más de un método puede satisfacer las necesidades de análisis y cuantificación de contaminantes en la Red de Monitoreo y Caracterización de Contaminantes de la Bahía de Quintero.

En el Anexo M, Tabla 2, que acompaña este informe se listan los métodos analíticos y límites de detección esperados de contaminantes agrupados por matriz ambiental y parámetro (listado en orden alfabético). Este listado constituye la propuesta de métodos analíticos y límites de detección para los contaminantes de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero. En múltiples casos más de un método, o diferentes ediciones de un mismo método, se consideran apropiadas para la cuantificación de los contaminantes especificados.

Respecto a los límites de cuantificación práctico de los métodos analíticos, cuando haya un valor de referencia, ya sea una directriz o norma, el límite de cuantificación requerido o sugerido a los laboratorios debe ser menor que el valor de referencia propuesto para el contaminante, y preferiblemente 1/10, por ejemplo, si el valor de referencia = 1 mg / L, el límite de cuantificación para el método analítico utilizado idealmente debería ser  $\leq 0.1$  mg / L.

En caso de no existir un valor de referencia, el límite de cuantificación debe ser lo suficientemente bajo como para poder distinguir fácilmente entre las muestras de control y las contaminadas. En otras palabras no tiene sentido analizar muestras si tanto la concentración de las muestras de control como de las muestras contaminadas son menores que el límite de cuantificación y detección del método.

### 7.3.4 Diseño del programa de monitoreo para todos los elementos y compuestos emitidos por las fuentes presentes en la Bahía de Quintero que puedan causar efectos en la salud humana y en la salud de los ecosistemas acuáticos

#### 7.3.4.1 Revisión crítica de programas de diseño propuestos para la Bahía de Quintero

##### 7.3.4.1.1 CEA (2020) Sistematización de información de calidad de agua, sedimentos, objetos de valoración y fuentes de emisión, como insumos para la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad de Aguas en la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-34-LE19.

CEA propone un muestreo regular sobre una red de estaciones fijas distribuidas en varios sectores diferenciados “a priori” de la Bahía, sin intentar una definición clara o correspondencia de estos sectores con las categorías solicitadas por el Ministerio (i.e. áreas de referencia, zonas de influencia sinérgica, zonas de influencia independiente). Sin embargo, distinguen dos tipos de estaciones: “Estaciones de control” (círculos negros) ubicadas más cerca de las fuentes puntuales de emisión y una “Estaciones de observación” (triángulos negros), más alejadas de las fuentes puntuales. La figura siguiente muestra estos sectores. Incluyen dos áreas industriales A y B en azul claro, que corresponden a ecosistemas de fondo blando, presumiblemente bajo la influencia directa de efluentes adyacentes; Además, otras dos áreas de ecosistemas de fondos blandos se definen como Norte y Sur (verde y morado) (ver Figura 44 a continuación).

CEA también distingue las áreas que están reservadas para la actividad del pescador local (AMERBs Norte y Sur) en naranja. También definen las playas de arena de fondo suave (en verde) y la intermareal de la costa rocosa en rojo.

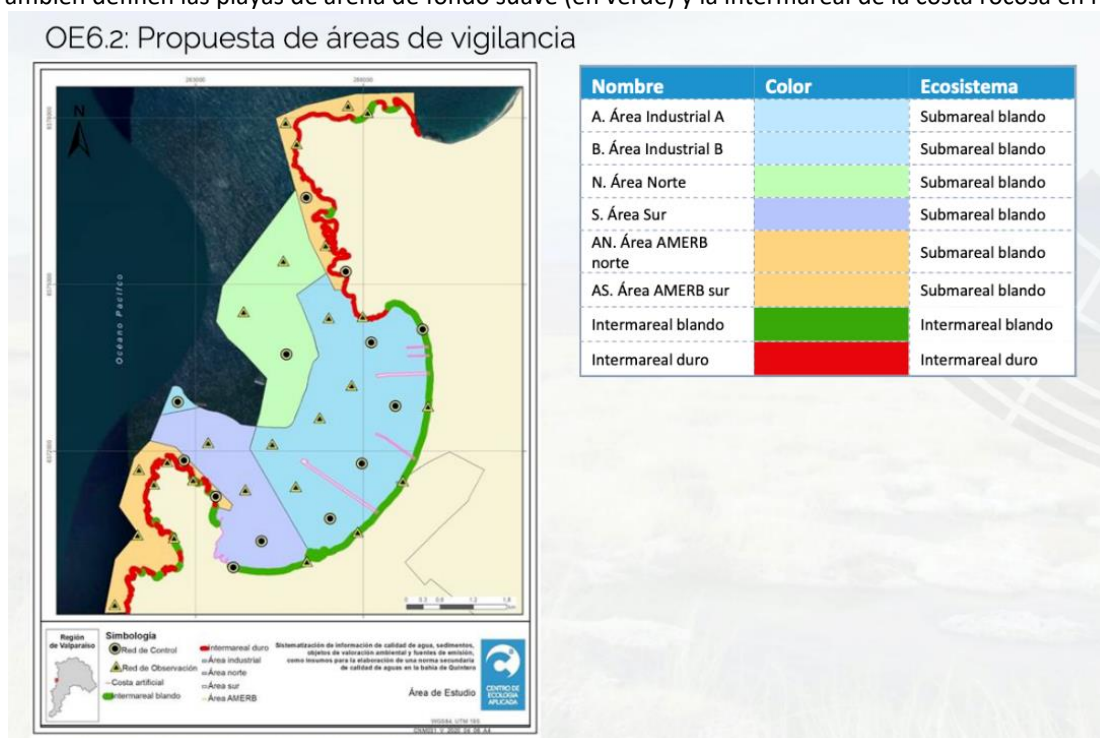


Figura 44 Propuesta de áreas de vigilancia y puntos de monitoreo en Bahía Quintero por CEA (2020).

##### 7.3.4.1.2 Con Potencial Consultores (2020) Desarrollo de un modelo de dispersión de contaminantes en la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-21-LE19.

El propósito de este estudio fue predecir el comportamiento de los distintos contaminantes presentes en la Bahía de Quintero y su interacción para determinar zonas de vigilancia ambiental, a través de modelos matemáticos.

Se evaluaron múltiples modelos de escenarios de emisión y carga para determinar los efectos individuales y sinérgicos de las fuentes de metales pesados (Cu, Ar, Cd, Hg), coliformes fecales y nutrientes (nitrógeno y fosfato). En total, se tomaron en consideración 14 fuentes que descargan a la Bahía de Quintero, 13 de ellas lo hacen de manera directa (fuentes

puntuales) y una, la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Puchuncaví, descarga indirectamente a la bahía, a través del estero Campiche, que desagua en la bahía.

Además, el estudio también considera las contribuciones difusas de contaminantes (emisiones atmosféricas) a través de la incorporación de concentraciones aportadas por el material particulado sedimentable MPS (datos extraídos del informe CEA, 2013).

Los patrones de circulación y dispersión de los contaminantes se evaluaron en cuatro escenarios basados en la combinación de olas predominantes (oleaje presente la mayor parte del tiempo debido a fenómenos meteorológicos marinos) y dominantes (oleaje presente en condiciones climáticas adversas y en períodos de oleaje) y fase lunar. en sicigia y cuadratura.

De acuerdo con Con Potencial Consultores (2020), la dispersión de contaminantes prevista por el modelo hidrodinámico debe compararse solo en órdenes de magnitud, ya que la información para la comparación con los datos de campo es escasa, con mediciones semestrales, lo que limita la calibración y validación del modelo.

Para la definición de áreas de vigilancia y red de monitoreo se consideraron dos alternativas de monitoreo, la primera considera el número óptimo de estaciones de monitoreo para cubrir toda la extensión de la Bahía de Quintero, mientras que la segunda considera el número mínimo de estaciones que permiten caracterizar el campo de concentraciones de contaminantes tanto en agua de mar como en sedimentos.

Los principales resultados se resumen a continuación:

El patrón de circulación de la Bahía en condiciones de oleaje / oleaje predominante, tanto para condiciones de sicigia como de cuadratura, se caracteriza por una recirculación de aguas dentro de la bahía, con velocidades promedio de 0.15 m / s en la capa superficial, lo que promueve la acumulación de contaminantes. Los sectores extremo norte y sur presentan áreas protegidas del oleaje, que ingresa predominantemente por el SO y WSW, lo que implica velocidades muy bajas, por lo que se podrían esperar concentraciones mayores de contaminantes, particularmente en sedimentos, en estos sectores.

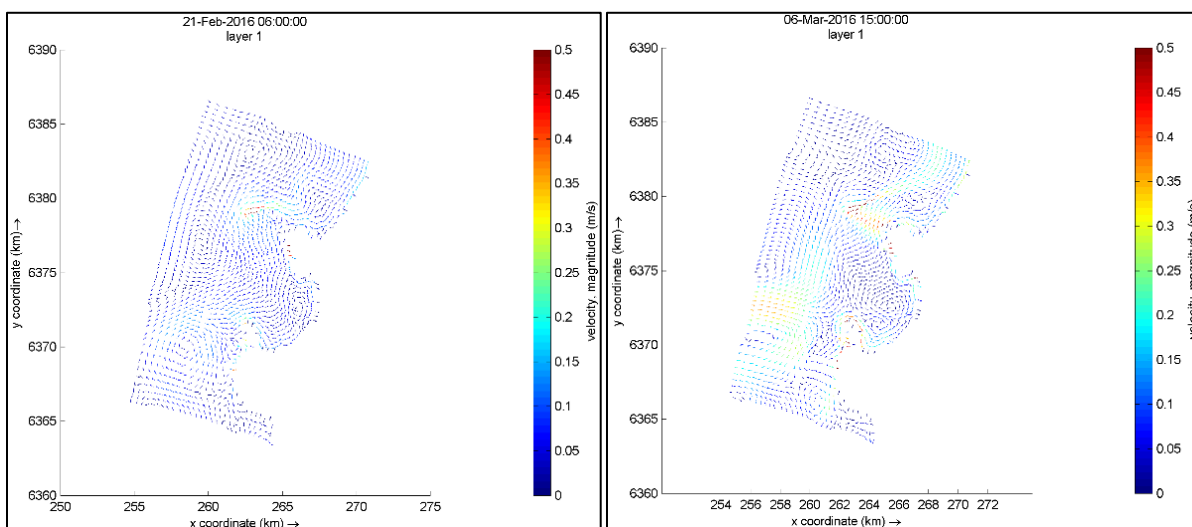
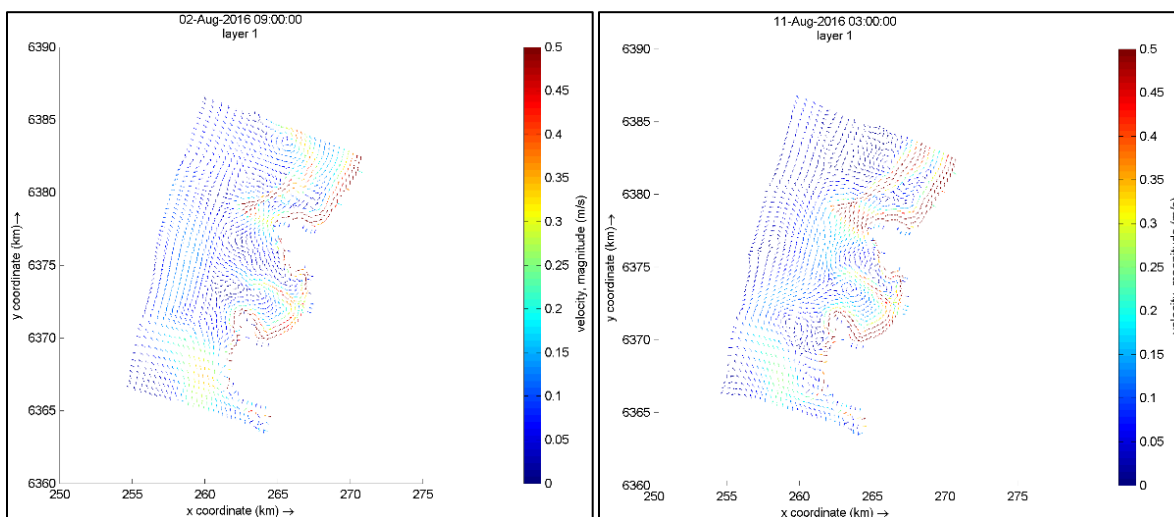


Figura 45 Patrón de circulación, con ondas predominantes, en fase lunar en sicigia (A) y cuadratura (B). Fuente: Con Potencial Consultores (2020).

El modelo hidrodinámico predijo que el patrón de circulación, para condiciones de oleaje dominantes (eventos con alta energía de oleaje, oleaje, marejada ciclónica), tanto para condiciones de sicigia como de cuadratura, se caracteriza por flujos que ingresan por los extremos y descargan por el centro de la bahía, con un rango de velocidad entre 0,2 a 0,6 m/s en la capa superficial, favoreciendo la autolimpieza de contaminantes. En presencia de olas dominantes, se prevé que los campos de concentración y dispersión de contaminantes, tanto de metales pesados como de nutrientes, se concentren casi exclusivamente en la salida de las fuentes de descarga, debido a la limpieza natural que generan las altas energías asociadas con este tipo de ola.



**Figura 46** Patrón de circulación, con ondas dominantes, en fase lunar en sicigia (A) y cuadratura (B). Fuente: Con Potencial Consultores (2020).

En cuanto a los efectos sinérgicos (suma de las concentraciones dadas por los diferentes vertidos, se aprecia que para As, Cd y Hg existe una clara interacción en el sector Ventana debido a los vertidos de AES GENER - Central Termoeléctrica Ventanas Unidad 1 y 2 mientras para las concentraciones de Cu, la sinergia está dada por los vertidos de la Central Termoeléctrica AES GENER - Ventanas Unidad 1 y de la Central Termoeléctrica Campiche Finalmente, en cuanto a nutrientes, existe una sinergia particular entre los vertidos de Codelco Refinería Ventanas y el vertido directo de aguas residuales. en el caso del fósforo.

Las simulaciones de descargas puntuales industriales independientes y dispersión en condiciones normales se muestran en la Figura 47 a continuación.



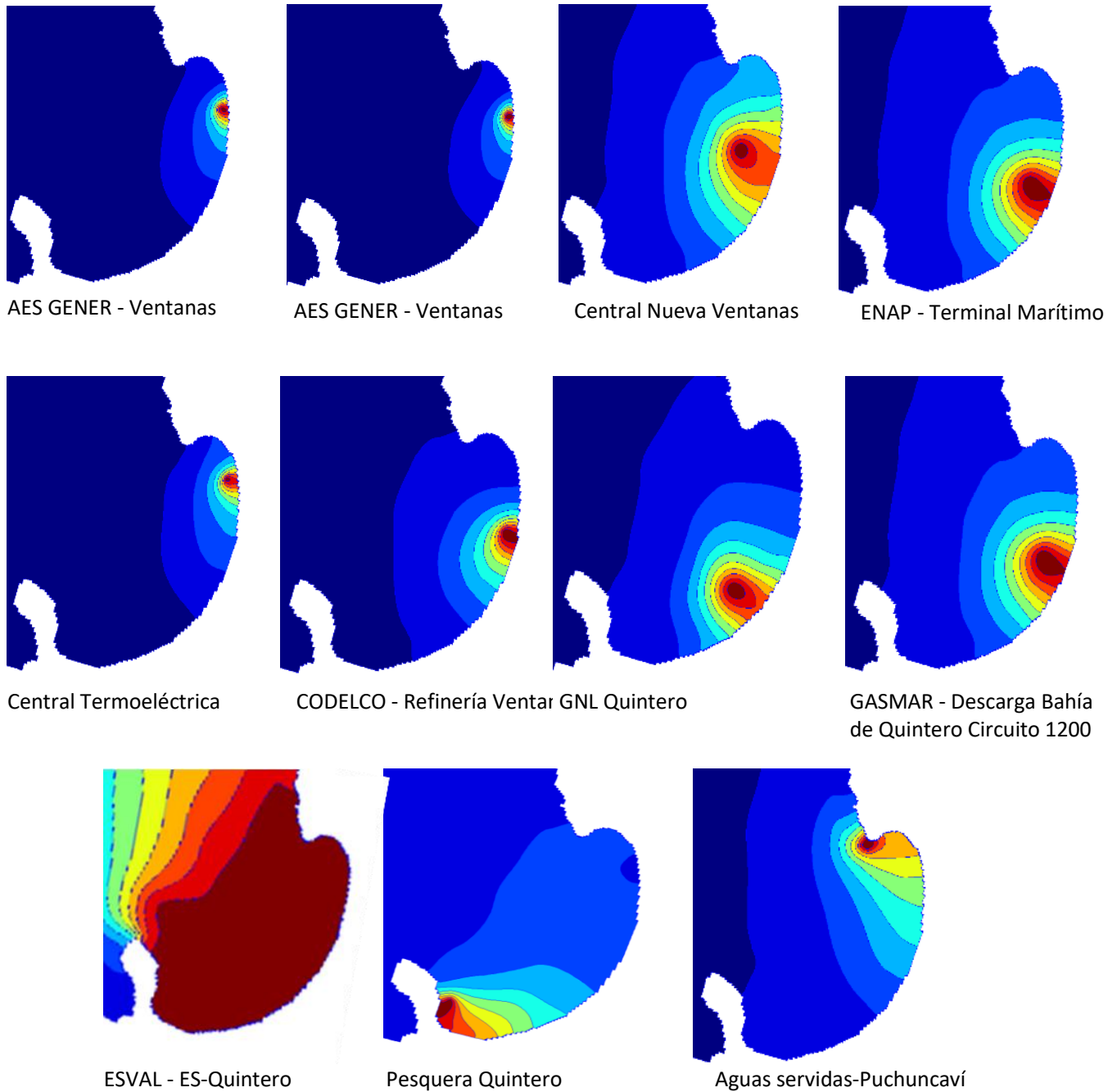


Figura 47 Origen y trayectoria habitual de los vertidos a Bahía Quintero. Fuente: Con Potencial Consultores (2020).

En resumen, se espera que la acumulación de contaminantes sea favorable en el tiempo de oleaje predominante en la bahía, mientras que para la condición de oleaje dominante hay una tendencia a limpiar los contaminantes por la aceleración de la corriente y cambios en la circulación. patrones de la bahía.

La propuesta óptima y abreviada de áreas de vigilancia se muestra en la Figura 48 y Figura 49, respectivamente.

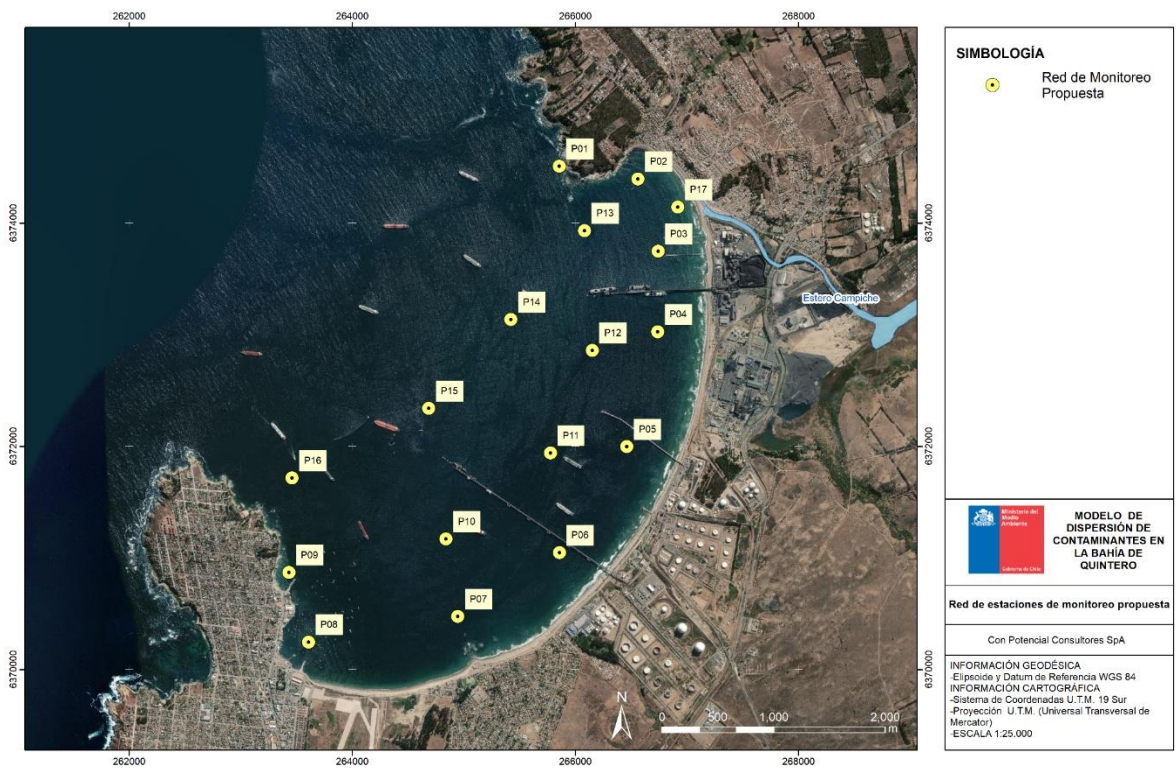


Figura 48 Red de monitoreo óptima propuesta de la Bahía de Quintero según Con Potencial Consultores (2020).

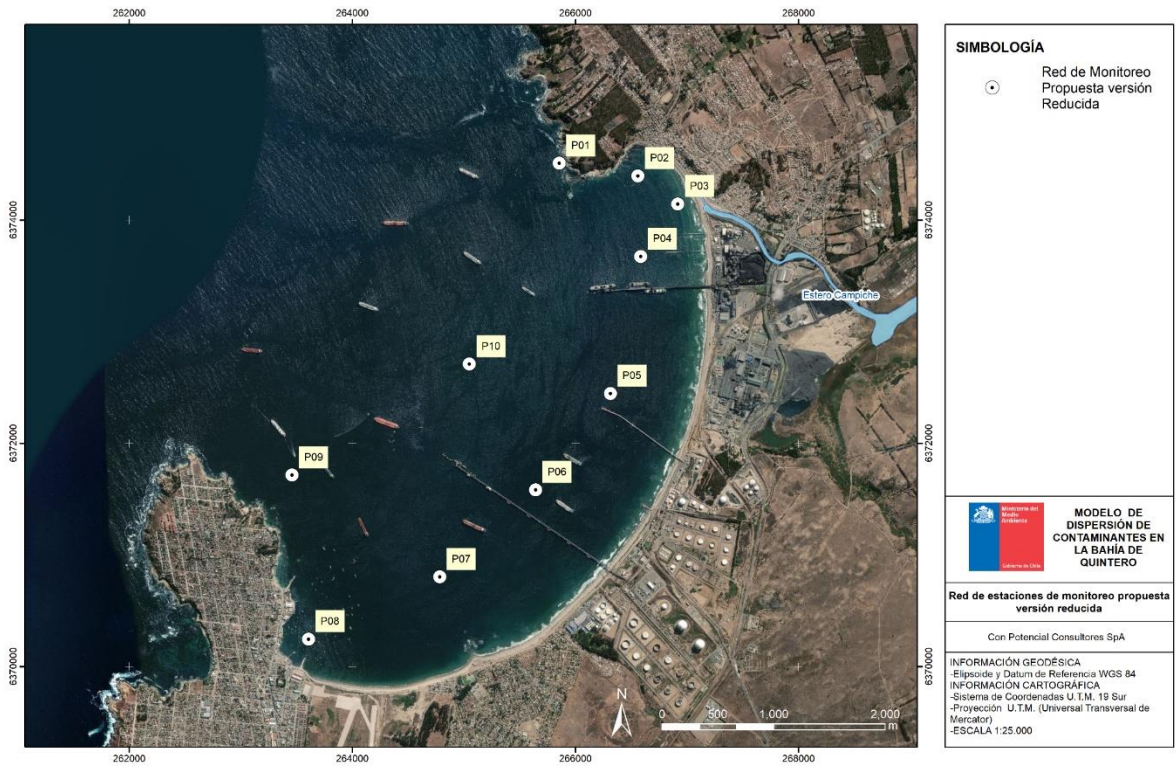


Figura 49 Red de monitoreo propuesta reducida de la Bahía de Quintero según Con Potencial Consultores (2020).

La propuesta de áreas de vigilancia de la Bahía de Quintero según Con Potencial Consultores (2020) en la Figura 50. Los triángulos rojos representan la ubicación de las fuentes puntuales, los triángulos amarillos la ubicación / nombres de las empresas, en los triángulos naranjas la ubicación de las plantas termoeléctricas. Las áreas de vigilancia están representadas por polígonos sombreados en verde. Para otros usos de la bahía, consulte la leyenda.

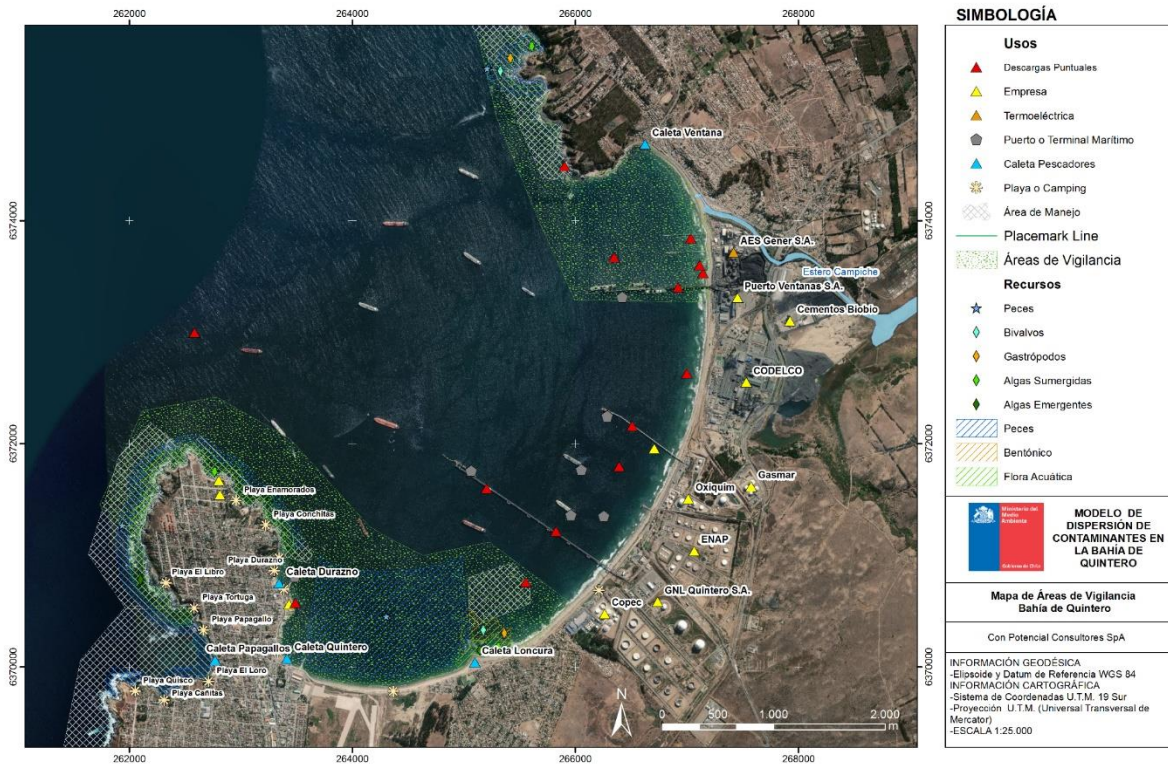


Figura 50 Propuesta de áreas de vigilancia de la Bahía de Quintero según Con Potencial Consultores (2020).

El estudio no define el tiempo de residencia ni la edad de las aguas de la bahía, lo cual es un insumo importante para entender los patrones de acumulación y residencia de contaminantes en esta área.

**7.3.4.1.3 DIRINMAR (2019) Informe de diagnóstico ambiental. Análisis de datos POAL bahía de Quintero (2005-2018) y unidades fiscales controladas por la autoridad marítima.**

A partir de DIRINMAR (2019) se obtienen las siguientes conclusiones:

- La matriz sedimentaria submareal muestra un enriquecimiento progresivo de nutrientes en todas las estaciones de monitoreo, específicamente por fósforo, que podría estar vinculado a descargas de aguas residuales.
- La matriz acuosa presenta concentraciones de fósforo y nitrógeno en las estaciones oficiales del POAL y en las estaciones complementarias de 2018. Esto refleja que los nutrientes están presentes en toda la bahía y no solo en las fuentes puntuales de descargas de aguas residuales.

**7.3.4.1.4 Universidad de Concepción (2021) Evaluación temporal y espacial del contenido de metales pesados en sedimentos de la bahía de Quintero-Puchuncaví. Informe Final. Licitación ID: 608897-85-LE20. Ministerio de Medio Ambiente.**

La distribución de metales y metaloides en sedimentos superficiales de la bahía de Quintero se muestra a en las Figura 51 y Figura 52. El plomo un metal poco soluble y puede ser indicativo de la presencia de otros contaminantes como PAHs y otros compuestos orgánicos (zona sur de la Bahía).

Los resultados del estudio muestran:

- que en la zona ubicada frente a Codelco Ventanas y Oxiquim se observan los mayores tamaños medios de grano, tanto a nivel de estaciones superficiales (S-10) como para testigos (testigo 14). En esta zona, además, se observó las mayores concentraciones de As y el testigo mostró la menor estructuración vertical, lo que podría dar indicios de la presencia de un ambiente altamente dinámico.
- Se observa asimismo una diferenciación entre las concentraciones medidas en las diferentes estaciones de muestreo, con S-12 (estación ubicada al centro de la bahía y a 50 m de profundidad) mostrando las

concentraciones más altas para la mayoría de los parámetros analizados, lo que coincide con un menor tamaño de grano ( $\sim 76 \mu\text{m}$ ). Las estaciones S-3 y S-2, ubicadas en la zona costera y al centro de la bahía, mostraron tamaños de grano finos a medios ( $< 135 \mu\text{m}$ ) y las concentraciones más altas de As y Hg. Por otra parte, S-10, ubicada a 30 m hacia el norte de la bahía, mostró bajas concentraciones para la mayoría de los parámetros analizados, con un tamaño medio de grano que superó los  $400 \mu\text{m}$ .

- para el caso de los testigos, se observó una alta diferenciación, con el testigo C-14 (ubicado a 20 m de profundidad y cercano a S-10) mostrando mayores tamaños de grano ( $> 270 \mu\text{m}$ ) y mayores concentraciones de As, mientras que los testigo C-13 y C-15 (ubicados al extremo norte y sur de la bahía, respectivamente) mostraron, en general, un tamaño de grano más fino, pero mayores concentraciones para la mayoría de los parámetros analizados, destacando una amplia variabilidad en los resultados observados para el testigo C-13.

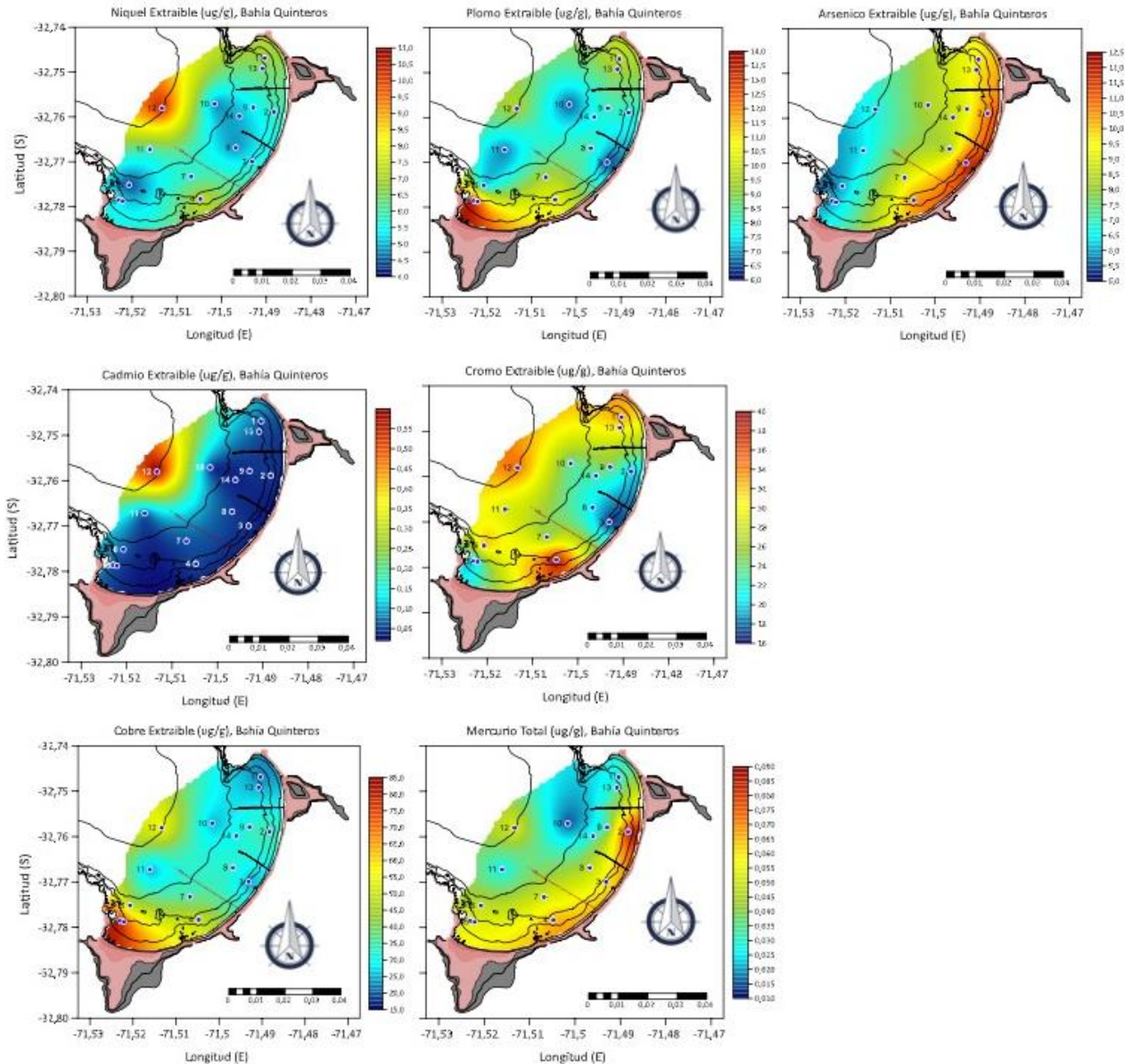


Figura 51 Distribución superficial de metales y metaloides en sedimentos de la Bahía de Quintero. Fuente: Universidad de Concepción (2021).

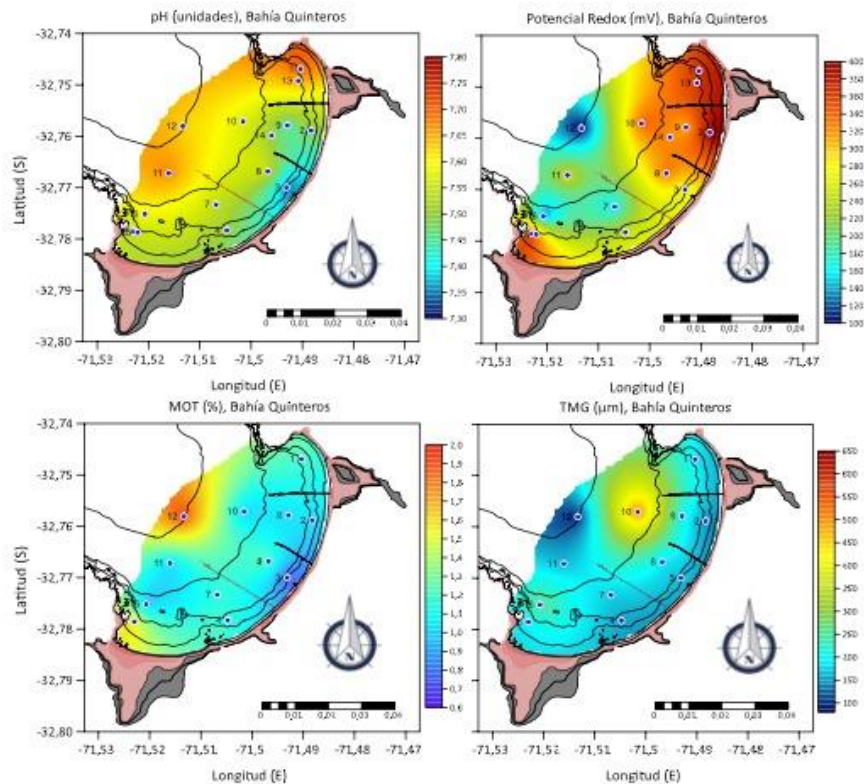


Figura 52 Distribución superficial de pH, Redox, Materia Orgánica Total (MOT) y Tamaño Medio de Grano (TMG) en sedimentos de la Bahía de Quintero. Fuente: Universidad de Concepción (2021).

#### 7.3.4.1.5 Aprendizajes claves y propuestas realizadas en estudios previos

Comparando los enfoques de CEA y HOLON, se puede concluir que el Área de Impacto de HOLON corresponde en gran medida a lo que se denomina Área Industrial A y B en la propuesta de CEA, a excepción del Área Sur en el informe de CEA, que probablemente se distingue del resto, debido a la presencia de comunidades y actividades pesqueras. La intercepción en el límite litoral de la Zona Sur con la Zona Industrial A corresponde a la Cala Loncura, caletas tradicionales de pescadores y existen otras dos caletas de pescadores dentro de la zona ubicadas en la costa este de la península de Quintero.

Las Estaciones de Control están ubicadas en una fuente puntual conocida de emisiones, ya sea en la costa o en alta mar (monoboia en la parte central de la bahía en el Área Norte en verde), o en el pequeño triángulo del Área Industrial B, donde se encuentran descargas de las aguas residuales municipales. El resto de las estaciones son de observación, presumiblemente actuando como puntos de vigilancia. A partir de este breve análisis se puede intentar definir lo que el Ministerio está pidiendo como criterios espaciales para distribuir el esfuerzo de muestreo en el programa de monitoreo.

1. **Áreas de referencia (control sin intervención de fuentes emisoras).** Se trata de áreas en las que se espera que el impacto directo de las emisiones sea mínimo o nulo, lo que proporciona una base para las comparaciones. No se intenta definir qué significa mínimo, ya que al menos dependería de alguna comparación de concentración de algún oligoelemento o compuestos seleccionados.
2. **Zonas de influencia sinérgica de las fuentes de emisión.** Estas son áreas en las que la interacción de compuestos (particulados o disueltos) contenidos al menos en dos (o más) fuentes puntuales de emisión entran en contacto e interactúan entre sí, creando el potencial para la transformación de los compuestos originales en nuevas formas o especies debido a interacciones químicas o fisicoquímicas, cambiando sus propiedades en particular su biodisponibilidad. Considerando los patrones de circulación y plumas de dispersión de RILes descritos en Con Potencial Consultores (2020) y CEA (2013) se considera que la zona de influencia sinérgica probablemente abarca toda la Bahía de Quintero, en este contexto se recomienda que las estaciones de referencia de la futura Red de Monitoreo y Caracterización de Contaminantes de la Bahía de Quintero se ubiquen fuera de la Bahía, en zonas homologas, con características oceanográficas y geomorfológicas similares a la Bahía de Quintero.

3. **Zonas caracterizadas por la influencia independiente de diversas fuentes puntuales de emisión y por los aportes de emisiones difusas (material sedimentario particulado, desembocadura del estero Campiche y otros).** Estas son áreas en las que la interacción de compuestos (particulados o disueltos) contenidos en más de dos puntos entran en contacto e interactúan las fuentes de emisión entre sí y con las fuentes difusas presentes en la Bahía, creando el potencial para la transformación de los compuestos originales en nuevas formas o especies debido a interacciones químicas o fisicoquímicas, cambiando sus propiedades en particular su biodisponibilidad.

### 7.3.4.2 Propuesta de monitoreo de fuentes contaminantes

#### 7.3.4.2.1 Monitoreo de Residuos Líquidos Industriales (RILes) vertidos a la Bahía de Quintero

Se sugiere mantener el monitoreo de parámetros asociado a los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) de cada unidad fiscalizable con descarga de residuos industriales líquidos a la Bahía de Quintero. En adición a los parámetros ya monitoreados se sugiere considerar los parámetros adicionales señalados en la Tabla 76. La justificación de la pertinencia de incorporar estos contaminantes se entrega en la Tabla 40, de la sección 7.1.2.1.1 (página 104), he incluye:

- **Subproductos de desinfección:** Trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA) y haloacetnitrilos (HAN) generados en la reacción del cloro y materia orgánica en el agua.
- **Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP):** Los cuales se forman durante la combustión incompleta de cualquier tipo de materia orgánica (madera) y/o utilización de combustibles sólidos (carbón, gasolina, petróleo), y derrames de petróleo. Los HAP pueden entrar al medio marino por deposición del aire o por deposición y transferencia del suelo. En en la operación normal de una termoeléctrica, hay otros flujos de agua que aunque menores que el de enfriamiento, tienen el potencial de contaminarse con HAPs y otros contaminantes previos a su descarga junto con el agua de enfriamiento. Otros residuos potencialmente asociados incluyen desulfuración de gases de combustión (FGD) de aguas residuales, agua de transporte de cenizas de fondo (BA), agua de transporte de cenizas volantes, lixiviado residual de combustión, residuos de limpieza de metales no químicos, y aguas residuales de los sistemas de control de mercurio de los gases de combustión y los sistemas de gasificación.
- **COPs - dioxinas (PCDD), furanos (PCDF) y Bifenilos policlorados (PCB):** Particularmente los subproductos (no intencionales) de procesos industriales, que incluye dioxinas y furanos los cuales se forman en procesos de incineración donde están presentes compuestos aromáticos y cloro. Tanto las dioxinas como los furanos se encuentran comúnmente en actividades de refinería de hidrocarburos y en las cenizas de la combustión del carbón, tanto en emisiones atmosféricas como en agua residual y efluentes. Los PCB se encuentran regulados por la Convención de Estocolmo, para el cual existe un plan de implementación en Chile, no obstante, no están regulados en normas de emisión. Respecto a los **PCBs**, se trata de una familia de 209 congéneres todos de origen antrópico (no se conocen fuentes naturales), pueden ser productos químicos industriales o subproductos no intencionales. Se sugiere concentrar el análisis en los siete PCB del CIEM (Consejo Internacional para la Exploración del Mar) (CB28, 52, 101, 118, 153, 138 y 180) recomendados para seguimiento por la Oficina de Referencia de la Comunidad de la Unión Europea. Estos siete PCB se seleccionaron como indicadores debido a sus concentraciones relativamente altas en mezclas técnicas y su amplio rango de cloración (3 a 7 átomos de cloro por molécula) (Webster et al. 2013).
- **Compuestos farmacéuticos:** Antibióticos y otros productos farmacéuticos puede ser descritos como productos químicos disruptores endocrinos (EDC), afectando la fertilidad de humanos y animales (Gonsioroski et al. 2020). Las hormonas o compuestos que imitan las propiedades de las hormonas son capaces de feminizar o masculinizar a los peces (Ternes et al. 2004). Los metabolitos neuroactivos pueden acumularse en el tejido cerebral, alterando el comportamiento reproductivo y disminuyendo sus poblaciones.
- **Metales:** Para el caso de los metales pesados, dada la complejidad analítica de determinar las concentraciones de una sola especie o de un grupo de especies, es común que se cuantifique y reporte la concentración total de elementos trazas en el ambiente. En este contexto se monitorean un número importante de metales/metaloides en la componente agua, no obstante el análisis de datos evidencio que los siguientes metales/metaloides no son monitoreados en el medio marino: Aluminio (Al), Antimonio (Sb), Bario (Ba), Berilio (Be), Boro (B), Cobalto (Co), Cromo (Cr) - VI o hexavalente, Estaño (Sn), Hierro (Fe) - Disuelto, Manganeseo (Mn), Plata (Ag), Selenio (Se), Vanadio (V) absorbido, disuelto, particulado y total, además de Zinc (Zn). Su incorporación debiese ser por tanto ser considerada en el monitoreo de RILes asociado a los PVAs.

### **7.3.4.2 Contaminantes de origen atmosférico**

Existen tres vías de ingreso de contaminantes de origen atmosférico al medio marino.

- Deposición de material particulado (húmeda y seca)
- Intercambio gaseoso de contaminantes en la interfase aire-agua (bidireccional)
- Escorrentía desde suelos y superficies impermeables

Considerando estas vías, se pueden distinguir dos grupos de contaminantes atmosféricos: los particulados y los gaseosos. Se considera importante la distinción entre los materiales particulados y gases, debido a su gran diferencia en movilidad y dispersión. Los materiales particulados se pueden agrupar por tamaño (inversamente proporcional a su potencial de dispersión), partiendo por el Material Particulado Sedimentable (MPS) que corresponde al "polvo grueso" que se caracteriza por ser sólido (entre 10 y 500  $\mu\text{m}$ ), tener una velocidad de sedimentación apreciable y tiempo de permanencia en la atmósfera relativamente corto y suele contener metales pesados que se relacionan fuertemente a las actividades de la bahía. El MP10 y 2.5 puede ser mucho más variado de origen y composición, generalmente de mayor capacidad de dispersión y en el caso de la bahía puede asociarse más a las cenizas y subproductos de combustión. Muchos de estos contaminantes se miden directamente en la fuente (chimenea) o en los dispositivos de abatimiento. Las principales emisiones de interés para la bahía corresponden al material particulado sedimentable, que incluye metales pesados de potencial bioacumulación. El material particulado de mayor movilidad, el cual incluye el MP10 y 2.5, de interés para la salud humana y potencialmente para ecosistemas marinos por la inclusión de cenizas resultantes de la combustión que pueden contener metales pesados y compuestos orgánicos. En el segundo grupo se encuentran los gases que pueden incluir los óxidos de carbono, azufre y nitrógeno, ozono y compuestos orgánicos incluyendo los volátiles e hidrocarburos. Estos son los de mayor dispersión y volatilización. Para el ambiente marino presentan el peligro de acidificación del ecosistema, deficiencias de calcio, movilidad de metales traza, eutrofización, florecimientos algales e hipoxia.

Para la propuesta de monitoreo se consideraron las diversas vías de ingreso de contaminantes de origen atmosférico al medio marino (deposición, intercambio gaseoso y arrastre). Se contrastaron también las emisiones puntuales y difusas, tipos de contaminantes con énfasis en el potencial de dispersión (gaseoso, particulado). Se priorizó el monitoreo del material particulado sobre gaseoso ya monitoreado en estaciones de vigilancia de calidad del aire, y se priorizaron las fuentes de emisión puntuales sobre las fuentes difusas. La priorización sobre el MPS permitirá establecer tasas de deposición sobre la bahía para estimar el impacto del aporte de contaminantes de origen atmosférico. Se sugiere el aprovechamiento de la estación en Punta Ventanas para la implementación de colectores discretos de MPS.

En la Tabla 75 a continuación se listan los contaminantes atmosféricos priorizados para monitoreo ambiental en la Bahía de Quintero, y justificación de su importancia. Los gases (Dióxido de azufre (SO<sub>x</sub>) y Óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)) ya son monitoreados regularmente a través de la Red de Calidad del Aire de Concón-Quintero-Puchuncaví.

**Tabla 80 Contaminantes atmosféricos priorizados para monitoreo ambiental en la Bahía de Quintero en las versiones reducidas y extendidas de la Red de monitoreo.**

### **7.3.4.3 Propuesta de monitoreo del cuerpo de agua receptor**

#### **7.3.4.3.1 Aspectos generales**

Inicialmente, sugerimos llevar a cabo un programa de monitoreo de línea de base exhaustivo para caracterizar la distribución espacial y temporal de la contaminación dentro de la Bahía de Quintero. La línea base de contaminantes permitirá caracterizar cómo se disipa la contaminación desde el complejo industrial y cómo los patrones de contaminación cambian estacionalmente. Debido a que esta información no está disponible actualmente, sugerimos comenzar con un muestreo intensivo (por ejemplo, uno que tenga un gran número de estaciones y donde se analicen todas las matrices ambientales, es decir, agua de mar, sedimentos, biota y aire). Una vez disponible los resultados de la línea base, se puede adoptar un enfoque de gestión adaptativa para definir y optimizar el posterior programa de monitoreo regular de la Bahía. Por ejemplo, si los resultados de la línea base muestran que los contaminantes, rara vez se miden por encima de los niveles de detección en el agua de mar a distancias superiores a 500 m de cada emisario, este tipo de muestras podrían eliminarse de los planes de muestreo futuros. Por el contrario, si se descubre que los niveles de contaminantes en la biota son elevados y muy variables, los administradores del programa o red de monitoreo pueden considerar muestras adicionales de biota en futuros planes de monitoreo. Esto último puede lograrse aumentando la frecuencia y / o la cobertura espacial del muestreo. Del

mismo modo, si los patrones de contaminación no varían estacionalmente, habría poca necesidad de realizar un monitoreo de mayor frecuencia, mientras que los altos niveles de variabilidad en el tiempo sugieren la necesidad de un monitoreo más frecuente (por ejemplo, mensual). La mejor relación calidad-precio y la información científica más sólida se obtendrán dejando que los resultados de la línea de base de contaminantes informen los planes de monitoreo regular posteriores.

A continuación, en la Figura 53 se describe la lógica de trabajo asociada a la implementación de la Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero, incluyendo la línea base de contaminantes y el programa regular de monitoreo. Como se propone en el párrafo anterior, las especificaciones del programa regular de monitoreo (P. ej. número de estaciones, frecuencia de muestreo, cobertura espacial) se definirán a partir de los resultados de la línea base, particularmente en consideración a la variabilidad espacio-temporal observada en el área de estudio a partir de la cual será posible determinar del número mínimo de estaciones, distribución espacial y frecuencia de monitoreo que permitan explicar y monitorear adecuadamente la variabilidad de la distribución de contaminantes en la Bahía de Quintero.

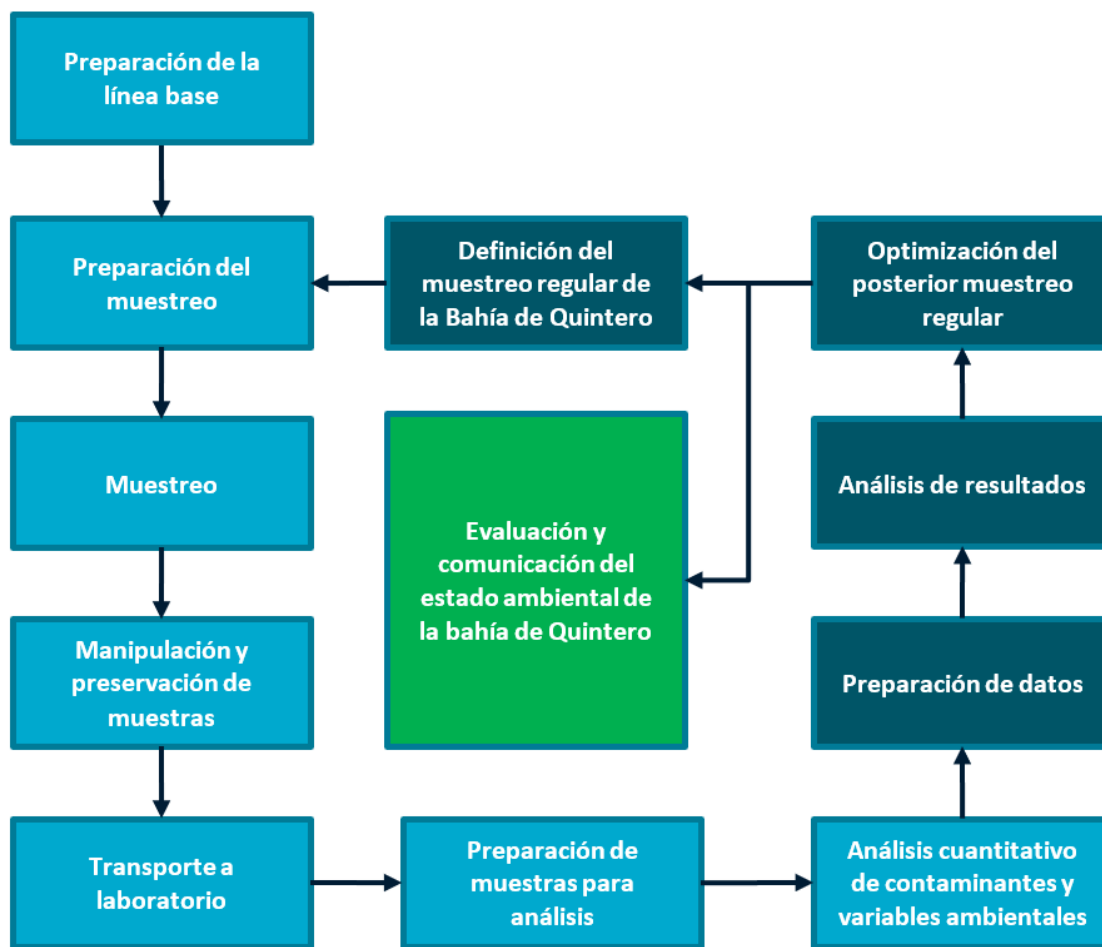


Figura 53 Diagrama de flujo que describe los pasos de trabajo asociados a la implementación de la Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero, incluyendo la línea base de contaminantes y el programa regular de monitoreo.

En la Tabla 81, a continuación, se muestra un árbol de decisiones que ilustra la forma en que el monitoreo regular puede ser optimizado en función de los resultados de la línea base de contaminantes y resultados de versiones anteriores del mismo programa de monitoreo regular. Si los resultados del programa de monitoreo indican que los supuestos iniciales son correctos (número, distribución y frecuencia de monitoreo de estaciones), entonces este diseño de muestreo se puede repetir, e incluso reducir el número de estaciones o frecuencia de muestreo (y por consecuencia los recursos asociados) si la probabilidad de encontrar diferencias estadísticas (si es que existen) es muy grande. Inicialmente, se pueden utilizar el código de R asociado a este estudio para rediseñar el programa, con el número de muestras, las probabilidades ponderadas y el número de muestras de cada tipo ajustados según lo indicado por los resultados del programa de monitoreo.



Tabla 81 Árboles de decisión para definir y optimizar el programa de monitoreo regular basado en el resultado del programa de monitoreo de "línea de base".

Consideración:	Resultado:	Resultado de la gestión de la Red de Monitoreo:
<b>Cobertura espacial 1:</b> ¿La distribución espacial de contaminación en la Bahía de Quintero está bien descrita por los datos?	No -> la contaminación parece exceder los límites del dominio o área de muestreo	Rediseñar la Red de Monitoreo extendiendo límites espaciales según sea necesario
	Sí -> los sitios más externos (hacia la boca de la bahía) son similares a las áreas de referencia	Mantener los límites de muestreo existentes
	No -> la mayoría de los sitios son similares a las áreas de referencia, solo los más cercanos a la fuente de contaminación son elevados	Quitar estaciones de monitoreo más externas de la bahía (P. ej. aquellas asociadas a la capa o buffer externo definido alrededor de cada fuente emisora).
<b>Cobertura espacial 2:</b> ¿Un análisis de poder estadístico indica que somos capaces de distinguir entre zonas de interés? (por ejemplo, facies sedimentarias, áreas intermareales versus submareales, AMERBs y áreas industriales (A y B) definidas por CEA 2020)	No – demasiada variabilidad	Aumentar el número de muestras
	Sí– el diseño es adecuado	Mantener el número de estaciones de monitoreo
	Sí– tenemos mucho más poder estadístico del que necesitamos	Disminuir el número de estaciones de monitoreo
<b>Matrices monitoreadas:</b> ¿Todas las matrices ambientales (agua de mar, sedimentos y biota) muestran patrones significativos de contaminación?	Sí	Sin cambios
	No	Reducir el muestreo de matrices que muestran menor variabilidad y viceversa.
<b>Frecuencia de monitoreo:</b> ¿Es la frecuencia de muestreo adecuada para capturar los cambios temporales (P. ej. estacionales)?	No – vemos más cambios o variabilidad con el tiempo de lo esperado	Aumentar la frecuencia de monitoreo
	Sí	Sin cambios en la frecuencia de monitoreo
	Sí, hay menos cambios de los esperados	Disminuir la frecuencia de monitoreo

Las manifestaciones prácticas de estos cambios son difíciles de predecir, ya que hay escenarios en los que el número de muestras podría aumentar, disminuir o las prioridades podrían cambiar de tal manera que algunas muestras aumenten mientras que otras disminuyen. Para poner algunos límites en torno a los posibles requisitos para futuros planes de monitoreo regular de la Bahía de Quintero, se han definido algunos escenarios que se describen a continuación:

#### Escenario hipotético 1: Requerimiento de muestreo superior al de la línea base

- La huella de contaminantes (distribución) excede los límites espaciales actuales establecidos en la línea base de contaminantes.
- Las concentraciones de contaminantes en las aguas, los sedimentos y la biota son elevadas y altamente variables.
- Los patrones de contaminación cambian después de eventos de tormenta (por ejemplo, con más frecuencia que estacionalmente).

#### Escenario hipotético 2: Requerimiento de muestreo similar o anticipado en la línea base

- La huella de la contaminación (distribución) está bien predicha o cubierta por los límites espaciales establecidos en la línea base de contaminantes.

- Las concentraciones de contaminantes en muestras de agua de mar son bajas en las estaciones más alejadas de las fuentes puntuales, y muestran un gradiente espacial decreciente en sedimentos y biota con la distancia desde las fuentes puntuales.
- Las concentraciones de contaminantes muestran un patrón de variación estacional

### **Escenario hipotético 3: Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base**

- Los límites espaciales establecidos en la línea base de contaminantes superan con creces la huella de contaminación (distribución de contaminantes)
- Las concentraciones de contaminantes en muestras de agua de mar y biota son bajas, las concentraciones en muestras de sedimentos muestran un gradiente espacial uniforme (baja variabilidad) lejos de las fuentes.
- Las concentraciones de contaminantes muestran poca variabilidad estacional.

En relación con el diseño de muestreo aleatorio estratificado, no existen reglas "duras y rápidas" sobre cuántas estaciones y muestras recolectar en un muestreo ambiental, en cambio, estas decisiones se toman en función de la heterogeneidad en el medio ambiente. La potencia estadística depende de la variabilidad en la métrica (contaminante o variable ambiental) y la diferencia entre la muestra contaminada y la de referencia. Es difícil determinar de antemano el poder estadístico necesario para la línea base de contaminantes, por lo que es aconsejable observar las mejores prácticas de otros programas de monitoreo de contaminantes a nivel internacional. En la Tabla 82 a continuación, se proporcionan algunos ejemplos de programas de vigilancia internacionales. Por lo general, los programas de muestreo analizan las concentraciones de contaminantes en réplicas individuales para la mayoría de las muestras (por lo general, el 10% de las muestras se realizan como duplicados), lo que permite la mayor información sobre los patrones espaciales de distribución de contaminantes con un presupuesto acotado. Es importante destacar que este enfoque no es apropiado para mediciones biológicas posteriores debido a la variabilidad inherente a los sistemas biológicos. Como se aprecia en la Tabla 82, el esfuerzo de monitoreo actual en la Bahía de Quintero es muy superior en términos de área promedio por estación al observado en otros programas de monitoreo internacionales, no obstante, es importante considerar que las estaciones monitoreadas regularmente en la Bahía de Quintero están asociadas a múltiples programas de monitoreo (PVAs y POAL) entre los cuales una alta sobreposición y una nula coordinación e integración de datos (excepto por estudios específicos como este y HOLON SPA. (2019)).

En general, respecto a los sitios internacionales señalados en la Tabla 82, se observa una gran variación entre el número de estaciones por sitio, independientemente del área afectada. Esto puede deberse a diversas causas como el número de parámetros monitoreados (e.g. menos sitios pero más parámetros evaluados, o viceversa), el estado de afectación del sitio, la duración del monitoreo e incluso la existencia de múltiples programas de monitoreo como sucede actualmente en la Bahía de Quintero. La relación de número de muestras y área presenta una vista limitada a la complejidad del sitio, en especial en casos donde existe un amplio conocimiento del sitio y su estado, como es el caso de la Western Trade Coast<sup>49</sup> en Perth, Australia, donde existe un amplio programa de monitoreo desde los años 1990 y recientemente, la calidad de las descargas es tal que el monitoreo se ha reducido a nutrientes y sus flujos de agua subterránea. Estos sitios se consideran particularmente maduros en los esfuerzos de colaboración y monitoreo del sitio, al igual que las actividades industriales. En el caso del estuario Derwent en Australia y Cape Cod<sup>50</sup> en Massachusetts (USA), se cuenta con un número relativamente alto de estaciones, pero el monitoreo está reducido a unos cuantos parámetros ambientales bajo los cuales se estiman índices de calidad. En el caso de la Bahía Vizcaína<sup>51</sup> en Florida (USA), se llevó a cabo un monitoreo extenso de 255 contaminantes en hasta 134 estaciones. Es importante asimismo considerar también el objetivo del programa de monitoreo, por ejemplo, de seguimiento del estado de recuperación de un sitio versus entendimiento del estado de degradación de un sitio contaminado.

<sup>49</sup> <https://www.westerntradecoast.wa.gov.au/about/>

<sup>50</sup> <http://www.capecodbay-monitor.org>

<https://coastalstudies.org/cape-cod-bay-monitoring-program/>

<sup>51</sup> <https://water-cat.usf.edu/Projects/Details/3590>

Tabla 82 Visión general del número de sitios o estaciones de muestreo en programas de monitoreo internacionales.

Sitio	Número de estaciones de muestreo	Área (km <sup>2</sup> )	Área promedio por estación (km <sup>2</sup> )
Márgenes del sur de la Bahía de San Francisco (SA, EE. UU.)	40	78	1.95
Monitoreo de la Bahía Elliott (WA, EE. UU.)	14-18	21	1.5
Estuario Derwent, Tasmania, Au.	123	198	1.6
Plataformas petrolíferas	24	12.56 (2km radio)	0.52
Bahía Quintero	>100 (PVA, POAL)	21.4	~0.21
Bahía de Florida (FL, EE. UU.)	17	1625	95.5
Ciénaga Grande de Santa Marta (Colombia)	30	700	32.3
Bahía Vizcaína (FL, EE. UU.)	134	1110	8.28
Bahía de Chesapeake (VA, EE. UU.)	49	11600	236

Otro aspecto para considerar en la definición del número de estaciones de muestreo es el presupuesto disponible el cual se desconoce de antemano. En la eventualidad de requerir una reducción del número de estaciones de monitoreo (versión abreviada) se sugiere considerar los siguientes criterios:

- Colapsar estaciones seleccionadas aleatoriamente adyacentes a sitios heredados,
- Colapsar estaciones seleccionadas aleatoriamente muy cercanas entre sí,
- Reducir el número de estaciones seleccionadas aleatoriamente dentro del buffer mayor de muestreo definido alrededor de cada emisario (500m a 2 km de distancia). Mas detalles en las siguientes secciones.
- Reducir la frecuencia de monitoreo del programa de monitoreo regular a anual o semestral.

Todas estas opciones tienen un riesgo de disminuir la potencia estadística y por tanto la capacidad de la Red de Monitoreo de detectar patrones de variación espacial y temporal en la distribución y presencia de contaminantes en la Bahía de Quintero, por lo cual es mas aconsejable reducir el número de contaminantes, replicas (triplicado ha duplicado por ejemplo), o estratos a monitorear en la columna de agua (mínimo dos: agua superficial y de fondo) y sedimentos (solo superficiales).

Respecto a la definición aleatoria de estaciones de muestreo es importante indicar que, históricamente, las muestras se recolectaban a lo largo de un transecto lejos de una fuente puntual. Sin embargo, la mejor práctica hoy en día es aleatorizar la localización de las estaciones de muestreo, con una mayor frecuencia de muestreo cerca de la fuente de perturbación ambiental. El muestreo aleatorizado captura mejor la heterogeneidad ambiental. También aumenta la probabilidad de inclusión de fuentes desconocidas de variabilidad.

A continuación, en la

Tabla 83 se especifica el número y frecuencia de muestreo propuesto para la línea base de contaminantes de la Bahía de Quintero y tres escenarios hipotéticos de muestreo regular basados en un requerimiento de muestreo inferior (escenario 1), similar o anticipado (escenario 2) o superior (escenario 3) respecto a la línea base de contaminantes. Estos valores pueden ser ajustados a partir de un análisis de poder (estadístico) una vez se cuente con los resultados de la línea base de contaminantes. La incorporación de estaciones heredadas no se considera obligatoria, pero permite mantener series de tiempo históricas de evaluación de contaminantes en puntos fijos de la bahía. Importante aquí es evaluar la calidad de los datos disponibles en cada estación heredada de interés. Un análisis general (no sitio-específico) de la calidad de datos históricos de monitoreo de la Bahía de Quintero se entrega en la sección 7.2.1 más atrás.

Tabla 83 Número y frecuencia de muestreo en línea base de contaminantes en matrices marinas de la Bahía de Quintero y en tres escenarios hipotéticos de muestreo regular basados en un requerimiento de muestreo inferior (escenario 1), similar o anticipado (escenario 2) o superior/mayor (escenario 3) respecto a la línea base de contaminantes.

Número estaciones o frecuencia de monitoreo	Tipo de estación	Línea base de contaminantes	Escenario 1 muestreo regular - Requerimiento de muestreo superior al de la línea base	Escenario 2 muestreo regular - Requerimiento de muestreo similar al de la línea base	Escenario 3 muestreo regular - Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base
<b>Número de estaciones</b>	Estaciones aleatorias en Bahía de Quintero	20	40	20	10
	Estaciones heredadas en Bahía de Quintero	10	20	10	5
	Estaciones en sitios de referencia (n = 2)	10	10	10	10
	Estaciones en Rio Campiche	2	2	2	2
<b>Frecuencia de monitoreo anual</b>	Estaciones aleatorias en Bahía de Quintero	4	12	4	2
	Estaciones heredadas en Bahía de Quintero	4	12	4	2
	Estaciones en sitios de referencia (n = 2)	4	12	4	2
	Estaciones en Rio Campiche	4	4	4	4

#### 7.3.4.3.2 Fuentes puntuales de contaminación

Se propone diseñar un plan de muestreo que mida la contaminación que irradia desde las fuentes puntuales, para lo cual existirá una mayor probabilidad de inclusión para los sitios que están más cerca, pero no inmediatamente adyacentes a los puntos de descarga (donde muy probablemente se va a detectar una mayor concentración de contaminantes). Se recomienda que la línea base de contaminantes tenga una cobertura espacial relativamente alta, para reducir posteriormente la intensidad del muestreo en las áreas que muestran a) bajas concentraciones de contaminantes o b) muestran poca heterogeneidad en los próximos años. Para el desarrollo del programa de monitoreo se utilizan procedimientos y códigos establecidos (Foster, 2020). Inicialmente, designamos el área de estudio y definen las fuentes puntuales, como se muestra en el Figura 54:

}

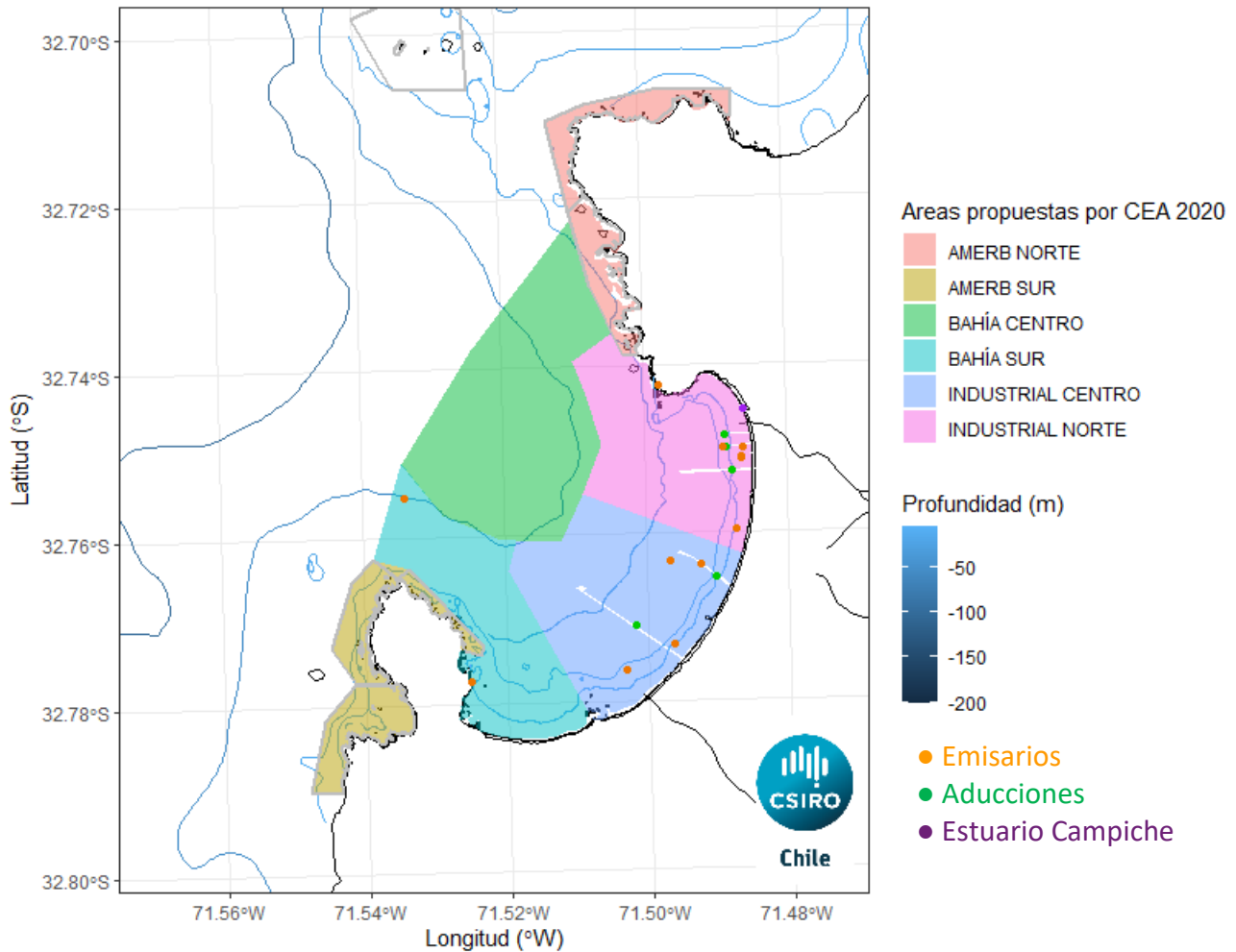


Figura 54 Descripción general del área de estudio que muestra la ubicación de fuentes puntuales. Clave: Puntos naranjas = Descargas industriales, Puntos verdes = Aducciones, Puntos morados = Ubicación de la desembocadura del estuario del río Campiche, Poligonos naranjos y borde gris = Areas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERBs)

Como se observa en la Figura 54 a parte de las descargas industriales a la bahía (puntos naranjos) se considera también la boca del estuario del río Campiche como fuente puntual (punto morado y define estaciones aleatorias con probabilidad modificada para muestrear cerca de esta fuente.

### 7.3.4.3.3 El dominio espacial de muestreo

Para crear el diseño de muestreo, es necesario en primer lugar definir el dominio espacial de muestreo. Como primera alternativa, se propone usar un búfer de 2 km alrededor de todas las fuentes puntuales como se muestra en la Figura 55:

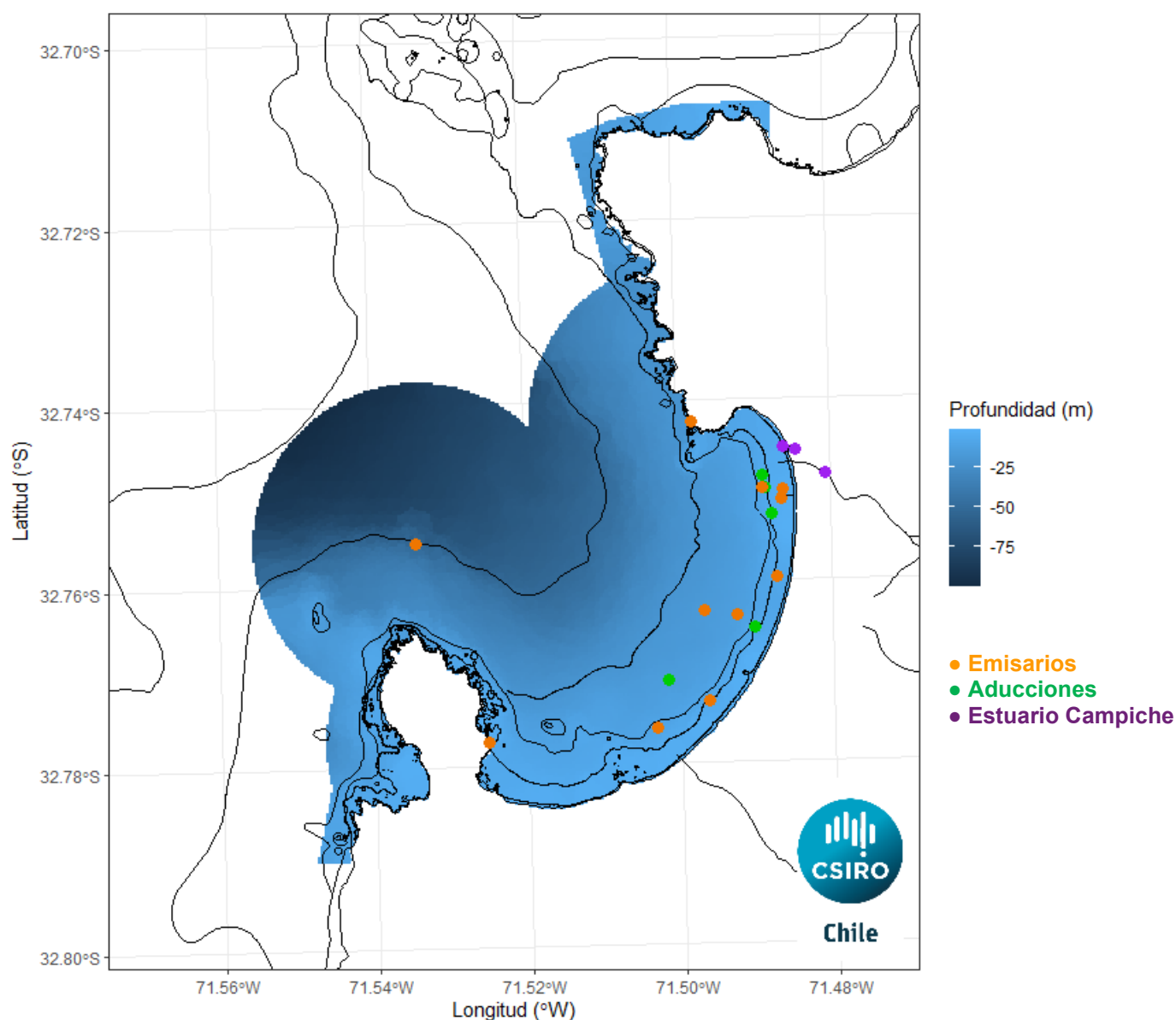


Figura 55 El dominio de muestreo (área sombreada; sombreada por profundidad (batimetría). Clave: Puntos naranjas = Descargas industriales, Puntos verdes = Aducciones, Puntos morados = Ubicación de la desembocadura del estuario del río Campiche

#### 7.3.4.3.4 Contabilización de la distancia de las fuentes puntuales

Para incorporar la distancia desde las fuentes puntuales en el diseño de muestreo, necesitamos definir una regla para la probabilidad de inclusión basada en la distancia desde las fuentes puntuales. Esto se puede hacer creando otro conjunto de búferes espaciales alrededor de cada fuente. En primera instancia, se utilizará las distancias de 100 m, 200 m, 500 m y 2 km como puntos de corte para definir las probabilidades de inclusión, las cuales se pueden cambiar a una categoría diferente si es necesario. Si bien inicialmente había considerado un diseño en el que había una ponderación explícita para la profundidad y la distancia de los sitios, esto no es necesario debido a la configuración espacial de las fuentes puntuales donde la mayoría se ubican en aguas poco profundas (excepto por el emisario de ESVAL).

Tampoco incluimos el tamaño del grano del sedimento porque estudios previos han indicado que hubo relativamente poca variación en el tamaño del grano del sedimento en la Bahía de Quintero, es decir mayormente arenoso (Pastene et al 2019). La Figura 56 muestra el dominio de muestreo dividido en regiones con diferentes probabilidades de inclusión dependiendo de la distancia de la plataforma.

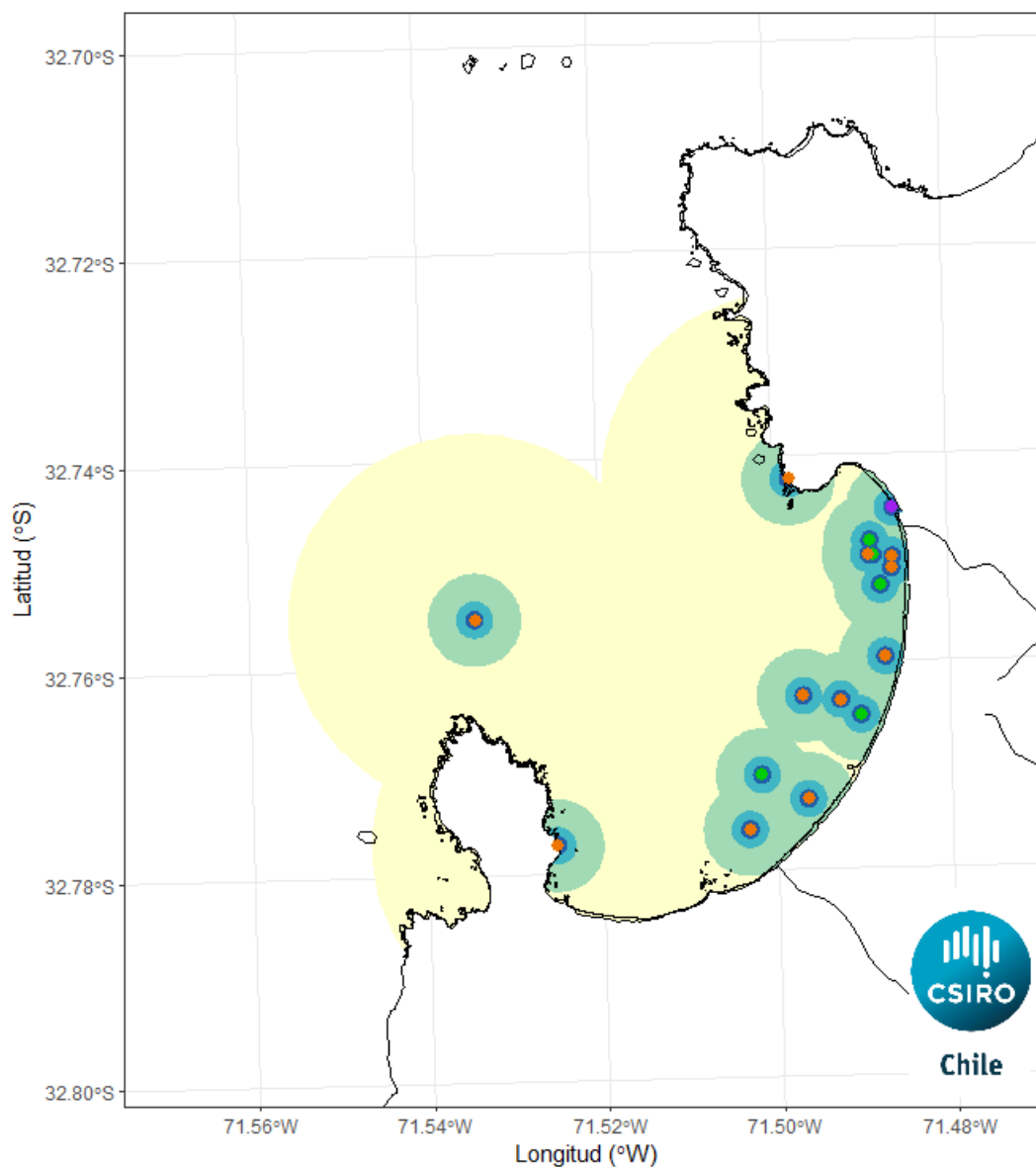


Figura 56 Búferes espaciales para definir probabilidades de inclusión. La clave de color para las fuentes puntuales en el gráfico a continuación es la misma que la anterior (naranja = emisarios, verde = aducción, púrpura = estuario). Los colores del sombreado que rodean los puntos son arbitrarios, mostrando los búferes de 100 m, 200 m, 500 m y 2 km.

#### 7.3.4.3.5 Definición de probabilidades de inclusión basadas en la distancia a fuentes puntuales

Luego se define una ponderación de probabilidad de inclusión para estas áreas. Estas ponderaciones deben sumar uno y pueden ajustarse según sea necesario. Inicialmente se propone utilizar los siguientes valores: 0.00 (0 a 100 m de distancia de cada emisario), 0.15 (100 a 200m), 0.25 (200 a 500 m), 0.35 (500 m a 2km), 0.25 (dentro de los polígonos de las AMERB). Estas ponderaciones son algo arbitrarias y se escalan por las áreas relativas de los búferes (es decir, el mismo valor de peso dará una ponderación realizada mucho más fuerte para los búferes cercanos a las fuentes puntuales, ya que cubren un área mucho más pequeña que los búferes más grandes. En la Figura 57 se muestra la superficie de probabilidad de inclusión, la cual aumenta en los búferes más cercanos a las fuentes puntuales, excepto en el primero de 0-100 m, para el cual se definió una probabilidad de 0 a fin de evitar directamente en las bocas de los emisarios donde efectivamente la concentración será similar a la monitoreada directamente en los RILes.



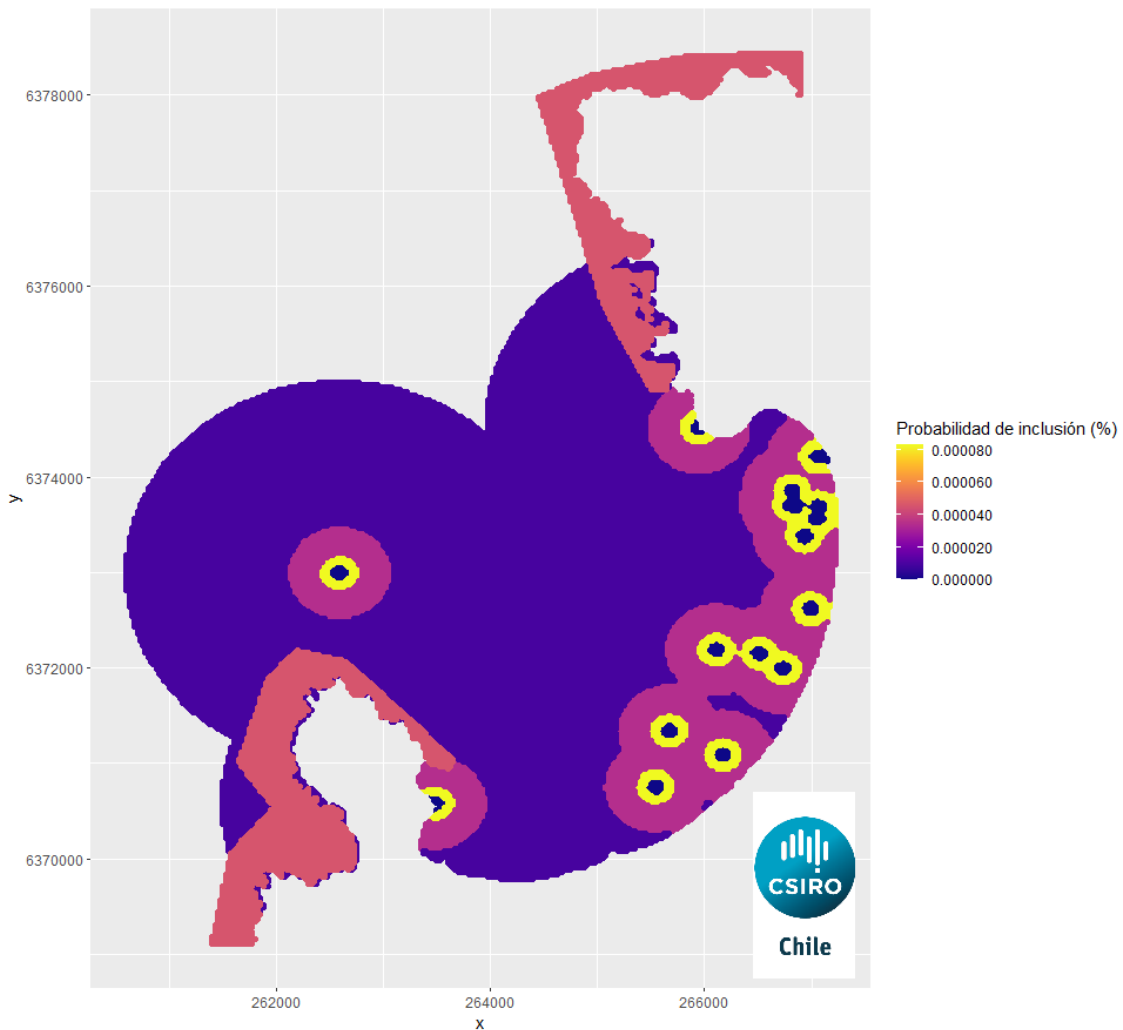


Figura 57 Superficie de probabilidad de inclusión, ponderada por la distancia desde las fuentes puntuales.

#### 7.3.4.3.6 Implementación de diseños de muestreo

A efectos de comparación, en la Figura 58 siguiente se muestra un diseño de monitoreo completamente aleatorizado, así como un diseño de muestreo utilizando las probabilidades ponderadas por la distancia a los emisarios discutidas anteriormente (Figura 59).

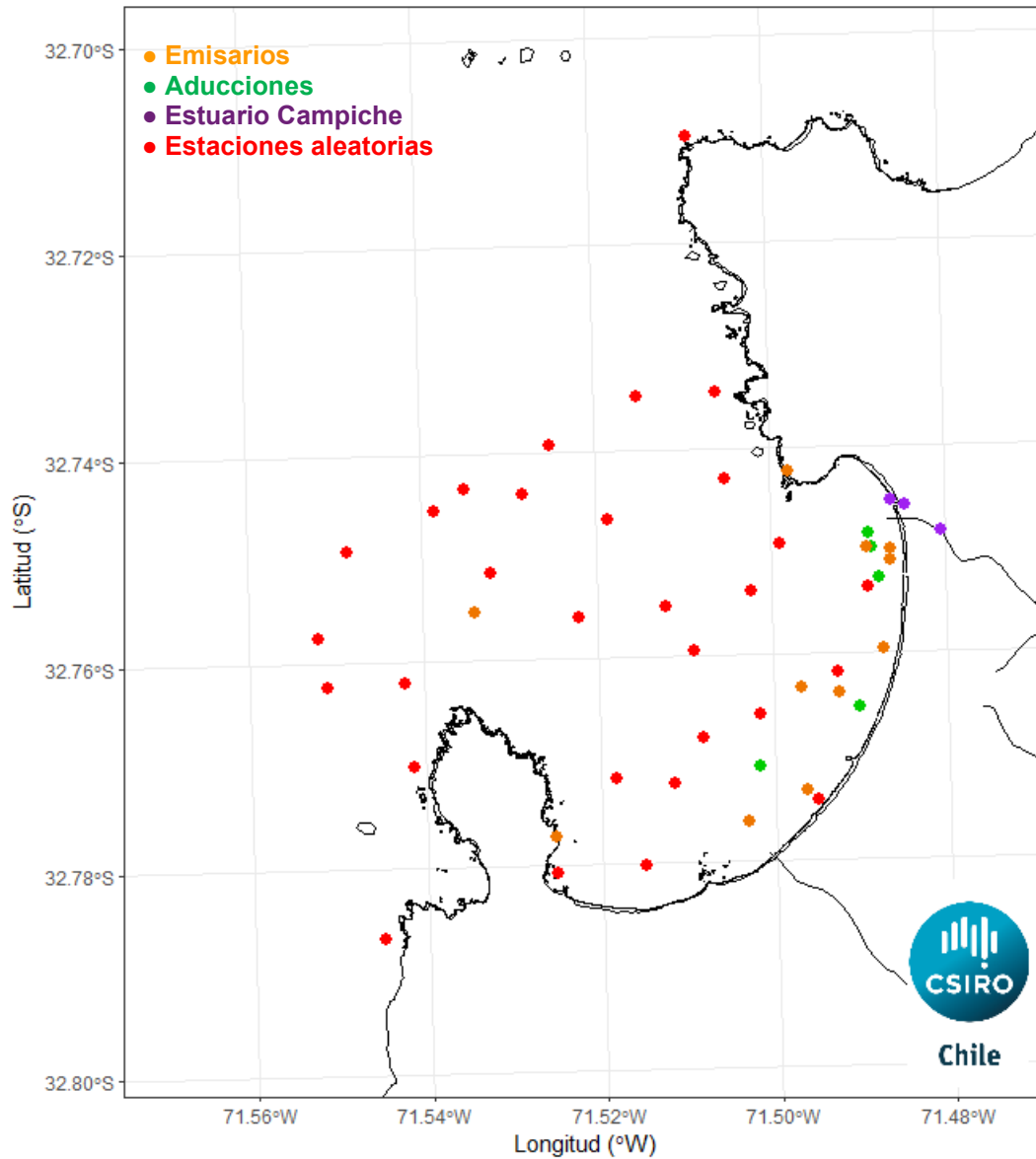


Figura 58 Diseño de muestreo aleatorio con ponderaciones iguales en todo el dominio de muestreo. Número de estaciones aleatorias consideradas: 30.

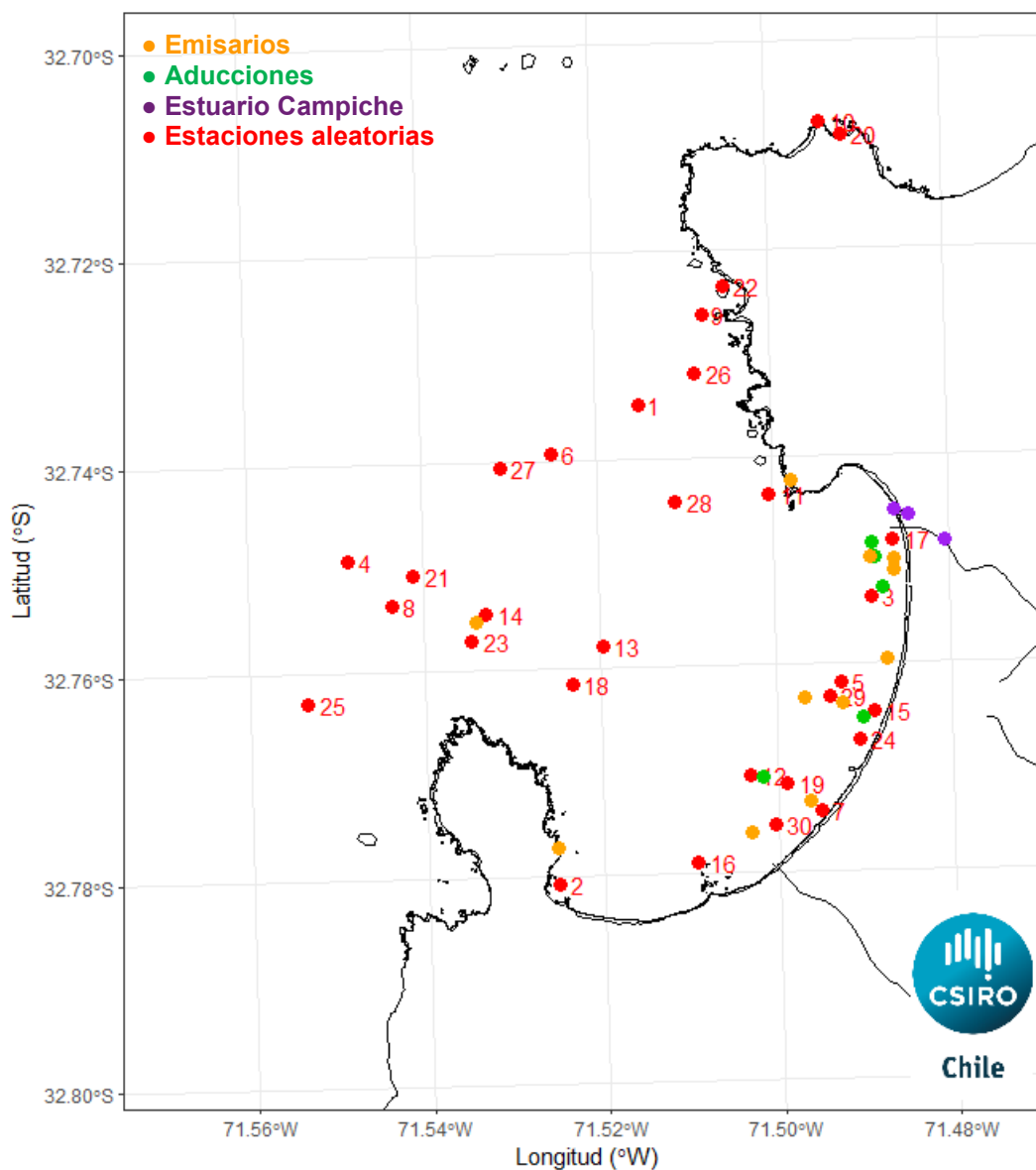


Figura 59 Diseño de muestreo aleatorio, con probabilidades ponderadas por la distancia a los emisarios (preferencia de ubicación de estaciones más cercanas a los emisarios). Número de estaciones aleatorias consideradas: 30.

A continuación en la Tabla 84 se lista las ubicaciones de las estaciones de muestreo (Latitud/ Longitud y UTM/WGS84) considerando 30 estaciones aleatorias (sin estaciones heredadas) con probabilidades ponderadas por la distancia a los emisarios como se muestra en la Figura 59.

Tabla 84 Ubicaciones de las estaciones de muestreo (Latitud/ Longitud y UTM/WGS84) considerando 30 estaciones aleatorias (sin estaciones heredadas).

Numero de estación	Tipo de estación	Longitud	Latitud	UTM x	UTM y
1	Aleatoria	264319.786	6375311.47	-78.9294434	57.4591149
2	Aleatoria	263494.786	6370186.47	-78.938217	57.4127577
3	Aleatoria	266819.786	6373286.47	-78.8859433	57.442257
4	Aleatoria	261219.786	6373636.47	-78.9793546	57.4424857
5	Aleatoria	266494.786	6372361.47	-78.890464	57.4338001
6	Aleatoria	263394.786	6374786.47	-78.9443167	57.4539291

7	Aleatoria	266294.786	6370986.47	-78.8924773	57.4213744
8	Aleatoria	261694.786	6373161.47	-78.9709984	57.4384784
9	Aleatoria	264994.786	6376286.47	-78.9191557	57.4682024
10	Aleatoria	266244.786	6378361.47	-78.9003489	57.4874439
11	Aleatoria	265719.786	6374361.47	-78.9052545	57.4513254
12	Aleatoria	265519.786	6371361.47	-78.9057096	57.4243363
13	Aleatoria	263944.786	6372736.47	-78.9331975	57.4358438
14	Aleatoria	262694.786	6373086.47	-78.9543076	57.4383295
15	Aleatoria	266844.786	6372061.47	-78.8843626	57.4312911
16	Aleatoria	264969.786	6370436.47	-78.9139606	57.4157626
17	Aleatoria	267044.786	6373886.47	-78.882774	57.4477497
18	Aleatoria	263619.786	6372336.47	-78.9382125	57.4320903
19	Aleatoria	265919.786	6371286.47	-78.8989929	57.4238702
20	Aleatoria	266469.786	6378211.47	-78.8964612	57.4862154
21	Aleatoria	261919.786	6373486.47	-78.9675751	57.4415087
22	Aleatoria	265219.786	6376586.47	-78.9157014	57.4710074
23	Aleatoria	262544.786	6372786.47	-78.9565097	57.4355627
24	Aleatoria	266694.786	6371761.47	-78.8865696	57.4285255
25	Aleatoria	260794.786	6372111.47	-78.9849299	57.4285965
26	Aleatoria	264919.786	6375661.47	-78.9198026	57.4625625
27	Aleatoria	262844.786	6374636.47	-78.9533153	57.4522981
28	Aleatoria	264719.786	6374286.47	-78.9218071	57.4501364
29	Aleatoria	266369.786	6372211.47	-78.8923982	57.4323916
30	Aleatoria	265794.786	6370836.47	-78.9006399	57.4197729

#### **7.3.4.3.7 *Diseño de muestreo ponderado por la distancia desde las fuentes puntuales y teniendo en cuenta las ubicaciones de los sitios heredados***

Se propone opcionalmente que la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero considere también sitios de muestreo heredados. Los sitios heredados son aquellos sitios que deseamos incluir en el programa de monitoreo que han sido muestreados antes como parte de un programa anterior de monitoreo o un proceso de aleatorización anterior. De esta manera se pone en valor series históricas de datos que puedan ayudar a explicar la variabilidad temporal de contaminantes en la Bahía de Quintero. Considerando los Programas de Vigilancia Ambiental asociado a cada unidad fiscalizable y el Programa de Observación del Ambiente Litoral de DIRECTEMAR existen más de 100 estaciones de monitoreo regular en la Bahía de Quintero. A fin de no sesgar el equilibrio espacial del diseño de muestreo, es necesario seleccionar un subconjunto de estos sitios. Criterios para la incorporación de sitios heredados incluyen por ejemplo:

- Abundancia de observaciones históricas (PVA asociados a UF y POAL de DIRECTEMAR)
- Zonas / estaciones que han mostrado excedencias históricas.
- Representativas de zonas referencia externas a la bahía (e.g. horcones de CODELCO)
- Representativas de zonas de influencia independiente de los RILes.

En la Figura 60 a continuación se muestra la ubicación de los sitios históricamente muestreados en la Bahía de Quintero a través de los Programas de Vigilancia Ambiental asociado a cada unidad fiscalizable y el Programa de Observación del Ambiente Litoral de DIRECTEMAR. En esta figura se destacan las 10 (en azul), 30 (en magenta) y 50 (en gris) estaciones más muestreadas en la Bahía de Quintero.

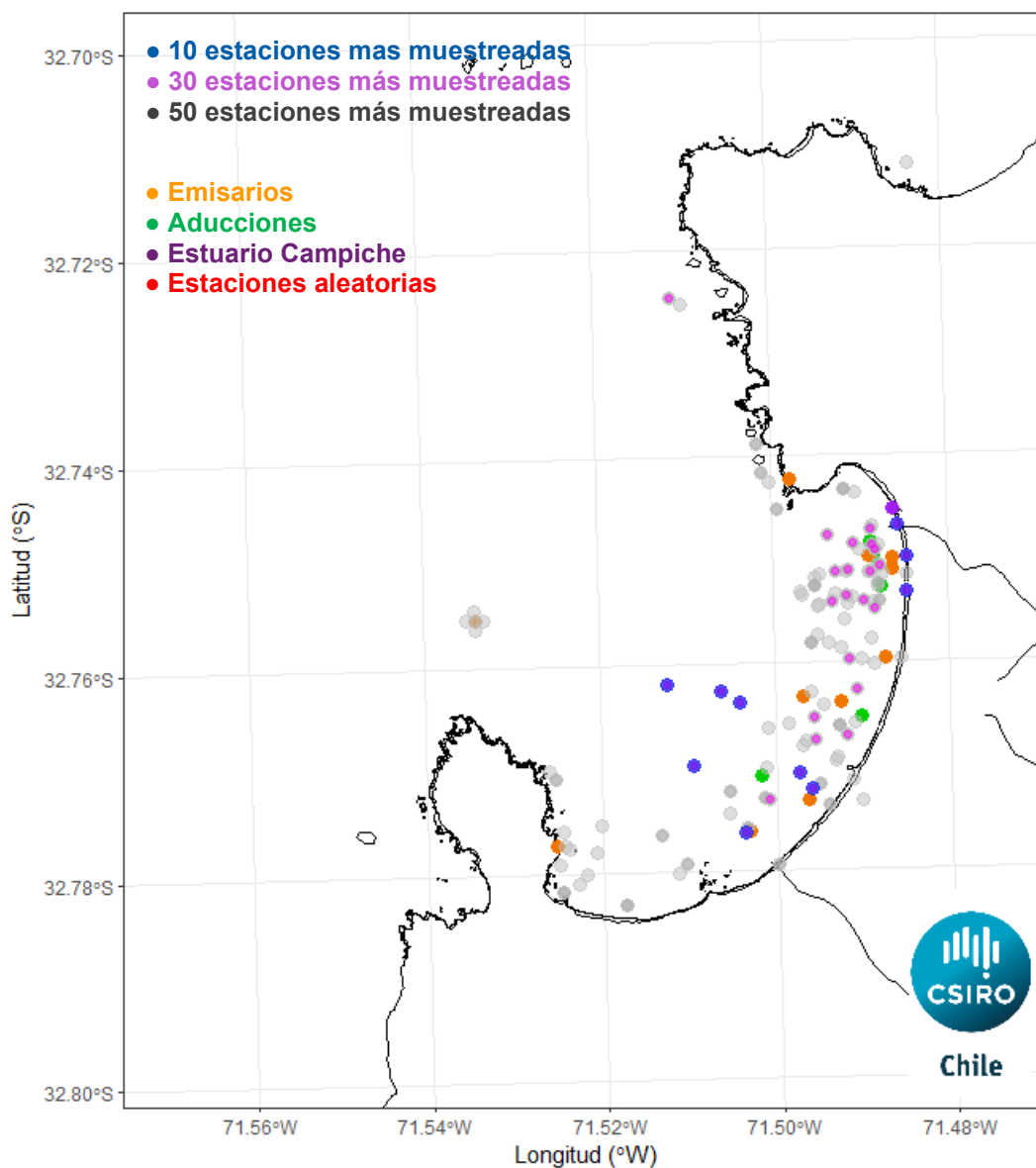
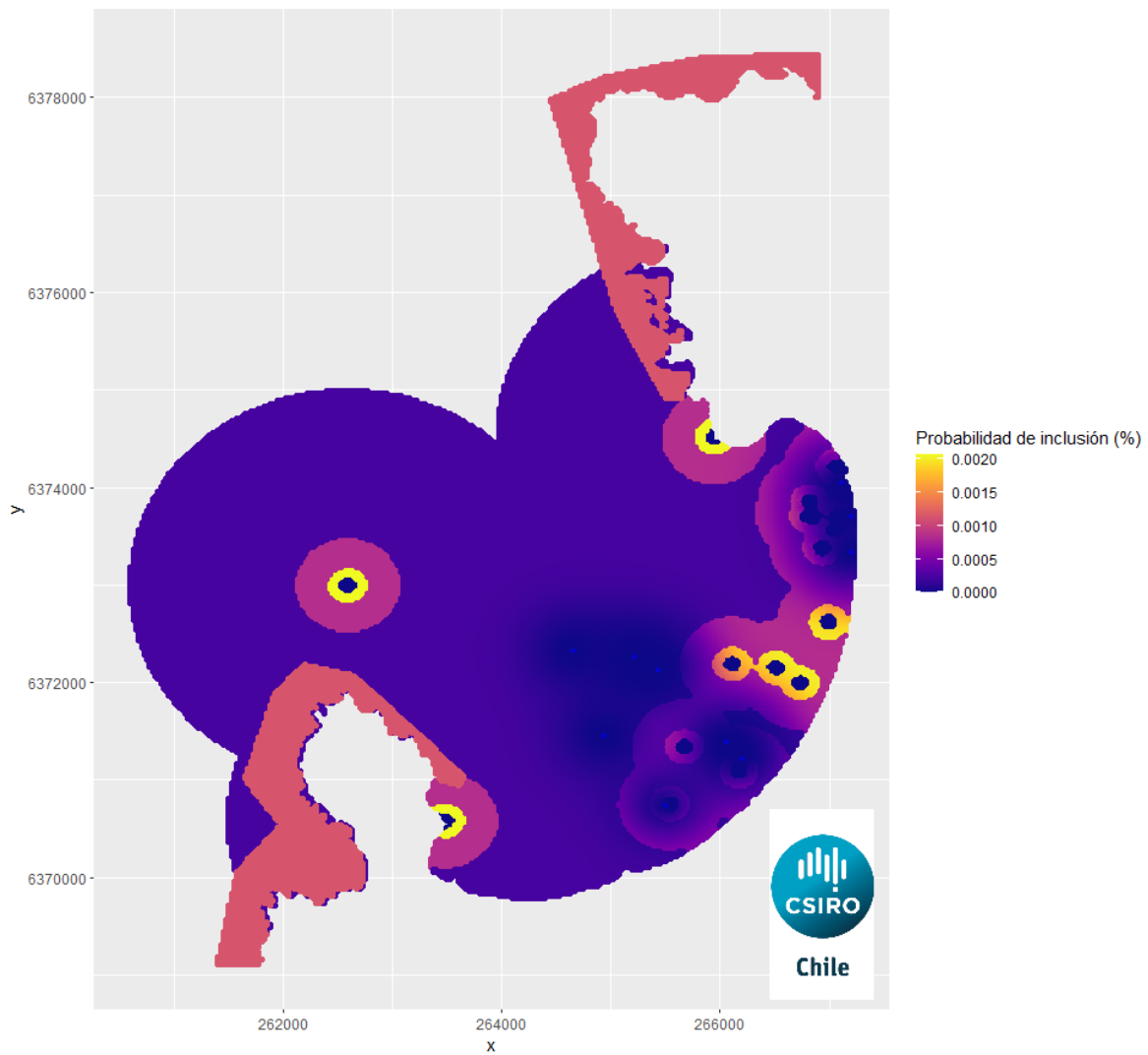


Figura 60 Ubicación de sitios heredados. Leyenda: azul = 10 estaciones más muestreadas, magenta = 30 estaciones más muestreadas; gris oscuro = 50 estaciones más muestreadas. Los puntos en gris claro son el resto de las estaciones de muestreo.

Inicialmente se propone utilizar como criterio único para la selección de estaciones heredadas la abundancia de observaciones históricas y seleccionar un subconjunto de 10 estaciones. De esta manera, las probabilidades de inclusión se modificaron para incluir estos sitios tal como se muestra en la Figura 60.



**Figura 61 Superficie de probabilidad de inclusión modificada, que representa los 10 sitios heredados más muestreados en la Bahía de Quintero (puntos azules).**

El resultado final del diseño del programa de monitoreo considerando una combinación de 20 estaciones aleatorias más 10 heredadas se muestra en la Figura 62 a continuación.

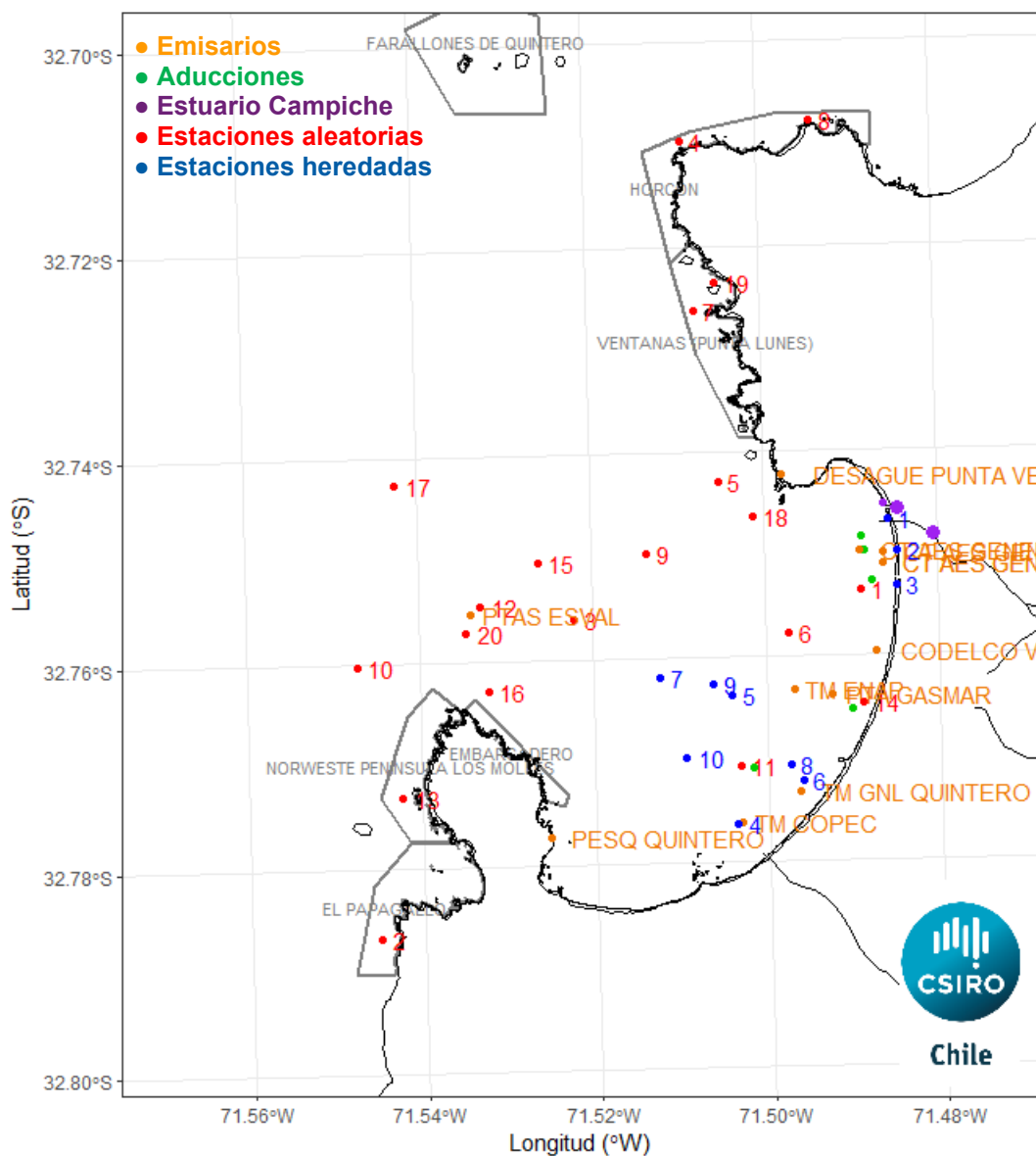


Figura 62 Diseño de muestreo con inclusión de los 10 sitios heredados mas muestreados (etiquetados y numerados en azul), y 20 estaciones aleatorias con preferencia de ubicaciones más cercanas a las fuentes puntuales (puntos rojos). Clave: azul = estaciones heredadas (10); rojo = estaciones aleatorias (20); naranja = fuentes puntuales (etiquetadas); polígonos de color gris = AMERBs. Numero de estaciones total (heredadas y aleatorias): 30.

A continuación en la Tabla 84 se lista las ubicaciones de las estaciones de muestreo (Latitud/ Longitud y UTM/WGS84) considerando 20 estaciones aleatorias con probabilidades ponderadas por la distancia a los emisarios y 10 estaciones heredadas como se muestra en la Figura 59.

Tabla 85 Ubicaciones de las estaciones de muestreo (Latitud/ Longitud y UTM/WGS84) considerando 20 estaciones aleatorias y 10 estaciones heredadas.

Número de estación	Tipo de estación	UTM x	UTM y	Longitud	Latitud
1	Heredada	267110	6374038	-78.881834	57.4491412
2	Heredada	267204	6373701	-78.879951	57.4461691
3	Heredada	267201	6373335	-78.8796531	57.4428873
4	Heredada	265502	6370730	-78.9054016	57.4186678

5	Heredada	265432	6372125	-78.9078981	57.4311337
6	Heredada	266203	6371216	-78.8942207	57.4233843
7	Heredada	264653	6372318	-78.9210269	57.4324608
8	Heredada	266064	6371385	-78.896691	57.4248274
9	Heredada	265220	6372253	-78.9115432	57.4321714
10	Heredada	264941	6371448	-78.9154076	57.4248129
1	Aleatoria	266819.786	6373286.47	-78.8859433	57.442257
2	Aleatoria	261644.786	6369486.47	-78.9682594	57.4055194
3	Aleatoria	263719.786	6372936.47	-78.9371292	57.4375193
4	Aleatoria	264844.786	6378111.47	-78.9234059	57.4844799
5	Aleatoria	265269.786	6374436.47	-78.9128075	57.4517652
6	Aleatoria	266044.786	6372811.47	-78.8983712	57.4376017
7	Aleatoria	264994.786	6376286.47	-78.9191557	57.4682024
8	Aleatoria	266244.786	6378361.47	-78.9003489	57.4874439
9	Aleatoria	264494.786	6373661.47	-78.9249467	57.4444187
10	Aleatoria	261369.786	6372411.47	-78.9756692	57.431587
11	Aleatoria	265519.786	6371361.47	-78.9057096	57.4243363
12	Aleatoria	262694.786	6373086.47	-78.9543076	57.4383295
13	Aleatoria	261869.786	6371011.47	-78.9660028	57.4193033
14	Aleatoria	266844.786	6372061.47	-78.8843626	57.4312911
15	Aleatoria	263319.786	6373561.47	-78.9443799	57.4429121
16	Aleatoria	262794.786	6372161.47	-78.9517509	57.4300923
17	Aleatoria	261769.786	6374386.47	-78.9709431	57.4494953
18	Aleatoria	265644.786	6374061.47	-78.9062143	57.4485981
19	Aleatoria	265219.786	6376586.47	-78.9157014	57.4710074
20	Aleatoria	262544.786	6372786.47	-78.9565097	57.4355627

Respecto a los contaminantes y variables ambientales que se analizarán en cada estación, se propone inicialmente en la línea de base de contaminantes muestrear todas las matrices ambientales metales pesados e hidrocarburos aromáticos policíclicos que sean más baratos de analizar, y sobre esta base decidir que otros contaminantes de eventual preocupación ambiental en la bahía de Quintero (Grupos 1A a 1D) serán evaluados posteriormente (más caros y difíciles de cuantificar), particularmente en aquellas estaciones que muestren altas concentraciones de metales pesados e hidrocarburos.

### 7.3.4.3.8 Métricas para evaluar la cobertura del diseño

#### 7.3.4.3.8.1 Red de monitoreo basada en uso combinado de estaciones aleatorias (sin heredadas)

A continuación se resume el número de estaciones de muestreo en el radio de 2 kilómetros de cada fuente puntual (Tabla 89) para el diseño de muestro basado en el uso único de estaciones aleatorias, además del número de estaciones de muestreo dentro de Áreas de Vigilancia y AMERBs (Tabla 90) y el número de estaciones de muestreo por banda de profundidad (Tabla 91). Se considera que la Red de Monitoreo propuesta se encuentra equilibrada en relación con los aspectos evaluados.

Tabla 86 Número de estaciones de muestreo a 2 km de cada fuente puntual para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso único de estaciones aleatorias (n = 30).

Descarga o aducción	Número estaciones aleatorias
CODELCO VENTANAS	9
TM ENAP	10
PTA GASMAR	10
TM GNL QUINTERO	9
TM COPEC	9
CT AES GENER U1	7



CT AES GENER U2	7
CT AES GENER U3	7
CT AES GENER U4	7
PESQ QUINTERO	3
PTAS ESVAL	10
DESAGUE PUNTA VENTANILLA	6
estuary mouth	4
adduction 1	10
adduction 2	9
adduction 3	7
adduction 4	7
adduction 5	6

Tabla 87 Número de estaciones de muestreo dentro de Áreas de Vigilancia y AMERBs para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso único de estaciones aleatorias (n = 30).

Área de Vigilancia o AMERB	Número estaciones aleatorias
BAHÍA SUR	4
BAHÍA CENTRO	5
AMERB NORTE	4
AMERB SUR	0
INDUSTRIAL NORTE	2
INDUSTRIAL CENTRO	9
NORWESTE PENINSULA LOS MOLLES	0
EL PAPAGALLO	0
EMBARCADERO	0
FARALLONES DE QUINTERO	0
HORCON	2
VENTANAS (PUNTA LUNES)	2

Tabla 88 Número de estaciones de muestreo por banda de profundidad para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso único de estaciones aleatorias (n = 30).

Profundidad	Número estaciones aleatorias
0-10 m	10
10-20 m	6
20-50 m	6
50-100 m	8

#### 7.3.4.3.8.2 Red de monitoreo basada en uso combinado de estaciones heredadas y aleatorias

A continuación se resume el número de estaciones de muestreo en el radio de 2 kilómetros de cada fuente puntual (Tabla 89), el número de estaciones de muestreo basado en el uso único de estaciones aleatorias (n = 20) y heredadas (n = 10) dentro de Áreas de Vigilancia y AMERBs (Tabla 90) y el número de estaciones de muestreo por banda de profundidad (Tabla 91). Se considera que la Red de Monitoreo propuesta se encuentra equilibrada en relación con los aspectos evaluados.

Tabla 89 Número de estaciones de muestreo a 2 km de cada fuente puntual para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso combinado de estaciones aleatorias (n = 20) y heredadas (n = 10).

Descarga o aducción	Número estaciones heredadas	Número estaciones aleatorias	Número total de estaciones
CODELCO VENTANAS	7	5	12
TM ENAP	9	5	14

PTA GASMAR	10	4	14
TM GNL QUINTERO	7	3	10
TM COPEC	7	2	9
CT AES GENER U1	3	5	8
CT AES GENER U2	3	5	8
CT AES GENER U3	3	5	8
CT AES GENER U4	3	5	8
PESQ QUINTERO	1	2	3
PTAS ESVAL	0	7	7
Boca estuario			
Campiche	3	5	8
Aducción 1	3	4	7
Aducción 2	8	4	12
Aducción 3	7	3	10
Aducción 4	4	5	9
Aducción 5	3	5	8

Tabla 90 Número de estaciones de muestreo dentro de Áreas de Vigilancia y AMERBs para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso combinado de estaciones aleatorias (n = 20) y heredadas (n = 10).

Área de Vigilancia o AMERB	Número estaciones legadas	Número estaciones aleatorias	Número total de estaciones
BAHÍA SUR	0	3	3
BAHÍA CENTRO	0	3	3
AMERB NORTE	0	4	4
AMERB SUR	0	2	2
INDUSTRIAL NORTE	1	4	5
INDUSTRIAL CENTRO	7	2	9
NORWESTE PENINSULA LOS MOLLES	0	1	1
EL PAPAGALLO	0	1	1
EMBARCADERO	0	0	0
FARALLONES DE QUINTERO	0	0	0
HORCON	0	2	2
VENTANAS (PUNTA LUNES)	0	2	2

Tabla 91 Número de estaciones de muestreo por banda de profundidad para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso combinado de estaciones aleatorias (n = 20) y heredadas (n = 10).

Profundidad	Número estaciones legadas	Número estaciones aleatorias	Número total de estaciones
0-10 m	5	4	9
10-20 m	2	6	8
20-50 m	3	5	8
50-100 m	0	5	5

#### 7.3.4.3.9 Sitios de referencia

En ausencia de un estudio de línea de base preindustrial o pre-impacto para Quintero, para comparar las medidas obtenidas hoy en la Bahía con algunos valores de referencia, se requerirá recurrir a sitios de referencia homólogos. Estos sitios no

deben estar sujetos a impactos antropogénicos significativos, aunque no es necesario que califiquen completamente como un sitio prístino.

Los sitios de referencia no solo son necesarios para comparar la presencia y concentración actual de una serie de contaminantes en Quintero, con la de estos sitios, sino también para realizar estudios ecológicos futuros que permitan comparar la composición y estructura actual de la comunidad biológica o conjuntos de diferentes componentes del ecosistema en Quintero con observaciones equivalentes en sitios de referencia. Estas comparaciones darían una idea del estado de las comunidades en Quintero y proporcionarían una línea de base para comparar los cambios como resultado de la aplicación de un nuevo Estándar Ambiental Secundario obligatorio que se observará en Quintero.

Para establecer inicialmente la homología entre sitios, se consideraron los siguientes criterios:

- 1) Forma y orientación de la costa, idealmente una ensenada similar a Quintero
- 2) Batimetría
- 3) Estructura geomorfológica básica,
- 4) Tamaño de grano y contenido de materia orgánica de los sedimentos.
- 5) Presencia de un ecosistema de playa de arena
- 6) Dirección dominante del viento, a partir del cual se puede calcular la exposición al oleaje.

El primer criterio confronta el hecho de que en el centro de Chile hay un número limitado de ensenadas protegidas similares a Quintero, por lo que históricamente casi siempre se han utilizado como puertos. Quintero fue seleccionado como el sitio preferido de desembarco de la primera expedición marítima española en apoyo de la ocupación colonial de Chile en el siglo XVII.

La batimetría para fines de navegación está disponible para todo el centro de Chile. Aunque se dispone de información batimétrica más detallada para la mayor parte del margen continental (Multihaz), el fondo menos profundo cercano a la costa suele carecer de este tipo de información y se debe depender de las cartas de navegación oficiales publicadas por la marina. El registro oficial de estaciones batimétricas disponibles en el Centro Nacional de Datos Oceanográficos (CENDHOC) para la Costa Chilena se muestra en rojo en la Figura 63. En azul hay una serie de datos batimétricos recopilados por la Universidad Católica de Valparaíso, incluyendo datos geológicos Multihaz recogido recientemente por expediciones extranjeras. Una imagen compilada de batimetría de datos multihaz se muestra en la Figura 64.

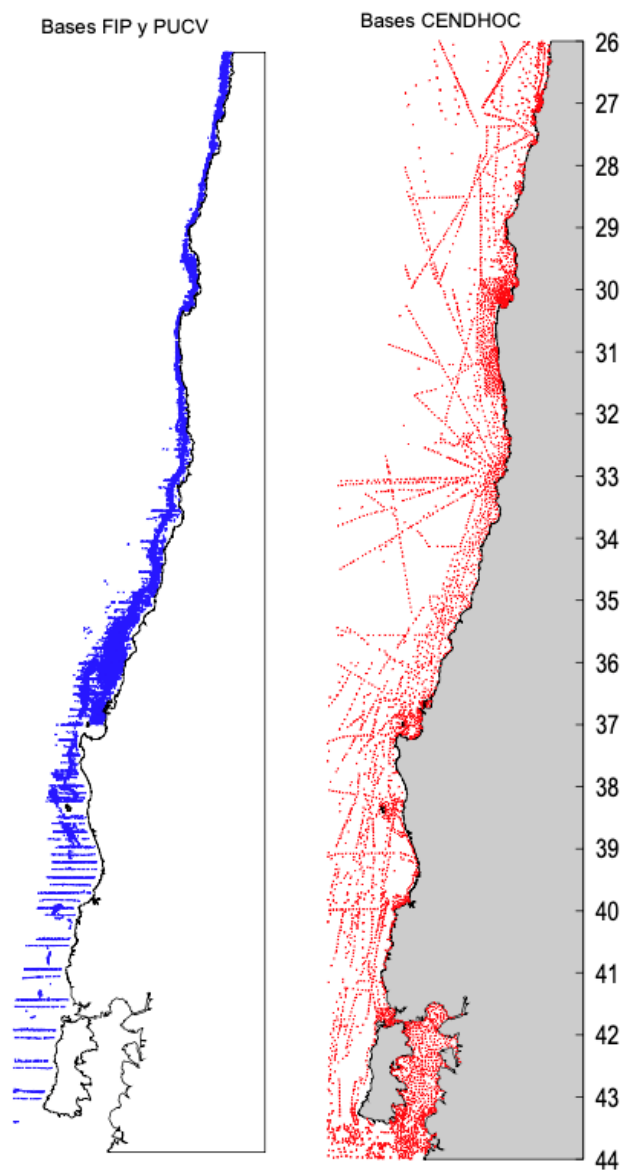
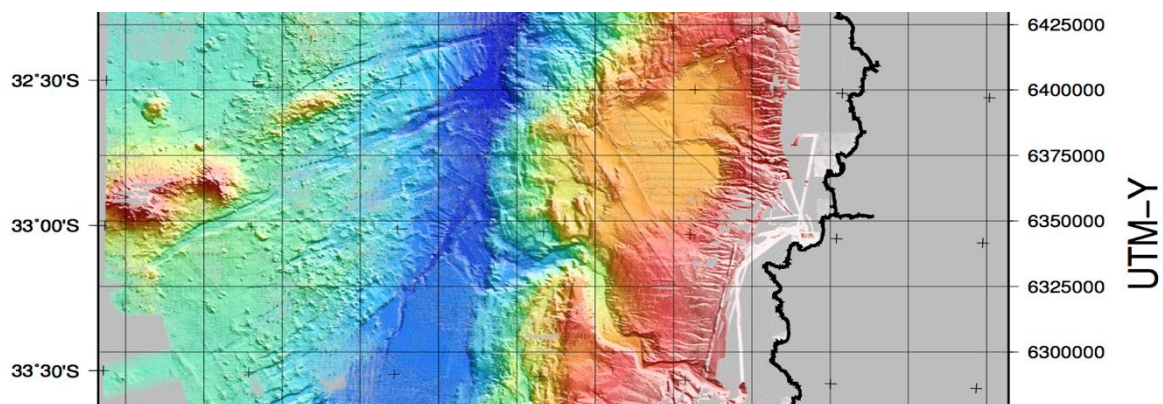


Figura 63 Distribución espacial de registros batimétricos disponibles de FIP, PUCV y CENDHOC.



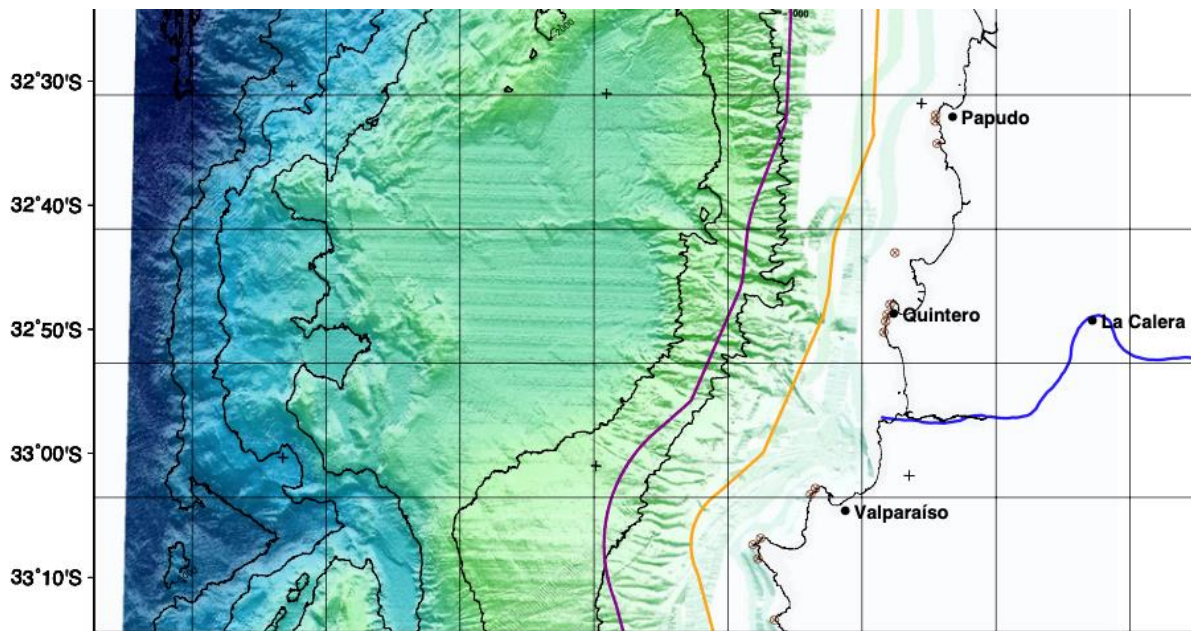


Figura 64 Panel superior compuesto de geología multihaz de margen continental frente a Quintero, Abajo, el mismo, ampliado, con etiquetas.

Los criterios 3 y 4 deben aplicarse de manera un tanto combinada. No todas las bahías tienen un ecosistema típico de playa de arena en su cabeza. Por lo tanto, hemos preseleccionado, utilizando imágenes de alta resolución de Google Earth, una serie de sitios que se asemejan a Quintero y tienen un ecosistema de playa arenosa, y presumiblemente también uno de fondo suave submareal. El rango geográfico explorado es bastante amplio e incluye un par de grados de latitud al norte y al sur de Quintero.

Hacia el norte, la mayoría de las ciudades costeras y los desarrollos humanos están asociados al ocio, el turismo y los balnearios. También hay varias calas de pescadores artesanales. Al sur, se encuentran las partes más desarrolladas de la costa central de Chile, con las ciudades de Valparaíso y Viña del Mar seguidas por una serie de balnearios al sur que conectan con el principal puerto de Chile, San Antonio.

En consecuencia, hemos aceptado como sitios potenciales varios balnearios, ubicados al norte y al sur, al contar con desarrollos no industriales, pero presumiblemente tendrán descargas de alcantarillado municipal, Los Vilos, cuenta con una terminal marítima que recibe concentrado de mineral de cobre de Minera Los Pelambres, lo seca y lo embarca en grandes embarcaciones. Cerca de Huasco hay una salida de un proceso de extracción y refinación de hierro. Estas y otras influencias se explorarán más a fondo. Los sitios potenciales se pueden ver a lo largo de la costa chilena a continuación en la Figura 65:

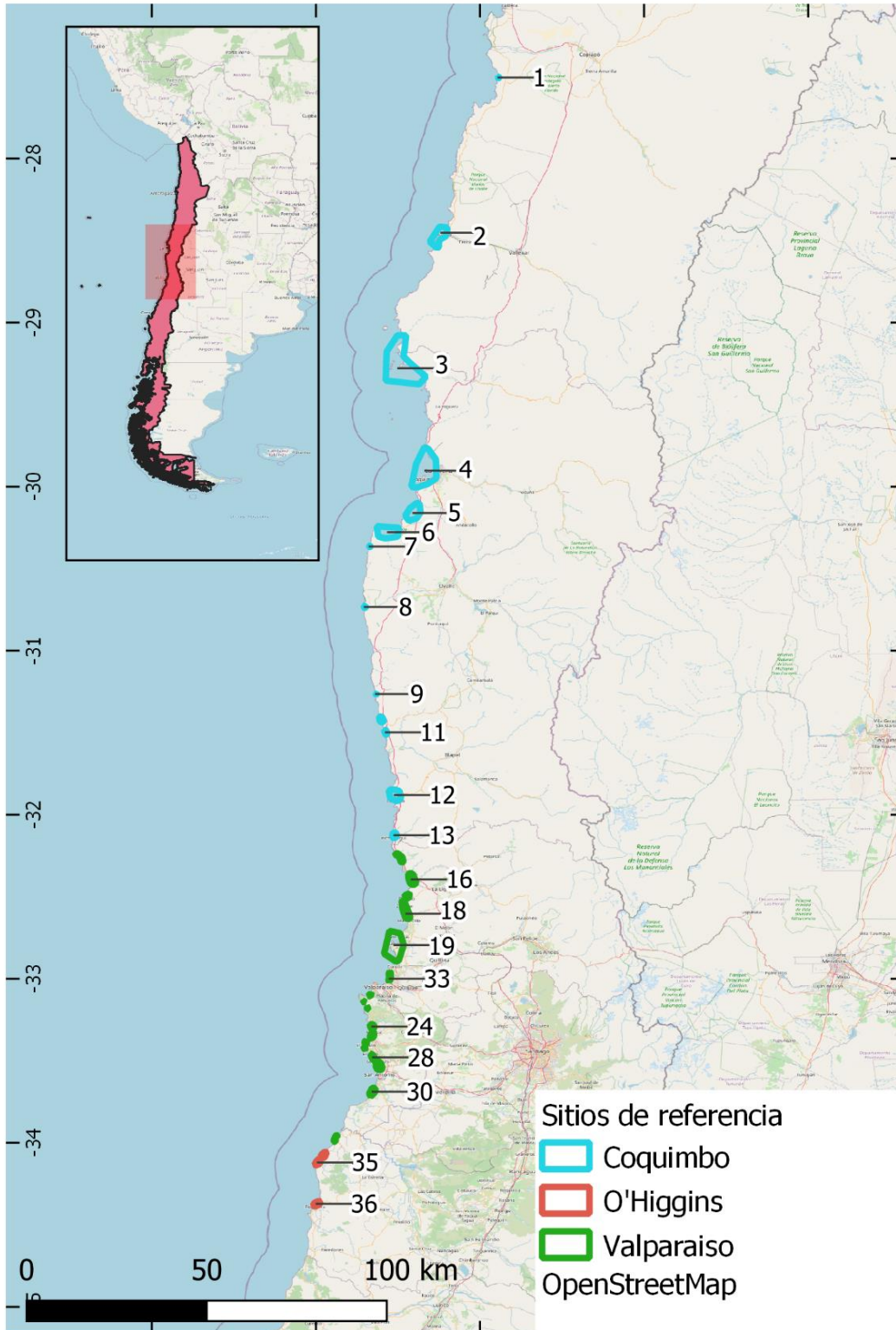


Figura 65 Posibles sitios de referencia a lo largo de la costa.

Los primeros 13 sitios se encuentran en la región de Coquimbo, al norte de la región de Valparaíso donde se encuentra Bahía Quintero. 19 sitios están en la región de Valparaíso y 4 en O'Higgins.

### Influencias actuales en sitios homólogos

De las áreas previamente seleccionadas con base en la homología, podemos explorar y descartar sitios específicos basados en la influencia antrópica y el estado probable de contaminación/alteración, con énfasis en la similitud con la que se encuentra en Quintero. Se seleccionó una serie de actividades similares a las que se realizan actualmente en Bahía Quintero para evitar contaminantes similares. Las fuentes de información se presentan a continuación:

<b>Criterio</b>	<b>Datos</b>	<b>Fuente</b>
<b>Infraestructura portuaria y minería</b>	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	<a href="https://www.sea.gob.cl">https://www.sea.gob.cl</a> <a href="https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable">https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable</a>
<b>Refinería y otras industrias</b>	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	<a href="https://www.sea.gob.cl">https://www.sea.gob.cl</a> <a href="https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable">https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable</a>
<b>Plantas termoeléctricas</b>	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	<a href="https://www.sea.gob.cl">https://www.sea.gob.cl</a> <a href="https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable">https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable</a>
<b>Plantas de enfriamiento y desalación</b>	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	<a href="https://www.sea.gob.cl">https://www.sea.gob.cl</a> <a href="https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable">https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable</a>
<b>Tratamiento de aguas residuales y emisarios industriales</b>	Registro Nacional de Resolución de Programa de Monitoreo (RPM)	<a href="https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable">https://snifa.sma.gob.cl/UnidadFiscalizable</a> <a href="https://portal.sma.gob.cl/index.php/portal-regulados/instructivos-y-guias/normas-de-emision/">https://portal.sma.gob.cl/index.php/portal-regulados/instructivos-y-guias/normas-de-emision/</a>
<b>Humedales</b>	Inventario de humedales	<a href="https://humedaleschile.mma.gob.cl/inventario-humadales/">https://humedaleschile.mma.gob.cl/inventario-humadales/</a>
<b>Plantas de tratamiento de aguas residuales y emisarios</b>	Registro Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y emisarios	<a href="https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6323.html">https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6323.html</a>
<b>Conservación</b>	Áreas marinas protegidas	<a href="https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1438-areas-marinas-protégidas">https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1438-areas-marinas-protégidas</a>
<b>Conservación</b>	Áreas costeras marinas protegidas	<a href="https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1438-areas-marinas-protégidas">https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1438-areas-marinas-protégidas</a>
<b>Conservación</b>	Áreas de Manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB)	<a href="https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1437-areas-de-manejo-de-recursos-bentonicos-amerb">https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1437-areas-de-manejo-de-recursos-bentonicos-amerb</a>
<b>Producción</b>	Concesiones de mitilidos	<a href="https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1491-concesiones-de-acuicultura">https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1491-concesiones-de-acuicultura</a>
<b>Producción</b>	Concesiones de acuicultura	<a href="https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1491-concesiones-de-acuicultura">https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1491-concesiones-de-acuicultura</a>
<b>Riesgo de tsunami</b>	Áreas de evacuación por tsunami	<a href="https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1501-amenaza-tsunami">https://www.ide.cl/index.php/oceanos-y-costa/item/1501-amenaza-tsunami</a>
<b>Tráfico marítimo</b>	Tráfico marítimo por tipo de embarcación	<a href="https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:-71.697/centery:-30.289/zoom:12">https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:-71.697/centery:-30.289/zoom:12</a>

Para la influencia actual en los sitios, podemos basarnos en el catastro de industrias, emisarios y plantas de tratamiento de aguas residuales, agregando un buffer para descartar sitios con gran influencia. El tráfico marítimo se exploró bajo una licencia pagada de marinetraffic.com para filtrar por tipo de embarcación bajo una serie de categorías disponibles: Buques de carga, Buques portacontenedores, Pesqueros, Transportadores de GNL, Transportadores de GLP, Buques de pasajeros, Embarcaciones de recreo, Tanques, Remolcadores y embarcaciones especiales (ver Figura 66). La evaluación inicial se realiza visualmente para clasificar el tráfico anual total por sitio en 4 niveles de intensidad (nulo, bajo, medio y alto), seguidos de los tipos de tráfico presentes. Se puede ver un ejemplo a continuación para algunos tipos de embarcaciones:

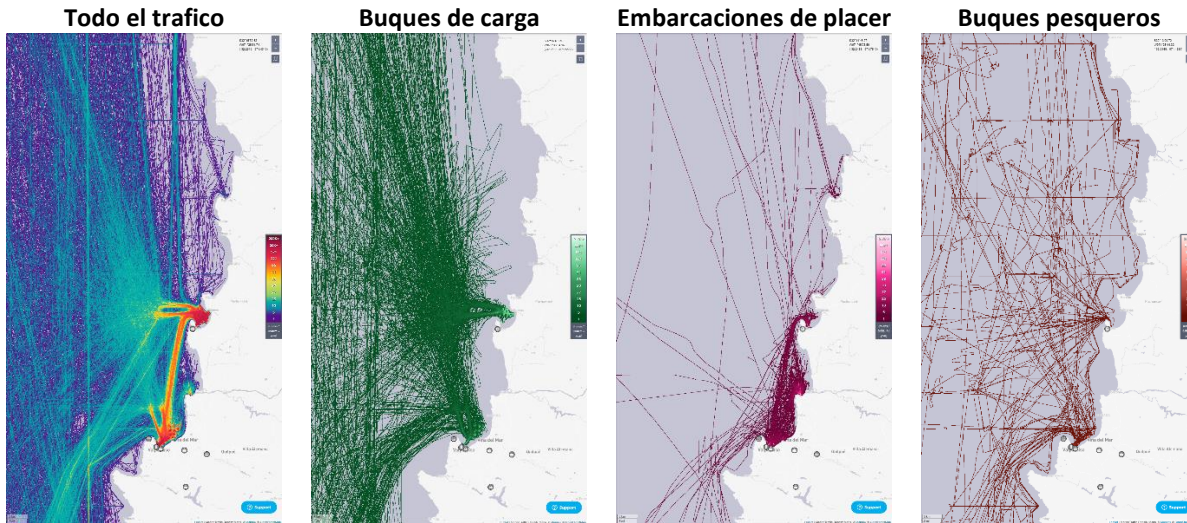


Figura 66 Tráfico marítimo por tipo de embarcación en la zona central de Chile: Fuente: marinetráfico.com

Los sitios fueron seleccionados por agrupamiento jerárquico por el conjunto de influencias exploradas, donde identifican tres grupos prioritarios:

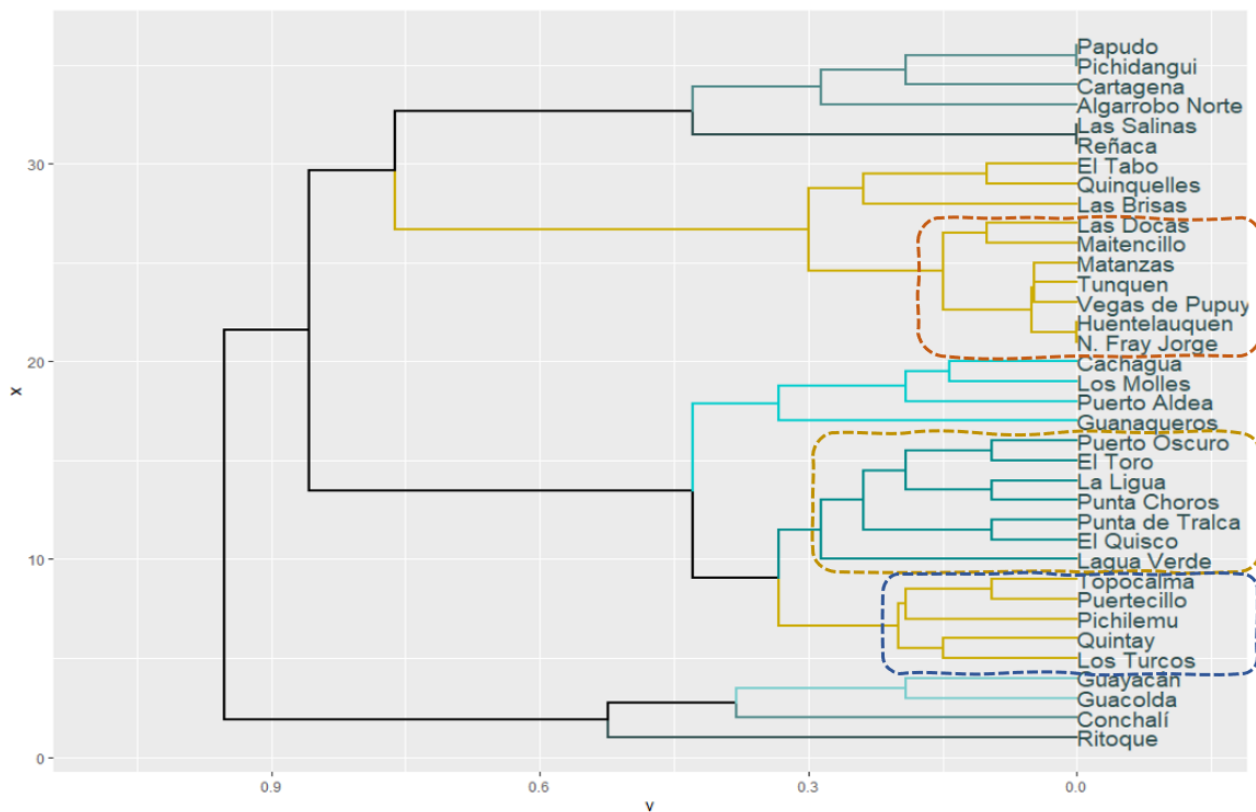


Figura 67 Posibles sitios de referencia a lo largo de la costa.

La base de datos de sitios se adjunta en el archivo BD\_SITIOS\_DE\_REFERENCIA.csv localizada en la ruta \02\_CODIGOS\_Y\_BASES\_DE\_DATOS\01\_BASES\_DE\_DATOS. Los tres grupos de sitios seleccionados cumplen con los siguientes requisitos:

- Poco tráfico marítimo



- No acuicultura significativa
- Baja presencia de AMERBs
- Sin industrias ni emisarios importantes
- Sin puertos, desembarco minero o termoeléctricas

Para descartar sitios potenciales e identificar los candidatos más adecuados, se llevó a cabo una exploración de “literatura gris”<sup>52</sup> dirigida a influencias pasadas, efectos de contaminación/alteración y otros de posible interés. Principalmente, se buscó información sobre:

- actividades mineras pasadas y presencia de relaves (activos, clausurados o abandonados) y eventos de derrames,
- eventos de mortalidad masiva de especies marinas,
- florecimientos algales,
- contaminación en los ríos/humedales, y
- otros que puedan considerarse de interés (e.g. surgencias costeras).

Entre otros, se descartaron sitios como Quintay, debido a la actividad ballenera realizada en el siglo pasado, la presencia de centros de acuicultura experimental en tierra con aparición de brotes epizootico de patógenos que pueden influenciar el agua descargada a la costa<sup>53</sup>. Otros sitios como La Ligua se descartaron por derrames de relaves en la cuenca de influencia<sup>54</sup>. Se descartó la bahía de Matanzas y Pichilemu debido a eventos de mortalidad de aves de mar<sup>55</sup>, y Laguna Verde por problemas de eutrofización en los cuerpos de agua próximos a la bahía<sup>56</sup>. El resumen del proceso de “embudo” para reducir los posibles sitios se presenta en la Tabla 92 a continuación.

**Tabla 92 Clasificación de posibles sitios de referencias basado en criterios de homología e influencia antrópica (pasada y presente).**

Sitio	Región	Homología de sitios	Influencia Antrópica	Influencia pasada, efectos y otros
Los Turcos	IV			
Guacolda	IV			
Punta Choros	IV			
Guayacán	IV			
Guaqueros	IV			
Puerto Aldea	IV			
N. Fray Jorge	IV			
El Toro	IV			
Maitencillo	IV			
Puerto Oscuro	IV			
Huentelauquen	IV			
Conchalí	IV			
Pichidangui	IV			
Los Molles	IV			
Quinquelles	IV			
La Ligua	IV			
Papudo	IV			
Cachagua	IV			
Ritoque	V			

<sup>52</sup> Information produced on all levels of government, academia, business and industry in electronic and print formats not controlled by commercial publishing" ie. where publishing is not the primary activity of the producing body.

<sup>53</sup> <https://www.salmonexpert.cl/article/publican-primera-identificacion-y-caracterizacion-de-tenacibaculum-dicentrarchi/>

<sup>54</sup> [https://www.terram.cl/descargar/recursos\\_naturales/mineria/app\\_-\\_ analisis\\_de\\_politicas\\_publicas/APP-24-La-mineria-y-su-pasivo-ambiental.pdf](https://www.terram.cl/descargar/recursos_naturales/mineria/app_-_ analisis_de_politicas_publicas/APP-24-La-mineria-y-su-pasivo-ambiental.pdf)

<sup>55</sup> <https://www.soychile.cl/San-Antonio/Sociedad/2021/08/30/720875/cormoranes.aspx>

<sup>56</sup> <https://www.soychile.cl/Valparaiso/Sociedad/2019/02/13/581341/Altos-niveles-de-contaminacion-se-registraron-en-aguas-de-Laguna-Verde-en-Valparaiso.aspx>

Sitio	Región	Homología de sitios	Influencia Antrópica	Influencia pasada, efectos y otros
Reñaca	V			
Las Salinas	V			
Lagua Verde	V			
Las Docas	V			
Quintay	V			
Tunquen	V			
Algarrobo Norte	V			
El Quisco	V			
Punta de Tralca	V			
El Tabo	V			
Cartagena	V			
Las Brisas	V			
Matanzas	V			
Vegas de Pupuya	VI			
Puertecillo	VI			
Topocalma	VI			
Pichilemu	VI			

Tentativamente se seleccionaron los siguientes sitios:

N°	Bahía	Región	Latitud	Descripción
11	Huentelauquen	Coquimbo	31.5°S	La Bahía de Huentelauquen, ubicada a 141 km al norte de la Bahía de Quintero, está influenciada únicamente por el río Choapa y es considerada una de las más limpias de Chile.
35	Topocalma	O'Higgins	34.1°S	La Bahía de Topocalma, ubicada a 156 km al sur de la Bahía de Quintero, se ha declarado recientemente santuarios de la naturaleza sin otra fuente relevante de impactos.

En ambas bahías, la única fuente de interferencia identificada son las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos, que, debido a su amplia extensión, se encuentran en la mayor parte de los sitios seleccionados. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de visitar sitios no seleccionados en la última etapa si se considera no relevante el criterio de actividad ballenera, mortalidad de aves, varazón de ballenas u otros. Otros sitios que se puede visitar para evaluar su potencial con sitios de referencias: Las Docas, Tunquen, Maitencillo, o Laguna Verde.

Sobre la estrategia de monitoreo en los sitios de referencia se proponen las siguientes consideraciones:

Componente	Descripción
<b>Distribución espacial</b>	Se recomienda replicar en los sitios de referencia el monitoreo de línea base en Quintero, para al menos 5 estaciones aleatorias por sitio, para poder caracterizar la variación espacial. Si la variabilidad es baja, se evaluará reducir el número de estaciones. Se recomienda que de las 5 estaciones aleatorias de la línea base, al menos 3 estaciones se mantengan en el monitoreo regular (dentro y fuera de la ZPL, distinguiendo áreas intermareales y submareales) para las matrices de agua, biota y sedimentos, para los dos sitios de referencia (al norte y sur de Quintero).
<b>Frecuencia de muestreo</b>	Se sugiere que los sitios de referencia repliquen el esquema de monitoreo de la Bahía de Quintero, es decir, monitoreos estacionales para la línea base y según se ajuste la frecuencia del monitoreo regular. Las estaciones deben medir las mismas matrices y parámetros. De esta manera poder contrastar regularmente con valores de concentración Ambiental y las variaciones estacionales.
<b>Parámetros</b>	Se recomienda mantener los mismos parámetros monitoreados en la línea base y el posterior Programa de monitoreo regular de la Bahía de Quintero.
<b>Matrices</b>	Se recomienda tomar muestras de las mismas matrices del monitoreo en la línea base y el posterior Programa de monitoreo regular de la Bahía de Quintero.

### 7.3.5 Costos del programa de monitoreo propuesto

A continuación se resumen los costos unitarios y totales de implementación de la Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero, diferenciando una versión acotada y una extendida del programa de monitoreo. En el Anexo M se entrega un desglose detallado de costos en formato Excel.

En ambas versiones propuestas para la Red de Monitoreo se consideraron los siguientes aspectos:

- Valor UF de día 22 de noviembre de 2021 equivalente a 30.052.36 pesos chilenos.
- Replicas: se consideraron replicas para muestras de agua de mar pero si dos estratos de muestreo (aguas superficiales y de fondo). Para sedimentos marinos (solo estrato superficial) y biota marina se consideraron análisis en duplicado para cada muestra colectada.
- Se consideran dos sitios de referencia ubicados al norte (Huentelauquen) y al sur (Topocalma) de la Bahía de Quintero y tres estaciones de monitoreo por sitio de referencia. Mas detalles sobre la selección de los sitios de referencia en la 7.3.4.3.9 (página 266 más atrás).

Otros detalles sobre la frecuencia y número de estaciones se señalan en la

Tabla 83 de la página 253 más atrás.

### 7.3.5.1 Costos unitarios

#### 7.3.5.1.1 Matrices marinas (agua de mar, sedimentos y biota)

A continuación en Tabla 93, se señalan los costos mínimos de análisis de contaminantes y variables ambientales declarados por laboratorios nacionales a través de encuestas dirigida, en bases de datos del National Environmental Methods Index, NEMI, y en ofertas en licitaciones públicas disponibles en el portal de Mercado Público. De los 14 laboratorios a quienes se consultó sobre costos de análisis solo tres respondieron. Por compromiso con las empresas encuestadas la información proporcionada se entrega de forma anonimizada. Es importante señalar que los precios de análisis informados por laboratorios nacionales difieren hasta en un orden de magnitud de aquellos valores cotizados en licitaciones públicas (mercadopublico.cl). Considerando que los costos de análisis de laboratorio son el ítem más costoso del presupuesto (sobre costos de muestreo y análisis de datos) se utilizaron los precios más bajos a los que se tuvo acceso, lo cual puede llevar a una subvaloración de precios de la Red de Monitoreo.

Se recomienda que todas las concentraciones de nutrientes (fosforo y nitrógeno) sean expresadas en las mismas unidades (e.g.  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ,  $\text{mg L}^{-1}$ ) y que estas sean expresadas en relación con la masa atómica del elemento (e.g. N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub>) y no la masa molar del compuesto (Nitrato = 62,0049 g/mol, Nitrito = 46,005 g/mol), esto a fin de facilitar la comparación de observaciones disponibles y con directrices o regulaciones.

El amoníaco (NH<sub>3</sub>) y el ion amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) son diferentes formas de nitrógeno. El factor principal que determina la proporción de amoníaco en relación con el amonio en el agua es el pH. La actividad del amoníaco también se ve influenciada por la fuerza iónica y la temperatura. Es importante recordar que el NH<sub>3</sub> no ionizado puede ser perjudicial para los microorganismos acuáticos, mientras que el amonio ionizado es prácticamente inocuo. Los iones amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) son un producto tóxico de desecho del metabolismo en los animales.

El amoníaco (NH<sub>3</sub>) es un tóxico no persistente y no acumulativo para la vida acuática. La toxicidad del amoníaco depende del pH, la temperatura y la composición iónica del agua de exposición. La toxicidad del amoníaco se atribuye principalmente al NH<sub>3</sub> no ionizado. Al ser una molécula neutra, el amoníaco no ionizado puede atravesar las membranas epiteliales de los organismos acuáticos más fácilmente que el ion amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Sin embargo, el ión amonio también puede contribuir significativamente a la toxicidad del amoníaco en determinadas condiciones. El factor principal que determina la proporción de amoníaco en relación con el amonio en el agua es el pH.

Tabla 93. Costos unitarios de análisis de laboratorio e in-situ informados por laboratorios nacionales encuestados en este proyecto (n = 3). Valores en Unidades de Fomento al mes de agosto de 2021 (mes de recepción de encuestas).

Clasificación	Parámetro	Costo unitario (UF)		
		Agua de mar	Biota	Sedimentos marinos
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>	Total bifenilos policlorados (PCB)		1.71	
<b>Indicadores biológicos de calidad ambiental</b>	Abundancia macrofauna			1.71
	Clorofila a	1.71		
	Escherichia coli	1.37		
<b>Indicadores físico/químicos de calidad ambiental</b>	Alcalinidad	0.20		
	Densidad	0.30		
	Granulometría			0.50
	Oxígeno disuelto	0.26		
	pH			0.09
	Poder espumógeno	1.71		
	Potencial redox (Eh)			0.25
	Salinidad	0.43		
	Sólidos suspendidos totales	0.08		
	Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	0.35		

Clasificación	Parámetro	Costo unitario (UF)		
		Agua de mar	Biota	Sedimentos marinos
Metales y metaloides	Temperatura	0.65		
	Turbidez	0.65		
	Aluminio total			0.06
	Arsénico total	0.11		0.11
	Bario disuelto	0.33		
	Bario total	0.33		0.06
	Boro disuelto	0.31		
	Boro total	0.68		
	Cadmio total	0.07		0.06
	Cobalto total	0.75		0.75
	Cobre disuelto	0.07		
	Cobre total	0.07		0.07
	Cromo total	0.06		0.06
	Cromo VI disuelto	0.65		
	Cromo VI total	0.06		
	Estaño disuelto	0.31		
	Estaño total			0.06
	Hierro total			0.06
	Manganeso disuelto	0.17		
	Manganeso total	0.17		0.75
	Mercurio total	0.09		0.09
	Molibdeno disuelto	0.65		
	Níquel total	0.06		0.06
	Plomo disuelto	0.07		
	Plomo total	0.07		0.07
	Selenio disuelto	0.50		
	Selenio total	0.50		0.50
	Vanadio disuelto	0.07		
	Vanadio total	0.07		0.07
	Zinc total	0.06		0.06
Nutrientes	Amonio	0.11		
	Fósforo disuelto	0.08		
	Fósforo total	0.11		
	Nitrato	0.08		
	Nitrito	0.66		
	Nitrógeno total Kjeldahl	0.18		
Organoclorados	Triclorometano (cloroformo)	1.48		
Organometálico	Metilmercurio		1.38	
Otros hidrocarburos	Hidrocarburos fijos	0.14		
	Hidrocarburos totales	2.50		

### 7.3.5.1.2 Contaminantes atmosféricos

A continuación, en la Tabla 94 se señalan los costos de análisis de contaminantes atmosféricos en material particulado sedimentable. Los costos utilizados fueron obtenidos desde NEMI<sup>57</sup>.

Tabla 94 Costos unitarios de análisis de contaminantes atmosféricos asociados a material particulado sedimentable. Fuente: NEMI.

Tipo	Medio	Parámetros	Costo Unitario (UF)
Discreto	Acuoso+soluble	Aluminio	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Arsénico	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Azufre	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Berilio	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Boro	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Cadmio	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Cobalto	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Cobre	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Cromo	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Hierro	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Manganeso	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Molibdeno	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Mercurio	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Niquel	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Plata	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Plomo	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Selenio	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Vanadio	3.42
Discreto	Acuoso+soluble	Zinc	3.42
Discreto	Acuoso+insoluble	Aluminio	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Arsénico	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Azufre	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Berilio	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Boro	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Cadmio	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Cobalto	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Cobre	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Cromo	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Hierro	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Manganeso	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Molibdeno	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Mercurio	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Niquel	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Plata	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Plomo	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Selenio	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Vanadio	8.31
Discreto	Acuoso+insoluble	Zinc	8.31

<sup>57</sup> [https://www.nemi.gov/methods/method\\_summary/4712/](https://www.nemi.gov/methods/method_summary/4712/)

[https://www.nemi.gov/methods/method\\_summary/7428/](https://www.nemi.gov/methods/method_summary/7428/)

### 7.3.5.2 Costos total versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero

#### 7.3.5.2.1 Monitoreo de matrices marinas (agua de mar, sedimentos y biota)

A continuación, se especifican los costos totales asociados al monitoreo de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas (Tabla 95) en su versión acotada o acotada, desglosada por ítem de gastos, tanto para la línea base de contaminantes y tres escenarios hipotéticos de requerimientos de muestreo regular de la Bahía de Quintero y sitios de referencia.

Tabla 95 Estimación de costos totales asociados al monitoreo de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas asociados a la versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero.

Ítem	Sub-ítem	Costo total (UF)			
		Línea base de contaminantes	Escenario 1 muestreo regular - Requerimiento de muestreo superior al de la línea base	Escenario 2 muestreo regular - Requerimiento de muestreo similar al de la línea base	Escenario 3 muestreo regular - Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base
Trabajo de terreno (Bahía de Quintero y sitios de referencia)	Embarcación	240	329	240	180
Análisis de laboratorio	Tercerizado a laboratorios acreditados	9131	48056	9131	3003
Análisis de datos	Personal	75	75	75	75
Imprevistos	Imprevistos (5%)	472	472	472	472
<b>Costo total (UF)</b>	-	<b>9917</b>	<b>48932</b>	<b>9917</b>	<b>3730</b>

En la Tabla 96 se especifica el costo estimado de análisis de laboratorio asociados a la implementación de la versión acotada del monitoreo de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas desglosado por tipo de estación de muestreo.

Tabla 96 Costo estimado de análisis de laboratorio asociados al monitoreo de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas asociados a la versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero desglosado por tipo de estación de monitoreo.

Ítem	Aleatorias en Bahía de Quintero	Heredadas en Bahía de Quintero	Estaciones en sitios de referencia (n = 2)	Costo total (UF)
Línea base de contaminantes	4806	2403	1442	<b>481</b>
Escenario 1 - Requerimiento de muestreo superior al de la línea base	28833	14417	4325	<b>1442</b>
Escenario 2 - Requerimiento de muestreo similar al de la línea base	4806	2403	1442	<b>481</b>
Escenario 3 - Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base	1201	601	721	<b>240</b>

A continuación en Tabla 97, se desglosan los costos estimados de análisis de laboratorio de contaminantes y variables ambientales asociados a la versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero desglosado por matriz ambiental.

Tabla 97 Costo estimado de análisis de laboratorio de contaminantes y variables ambientales asociados a la versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero desglosado por matriz ambiental.

Costo total (UF)	Línea base de contaminantes	Escenario 1 muestreo regular - Requerimiento de muestreo superior al de la línea base	Escenario 2 muestreo regular - Requerimiento de muestreo similar al de la línea base	- Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base
Agua de mar	6475	34079	6475	2130
Sedimentos marinos	1887	9933	1887	621
Biota	768	4043	768	253
<b>Costo total (UF)</b>	<b>9131</b>	<b>48056</b>	<b>9131</b>	<b>3003</b>

A continuación, en la Tabla 98 se señalan los parámetros (variables ambientales y contaminantes) considerados en la versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero.

Tabla 98 Parámetros (variables ambientales y contaminantes) considerados en la versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero.

Parámetro	Matriz marina		
	Agua de mar	Sedimentos marinos	Biota
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>			
Total bifenilos policlorados (PCB)			
<b>Compuestos fenólicos</b>			
Nonilfenol			
<b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>			
Total benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)			
<b>Indicadores biológicos de calidad ambiental</b>			
Abundancia macrofauna			
Clorofila a			
Escherichia coli			
<b>Indicadores físico/químicos de calidad ambiental</b>			
Alcalinidad			
Densidad			
Granulometría			
Oxígeno disuelto			
pH			
Potencial redox (Eh)			
Salinidad			
Sólidos suspendidos totales			
Temperatura			
Turbidez			
<b>Metales y metaloides</b>			
Arsénico disuelto			
Arsénico total			
Bario disuelto			
Bario total			
Boro disuelto			
Boro total			
Cadmio disuelto			
Cadmio total			
Cobalto disuelto			



Cobalto total			
Cobre disuelto			
Cobre total			
Cromo disuelto			
Cromo total			
Cromo VI disuelto			
Cromo VI total			
Estaño disuelto			
Estaño total			
Manganeso disuelto			
Manganeso total			
Mercurio disuelto			
Mercurio total			
Molibdeno disuelto			
Molibdeno total			
Níquel disuelto			
Níquel total			
Plomo disuelto			
Plomo total			
Selenio disuelto			
Selenio total			
Vanadio disuelto			
Vanadio total			
Zinc disuelto			
Zinc total			
<b>Nutrientes</b>			
Amonio			
Fósforo disuelto			
Fósforo total			
Nitrato			
Nitrito			
Nitrógeno total			
Nitrógeno total Kjeldahl			
<b>Organoclorados</b>			
Bromoformo			
<b>Organometálico</b>			
Metilmercurio			
<b>Otras sustancias orgánicas</b>			
Carbono orgánico total (TOC)			
Materia orgánica			
<b>Otros hidrocarburos</b>			
Hidrocarburos fijos			
Hidrocarburos totales			

### 7.3.5.2.2 Monitoreo de aire

A continuación en la Tabla 99 se señalan los costos de monitoreo de contaminantes de origen atmosférico en la Bahía de Quintero (en Unidades de Fomento). La versión acotada de la Red de Monitoreo de contaminantes atmosféricos incluye inicialmente los siguientes metales pesados: Arsénico total, Cobre total, Mercurio total y Vanadio total. En la sección 6.3.4.5 (página 66 más atrás) se proveen detalles de las diferencias entre las versiones extendida y acotada de la propuesta monitoreo de contaminantes de origen atmosférico.

Tabla 99 Costos (en UF) de monitoreo de contaminantes de origen atmosférico en material particulado con potencial impacto en la Bahía de Quintero.

Ítem	Costo (UF)			
	Línea base de contaminantes	Escenario 1 muestreo regular - Requerimiento de muestreo superior al de la línea base	Escenario 2 muestreo regular - Requerimiento de muestreo similar al de la línea base	Escenario 3 muestreo regular - Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base
Inversión Inicial	266	399		
Trabajo de terreno	21	96	21	5.3
Análisis de laboratorio	751	3378	751	187.7
Análisis de datos	19	19	19	18.6
Imprevistos	40	40	40	39.5
<b>Costo total (UF)</b>	<b>1096</b>	<b>3665</b>	<b>830</b>	<b>251.2</b>

El desglose de costos de análisis de laboratorio se entrega en los archivos Excel del Anexo M de este informe.

### 7.3.5.2.3 Costo total de implementación de la versión acotada de la red de monitoreo

A continuación, en la Tabla 100, se informa los costos totales (en UF) estimados de implementación de la versión acotada de la Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero. Los datos se desglosan por matriz e ítem de costo.

Tabla 100 Costos totales estimados de implementación de la versión acotada de la Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero.

Matriz	Ítem	Línea base de contaminantes	Escenario 1 muestreo regular - Requerimiento de muestreo superior al de la línea base	Escenario 2 muestreo regular - Requerimiento de muestreo similar al de la línea base	Escenario 3 muestreo regular - Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base
Marinas (agua de mar, sedimento y biota)	Trabajo de terreno (Bahía de Quintero y sitios de referencia)	240	329	240	180
	Análisis de laboratorio	9131	48056	9131	3003
	Análisis de datos	75	75	75	75
	Imprevistos	472	472	472	472
Aire	Inversión Inicial	266	399		
	Trabajo de terreno	21	96	21	5.3
	Análisis de laboratorio	751	3378	751	187.7
	Análisis de datos	19	19	19	18.6
<b>COSTO TOTAL (UF)</b>		<b>10975</b>	<b>52824</b>	<b>10709</b>	<b>3941.6</b>

### 7.3.5.3 Costos total versión extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero

#### 7.3.5.3.1 Monitoreo de matrices marinas (agua de mar, sedimentos y biota)

A continuación, se especifican los costos totales asociados al monitoreo de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas (Tabla 101) en su versión extendida, desglosada por ítem de gastos, tanto para la línea base de

contaminantes y tres escenarios hipotéticos de requerimientos de muestreo regular de la Bahía de Quintero y sitios de referencia.

Tabla 101 Estimación de costos totales asociados al monitoreo de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas asociados a la versión extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero.

Ítem	Subitem	Costo total (UF)			
		Línea base de contaminantes	Escenario 1 muestreo regular - Requerimiento de muestreo superior al de la línea base	Escenario 2 muestreo regular - Requerimiento de muestreo similar al de la línea base	Escenario 3 muestreo regular - Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base
Trabajo de terreno (Bahía de Quintero y sitios de referencia)	Embarcación	240	329	240	180
Análisis de laboratorio	Tercerizado a laboratorios acreditados	34491	181531	34491	11346
Análisis de datos	Personal	75	75	75	75
Imprevistos	Imprevistos (5%)	1740	1740	1740	1740
<b>Costo total (UF)</b>	-	<b>36545</b>	<b>183675</b>	<b>36545</b>	<b>13340</b>

En la Tabla 102 se especifica el costo estimado de análisis de laboratorio asociados a la implementación de la versión extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero desglosado por tipo de estación de muestreo.

Tabla 102 Costo estimado de análisis de laboratorio asociados al monitoreo de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas asociados a la versión extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero desglosado por tipo de estación de monitoreo.

Ítem	Aleatorias en Bahía de Quintero	Heredadas en Bahía de Quintero	Estaciones en sitios de referencia (n = 2)	Estaciones en Estero Campiche	Costo total (UF)
Línea base de contaminantes	18153	9077	5446	1815	<b>34491</b>
Escenario 1 - Requerimiento de muestreo superior al de la línea base	108918	54459	16338	5446	<b>185161</b>
Escenario 2 - Requerimiento de muestreo similar al de la línea base	18153	9077	5446	1815	<b>34491</b>
Escenario 3 - Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base	4538	2269	2723	908	<b>10438</b>

A continuación en Tabla 97, se desglosan los costos estimados de análisis de laboratorio de contaminantes y variables ambientales asociados a la versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero desglosado por matriz ambiental.

Tabla 103 Costo estimado de análisis de laboratorio de contaminantes y variables ambientales asociados a la versión extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero desglosado por matriz ambiental.

Matriz marina	Costo total (UF)			
	Línea base de contaminantes	Escenario 1 muestreo regular - Requerimiento de	Escenario 2 muestreo regular - Requerimiento de	- Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base

		muestreo superior al de la línea base	muestreo similar al de la línea base	
Agua de mar	15840	83367	15840	5210
Sedimentos marinos	13171	69320	13171	4333
Biota	5480	28843	5480	1803
<b>Costo total (UF)</b>	<b>34491</b>	<b>181531</b>	<b>34491</b>	<b>11346</b>

A continuación, en la Tabla 98 se señalan los parámetros (variables ambientales y contaminantes) considerados en la versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero.

Tabla 104 Parámetros (variables ambientales y contaminantes) considerados en la versión extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero.

Parámetro	Matriz marina		
	Agua de mar	Sedimentos marinos	Biota
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>			
Total bifenilos policlorados (PCB)			
<b>Compuestos fenólicos</b>			
Nonilfenol			
<b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>			
Benceno			
Etilbenceno			
Total benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX)			
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>			
Total hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)			
<b>Indicadores biológicos de calidad ambiental</b>			
Abundancia macrofauna			
Clorofila a			
Escherichia coli			
<b>Indicadores físico/químicos de calidad ambiental</b>			
Alcalinidad			
Densidad			
Granulometría			
Oxígeno disuelto			
pH			
Potencial redox (Eh)			
Salinidad			
Sólidos suspendidos totales			
Temperatura			
Turbidez			
<b>Iones de importancia ambiental</b>			
Cloruro			
<b>Metales y metaloides</b>			
Arsénico disuelto			
Arsénico total			
Bario disuelto			
Bario total			
Boro disuelto			
Boro total			
Cadmio disuelto			
Cadmio total			
Cobalto disuelto			

Cobalto total			
Cobre disuelto			
Cobre total			
Cromo disuelto			
Cromo total			
Cromo VI disuelto			
Cromo VI total			
Estaño disuelto			
Estaño total			
Manganeso disuelto			
Manganeso total			
Mercurio disuelto			
Mercurio total			
Molibdeno disuelto			
Molibdeno total			
Níquel disuelto			
Níquel total			
Plomo disuelto			
Plomo total			
Selenio disuelto			
Selenio total			
Vanadio disuelto			
Vanadio total			
Zinc disuelto			
Zinc total			
<b>Nutrientes</b>			
Amonio			
Fósforo disuelto			
Fósforo total			
Nitrato			
Nitrito			
Nitrógeno total			
Nitrógeno total Kjeldahl			
<b>Organoclorados</b>			
Bromoformo			
<b>Organoestaño</b>			
Tributilestaño (TBT)			
<b>Organometálico</b>			
Metilmercurio			
<b>Otras sustancias inorgánicas</b>			
Cianuro total			
Cloro libre residual			
<b>Otras sustancias orgánicas</b>			
Carbono orgánico total (TOC)			
Dioxinas (Policlorodibenzodioxinas, PCDD)			
Furanos (Dibenzofuranos policlorados, PCDF)			
Materia orgánica			
<b>Otros hidrocarburos</b>			
Hidrocarburos fijos			
Hidrocarburos totales			
<b>Perfluoroalquilados</b>			
Ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS) y sus sales			

### 7.3.5.3.2 Monitoreo de aire

A continuación en la Tabla 105 se señalan los costos de monitoreo de contaminantes de origen atmosférico en la Bahía de Quintero (en Unidades de Fomento). La versión extendida de la Red de Monitoreo de contaminantes atmosféricos incluye inicialmente los siguientes metales pesados: Arsénico, Mercurio, Plomo, Cadmio, Berilio, Zinc, Cobalto, Níquel total, Selenio, Telurio, Antimonio, Cromo total, Manganeso total, Vanadio total. En la sección 6.3.4.5 (página 66 más atrás) se proveen detalles de las diferencias entre las versiones extendida y acotada de la propuesta monitoreo de contaminantes de origen atmosférico.

Tabla 105 Costos (en UF) de monitoreo de contaminantes de origen atmosférico en material particulado con potencial impacto en la Bahía de Quintero.

Ítem	Línea base de contaminantes	Escenario 1 muestreo regular - Requerimiento de muestreo superior al de la línea base	Escenario 2 muestreo regular - Requerimiento de muestreo similar al de la línea base	Escenario 3 muestreo regular - Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base
Inversión Inicial	266	399		
Trabajo de terreno	21	96	21	5.3
Análisis de laboratorio	3071	13820	3071	767.8
Análisis de datos	19	19	19	18.6
Imprevistos	156	156	156	155.6
<b>Costo total (UF)</b>	<b>3533</b>	<b>14224</b>	<b>3267</b>	<b>947.3</b>

El desglose de costos de análisis de laboratorio se entrega en los archivos Excel del Anexo M de este informe.

### 7.3.5.3.3 Costo total de implementación de la versión extendida de la red de monitoreo

A continuación, en la Tabla 100, se informa los costos totales (en UF) estimados de implementación de la versión extendida de la Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero. Los datos se desglosan por matriz e ítem de costo.

Tabla 106 Costos totales estimados de implementación de la versión extendida de la Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero.

Matriz	Ítem	Línea base de contaminantes	Escenario 1 muestreo regular - Requerimiento de muestreo superior al de la línea base	Escenario 2 muestreo regular - Requerimiento de muestreo similar al de la línea base	Escenario 3 muestreo regular - Requerimiento de muestreo inferior al de la línea de base
<b>Marinas (agua de mar, sedimento y biota)</b>	Trabajo de terreno (Bahía de Quintero y sitios de referencia)	240	329	240	180
	Análisis de laboratorio	34491	181531	34491	11346
	Análisis de datos	75	75	75	75
	Imprevistos	1740	1740	1740	1740
<b>Aire</b>	Inversión Inicial	266	399		
	Trabajo de terreno	21	96	21	5.3
	Análisis de laboratorio	3071	13820	3071	767.8
	Análisis de datos	19	19	19	18.6
<b>COSTO TOTAL (UF)</b>		<b>39923</b>	<b>198009</b>	<b>39657</b>	<b>14132.7</b>

## 7.3.6 Talleres y reuniones

### 7.3.6.1 Taller técnico N° 3 de definición y validación de métodos analíticos y enfoques propuestos para abordar el monitoreo integral de la Bahía de Quintero

Con fecha 18 de junio de 2021, entre 10:00 AM y las 12:00 PM, mediante video conferencia Zoom se realizó el taller técnico 3 del proyecto “Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero”, ejecutado por la Fundación CSIRO Chile Research, bajo mandato del ministerio de Medio Ambiente (O.C.608897-150-SE20).

La agenda de taller se detalla a continuación:

6. Palabras de bienvenida
7. Parte 1. Objetivos y alcance del proyecto
8. Parte 2 – Taller de trabajo
9. Parte 3 – Encuesta a laboratorios de ensayo
10. Palabras de cierre

La presentación de PowerPoint utilizada en el taller se encuentra disponible en la carpeta de Anexos que acompaña el informe digital: El nombre del archivo es:

- SP\_PPT\_OC608897150SE20\_TALLER\_TECNICO\_3.pptx

### 7.3.6.2 Taller técnico N° 4 de validación de la propuesta red de monitoreo integral de la Bahía de Quintero – Puchuncaví

Con fecha martes 21 de septiembre de 2021, entre las 16:00 y las 17:30 horas, a través de la plataforma de videoconferencia “Zoom”, se realizó el taller técnico 4 del proyecto “Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero”, ejecutado por la Fundación CSIRO Chile Research, bajo mandato del ministerio de Medio Ambiente (O.C.608897-150-SE20).

La agenda del taller se detalla a continuación:

1. **Parte 1 – Antecedentes de la Bahía y del proyecto (Patricio Bernal)**
  - Los objetivos del programa de monitoreo
  - Descripción biofísica de la bahía de Quintero
  - El modelo conceptual de emisiones
  - Contaminantes de posible preocupación ambiental y para la salud humana.
2. **Parte 2 - Principios de diseño del programa de monitoreo (Sharon Hook)**
  - Comportamiento de contaminantes en el agua de mar
  - La deposición y acumulación de contaminantes no es uniforme
  - Priorización de matrices a monitorear (agua, sedimento, comunidades en fondos blandos y duros)
  - Introducción de un enfoque precautorio, de riesgo y basado en múltiples líneas de evidencia
  - Necesidad de una línea base acuática
  - Muestreo regular, muestreo aleatorio simple, muestreo aleatorio estratificado: ventajas y desventajas
3. **Parte 3 - La propuesta del programa del muestreo (Francisco Bravo)**
  - Monitoreo de fuentes de contaminantes, incluyendo 1) Residuos líquidos vertidos directamente a la bahía, 2) Contaminantes de origen atmosférico, 3) Escorrentía superficial (suelos permeables e impermeables), 4) Aguas de surgencia y transporte de contaminantes desde zonas costeras adyacentes.

- Monitoreo del cuerpo receptor, incluyendo 1) Línea base ambiental versus programa regular de monitoreo ambiental, 2) Diseño aleatorio estratificado de muestreo, 3) Estaciones heredadas (Plumas de Con Potencial) zonas de influencia independiente, 3) Sitios de referencia, zonas de influencia sinérgica e independiente, 4) Otras especificaciones del programa (matrices y contaminantes a monitorear, frecuencia de monitoreo, criterios para la definición del número de estaciones a monitorear, etc.)
- Métodos analíticos y límites de detección
- Viabilidad y costo del programa de monitoreo (de fuentes y sumideros)

La presentación de PowerPoint utilizada en el taller se encuentra disponible en la carpeta de Anexos que acompaña el informe digital. Los nombres de los archivos son:

- SP\_PPT\_OC608897150SE20\_TALLER\_TECNICO\_4\_PARTE\_1.pptx
- SP\_PPT\_OC608897150SE20\_TALLER\_TECNICO\_4\_PARTE\_2.pptx
- SP\_PPT\_OC608897150SE20\_TALLER\_TECNICO\_4\_PARTE\_3.pptx

### **7.3.6.3 Exposición de informe final, ya aprobado por el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), a representantes de fuentes emisoras de la Bahía de Quintero y al Consejo de Recuperación Ambiental y Social (CRAS) Quintero-Puchuncaví.**

El seminario final de exposición de resultados del proyecto está programado para 01 de diciembre de 2021, entre las 18:00 y las 19:30 horas, a través de la plataforma de videoconferencia “Zoom”. A continuación en la Figura 68 se adjunta copia de la invitación cursada al evento, y en la Tabla 107 el listado de personas convocadas al seminario.

Figura 68 Invitación electrónica del seminario de difusión de resultados del proyecto.





Tabla 107 Listado de personas e instituciones convocadas al seminario de difusión de resultados del proyecto.

Nombre	Institución
Alejandro Garrido Báez	SEREMI ECONOMIA
Alicia Martínez Guerra	ESVAL
Alvaro Marabolí	Muni Quintero
Amerindia Jaramillo Allendes	Comité operativo
Amerindia Jaramillo Allendes	Comité Operativo Ampliado
Ana Maria Reyes	AES
Andres Venegas	SUBPESCA
Barbara Orellana	SMA
Benjamin Ibarra	SISS VALPARAÍSO
Carlos Jiménez	SEREMI MINERIA
Carlos Vega Bernal	CRAS
Carmen Veronica	Comité operativo
Droppelmann Cuneo	
Carmen Veronica	Comité Operativo Ampliado
Droppelmann Cuneo	
Carolina Gomez	MIN ENERGIA
Caroline Gómez Gonzalez	COSOC
Claudio Galarce	SEA VALPARAÍSO
Claudio Saez	Comité Operativo Ampliado
Constanza Lavanderos	SMA
Cristian Arriaza Pesq	Xlrolf
Cristian Flores	DOP VALPARAÍSO
Cristian Youlton	Comité Científico Ampliado
Edmundo Claro Rodríguez	CSIRO
Eduardo Leopold Reyes	Pesq Sind N°5
Elías Luengo	SEREMI MOP
Enrique Cruzat	AGUAS PACIFICO
Evie Wieters	Comité Científico Ampliado
Felipe Hernandez	AES
Felipe Paredes Pesq	Xlrolf
Flor Uribe	SUBPESCA
Francisco Bravo	CSIRO
Gabriel Mendoza Miranda	Comité Operativo Ampliado
Gerardo Leighton	Comité Científico Ampliado
Gerardo Leighton	Comité Operativo Ampliado
German Sotomayor	SERNAPESCA
Guillermo José Arce Marín	Comité operativo
Guillermo José Arce Marín	Comité Operativo Ampliado
Gustavo Castro Varela	GASMAR
Héctor Jorquera	Comité Científico Ampliado
Humberto Rivas	CODELCO
Jaime Letelier Pino	IFOP
Jaime Marchant Pacheco	Pesq Alc
Jorge D'albora	SUBPESCA
Jorge Osses	Muni Quintero
Karen Jacqueline Lavoz Medina	Comité Operativo Ampliado
Lesly Bahamondez	Muni Puchuncaví
Lisbett Olivares Cáceres	GNL
Lizet Lobos Rojas	Comité operativo
Loretto Contreras	Comité Científico Ampliado
Loretto Contreras	Comité Operativo Ampliado
Luis Figueroa	Comité Científico Ampliado
Luis Figueroa	Comité Operativo Ampliado
Luis Fuentes	PVSA
Luis Parot Donoso	IFOP

Nombre	Institución
Macarena Escobedo Durán	GNL
Madlen Beltrán Cid	ESVAL
Manuel Bravo	Comité Científico Ampliado
Manuel Bravo	Comité Operativo Ampliado
Marcela Pantoja	CODELCO
Marcelo Baeza Sequeira	ENAP
Marcelo Colombatti	SISS VALPARAÍSO
Marcelo Guerrero	SEREMI ECONOMIA
Marco Salamanca	Comité Científico Ampliado
María Cecilia Aranda	DIRECTEMAR
Maria Ines Muñoz	SMA
Maria José Moreno Neira	ONG Lafquen
María Pilar González	SEA VALPARAISO
Maria Victoria Gazmuri	Comité operativo
Munita	
Maria Victoria Gazmuri	Comité Operativo Ampliado
Munita	
Mariette Aros	PVSA
Mario Marillanca	SEREMI MINERIA
Mauricio Alegría	AGUAS PACÍFICO
Muni Puchuncaví	Comité operativo
Natalia Sepúlveda Molina	COPEC
Nelly Guzmán Toro	ENAP
Nicole Nuñez	Muni Quintero
Oficina Sma Valparaíso	Comité operativo
Óscar Fuentes	SERNAPESCA
Oscar Vidal	SEREMI SALUD
Pamela Antonieta Peñaloza	Comité Operativo Ampliado
Martinez	
Paola Arancibia Fernández	COSCO Qtro
Patricia Jelves	SMA VALPARAISO
Patricio Bernal	Comité Científico Ampliado
Paula Muñoz Z.	COPEC
Paulina Bahamonde	UPLA
Pedro Rencoret	SEREMI ENERGIA
Ricardo Gonzalo Correa Drubi	ONG Lafquen
Roberto Monardes Fierro	Pesq Alc
Rodrigo Vivallos Sanchez	GASMAR
Sandro Araneda Repossi	Comité operativo
Sandro Araneda Repossi	Comité Operativo Ampliado
Solange Morales	DOP VALPARAISO
Teresita De Jesús Bustos	Pesq N°5 Qtro
Quiroz	
Vania Rizzo	SEREMI MOP
Verónica Baquedano	ASCC VALPARAISO
Veronica Gonzalez	SMA
Victor Leonardo Morales	Pesq Ind Qtro
Ogaz	
Yorka Verdejo	Muni Puchuncaví
Alejandra Cuevas Munoz	Fundación CSIRO Chile Research
Alejandra Giambruno	DIRECTEMAR
Alejandro Ochoa Gaboardi	CRAS
Alejandro Palma	Consultor

Nombre	Institución
Alfredo Pérez Vargas	Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso
Alvaro Marabolí	Muni Quintero
Álvaro Wilson Montecino	Instituto de Fomento Pesquero
Amerindia Jaramillo	Ministerio del Medio Ambiente
Ana María Alvarado Santis	Instituto Nacional de Normalización INN
Andrea Fernandez Guzman	CRAS
Andres Quintanilla	Fuente Puntual
Andy Revill	CSIRO Australia
Benjamín Carrión	PRDW Consulting Port and Coastal Engineers
Bonina Martel	DIRECTEMAR
Carlos Leal G	HOLON Consultora
Carmen Vega Ortiz	CRAS
Carmen Veronica Droppelmann Cuneo	Ministerio del Medio Ambiente
Carolina De La Fuente Manríquez	DIRECTEMAR
Carolina Meruane	Centro Ecología Aplicada CEA
Carolina Valdebenito Jamett	DIRECTEMAR
Christian Fuentes García	CRAS
Claudia González R.	Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático (DIRINMAR)
Claudio Galarce	SEA VALPARAÍSO
Claudio Saez	Comité Científico Ampliado
Cristóbal Galbán	Universidad Mayor
Dario Plaza Lopez	CRAS
David Torreblanca Muñoz	CRAS
Diego Ocampo	Fundación CSIRO Chile Research
Edmundo Claro	Fundación CSIRO Chile Research
Emilio Rifo	DIRECTEMAR
Erika Ereche	MINAGRI
Fancy Meléndez	Ministerio de Salud
Felipe Hidalgo	Ministerio del Medio Ambiente
Flor Uribe	SUBPESCA
Francisco Bravo	Fundación CSIRO Chile Research
Francisco Cereceda-Balic	Centro de Tecnologías Ambientales, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. De España, 1680 Valparaíso, Chile
Freddy Vargas P.	AMVAR spa
Gabriel Darío Moraga Olivos	Superintendencia del Medio Ambiente
Gabriel Moraga	Superintendencia del Medio Ambiente
Gabriela Contreras	Municipalidad Puchuncaví
Gerardo L. Leighton	Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias del Mar,

Nombre	Institución
	Universidad de Valparaíso, Casilla 13-D, Viña del Mar, Chile
Gillian Ord	Postgrado en temas ambientales marinos de Quintero
Gonzalo Mora	SUBPESCA
Guillermo Arce	Ministerio de Medio Ambiente
Hermann Balde	CRAS
Humberto Díaz	Ecotecnos SA
Ítalo Serey	Centro Nacional del Medio Ambiente (Cenma)
Jaime Letelier Pino	Instituto de Fomento Pesquero
Jorge D'albora	SUBPESCA
Jorge Osses Rojas	Municipalidad de Quintero, Comité Operativo NSCA Quintero, Oceanografía & Ambiente EIRL
Juan Díaz Naveas	Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Kepa Araya Leguina	CRAS
Leonardo Aqueveque Alcorce	CRAS
Loretto Contreras Porcia	Universidad Andres Bello
Luis Figueroa	Universidad de Viña del Mar
Luis Figueroa Fábrega	Instituto de Fomento Pesquero
Luis Valenzuela Cabrera	CRAS
Manuel Bravo Mercado	Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Manuel Castillo Silva	Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso
Manuel Contreras	Centro Ecología Aplicada CEA
Marcelo Baeza Sequeira	CRAS
Marcelo Guerrero	SEREMI ECONOMIA
Marco Antonio Salamanca	Facultad de Ciencias Naturales y Oceanograficas udec
Marco Matamala	Con Potencial Consultores Ltda
Maria Carvajal Becerra	Fundación CSIRO Chile Research
María Cecilia Aranda Cuadro	Capitanía de Puerto de Quintero, Gobernación Marítima de Valparaíso, Comité Operativo NSCA Quintero
María José Silva	Ministerio de Salud
María Paz Acuña	Fundación CSIRO Chile Research
Maria Paz Acuña Ruz	Fundación CSIRO Chile Research
Mariela Meza	DIRECTEMAR
Mario Cáceres Muñoz	Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso

Nombre	Institución
Mario Morozin	Fuente Puntual
Mauricio Alers	CRAS
Mauricio Landaeta Díaz	Facultad de Ciencias del Mar y Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso
Michelle Ureta Valenzuela	CRAS
Millaray Cariqueo	Postgrado en temas ambientales marinos de Quintero
Miriam Escobar Bernal	CRAS
Nathalie Duarte	(en blanco)
Óscar Vidal	SEREMI SALUD - Comité Operativo NSCA Quintero
Pablo Maturana	Capitanía de Puerto Quintero, Papudo
Paola Arancibia Fernandez	CRAS
Paola Cruz	Ministerio de Salud
Patricio Bernal	Fundación CSIRO Chile Research
Paulina Andrea Bahamonde Cárdenas	UPLA
Pedro Rencoret	SEREMI ENERGIA
Pesquera Quintero	Fuente Puntual
René Díaz	SYA Group Chile
Ricardo Barra	Udec

Nombre	Institución
Ricardo Javier Bonilla Leiva	Superintendencia del Medio Ambiente
Rodrigo Vera Sepúlveda	Instituto de Fomento Pesquero
Rowan Trebilco	CSIRO Australia
Ruben Gutierrez	CRAS
Sandro Emilio Araneda Repposi	SEREMI Medio Ambiente región de Valparaíso
Sergio Sangüesa	SYA Group Chile
Sharon Hook	CSIRO Australia
Silvia Gonzalez Guzman	CRAS
Soledad Tapia Almonacid	Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, Dirección Regional de Valparaíso.
Stefan Koper	Fuente Puntual
Stuart Simpson	CSIRO Australia
Verónica Baquedano	ASCC VALPARAISO
Vicente Valenzuela	Subsecretaría de Pesca
Yael Cisternas Céspedes	Fiscalizadora Ambiental, Ilustre Municipalidad de Quintero
Yaritza Cáceres	Ilustre Municipalidad de Quintero.
Yorka Verdejo	Municipalidad de Puchuncaví

## 8 Discusión

### 8.1 Objetivo 1

#### 8.1.1 Parámetros ambientales y métodos analíticos utilizados para monitorear las emisiones a los componentes del agua y el aire

Respecto a la identificación de parámetros ambientales y métodos utilizados en el monitoreo de emisiones a los componentes del agua y el aire en la Bahía de Quintero se identificaron un total de 66 parámetros, elementos y compuestos regulados en Chile asociados a emisiones marinas y atmosféricas, industriales y de alcantarillado, en el agua de mar, y alimentos de origen marino. Se distingue entre variables de presión (concentraciones de contaminantes), de estado o condición ambiental, y estructurales.

Más allá de los contaminantes (estresores) emitidos a la bahía, es importante incorporar en futuros sistemas de monitoreo variables de estado de la calidad del ecosistema como pH del agua de mar, redox en sedimentos, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno (DQO), abundancia de macrofauna y biomasa (y los índices de biodiversidad asociados), los cuales deben ser monitoreados independientemente del tipo de emisiones a la bahía (actuales y futuras). También es importante considerar la descripción periódica de los parámetros estructurales o inherentes al cuerpo de agua que definen la capacidad del ecosistema para lidiar con la contaminación marina manteniendo su estructura y composición dentro de los límites de la variación natural (EU 2009, Grant & Filgueira 2011).

Hay muchos compuestos (más de 100 solo de hidrocarburos) que podrían ser parte de un programa de seguimiento, por su potencial impacto en el ecosistema. Sin embargo, desde el punto de vista del riesgo para el ecosistema es necesario distinguir la fracción que es biodisponible y bioacumulable de aquella que no lo es. En este contexto se monitorean un número importante de metales/metaloides en la componente agua, no obstante, el análisis de datos evidenció que los siguientes metales/metaloides no son monitoreados en el medio marino: Aluminio (Al), Antimonio (Sb), Bario (Ba), Berilio

(Be), Boro (B), Cobalto (Co), Cromo (Cr) - VI o hexavalente, Estaño (Sn), Hierro (Fe) - Disuelto, Manganeso (Mn), Plata (Ag), Selenio (Se), Vanadio (V) absorbido, disuelto, Particulado y Total, además de Zinc (Zn). Su incorporación en la futura red de monitoreo se definirá en las siguientes fases del proyecto.

Respecto a los métodos analíticos utilizados a la fecha para la determinación de contaminantes en la Bahía de Quintero HOLON SPA. (2019) concluyó que la mayoría de estos no corresponden a técnicas validadas para aguas marinas. Como respuesta los autores proveen un listado de actualizado de métodos analíticos validados para matriz marina, el cual será un insumo clave para el desarrollo y costeo de un futuro programa de monitoreo integrado de calidad ambiental de la Bahía de Quintero (fase 3 de este proyecto).

## 8.1.2 Caracterización de emisiones

Dadas las industrias en el área y sus descargas, la principal preocupación probablemente serán los metales y los derivados de hidrocarburos, particularmente hidrocarburos aromáticos policíclicos, pero también puede existir bifenilos policlorados (PCB) y éteres de difenilo polibromados (PBDE) proveniente de plantas termoeléctricas. Tanto los PCB como los PBDE están prohibidos o regulados en la convención de Estocolmo, los PCB forman parte de la lista original y los PBDE se agregan a las revisiones (ONU Medio Ambiente, 2017). Sin embargo, es probable que las concentraciones de PCB y PBDE sean mucho menores que las de los metales y los HAP, dados los patrones de usos industriales de la bahía. Por tanto, los efectos ecológicos de PCBs, PBDEs y HAPS se anticipan relativamente menores a los de metales pesados.

Si bien la información disponible en el informe de DIRINMAR (2019) y sus Anexos no es una compilación exhaustiva del funcionamiento de las industrias, es posible obtener una idea clara de las industrias que operan en la Bahía de Quintero y explorar posibles puntos relevantes para el programa de monitoreo.

Varias industrias que interactúan con compuestos potencialmente peligrosos no tienen un tratamiento permanente, sino un seguimiento de múltiples parámetros. Se podría mencionar que, en caso de incidentes (derrames y vertidos), las industrias con mayor potencial de generar daños, de acuerdo con los insumos que reciben y la peligrosidad, son las Terminales Marítimas, dada la presencia y manejo de compuestos peligrosos para la salud y el entorno. Algunos parámetros de interés como el xileno, tolueno y triclorometano, mencionados anteriormente por su relevancia en el estado ambiental de la bahía, solo son monitoreados por la planta pesquera Quintero S.A. (una vez al año).

Del análisis de unidades fiscalizables y diagramas operacionales se detectó que la planta de ESVAl S.A. solo considera un tratamiento primario de emisiones (remoción de sólidos finos y gruesos, arenas por sedimentación, y de aceites y grasas superficiales), no contiene tratamiento secundario ni terciarios de tratamiento que eviten el ingreso de contaminantes orgánicos disueltos y agentes biológicos y farmacéuticos a la Bahía de Quintero.

Del análisis global de establecimientos industriales de la Bahía de Quintero, se detectó la necesidad de mapear mejor las interacciones entre empresas, es decir el traspaso de materias primas entre instalaciones fabriles circundantes a la Bahía de Quintero, así como la posible reutilización de residuos en el marco de estrategias de economía circular. Como sistema y paradigma económico la incorporación de estrategias de economía circular se considera muy incipiente en el complejo industrial Quintero-Puchuncaví<sup>58</sup>, un hecho confirmado con expertos nacionales del área (comm. Pers. Petar Ostojic). Ejemplos incluyen la utilización de escoria de Codelco Ventanas árido alternativo para la estabilización de caminos<sup>59</sup> y la recuperación de cobre contenido en escoria de cobre mediante flotación (Valderrama et al. 2018). A nivel internacional, un ejemplo notable de integración industrial es el caso de del área industrial de Kwinana - Costa comercial occidental, Australia, del cual se entregan antecedentes en el Anexo B de este informe.

---

<sup>58</sup> Artículo prensa: “Waste should be seen as valuable materials circulating in our systems” visita 2020-11-05. Enlace aquí.

Artículo prensa: “Circular Economy at Enel Chile” visita 2020-11-05. Enlace aquí.

Artículo prensa: “Puerto Ventanas realiza workshop de innovación con destacados expositores a nivel internacional” visita 2020-11-05. Enlace aquí.

<sup>59</sup> Artículo prensa: “Codelco Ventanas hizo entrega de escoria para la construcción de caminos en Puchuncaví y Quintero” visita 2020-11-05. Enlace aquí.

### 8.1.3 Identificación de parámetros ambientales relevantes no normados y/o no monitoreados

De las conclusiones de los estudios anteriores llevados a cabo en la Bahía de Quintero destaca la disparidad observada del diseño de los PVA implementados en la Bahía de Quintero, en cuanto al número, frecuencia y ubicación de los sitios de muestreo, así como el alto predominio de la influencia estacional e interanual en los resultados de monitoreo. La disparidad en los PVA existentes restringe el posible análisis combinado de datos históricos, específicamente la ejecución de análisis estadísticos de las condiciones ambientales tanto espaciales como temporales utilizando los datos de monitoreo disponible entre los años 1993 y 2019.

Respecto al análisis de complejos industriales similares al complejo industrial de Quintero-Puchuncaví, se concluye que la creación de consorcios cooperativos ha logrado mejorar significativamente el monitoreo, la integración de datos y la creación de economías de escala. Otro aspecto importante de algunos de los complejos estudiados es la planificación territorial, la cual ha sido muy importante para minimizar el conflicto con la creciente presión de expansión urbana que circunda la Zona Industrial. Con este fin, el establecimiento de una zona buffer entre el complejo industrial y la zona autorizada para la construcción de viviendas, ha sido clave para construir una gobernanza cooperativa eficaz.

El último aspecto clave de tipo estratégico es la concepción y gestión integrada de los complejos industriales, fomentando la interconexión de las industrias individuales, descubriendo y utilizando las sinergias mediante el desarrollo de encadenamiento productivos entre varias industrias.

Con respecto a la revisión de estándares y convenciones internacionales, se concluye que de los 17 plaguicidas COPs del convenio de Estocolmo, 15 se encuentran en la lista de las sustancias prohibidas por el SAG. La sulfluramida (PFOS) y pentaclorofenol y el pentaclorofenato de sodio son los dos únicos COP excluidos de esta prohibición. A estos se suman las regulaciones de PCBs, dioxinas y furanos en alimentos según el D.S. 977/1996.

Asimismo, se detectó que en los sistemas de monitoreo actual de la Bahía de Quintero no existe registro acerca del tricloroetano, o metilcloroformo, del hexaclorobenceno, de los bifenilos policlorados, pese a que todos ellos se encuentran contemplados en convenios internacionales suscritos por Chile. Finalmente, en cuanto al posible aporte de contaminante asociado al Estero de Campiche, el único instrumento que regula las posibles emisiones es el DS 143/2008 que "Establece normas de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo". En este contexto, se sugiere monitorear aguas del Estero Campiche, a fin de controlar posibles impactos sobre el ecosistema marino.

En la Tabla 108 se resumen posibles sustancias contaminantes emitidas directa o indirectamente a la Bahía de Quintero. No se considera en esta tabla parámetros fisicoquímicos usados como indicadores de calidad ambiental (P. ej. DBO, DQO, etc.).

**Tabla 108 Principales industrias ubicadas en la Bahía de Quintero y probables sustancias contaminantes. No se considera en esta tabla parámetros fisicoquímicos usados como indicadores de calidad ambiental.**

Parámetro	AES GENER U1-U2	AES GENER U3	AES GENER U4	CODELCO Ventanas	COPEC Quintero	ENAP Quintero	ESVAL	GASMAR	GNL Quintero	Pesquera Quintero
<b>Bifenilos policlorados (PCB)</b>										
<b>Compuestos fenólicos</b>										
<b>Hidrocarburos aromáticos monocíclicos</b>										
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)</b>										
<b>Metales y metaloides</b>										
<b>Nutrientes</b>										
<b>Organoclorados</b>										
<b>Otras sustancias inorgánicas</b>										

Otras sustancias orgánicas										
Otros hidrocarburos										
Perfluoroalquilados										

A continuación, en la Tabla 109 y Tabla 110, se lista y justifica, respectivamente, elementos y compuestos contaminantes emitidos directa o indirectamente a la Bahía de Quintero que no son monitoreados rutinariamente, pero se recomienda incluir en un eventual programa de monitoreo integral de la Bahía de Quintero dado las actividades humanas actuales y futuras proyectadas. El listado no considera parámetros fisicoquímicos de la columna de agua tales como temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, o de sedimentos tales como pH y potencial REDOX, entre otros.

**Tabla 109. Listado de parámetros (elementos o compuestos contaminantes) no muestreados y/o no monitoreados regularmente en las diferentes matrices ambientales asociadas a la Bahía de Quintero.**

Elemento o compuesto contaminante	Matriz ambiental				
	Agua de mar	Aire	Biota / Bioensayo	Residuos líquidos	Sedimento
Dioxinas (PCDD)					
Emisiones de ruido submarino					
Éteres de difenilo polibromados (PBDE)					
Furanos (PCDF)					
Hidrocarburos aromaticos policiclicos (HAP)					
Material particulado sedimentable					
Metales					
Patógenos					
Productos farmacéuticos y derivados					
Subproductos de desinfección					

A continuación, en la Tabla 110, se justifica la importancia de los elementos y compuestos identificados en la Tabla 109 que recomienda incluir en un eventual programa de monitoreo integral de la Bahía de Quintero.

**Tabla 110. Justificación de los parámetros (compuestos y elementos) emitidos a la Bahía de Quintero que no son monitoreados rutinariamente, pero se recomienda incluir en un eventual programa de monitoreo integral de la Bahía de Quintero dado las actividades humanas actuales y futuras proyectadas.**

Compuesto o elemento emitido al agua de mar	Uso u origen y justificación de su importancia
Subproductos de desinfección	Trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA) y haloacetoneitrilos (HAN) producto de la reacción del cloro y materia orgánica en el agua. La cloración del agua que no ha sido tratada primero para eliminar la materia orgánica disuelta (DOM) produce varios subproductos de desinfección (DBP) que son potencialmente cancerígenos <sup>60</sup> (Singer & Chang 1989, Black et al. 1996, Davidson et al. 2000). Esto puede ocurrir también con el cloro residual cuando el agua es descargada de vuelta a la bahía y el cloro reacciona con la materia orgánica disuelta presente en el agua. La reacción produce varios DBP, principalmente trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA) y haloacetoneitrilos (HAN). Trihalometanos causan daños al hígado, riñones y sistema nervioso central.

<sup>60</sup> [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/THM200605.pdf?ua=1](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/THM200605.pdf?ua=1)

[https://cfpub.epa.gov/ncer\\_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.highlight/abstract/22/report/F](https://cfpub.epa.gov/ncer_abstracts/index.cfm/fuseaction/display.highlight/abstract/22/report/F)

Compuesto o elemento emitido al agua de mar	Uso u origen y justificación de su importancia
<b>Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)</b>	<p>Se desconoce la abundancia de subproductos de limpieza en la Bahía de Quintero ya que no se declara ni se monitorea su generación en el medio marino. No obstante, puede aproximarse a partir del cloro residual, que es precursor de los subproductos de desinfección.</p> <p>Para el caso de los hidrocarburos, los petróleos son mezclas complejas de miles de compuestos, cada uno con propiedades toxicológicas únicas y comportamiento y destino ambiental (revisado en Head et al., 2006; Meador and Nahrgang, 2019). Por lo general, la toxicidad del petróleo y sus derivados se atribuye a los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos), debiendo monitorearse la presencia y concentración en el medio ambiente no solo los hidrocarburos totales o los hidrocarburos de petróleo totales sino también de los HAPs (Boehm et al. 1996, Myers et al. 1998, Bakke et al. 2013, Le Dû-Lacoste et al. 2013, Regoli et al. 2014, 2019).</p> <p>Los HAPs se forman durante la combustión incompleta de cualquier tipo de materia orgánica (madera) y/o utilización de combustibles sólidos (carbón, gasolina, petróleo), y derrames de petróleo. Los HAP pueden entrar al medio marino por deposición del aire o por deposición y transferencia del suelo.</p>
<b>Éteres de difenilo polibromados (PBDE)</b>	<p>Como retardante de fuego en muchos productos. La mayoría de los PBDEs ahora están prohibidos. Lipofílicos, hidrofóbicos, bioacumulables y resistentes a la biodegradación. El pentaBDE y el octaBDE comercial están incluidos como sustancias COP regulados por convenio de Estocolmo, existe un plan de implementación en Chile, no obstante, no están regulados en normas de emisión.</p>
<b>COPs - dioxinas (PCDD), furanos (PCDF) y Bifenilos policlorados (PCB)</b>	<p>Particularmente los subproductos (no intencionales) de procesos industriales, que incluye dioxinas y furanos los cuales se forman en procesos de incineración donde están presentes compuestos aromáticos y cloro. Se trata de compuestos liposolubles y por tanto bioacumulables y se asocian a procesos industriales térmicos, cenizas flotantes, motores de aceite pesado, producción de productos minerales, entre otros. Están regulados por la convención de Estocolmo, para el cual existe un plan de implementación en Chile, no obstante, no están regulados en normas de emisión.</p> <p>Respecto a los PCBs, se trata de una familia de 209 congéneres todos de origen antrópico (no se conocen fuentes naturales), pueden ser productos químicos industriales o subproductos no intencionales. Los PCBs se producen cuando se presentan juntos cloro, hidrocarburos y temperaturas elevadas. Debido a inflamabilidad y su calidad como materiales aislantes, se utilizaron extensamente como refrigerantes y lubricantes en transformadores, condensadores y en otros dispositivos eléctricos. Debido a su baja degradabilidad son altamente persistentes, y bioacumulables, particularmente en especies localizadas en posiciones altas de las cadenas alimentarias. Existen en Chile un manual de manejo de bifenilos policlorados (CONAMA 2004) y con excepción de normas de suelo no existe regulación de emisiones.</p>
<b>Compuestos farmacéuticos (P. ej. antibióticos)</b>	<p>Para que los productos farmacéuticos funcionen correctamente, deben poder permanecer estables en las duras condiciones del cuerpo humano, lo que da como resultado que los compuestos permanezcan después de que se excretan o eliminan, y que posteriormente se encuentran en las aguas residuales permanecen inalterados por las plantas de tratamiento (Keil 2008). Antibióticos y otros productos farmacéuticos puede ser descritos como productos químicos disruptores endocrinos (EDC), afectando la fertilidad de humanos y animales (Gonsioroski et al. 2020). Las hormonas o compuestos que imitan las propiedades de las hormonas son capaces de feminizar o masculinizar a los peces (Ternes et al. 2004). Los metabolitos neuroactivos pueden acumularse en el tejido cerebral, alterando el comportamiento reproductivo y disminuyendo sus poblaciones. Se ha demostrado que el diclofenaco, un antiinflamatorio común, ha dañado las branquias y los pulmones de los peces (Gilbert 2012).</p> <p>Más importante es el efecto “cóctel” donde la mezcla de muchos productos farmacéuticos diferentes en diferentes concentraciones capaces de interactuar hace que la investigación del impacto de los productos farmacéuticos en la vida acuática sea muy difícil (Ternes et al. 2004).</p>
<b>Patógenos</b>	<p>La contaminación por patógenos transmitidos por el agua en los recursos hídricos y las enfermedades relacionadas son una preocupación importante en la calidad del agua en todo el mundo (Pandey et al. 2014). Según estimaciones de la EPA, los patógenos son la principal causa de deterioro de los cuerpos de agua (US EPA 2001).</p>

Compuesto o elemento emitido al agua de mar	Uso u origen y justificación de su importancia
<b>Material particulado sedimentable</b>	Asociado a cenizas, depositados en suelos y aguas. Contienen alto contenido de arsénico, and cobre. Las cenizas de fondo y la escoria de calderas están compuestas principalmente de sílice, alúmina y hierro, con porcentajes menores de calcio, magnesio, sulfatos y otros compuestos. La composición de las cenizas de fondo o las partículas de escoria de la caldera está controlada principalmente por la fuente del carbón y no por el tipo de horno (Federal Highway Administration 2012).
<b>Emisiones de ruido submarino</b>	Se desconoce en la mayoría de los casos las emisiones de ruidos submarinos asociados a los diferentes establecimientos industriales que hacen uso de las aguas de la Bahía de Quintero, no obstante, el uso intensivo de la bahía con fines industriales anticipa la existencia de altas emisiones de ruido submarino.
<b>Metales</b>	<p>Para el caso de los metales pesados, dada la complejidad analítica de determinar las concentraciones de una sola especie o de un grupo de especies, es común que se cuantifique y reporte la concentración total de elementos trazas en el ambiente.</p> <p>No obstante, para conocer la reactividad química de los componentes traza en el medio ambiente es esencial conocer la especiación química que experimentan en el medio, incluyendo su disponibilidad biológica que determina en gran medida su toxicidad.</p> <p>Dada la influencia histórica de la industria minera y la geología de Chile en general, procesos de erosión, meteorización y transporte suelen acumular minerales y metales pesados aguas abajo, y pueden presentarse en altas concentración en cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Los metales pesados como el arsénico, cadmio, cromo, plomo, mercurio y selenio tienen el potencial de ser bioacumulativos y movilizados a la cadena alimenticia (por procesos como la metilación que hace liposolubles los metales) y pueden causar muertes de peces, deformidades en peces y anfibios y peligros para la salud de las personas que consumen pescado contaminado<sup>61</sup>. El selenio y arsénico pueden ser contaminantes particularmente peligrosos por ser tóxico para la vida acuática en niveles muy bajos<sup>62</sup>.</p> <p>Asimismo, en el Reglamento Sanitario de los Alimentos (D.S. 977/1996) las regulaciones de arsénico en alimentos están en función del arsénico inorgánico y no de arsénico total, verificar si debiera incluirse arsénico total también.</p>

### 8.1.4 Modelo conceptual de las emisiones

Finalmente, con respecto al desarrollo de un modelo conceptual de las emisiones al agua de la Bahía de Quintero, se identificaron siete fuentes genéricas de aportes potenciales de contaminantes a la Bahía de Quintero: emisarios y descarga de RILes (emisiones puntuales), descarga fluvial (estero Campiche), derrames (líquidos) y vertimientos (sólidos), escorrentía superficial de aguas y lavado de superficies impermeables, descarga de aguas subterráneas al medio marino, deposición de emisiones atmosféricas, y otras fuentes de emisiones.

De las fuentes de contaminación consideradas la descarga directa de residuos industriales son evidentemente las de mayor importancia, seguido por las fuentes de contaminación asociadas a vertimientos, derrames y fugas, donde destacan por su peligrosidad los derrames de hidrocarburos y por su alta frecuencia los vertimientos de carbón.

Del análisis preliminar de la importancia relativa de estas fuentes, se detectó una alta disgregación y vacíos de información referente a los potenciales aportes de contaminantes asociados a deposición atmosférica, escorrentía superficial asociada a superficies impermeables, y la posible infiltración de contaminantes a través de aguas subterráneas. Si bien existe abundante información de emisiones atmosféricas y una red de monitoreo del aire, no se ha establecido cuantitativamente el potencial impacto de la deposición de contaminantes atmosféricos sobre la calidad química, física y biológica de componente marina de la Bahía de Quintero. Asimismo, es importante profundizar en el potencial secuestro

<sup>61</sup> Regulatory Actions - Final Mercury and Air Toxics Standards (MATS) for Power Plants <https://www.epa.gov/mats/regulatory-actions-final-mercury-and-air-toxics-standards-mats-power-plants>

<sup>62</sup> Mapping the Coal Ash Contamination <https://earthjustice.org/features/map-coal-ash-contaminated-sites>



permanente de contaminantes en sedimentos marinos y potenciales efectos de actividades de dragado de la bahía. Un estudio previo de Encina et al. (2014) reportó tasas de sedimentación y acumulación para algunos puntos de la bahía. Basado en estos resultados para ser que solo las zonas más profundas de la bahía estarían actuando como zona de secuestro permanente de contaminantes, así como las zonas de acumulación de sedimentos más finos de la Bahía (Universidad de Concepción 2021).

Del desarrollo del modelo conceptual de emisiones se detectó la necesidad de completar estudios de balance de masa cuantitativo de fuentes y sumideros de contaminantes iniciados por CEA (2013) a fin de establecer tiempos de residencia y acotar estimaciones de las tasas de renovación de aguas en la Bahía de Quintero. Esta información se considera fundamental para establecer los efectos acumulativos o agregados actuales y futuros asociados a la descarga de contaminantes a la Bahía de Quintero.

## 8.2 Objetivo 2

### 8.2.1 Evolución de la normativa

Históricamente la calidad del agua fue controlada mediante el establecimiento de estándares y gestión. Si bien estos mecanismos de comando y control logran gestionar adecuadamente los problemas generados por las fuentes puntuales de contaminación, la aplicación exclusiva y por largo tiempo de estas regulaciones fomentó el desarrollo de lo que se ha dado en llamar una cultura de “*salida del ducto*” (*end-of-pipe*) y de mínimo cumplimiento de la norma. Así, se ha hecho evidente que un esquema basado exclusivamente en regulaciones de “*salida del ducto*” no es apropiado para resolver los problemas que genera la contaminación desde fuentes difusas que tienen un gran impacto en la contaminación del medio acuático.

En los últimos treinta años, la gestión y regulación ambiental a nivel mundial ha experimentado una evolución desde esta cultura de “*salida del ducto*” hacia enfoques más holísticos e integrados de prevención de la contaminación para la protección del medio ambiente. Esto ha involucrado transiciones importantes en los enfoques:

- Desde el control a la prevención,
- De “*salida del ducto*” hacia estándares de producción limpia
- Desde un foco en regulaciones prescriptivas a un foco en resultados sobre la calidad del medio ambiente
- Énfasis en la cooperación más que en esquemas jerárquicos.

Estas tendencias se reflejan en la evolución de la normativa chilena desde 1990, con la clara aplicación del principio de prevención y con el paulatino aumento en la aplicación del principio precautorio y el concepto de riesgo ambiental. Las normas de calidad ambiental están concebidas precisamente para ejercer una acción preventiva y precautoria sobre el riesgo ecológico en dominios territoriales restringidos, si bien la ley considera la posibilidad de dictar normas secundarias de calidad ambiental que se extiendan a todo el territorio nacional.

La importancia de las normas secundarias de calidad ambiental radica precisamente en que ponen énfasis en el sistema ecológico que se resguarda y no en la limitación de la concentración de contaminantes en efluentes de fuentes directas. Esto de inmediato llama al establecimiento de un plan de seguimiento o vigilancia, que mida en forma iterativa el estado del ecosistema, evaluando el progreso hacia la consecución de los objetivos de calidad fijados por la norma.

### 8.2.2 Calidad de los datos de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero

Respecto a la disponibilidad de datos de monitoreo de contaminantes, ecotoxicológicos (metales en biota) y ecológicos en Bahía de Quintero, se considera dispar (desbalanceada), y sesgada al monitoreo de calidad de aguas. Debido a la disparidad en la frecuencia y desbalance de los datos de monitoreo de contaminantes de la Bahía de Quintero no es posible caracterizar sus escalas de variación espacio – temporal, ni su relación con las dinámicas industriales (P. ej. variaciones en niveles de producción) y ecológicas de la bahía (estacionalidad, ventilación de aguas costeras, aportes de agua dulce, etc.).

Del análisis de las funciones de distribución empírica (acumulada) y de las estadísticas descriptivas (P. ej. presencia de valores atípicos) se desprende que, la calidad de los datos de monitoreo de contaminantes (históricos) de la Bahía de Quintero introduce una alta incerteza a la priorización de contaminantes basada en el análisis de excedencia (frecuencia y

magnitud), lo cual concuerda con estudios anteriores realizados en la Bahía de Quintero. En este contexto, la posibilidad de hacer declaraciones significativas y científicamente defendibles sobre la calidad ambiental general de la Bahía de Quintero depende directamente del rigor y la calidad bajo los cuales se recopilan, analizan y reportan los datos de monitoreo. Por tanto es crítico el uso de datos observacionales de alta calidad para tomar decisiones de evaluación creíbles y realistas.

Respecto a la vinculación de bases de datos de contaminantes y monitoreo ecológico. Obviando los problemas de calidad de datos, no se ha realizado un trabajo sistemático de vinculación de las bases de datos de monitoreo de contaminantes y otros estresores (P. ej. temperatura y salinidad) con la base de datos de monitoreo ecológico en la Bahía de Quintero (abundancia de especies, densidad, cobertura y riqueza). Esto limita la priorización de contaminantes basada en los posibles impactos sobre la estructura y composición de las comunidades pelágicas y bentónicas. El futuro plan o programa de monitoreo debiera permitir vincular explícitamente el estado de las poblaciones con los niveles de concentración de contaminantes medidos simultáneamente en el medio (agua de mar y sedimento). Este tipo de información puede sustentar la revisión futura de directrices locales basadas en distribuciones de sensibilidad de especies (*Species sensitivity distributions*, SSD) y/o modelos basados en biodisponibilidad (bioavailability-based models) tales como modelos de ligandos bióticos. De esta manera, el perfeccionamiento de las directrices o normativas será soportado por el enfoque de múltiples líneas de evidencia.

Respecto a las concentraciones naturales de contaminantes en sitios de referencia, no existen sitios de referencia suficientemente caracterizados que puedan servir de referencia para el establecimiento de concentraciones ambientales de contaminantes en la Bahía de Quintero. De acuerdo a Van Dam et al. (2014), para el establecimiento de directrices basadas en datos de sitios de referencia local (no impactado por contaminantes) se debe disponer de datos de química de la calidad del agua de al menos dos años, lo cual no se cumple para el caso de la Bahía de Quintero. En este sentido se recomienda el establecimiento de uno o más sitios de referencia con adecuado nivel de protección a fin de establecer y perfeccionar directrices de calidad de agua y sedimentos (P. ej. niveles umbrales de contaminantes) asociados al futuro programa de monitoreo ambiental y la norma de calidad secundaria de la Bahía de Quintero.

Respecto a la biodisponibilidad de contaminantes en la Bahía de Quintero, no se dispone suficiente data para el establecimiento de modelos de ligandos bióticos que permitan refinar en el futuro directrices sitio-específicas para la Bahía de Quintero. Se recomienda junto con el monitoreo de contaminantes el monitoreo específico de variables fisicoquímicas que alteran la biodisponibilidad y toxicidad de contaminantes en la Bahía de Quintero (P. ej. pH, salinidad y contenido de oxígeno para el caso de las muestras de agua de mar, y granulometría, contenido de materia orgánica, pH, redox en el caso de sedimentos).

### **8.2.3 Priorización de elementos y compuestos contaminantes emitidos en la Bahía de Quintero**

Para la priorización de contaminantes en la Bahía de Quintero se consideraron tres elementos claves: a) el listado actual de contaminantes de posible preocupación ambiental, b) la existencia de criterios de referencias (valores umbrales o límites) definidos en normas nacionales o directrices internacionales, y finalmente c) los resultados del análisis de excedencia de dichos criterios. El listado de parámetros de posible preocupación ambiental es la suma de parámetros presentes o potencialmente presentes en la Bahía de Quintero. En lo específico considero a) sustancias potencialmente emitidas a la Bahía de Quintero (monitoreados o no), determinados en función de los insumos utilizados, las tecnologías y las actividades y/o procesos industriales que se llevan a cabo en la bahía, b) otras sustancias potencialmente emitidas a la Bahía de Quintero definidas a partir del análisis crítico de los parámetros monitoreados regularmente en la Bahía de Quintero y reportados en estudios previos (recopilados por HOLON SPA. (2019) y CEA (2020)), c) parámetros de importancia identificados en complejos industriales similares a nivel internacional, d) parámetros regulados o prohibidos por convenios internacionales de los cuales Chile es estado parte, y e) parámetros definidos por consenso experto en estudios previos llevados a cabo en la bahía (CEA 2013, 2020, HOLON SPA. 2019) y otros sugeridos en este estudio. De esta manera se definieron cinco grupos de contaminantes y variables fisicoquímicas a monitorear (1A a 1E) con distinta prioridad en las diferentes matrices ambientales de la Bahía de Quintero.

La actualización del listado de parámetros de posible preocupación ambiental, de la base de datos de criterios de referencia (normas y directrices ambientales), y del análisis de excedencia permitirá a través de un proceso iterativo la futura actualización (ampliación o reducción) de los grupos de contaminantes con prioridad de monitoreo en la Bahía de Quintero.

En este contexto, es importante destacar que no es posible generar un ranking individual (es decir uno a uno) de contaminantes, porque la toxicidad es el mejor caso un estimador indirecto del efecto de cada contaminante sobre el

ecosistema. A esta razón se suma el escaso conocimiento de la biodisponibilidad de contaminantes en agua de mar, su transporte entre compartimientos (agua de mar, sedimento), y la mala calidad de los datos de monitoreo existentes. Por estas razones se definieron cinco grupos de parámetros con diferente prioridad de monitoreo (Grupos 1A a 1B).

## **8.2.4 Taller de trabajo N°2 de definición de criterios de selección y priorización de parámetros a monitorear en la Bahía de Quintero**

La audiencia avala la utilización de un método de priorización de contaminantes basado en múltiples líneas de evidencia, a decir, toxicológica, ecológica/biodiversidad, biomarcadores, bioacumulación, biodisponibilidad, y/o concentraciones naturales. No obstante, la audiencia enfatizó que la baja calidad de los datos de monitoreo puede imponer una alta dificultad a la hora de priorizar contaminantes basado en análisis de excedencia. La inexistencia de una línea de base, o sitios de referencia también se considera a juicio de los participantes del taller un importante impedimento para la priorización de contaminantes presentes en condiciones naturales en la bahía. La mayoría de los sitios cercanos ya están muy contaminados lo cual limita también su uso como sitio de referencia. Finalmente, respecto a la frecuencia de observación de los muestreos actualmente realizados en la Bahía de Quintero estos se consideran a juicio de los asistentes muy dispares y faltos de periodicidad lo cual limita el análisis de procesos que ocurren a escalas diferentes (P. ej. estacionalidad de las condiciones climáticas y aportes de agua dulce desde el Estero Campiche, variabilidad de flujos mareales, entre otros).

## **8.3 Objetivo 3**

### **8.3.1 Definición de métodos analíticos y límites de detección por parámetro priorizado para aguas crudas y RILES**

A partir de los resultados del levantamiento de información sobre capacidades analíticas de laboratorios nacionales (públicos y privados) reportados en las secciones 6.1.1.2 de Métodos y 7.1.1.2 de Resultados se llevó a cabo un análisis crítico de la información disponible. Como resultado de este análisis se clasificaron los métodos identificados (nacionales e internacionales) en dos categorías dependiendo de si o no es probable que el método logre un límite de detección adecuado para el monitoreo de contaminantes y variables ambientales en la Bahía de Quintero.

Del análisis crítico de la información disponible se desprende que existen laboratorios nacionales y método analíticos adecuados para la cuantificación de la mayoría de los contaminantes de posible preocupación ambiental de la Bahía de Quintero, no obstante, la correcta detección de contaminantes, en términos de precisión y límites de detección, está fuertemente condicionado por el adecuado uso de Materiales de referencia certificados (CRM) o materiales de referencia estándar (SRM), el adecuado preprocesamiento y análisis de muestras considerando las posibles Interferencias y recuperaciones de analitos, así como el uso de réplicas de muestras y análisis. Todos estos aspectos debiesen estar contenidos en Procedimiento Operativo u Operacional Estándar (SOP) disponibles para consulta.

### **8.3.2 Diseño del programa de monitoreo para todos los elementos y compuestos emitidos por las fuentes presentes en la Bahía de Quintero que puedan causar efectos en la salud humana y en la salud de los ecosistemas acuáticos.**

Se ha diseñado una Red de Monitoreo de Contaminantes para la componente agua de la Bahía de Quintero con el objetivo es identificar y confirmar la presencia de contaminantes de interés para el medio ambiente y la salud humana, incluidos aquellos no controlados y no regulados. Como se ilustra en la Figura 69 se consideraron los siguientes aspectos para el diseño de la Red de Monitoreo:

1. Listado de contaminantes de posible preocupación ambiental en Bahía de Quintero y grupos de prioridad de muestreo descritos en la sección 7.2.3. Este listado se elaboró a partir de la revisión exhaustiva de fuentes difusas y puntuales de contaminantes a la Bahía de Quintero (detalles en sección 7.1.2.1), la caracterización de peligrosidad de los insumos de producción y subproductos asociados (detalles en sección 7.1.2.2), y del comportamiento de contaminantes en matrices marinas (detalles en sección 7.2.3.2). Asimismo se elaboró un modelo conceptual de emisiones (presentado en la sección 7.1.5.4) el cual se buscó satisfacer adecuadamente en el diseño de la Red de

Monitoreo. Este modelo conceptual de emisiones considera siete fuentes genéricas de contaminantes asociadas a la Bahía de Quintero, incluyendo: emisarios y descarga de RILes, la descarga fluvial del estero Campiche, derrames (líquidos) y vertimientos (sólidos), escorrentía superficial de aguas y lavado de superficies impermeables, descarga de aguas subterráneas al medio marino, deposición de emisiones atmosféricas, entre otras fuentes menos conocidas.

2. Excedencias históricas (resultados en sección 7.2.3.2) previo análisis de la calidad de los datos históricos de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero (resultados en sección 7.2.1)
3. Condiciones estructurales de la Bahía de Quintero, incluyendo parámetros hidrológicos, oceanográficos y geográficos (resultados en la sección 7.1.5.3.1)
4. Capacidades analíticas nacionales (resultados en sección 7.1.1.2), métodos analíticos priorizados en este estudio (resultados en sección 7.3.3.3), límites de detección declarados (resultados en sección 7.1.1.2 y 7.3.3.1) y deseables (resultados en sección 7.3.3.3), además de los costos de análisis asociados (resultados en sección 7.3.5).
5. Directrices nacionales e internacionales (resultados en sección 7.2.2) para contaminantes y variables de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero, incluyendo las matrices de agua de mar, sedimentos y biota marina.
6. Estado del arte asociado al desarrollo de programas y redes de monitoreo del ambiente marino (resultados en sección 6.3.4).



Figura 69 Aspectos considerados para el diseño de la Red de Monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero.

Como resultado se propone una red de monitoreo que considera independientemente 1) el monitoreo de fuentes contaminantes, 2) el monitoreo del cuerpo de agua receptor, y 3) de sitios de referencia ubicados fuera de la bahía. Como se discute en la sección 7.3.4.1 se recomienda que las estaciones de referencia de la futura de Red de Monitoreo se ubiquen fuera de la Bahía, en zonas homologas, con características oceanográficas y geomorfológicas similares a la Bahía de Quintero, debido a que no es posible a partir del análisis de antecedentes disponibles garantizar la existencia de zonas libres de influencia antropogénica dentro de la Bahía. La evaluación y propuesta final de sitios de referencia se entrega en la sección 7.3.4.3.8. Esta incluye dos sitios específicos, uno ubicado al norte (Huentelauquen, Región de Coquimbo) y uno al sur (Topocalma, Región de O'Higgins) de la Bahía de Quintero. Con la finalidad de optimizar costos se sugiere asimismo establecer primero una línea de base de contaminantes, que permita caracterizar la variabilidad espacio-temporal en la distribución de contaminantes en la Bahía de Quintero, y sobre esta base diseñar el subsecuente programa de monitoreo regular de la bahía. A fin de facilitar este proceso de optimización se han identificado una serie de preguntas guías asociadas a un árbol de decisión el cual se detalla en la sección 7.3.4.3.1.

Para el diseño de la red de monitoreo de la Bahía de Quintero, se ha propuesto un diseño de monitoreo basado en muestreo aleatorio estratificado de agua de mar, sedimentos y biota, combinado con estaciones heredadas fijas provenientes de los programas de monitoreo existentes de la Bahía de Quintero (Programa de Observación del Ambiente Litoral, POAL-DIRECTEMAR) y fuentes puntuales industriales (Programas de Vigilancia Ambiental, PVA). Los resultados de este trabajo se reportan en la sección 7.3.4 de este informe. Sugerimos utilizar un diseño estadístico espacialmente equilibrado para optimizar la cantidad de información recopilada dados los recursos finitos y otras limitaciones logísticas (Foster et al., 2020).

Se han elaborado un presupuesto estimado de implementación de la Red de Monitoreo y Caracterización de Contaminantes considerando tres escenarios hipotéticos de muestreo regular asumiendo un requerimiento de muestreo inferior, igual o anticipado, y superior al establecido en la línea base de contaminantes. Se considero una versión extendida y una acotada de la Red de Monitoreo y Caracterización de contaminantes las cuales se distinguen respecto del número de contaminantes y variables ambientales específicas a monitorear en la línea base de contaminantes y subsecuentes muestreos regulares. No se hace distinción respecto del número de estaciones (aleatorias y heredadas), número de sitios de referencia ( $n = 2$ ), extensión del área de muestreo, número de replicas (duplicadas), ni frecuencia de monitoreo, ya que todos estos parámetros deben idealmente ser definidos en función de la variabilidad ambiental (espacial y temporal) observada en la distribución de contaminantes en la Bahía de Quintero, no el presupuesto disponible. El costo total de implementación de la Red de Monitoreo y Caracterización de Contaminantes fue estimado en unidades de fomento y se reporta en la sección 7.3.5 incluyendo los costos unitarios de análisis.

El costo total estimado de implementación de la línea base de contaminantes en la versión acotada es de 10975 UF, mientras que el monitoreo regular (costo anual) varía entre 3941.6 UF y 52824 UF considerando los escenarios hipotéticos de requerimiento de muestreo inferior y superior al de la línea de base de contaminantes. La mayor incerteza en la estimación de costos se asocia a los costos de análisis de laboratorio los cuales fluctúan significativamente entre las diferentes fuentes de información consultadas, siendo este ítem de gastos el mayor de todos aquellos considerados en la elaboración del presupuesto (además de trabajo de terreno, análisis de datos e imprevistos).

En el caso de la versión extendida de la Red de Monitoreo, que considera el listado completo de contaminantes de preocupación ambiental asociados a los Grupos de Prioridad de Muestreo 1A y 1B descritos en la sección 7.2.3, y su análisis en todas las matrices ambientales (en la línea base al menos), el costo total estimado de implementación de la línea base es de 39923 UF, mientras que el costo estimado del muestreo regular varía entre 14132.7 UF y 198009 UF considerando los escenarios hipotéticos de requerimiento de muestreo inferior y superior al de la línea de base de contaminantes. Nuevamente la mayor incerteza de los costos se asocia a los análisis de laboratorio, los cuales varían significativamente entre las diferentes fuentes de información consultadas (solicitudes directas de cotización, cotizaciones disponibles en mercadopublico.cl, NEMI).

El diseño completo de la Red de Monitoreo, incluyendo la estimación de costos de implementación, se hizo utilizando el software estadístico R (R Core Team 2019) y el paquete MBH (Foster 2020). El procedimiento es completamente replicable y modificable en el caso de que surjan nuevos requerimientos (e.g. cambios de objetivo del programa de monitoreo). En este contexto se ha acordado con la entidad mandante (MMA) la realización de un taller de transferencia y entrenamiento en el uso de las herramientas y códigos desarrollados en este proyecto.

## 9 Anexos

Anexo	Título
A	Caracterización de las unidades fiscalizables con emisiones a la Bahía de Quintero
B	Revisión de complejos industriales internacionales similares al complejo industrial Quintero-Puchuncaví
C	Peligrosidad humana (NFPA 704) de principales materias primas movilizadas en la Bahía de Quintero
D	Directrices, normas y convenios nacionales e internacionales en materia de contaminación marina
E	Acta Taller Técnico N°1 de expertos
F	Métodos analíticos para la determinación de contaminantes y parámetros ambientales en RILES, agua de mar, sedimento y biota pertinentes a la Bahía de Quintero
G	Acta Taller Técnico N°2 de expertos
H	Resultados Taller Técnico N°2 de expertos
I	Resultados complementarios de análisis estadísticos de datos de monitoreo de contaminantes y variables fisicoquímicas de la Bahía de Quintero
J	Acta Taller Técnico N°3 de expertos
K	Acta Taller Técnico N°4 de expertos
L	Encuesta a laboratorios de ensayo
M	Análisis crítico y propuesta de métodos analíticos para el análisis de contaminantes y variables ambientales en Chile además de otros descritos a nivel internacional
N	Desglose de costos de análisis Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero (dos archivos Excel para versión acotada y extendida)

---

## 10 Acrónimos

En el contexto del proyecto, se han utilizado los siguientes acrónimos en el proyecto.

<b>Acrónimo</b>	<b>Descripción</b>
ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS por sus siglas en inglés) CAS Registry Number: 16939-57-4
Ag	Plata
Al	Aluminio disuelto
ANZECC	Consejo de Conservación y Medio Ambiente de Australia y Nueva Zelanda (sigla del inglés <i>Australian and New Zealand Environment and Conservation Council</i> )
ARMCANZ	Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand (del inglés <i>Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand</i> )
As	Arsénico
AU/NZ-ANZECC-2000	Directrices de Australia y Nueva Zelanda para la calidad del agua dulce y marina (ANZECC 2000)
AU/NZ-NWRC-2018	Directrices de Australia y Nueva Zelanda para la calidad del agua dulce y marina (NWRC & WQPSC, 2018). Revisadas en 2018, las Directrices (Water Quality Guidelines) se presentan ahora en una plataforma interactiva en internet. <a href="https://www.waterquality.gov.au/guidelines">https://www.waterquality.gov.au/guidelines</a>
AU-SA-EPP-2003	South Australia environment protection (water quality) policy 2003
B	Boro
Ba	Bario
Be	Berilio
BLM	Modelos de ligandos bióticos: modelos que consideran el efecto de los parámetros del agua, incluida la dureza del agua, el pH y el carbono orgánico disuelto, para modelar la biodisponibilidad de los metales. El ligando es la superficie branquial.
BR-CONAMA-2005	Brasil CONAMA resolución 357/2005
BTEX	Acrónimo para la mezcla de isómeros del benceno, tolueno, etilbenceno y xileno, contaminantes dañinos a la salud humana presentes en el petróleo (diesel oil) y la gasolina.
CA-BC-WQG-2019	Directrices de calidad del agua de Columbia Británica (2019)
CA-CCME-2001	Directrices de la CCME de Canadá sobre la calidad del agua para la protección de la vida acuática (2001)
CCME	Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente
Cd	Cadmio disuelto
CENDHOC	Centro Nacional de Datos Oceanográficos
Cl	Cloro
Cl-a	Clorofila a
CN-	Cianuro. compuesto químico que contiene el grupo $C\equiv N$ denominado grupo ciano. Existen cianuros inorgánicos y orgánicos. En los inorgánicos el cianuro se presenta como anión $CN^-$ . Sales como el cianuro de potasio o cianuro de sodio, son altamente tóxicas. El ácido hidrocianico HCN, es un líquido altamente volátil. Los cianuros orgánicos se denominan nitrilos. El acetonitrilo es el grupo ciano ligado covalentemente con un metilo ( $CH_3$ ).
Co	Cobalto
CO	Monóxido de carbono
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
Cr III	Cromo III
Cr VI	Cromo VI
CRAS	Consejo de Restauración Ambiental y Social
CRM	Materiales de referencia certificados
Cu	Cobre

D.S. 144/2008	D.S. 144/2008. Establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo
DBO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBP	subproductos de desinfección
DDD	Dicloro difenil dicloroetano (1,1'-(2-dicloroetilideno)bis[4-cloro-benceno]) CAS Registry Number: 72-54-8.
DDE	Dicloro difenil dicloroetileno (1,1-dicloro-2,2-bis(4-clorofenil)eteno) CAS Registry Number: 72-55-9
DDT	Dicloro difenil tricloroetano (1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)-etano) CAS Registry Number: 50-29-3
DGV	Default guideline value (Valor de referencia predeterminado): un valor de referencia recomendado para la aplicación genérica a todas las masas de agua dulce o marina de Australia y Nueva Zelanda en ausencia de un valor de referencia más específico (por ejemplo, específico del sitio) en las Directrices de Australia y Nueva Zelanda para la calidad del agua dulce y marina.
DIA	Declaración de Impacto Ambiental
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DWT	Tonelaje de peso muerto (del inglés <i>deadweight tonnage</i> )
EDC	Productos químicos disruptores endocrinos
EF	Factor de enriquecimiento
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
EPA – USA	Environmental Protection Agency: La agencia de protección ambiental de los EE.UU.
ERM	Mediana del rango de efecto
ETFA	Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental
F	Fluoruros
FAAS	Espectrometría de Absorción Atómica con Llama
FB	Blanco de campo
FDA	función de distribución empírica (acumulada)
Fe	Hierro
FIA	Análisis de inyección de flujo
FLNA (NAPL en inglés)	Fase Líquida No Acuosa
GC-FID	Plasma Acoplado Inductivamente con detector de ionización de llama
GC-MS	Plasma Acoplado Inductivamente con Detector Masa
GFAAS	Espectrometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito
GNL	Gas natural licuado
Gravedad API	Gravedad del Instituto Americano del Petróleo. La gravedad API es una medida de qué tan pesado o liviano es un líquido de petróleo en comparación con el agua. Si la gravedad API es superior a 10, es más ligera y flota en el agua; si es menor de 10, es más pesado y se hunde.
HAA	ácidos haloacéticos
HAN	haloacetónitrilos
HAP	Hidrocarburos aromáticos policíclicos
HAPs	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
HCB	Hexaclorobenceno (CAS Registry Number: 118-74-1)
HCBD	Hexaclorobutadieno (Hexacloro-1,3-butadieno) CAS Registry Number: 87-68-3
HCH*	Acrónimo para denominar los isómeros alfa ( $\alpha$ -HCH), beta( $\beta$ -HCH), delta ( $\delta$ -HCH) y gamma ( $\gamma$ -HCH o lindano), del hexaclorociclohexano (o hexacloruro de benceno)
HCNM	Hidrocarburos no metánicos
HCT	Hidrocarburos totales
HCV	Hidrocarburos volátiles
Hg	Mercurio
HGAAS	Espectrometría de Absorción Atómica con Generación de Hidruros
HNS	Del inglés “ <i>hazardous and noxious substances</i> ”. Referido a la convención HNS.



HS-GC-FID	Cromatografía de gases de espacio de cabeza con detección de ionización de llama
ICP	Plasma acoplado inductivamente
ICP/MS	Espectrometría de masas / plasma acoplado inductivamente
ICP-OES	Espectroscopía de Emisión Óptica de Plasma
ICP-OES/HG	Espectroscopía de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente con Generación de Hidruros
IFOP	Instituto de Fomento Pesquero
IQR	Intercuartil
ISP	Servicio de Salud Pública
ISPCh	Instituto de Salud Pública de Chile
JP-EQS-2003	Normas de calidad ambiental de Japón para la conservación del medio ambiente vivo (2003)
LB	Límite de blanco
LC	Límites de cuantificación
LD	Límite de detección
LOEC	Concentración de efecto más bajo observable; la concentración más baja probada de un material (tóxico) que corresponde a una diferencia estadísticamente significativa en comparación con los organismos de control
LOR	Límites de notificación
LQ	Límite de cuantificación
MB	Blanco de laboratorio
MBH	Marine Biodiversity Hub
MDL	Límites de detección de métodos
MMA	Ministerio de Medio Ambiente
Mn	Manganeso
Mo	Molibdeno
MOT	Materia Orgánica Total
MP <sub>10</sub>	Material Particulado grueso
MP <sub>2.5</sub>	Material Particulado Fino
MPS	Material particulado sedimentable
MTBE	Éter metil tert-butílico (CAS Registry Number: 1634-04-4).
NEC	Concentración sin efecto
NEMI	National Environmental Methods Index
NH <sub>3</sub> -N	Nitrogeno-amonio
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amonio
Ni	Niquel
NKT	Nitrogeno total Kjeldahl
NOEC	Concentración sin efecto observable; la concentración más alta probada de un material (tóxico) a la que la respuesta medida es estadísticamente indistinguible de la respuesta de control
NO-SPF-2007	Revisión de la clasificación de metales y toxinas ambientales orgánicas en agua y sedimentos.
NO <sub>x</sub>	Nitrato y Nitrito
NWQMS	Estrategia Nacional Australiana de Gestión de la Calidad del Agua
O <sub>3</sub>	Ozono
OD	Oxígeno disuelto
P	Fósforo disuelto
PAHs	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
Pb	Plomo disuelto
PBDEs	Éteres de difenilo polibromados
PCB	Bifenilos policlorados
PCBs	Bifenilos policlorados
PCDD	Dioxinas (policlorodibenzodioxinas)

PCDD/F	Dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) y dibenzofuranos policlorados (PCDF)
PCDF	Furanos (Dibenzofuranos policlorados)
PCP	Pentaclorofenol
PEC	Concentración de efectos probable (sigla del inglés <i>Probable Effect Concentration</i> )
PEL	Nivel de efectos probables (sigla del inglés <i>Probable Effect Levels</i> )
PFAS	Sustancias surfactantes per y polifluoroalquiladas que contienen varios fluoruros unidos a una cadena alquilo. Según la OECD, existen 4730 diferentes PFASs.
PFOA	ácido perfluorooctanoico perteneciente a la familia de los ácidos perfluorocarboxílicos (PFOA).
PFOS	Sulfluramida
POAL	Programa de Observación del Ambiente Litoral de la DIRECTEMAR.
PPB	Partes por billon
PPM	Partes por millon
PQL	Límites de cuantificación práctica
PSBQ	Programa de Seguimiento de la Bahía de Quintero (según HOLON SPA. (2019))
PTAS	Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas
PVA	Programas de Vigilancia Ambiental
RETC	Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes del Ministerio de Medio Ambiente
RILes	Residuos industriales líquidos
RPM	Resolución de Programa de Monitoreo de la Super Intendencia de Medio Ambiente (SMA)
RPM-PVA	Resoluciones de Monitoreo
RTS	Teselación aleatoria estratificada
S SED	Sólidos sedimentables
SAAM	Sustancias activas de azul de metileno
SAN	Poli(estireno-co-acrilonitrilo) CAS Registry Number: 9003-54-7
SAT O	Saturación de oxígeno
Sb	Antimonio
Se	Selenio
SEL	Nivel de efecto severo (sigla del inglés <i>Severe Effect Level</i> )
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
SMA	Superintendencia de Medio Ambiente
Sn	Estaño
SNIFA	Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental
SO <sub>2</sub>	Dióxido de azufre
SO <sub>4</sub>	Sulfatos
SOP	Procedimiento Operativo u Operacional Estándar
SQG	Directrices de Calidad de Sedimentos (sigla del inglés <i>Sediment Quality Guidelines</i> )
SQuiRT	NOAA values - Screening Quick Reference Tables
SRM	Materiales de referencia estándar
SRS	Muestreo aleatorio simple
SS	Sólidos Suspendidos
SSD	Distribución de Sensibilidad de Especies: Una función de distribución acumulativa que describe la variación en la sensibilidad de las especies a una sustancia química.
SSMA	Subsecretaría de Medio Ambiente
SST	1) Esp.:Sólidos Suspendidos Totales; 2) Ingl. Temperatura superficial del mar
SyS	Muestreo sistemático
TCDD	Dioxinas (Tetraclorodibenzo-p-dioxina)
TDS	Sólidos disueltos totales
TET	Umbral de efecto tóxico
THM	Trihalometanos
TI	Talio

TMB	Tetrametilbencidina
TMG	Tamaño Medio de Grano
TPH	Hidrocarburos totales de petróleo
U	Uranio
UF	Unidad Fiscalizable
US-CA-OP-2019	USA-California ocean plan 2019
US-EPA-NRWQC-2004	Criterios nacionales de calidad del agua recomendados por la EPA de EE. UU. (2004)
US-MD-WQS-2020	Estándares de calidad del agua superficial de Maryland (2020)
V	Vanadio
VOC	Compuestos Orgánicos Volátiles
WQG	Directrices de Calidad de Agua (siglas en ingles)
Zn	Zinc
ZPL	Zona de Protección Litoral

# 11 Glosario técnico

En el contexto del proyecto, se ha desarrollado el siguiente glosario técnico con la finalidad de facilitar la comprensión y comunicación de conceptos clave utilizados en este informe.

Concepto	Descripción
Adsorción / desorción	La adsorción es un proceso químico o físico por el cual átomos, iones o moléculas de gases, líquidos o sólidos disueltos se adhieren o son retenidos en una superficie interfásica (entre dos fases). El proceso inverso a la adsorción se conoce como desorción.
Áreas de referencia	Se trata de áreas en las que se espera que el impacto directo de las emisiones sea mínimo o nulo, lo que proporciona una base para las comparaciones.
Bentónico	Organismos que viven en o sobre los sedimentos de hábitats acuáticos
Bioacumulación	Término general que describe el proceso metabólico mediante el cual los organismos acuáticos acumulan en sus tejidos sustancias químicas por exposición directa al medio circundante (por ejemplo, suelo, sedimentos, agua) o mediante la ingesta de alimentos que las contienen.
Bioconcentración	Acumulación de sustancias químicas en los tejidos de los organismos vivos por acción de su propio metabolismo.
Biodisponible	La biodisponibilidad ambiental de un compuesto (molécula o ion), es una medida de su capacidad de ser absorbidos por los organismos. Contaminantes orgánicos tales como solventes, herbicidas o pesticidas pueden encontrarse no biodisponibles en el ambiente cuando son adsorbidos a minerales particulados, o particionados en fases hidrofóbicas de materia orgánica (no solubles en agua).
Biomagnificación	Procesos mediante los cuales aumentan las concentraciones de sustancias químicas en los tejidos a medida que la sustancia química pasa a través de dos o más niveles tróficos en una cadena alimentaria. El término implica una transferencia eficiente de productos químicos de los alimentos al consumidor de modo que las concentraciones de residuos aumenten sistemáticamente de un nivel trófico al siguiente.
Blanco de campo (FB)	Estos ayudan a monitorear las prácticas de control de la contaminación de las muestras como: filtración, preparación de botellas y manejo de muestreo y también la substracción de las concentraciones de fondo, es decir la concentración del elemento o sustancia que no es atribuible a las emisiones dentro del área de estudio o en otras palabras la concentración que se mediría si las fuentes locales de emisiones no estuvieran presentes.
Blanco de laboratorio (MB)	Una matriz libre de analitos a la que se agregan todos los reactivos en los mismos volúmenes o proporciones en la preparación estándar de la muestra.
Carga diaria máxima total (CTMD)	Cantidad máxima de un contaminante que un cuerpo de agua puede recibir y aún cumplir con los estándares de calidad del agua.
Coeficiente de partición octanol-agua ( $K_{ow}$ )	Relación entre la concentración de una sustancia química disuelta en octanol y la disuelta en agua una vez que se alcanza el equilibrio. Esto generalmente se expresa como un logaritmo en base 10 (es decir, $\log K_{ow}$ ). Los valores altos de $K_{ow}$ (por ejemplo, los valores de $\log K_{ow}$ entre 4 y 7,5) indican una alta solubilidad en lípidos (grasas en los tejidos) y un alto potencial de bioacumulación.
Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)	Corresponde a hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a temperatura ambiente o que son muy volátiles a dicha temperatura. Se puede considerar como COV aquel compuesto orgánico que a 20 °C tenga una presión de vapor de 0.01 kPa o más, o una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso.
Comunidad	Conjunto de organismos caracterizados por una combinación distintiva de especies que ocupan un entorno común e interactúan entre sí.
Concentración	La cantidad cuantificable de una sustancia en el agua, la biota, el suelo o los sedimentos.
Concentración medida	La concentración (masa por unidad de volumen) de una sustancia química en una solución de ensayo determinada por análisis químico.
Condición de referencia	Una calidad o condición ambiental que se define a partir de tantos sistemas similares como sea posible (incluidos los datos históricos) y se utiliza como punto de referencia para determinar la

	calidad o condición ambiental que se debe lograr y / o mantener en un sistema particular de tipo equivalente.
Consumo o ingesta	Un proceso mediante el cual los materiales se absorben e incorporan a un organismo vivo.
Contaminación marina	" <i>Polución significa la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o energía en el medio marino (incluidos los estuarios) que tienen efectos nocivos tales como daños a los recursos vivos, peligros para la salud humana, obstáculos para las actividades marinas, incluida la pesca, deterioro de la calidad para el uso del agua de mar y reducción de los servicios.</i> " Definición de contaminación marina de GESAMP.
Contaminante primario	Contaminante emitido directamente al aire o el agua desde una fuente puntal o difusa.
Contaminante secundario	Contaminante que se forma cuando otros elementos o compuestos reaccionan después de ser emitidos al medioambiente.
Contaminantes	Sustancias o entidades biológicas o químicas, que normalmente no están presentes en un sistema, capaces de producir un efecto adverso en un sistema biológico, dañando gravemente la estructura o función.
Control	Parte de un procedimiento experimental que idealmente es exactamente como la parte tratada, excepto que no está sujeta al tratamiento de prueba. Se utiliza como estándar de comparación, para comprobar que el resultado del experimento es un reflejo de las condiciones de prueba y no de algún factor general desconocido.
Criterio de referencia	Referido al "estándar", "directriz", "valor", "umbral", "indicador" o "nivel de alerta o acción" especificado en directrices y normas ambientales.
Diseño estratificado de teselación aleatoria generalizada (GRTS)	Utiliza una serie potencialmente infinita de cuadrículas coherentes anidadas y alguna función que convierte la población de un espacio bidimensional en un espacio unidimensional, mientras conserva las relaciones de proximidad entre puntos en el dominio.
Ecosistema acuático	Cualquier entorno acuático en el que las plantas y los animales interactúen con las características químicas y físicas del entorno.
Ecotoxicología	La ciencia que se ocupa de los efectos adversos de los productos químicos, los agentes físicos y los productos naturales en las poblaciones y comunidades de organismos vivos.
Emisión	Referido a la descarga desde una fuente fija o móvil, puntal o difusa, de sustancias, residuos o desechos en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, además de ruido y energía en cualquiera de sus formas.
Emisión Fugitiva	Es la descarga directa o indirecta a la atmósfera de gases o partículas que no se efectúa por una chimenea, ducto o punto de descarga. Se trata de emisiones por fugas y liberación no controladas de sustancias en su mayoría asociadas a procesos industriales. Ver también Fugas Fugitivas.
Enfoque basado en el peso de la evidencia disponible	Combina concentraciones de metales en sedimentos, resultados de pruebas de ecotoxicidad, bioacumulación e indicadores fisiológicos de la salud del organismo para indicar el riesgo relativo de los contaminantes en el medio ambiente para el ecosistema
Especiación química	se define como la distribución de un elemento químico particular entre las diferentes formas en las cuales puede existir (especies químicas), en un medio determinado. Incluye tanto los elementos libres (en forma neutra o ionizada) como los variados complejos que pueden formarse con diferentes ligandos
Estaciones de control	Ubicadas más cerca de las fuentes puntuales de emisión
Estaciones de observación	Más alejadas de las fuentes puntuales.
Estándar de emisión	En Chile, las normas de emisión establecen límites a la cantidad de contaminantes emitidos desde fuentes puntuales al aire o al agua como resultado de la operación de instalaciones industriales. Su aplicación puede realizarse a nivel nacional o local en función del objetivo de protección de la norma.

Estándar secundario de calidad ambiental	En Chile, una norma secundaria de calidad ambiental establece valores de concentración y períodos máximos y mínimos permisibles para sustancias, elementos, energía o una combinación de ellos, cuya presencia o ausencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente o la preservación de la naturaleza (Art 3 DS 38 2012 MMA).
Estándares primarios de calidad ambiental	En Chile, las normas primarias de calidad establecen los valores de concentración y períodos máximos y mínimos permisibles para elementos, sustancias compuestas, derivados químicos y biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o una combinación de ellos, cuya presencia o ausencia en el ambiente pudiera constituir un riesgo para la vida y la salud de la población, definiendo además los niveles que originan situaciones de emergencia (Art.2 DS 38 2012),
Factor de bioacumulación	La relación entre la concentración de una sustancia química en el tejido de un organismo y la concentración en los medios circundantes (agua para los organismos acuáticos, suelo para los organismos terrestres) o en los alimentos que consumen, una vez que se alcanza el equilibrio.
Factor de bioconcentración	La relación entre la concentración de una sustancia química en el organismo y su concentración en el medio circundante una vez que se alcanza el equilibrio. Por ejemplo, para un organismo acuático es la relación entre la concentración en el organismo y la concentración en el agua circundante.
Factores estresantes	Los factores físicos, químicos o biológicos que pueden causar un efecto adverso en un ecosistema acuático medidos por los indicadores de condición.
Fase Líquida No Acuosa	Los líquidos en fase no acuosa, o FLNA (Fase Líquida No Acuosa), son contaminantes líquidos orgánicos que no se disuelven ni se mezclan fácilmente con el agua (hidrófobos), como el aceite, la gasolina, solventes clorados y los productos derivados del petróleo. Los FLNA se clasifican como contaminantes orgánicos persistentes (COP), por tanto, tienden a contaminar el suelo y las aguas subterráneas durante un período de tiempo muy prolongado. No se mezclan fácilmente con el agua y, por lo tanto, fluyen por separado del agua subterránea.
Fase lunar en cuadratura	Se llama cuadratura, en astronomía, a una posición astronómica particular de un planeta o de la Luna, vistos desde la Tierra, que se logra cuando uno de estos cuerpos se halla a 90 grados del Sol.
Fase lunar en sicigia	Las mareas de sicigia ocurren en luna nueva y luna llena, cuando la Tierra, la Luna y el Sol están alineados.
Fuente emisora	Es el establecimiento que descarga residuos líquidos, sólidos o gaseosos al ambiente, como resultado de su proceso, actividad o servicio.
Fuentes Antropogénicas	Estas corresponden a actividades o intervenciones que realizan las personas, siendo la principal causa la combustión de materiales, sea ésta originada por las industrias, los vehículos o en el hogar. Esta clasificación se subdivide principalmente en: fuentes estacionarias, fuentes móviles y fuentes fugitivas
Fuentes Fugitivas	Comprenden emisiones que no son canalizadas por ductos, chimeneas u otros sistemas hacia el exterior, tales como aquellas provenientes de calles sin pavimentar, de la construcción y las demoliciones, entre otras. Ver también Emisión Fugitiva.
Fuentes Móviles	Corresponden a aquellas fuentes que pueden desplazarse, éstas son asociadas a las emisiones de gases en tubos de escape, desgaste de frenos y neumáticos de distintos tipos de transporte motorizado, como automóviles, camiones, buses y motocicletas
Funcionamiento normal	Todos los períodos de funcionamiento de una instalación o actividad, excepto las operaciones de puesta en marcha y parada, y las de mantenimiento del equipo o instalación.
Gravedad API	Gravedad del Instituto Americano del Petróleo. La gravedad API es una medida de qué tan pesado o liviano es un líquido de petróleo en comparación con el agua. Si la gravedad API es superior a 10, es más ligera y flota en el agua; si es menor de 10, es más pesado y se hunde.
Hidrocarburos fijos (HF)	C34-C50: Hidrocarburos Fijos, compuestos con átomos de carbono entre 34 y 50.
Hidrocarburos semivolátiles (HSV)	HSV C10-C16: Hidrocarburos SemiVolátiles, compuestos con átomos de carbono entre 10 y 16. HSV C16-C34: Hidrocarburos SemiVolátiles, compuestos con átomos de carbono entre 16 y 34.
Hidrocarburos totales (HT)	Compuestos químicos derivados originalmente de petróleo crudo.
Hidrocarburos volátiles (HV)	C5-C10: Hidrocarburos Volátiles, compuestos con átomos de carbono entre 5 y 10.

Índice de fenol	El índice de fenol representa un número que expresa la acción germicida de un producto químico comparado con aquella del fenol.
Integridad ecológica	La capacidad del ecosistema acuático para apoyar y mantener procesos ecológicos clave y una comunidad de organismos con una composición de especies, diversidad y organización funcional lo más comparable posible a la de los hábitats naturales dentro de una región.
Invertebrado	Un animal que carece de notocorda o columna vertebral.
Límite de blanco (LB)	LB es la concentración aparente de analito más alta que se espera encontrar cuando se analizan réplicas de una muestra en blanco que no contiene analito (Armbruster & Pry 2008).
Límite de cuantificación (LQ)	El límite de cuantificación (LQ) es la concentración de analito más baja que se puede detectar cuantitativamente con una precisión y exactitud declaradas.
Límite de detección (LD)	El límite de detección (LD) es la concentración de analito más baja que probablemente se distinga de manera confiable del LB y en la cual la detección es factible. En química analítica, el límite de detección o límite inferior de detección, a menudo se confunde erróneamente con la sensibilidad analítica, que es la cantidad más baja de una sustancia que se puede distinguir de la ausencia de esa sustancia (un valor en blanco) con un nivel de confianza establecido (generalmente 99%)
Límites de detección del método (MDL, de sus siglas en inglés)	Describen la concentración más baja de analitos (elementos, sustancias) que se pueden detectar e informar con confianza utilizando el método.
Lodos y lechadas	Cualquier residuo semisólido que se haya generado en plantas de tratamiento de efluentes que se viertan a alcantarillado, o cuerpo de agua dulce o marina. Lodo es una mezcla espesa, suave y húmeda de componentes líquidos y sólidos. La lechada es una mezcla delgada, descuidada y húmeda de componentes líquidos y sólidos.
Macroinvertebrados	Los macroinvertebrados incluyen invertebrados donde los adultos miden $\geq 2$ mm de largo (por ejemplo, decápodos, equinodermos, moluscos, anélidos, corales, anfípodos, cladóceros más grandes [como <i>Daphnia magna</i> , <i>Daphnia carinata</i> y <i>Daphnia pulex</i> ] y especies de insectos donde las larvas son $\geq 2$ mm de largo)
Materiales de referencia certificados (CRM)	Un CRM es un material de referencia emitido y certificado por una organización generalmente aceptada como técnicamente competente.
Materiales de referencia estándar (SRM)	Un SRM es un material de referencia certificado emitido por una Oficina Nacional de Estándares.
MBHdesign	Diseños espaciales para estudios ecológicos y ambientales
Mecanismo de acción	Una descripción detallada de cómo un tóxico ejerce su toxicidad a nivel molecular. Por lo general, esto no se conoce para especies individuales en ecotoxicología y, por lo tanto, los productos químicos generalmente se clasifican por su modo de acción
Microinvertebrados	Especies de invertebrados que en su fase adulta miden $< 2$ mm de largo. Ejemplos de invertebrados que cumplen con este criterio son algunos cladóceros (por ejemplo <i>Ceriodaphnia dubia</i> y <i>Moina australiensis</i> ), copépodos harpaticóideos, rotíferos, ácaros, briozoos e hidra.
Modo de acción	Una descripción de cómo un tóxico ejerce su toxicidad a nivel subcelular. Este término se utiliza con mucha más frecuencia en ecotoxicología que mecanismo de acción, más detallado, que se utiliza en farmacología.
Muestreo aleatorio estratificado	El muestreo aleatorio estratificado divide la población en una colección de estratos que cubren de manera exhaustiva la región de interés. Los estratos pueden ser de tamaño variable y pueden ser espaciales (por ejemplo, diferentes subregiones o subpoblaciones de interés), temporales (por ejemplo, estaciones dentro de un año) o reflejar aspectos operativos, de gestión o administrativos de la región (por ejemplo, límites del gobierno local).

Muestreo aleatorio simple (SRS)	La forma más simple de muestreo probabilístico, donde se selecciona una serie de ubicaciones o muestras aleatorias de una población de ubicaciones posibles sin restricciones.
Muestreo de dos etapas	Apropiado cuando la población objetivo se puede dividir en una colección de "unidades primarias" que se muestrean en dos etapas. Se toma una muestra aleatoria de unidades primarias en la primera etapa, y las unidades de muestreo se seleccionan aleatoria o sistemáticamente de las unidades primarias seleccionadas en la segunda etapa.
Muestreo sistemático (SyS)	Las muestras se recolectan a intervalos regulares en el espacio o el tiempo. El elemento aleatorio se puede introducir mediante la selección de un lugar de partida aleatorio (en el espacio o en el tiempo).
National Environmental Methods Index (NEMI)	Es una base de datos de búsqueda que permite a científicos y administradores encontrar y comparar métodos analíticos y de campo para todas las fases del monitoreo ambiental (químicos, microbiológicos, población/comunidad, entre otros). Esta base de datos también contiene información sobre costos referenciales de análisis de laboratorio (químicos, microbiológicos, toxicológicos, entre otros).
Nitrógeno total Kjeldahl	Suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminos, etc.) y el ion amonio NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , presentes en una muestra de agua. El Nitrógeno total Kjeldahl mide el nitrógeno capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos y, posteriormente y en su caso, desnitrificado a nitrógeno gaseoso.
Nivel de protección	El nivel aceptable de cambio de una condición de referencia definida
Nivel de protección	El nivel aceptable de cambio de una condición de referencia definida
Nivel trófico	Una etapa teórica en la "cadena alimentaria" que transfiere materia y energía a través de una comunidad; Los productores primarios, herbívoros, carnívoros y descomponedores ocupan cada uno un nivel trófico diferente.
Parámetro de medida	Cualquier parámetro o variable que se mida
Parámetros de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero	Referido a aquellos parámetros de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero, definidos a partir del análisis de la posible presencia de contaminantes en la bahía de Quintero. En su definición se consideraron aquellas a) sustancias contaminantes emitidas por el complejo industrial de la Bahía de Quintero en función de los insumos utilizados, las tecnologías y las actividades y/o procesos industriales asociados; b) otras sustancias potencialmente emitidas a partir de parámetros monitoreados regularmente; c) elementos y compuestos contaminantes identificados en complejos industriales similares a nivel internacional; d) parámetros regulados o prohibidos por convenios internacionales de los cuales Chile es estado parte; y e) parámetros definidos por consenso experto.
Parámetro monitoreado	Elemento químico, compuesto contaminante o variable ambiental cuantificada analíticamente en terreno o en laboratorio.
Permisos ambientales sectoriales (PAS)	Son aquellos permisos que entregan los distintos órganos sectoriales del estado (P. ej.: salud, minería, agricultura, pesca y acuicultura, etc.) que tienen un objeto de protección ambiental.
Peso de la evidencia (WoE)	Describe el proceso para recopilar, analizar y evaluar una combinación de diferentes líneas de evidencia cualitativas, semicuantitativas o cuantitativas para realizar una evaluación general de la calidad del agua / sedimento y su gestión asociada. La aplicación de un proceso de ponderación de la evidencia incorpora juicios sobre la calidad, cantidad, relevancia y congruencia de los datos contenidos en las diferentes líneas de evidencia.
Pesticida	Sustancia o mezcla de sustancias utilizadas para matar especies no deseadas de plantas o animales.
pH	La intensidad del carácter ácido o básico de una solución, definida como el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno de una solución.
Programa de Observación del	El Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L.) monitorea las fluctuaciones anuales de los niveles de concentración de los principales componentes de desechos domésticos, industriales,



Ambiente Litoral (P.O.A.L.)	de hidrocarburos de petróleo y COP's en las bahías, lagos y ríos sometidos a la jurisdicción de la DIRECTEMAR. Fuente: <a href="https://www.directemar.cl/">https://www.directemar.cl/</a>
Programas de Vigilancia Ambiental (PVA)	Los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) son establecidos a través de las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA). Los informes del PVA son evaluados por la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante (Directemar). Alternativamente, una PVA podrá ser modificado posteriormente a una RCA, si es que el interesado o la autoridad lo requieran.
Prueba de toxicidad	Medios por los que se determina la toxicidad de una sustancia química u otro material de ensayo. Se utiliza una prueba de toxicidad para medir el grado de respuesta producido por la exposición a un nivel específico de estímulo (o concentración de sustancia química) durante un período de prueba específico.
Pruebas de recuperación de estándar (spike-and-recovery)	En las pruebas de recuperación se agrega una cantidad conocida (un "spike") de analito a una muestra, se analiza la muestra enriquecida y determina si se recupera la cantidad agregada.
Reacciones ácido-base	Una reacción ácido-base o reacción de neutralización es una reacción química entre un ácido (p. Ej. HCl) y una base (p. Ej. NaOH) produciendo una sal (P. ej. NaCl) y agua (H <sub>2</sub> O).
Reacciones de oxidación-reducción (redox)	Las reacciones de oxido-reducción son un tipo de reacción química en la que se modifican los estados de oxidación de los átomos. La oxidación es la pérdida de electrones o un aumento en el estado de oxidación de un átomo, un ion o de ciertos átomos en una molécula. La reducción es la ganancia de electrones o una disminución en el estado de oxidación de un átomo, un ion o ciertos átomos en una molécula.
Reacciones de precipitación / disolución mineral	Las reacciones de precipitación consisten en la formación de un compuesto o producto no soluble, llamado precipitado, producto de la mezcla de dos disoluciones o reactivos diferentes. Las disoluciones son mezclas homogéneas de dos o más sustancias, usualmente un soluto (iones o moléculas disueltos) y un solvente.
Residuo o desecho	Residuo líquido, sólido o gaseoso resultante de procesos productivos o actividades humanas.
Resolución de Programa de Monitoreo	El programa de monitoreo (RPM) se fija mediante Resolución Exenta y contiene las condiciones específicas del monitoreo de las descargas de residuos líquidos (o autocontrol), esto es: cantidad de puntos de descarga, parámetros a controlar, frecuencia de control, tipo de muestreo, forma de envío de la información y plazo, entre otras condiciones.
Resolución de Programa de Monitoreo (RPM)	Documento administrativo formal mediante el cual se fijan las condiciones específicas para el monitoreo de las descargas de residuos industriales líquidos de una fuente emisora. El programa de monitoreo (RPM) se fija mediante Resolución Exenta y contiene las condiciones específicas del monitoreo de las descargas de residuos líquidos (o autocontrol), esto es: cantidad de puntos de descarga, parámetros a controlar, frecuencia de control, tipo de muestreo, forma de envío de la información y plazo, entre otras condiciones.
Riesgo	Normalmente se define por la interacción conjunta de la probabilidad y la consecuencia de que un evento tenga un impacto negativo o adverso. Las estimaciones de riesgo pueden expresarse en términos absolutos o relativos. El riesgo absoluto es el exceso de riesgo debido a la exposición. El riesgo relativo es la relación entre el riesgo en la población expuesta y el riesgo en la población no expuesta.
Salinidad	La presencia de sales solubles en agua o suelos.
Sedimento	Material particulado mineral y orgánico no consolidado que se ha asentado en el fondo de los ambientes acuáticos.
Sólidos disueltos	Fracción de sólidos de un agua que son susceptibles de ser separados de ésta mediante el complemento de operaciones físicas con procesos químicos como coagulación, oxidación, precipitación u otros. Fuente: NCh 410.Of96.
Sólidos sedimentables	Fracción de sólidos de un agua, originalmente suspendidos, que debido a su peso específico pueden ser separados de esta por acción de la fuerza de gravedad. Fuente: NCh 410.Of96.
Suma BTEX	Referido a la suma de las concentraciones de cada uno de los constituyentes del BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno), que forman parte de los compuestos orgánicos volátiles (COV) que se encuentran en los derivados del petróleo (P. ej. gasolina).
Suma TMB	Suma de Tetrametilbencidina

Suma TPH	Corresponde a la suma de hidrocarburos totales de petróleo (abreviados TPH en inglés) comúnmente evaluados como la sumatoria de compuestos orgánicos de diésel (DRO, del inglés Diesel Range Organics), compuestos orgánicos en las gasolinas (GRO, del inglés Gasoline Range Organics, rango de carbono C8-C10), y del rango de orgánicos extendidos (ORO, del inglés Oil Range Organics, hidrocarburos pesados).
Sustancias perfluoroalquiladas (PFAS)	Las sustancias perfluoroalquiladas (PFAS) son cadenas de carbonos perfluoradas químicamente sintetizadas. Destacan por su masiva producción y uso el ácido perfluorooctanoico (PFOA, por sus siglas en inglés) y el sulfonato de perfluorooctano (PFOS, por sus siglas en inglés).
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	Ensayo que permite conocer la cantidad de jabones y detergentes presentes en el agua. El azul de metileno (un colorante catiónico) reacciona con aniones orgánicos en este caso son tensoactivos (pueden considerarse detergentes) para formar sales hidrofóbicas de color azul intenso, las cuales se extraen para su posterior cuantificación.
Teselación aleatoria estratificada (RTS)	Ubican aleatoriamente una cuadrícula regular sobre el dominio de la población con el espaciado elegido para proporcionar la resolución espacial requerida.
Toxicante o Tóxico	Sustancia química capaz de producir una respuesta (efecto) adversa en un sistema biológico, dañando gravemente la estructura o función o produciendo la muerte. Los ejemplos incluyen pesticidas y metales.
Toxicidad	El potencial o la capacidad inherente de un material para causar efectos adversos en un organismo vivo.
Toxicidad aguda	Un efecto letal o subletal adverso que se produce después de la exposición a una sustancia química durante un período breve en relación con la vida útil del organismo.
Toxicidad crónica	Un efecto adverso letal o subletal que se produce después de la exposición a una sustancia química durante un período de tiempo que es una parte sustancial de la vida útil del organismo o un efecto adverso en una etapa temprana sensible de la vida.
Tóxico de referencia	Producto químico de referencia (tóxico) que se utiliza en una prueba de toxicidad para evaluar la sensibilidad de un organismo de prueba y demostrar la repetibilidad de una prueba y la capacidad del laboratorio para realizar la prueba de manera consistente
Valor de referencia (GV)	Una cantidad medible (por ejemplo, concentración) o condición de un indicador para un valor comunitario específico por debajo del cual (o por encima del cual, en el caso de factores estresantes como el pH, el oxígeno disuelto y muchas respuestas de biodiversidad) se considera que hay un riesgo bajo de efectos inaceptables que se produzcan en ese valor comunitario. Hay varios tipos de VG: VG por defecto (VGD), que son VG a nivel nacional, VG regionales (por ejemplo, VG de la Gran Barrera de Coral) o VG específicas del sitio.
Valores de Directriz específicos del sitio (Site-specific GVs)	Un valor de referencia que es relevante para la ubicación o las condiciones específicas que son el foco de una evaluación o problema determinado.
Zonas de influencia sinérgica	Estas son áreas en las que la interacción de compuestos (particulados o disueltos) contenidos al menos en dos (o más) fuentes puntuales de emisión entran en contacto e interactúan entre sí, creando el potencial para la transformación de los compuestos originales en nuevas formas o especies debido a interacciones químicas o fisicoquímicas, cambiando sus propiedades en particular su biodisponibilidad.

## 12 Figuras

Figura 1 Marco de evaluación ambiental basado en múltiples líneas de evidencia. Modificado de Hook et al., 2014. ...	19
Figura 2 Aspectos considerados para el diseño de la Red de Monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero. ....	20
Figura 3 Diseño de muestreo con inclusión de los 10 sitios heredados mas muestreados (etiquetados y numerados en azul), y 20 estaciones aleatorias con preferencia de ubicaciones más cercanas a las fuentes puntuales (puntos rojos). Clave: azul = estaciones heredadas (20); rojo = estaciones aleatorias; naranja = fuentes puntuales; gris = AMERBs. Numero de estaciones total (heredadas y aleatorias): 30. ....	22
Figura 4 Diseño de muestreo aleatorio, con probabilidades ponderadas por la distancia a los emisarios (preferencia de ubicación de estaciones más cercanas a los emisarios). Número de estaciones aleatorias consideradas: 30. ....	23
Figura 5 Carta Gantt del proyecto “Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero”. ....	28
Figura 6 Elementos considerados en la priorización de grupos de contaminantes de la Bahía de Quintero (en formato tabla y utilizando el diagrama de Venn). ....	37
Figura 7 Diagrama de flujo para la priorización de contaminantes a monitorear en la Bahía de Quintero basada a múltiples líneas de evidencia. ....	40
Figura 8 Representación de valores atípicos (outliers) en diagrama de caja. ....	46
Figura 9 Ejemplo de función de distribución empírica o frecuencia acumulada de mediciones de manganeso asociadas a descargas de una mina de Uranio en el arroyo Magela, afluente del East Alligator River en el norte de Australia (Van Dam et al. 2014). Los símbolos cuadrados representan mediciones de manganeso cuando el caudal del arroyo es mayor a $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , y con triángulos cuando el caudal del arroyo es menor a $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . ....	47
Figura 10 Diagrama de priorización de sitios de referencia en base a criterios de homología, influencia antropogénica actual y pasada, entre otros. ....	53
Figura 11 Marco de evaluación ambiental basado en múltiples líneas de evidencia. Modificado de Hook et al., 2014. ....	54
Figura 12 Fases del monitoreo ambiental en la Bahía de Quintero: 1. Establecimiento de una línea de base (ruta roja); 2. Protección de la salud humana (ruta morada); 3. Evaluación de impacto ambiental (ruta azul). ....	55
Figura 13 Ubicación de estación de Quintero para monitoreo de Material Particulado. Fuente: <a href="https://airecqp.mma.gob.cl">https://airecqp.mma.gob.cl</a> . ....	71
Figura 14 Ubicación de las instalaciones de cada unidad fiscalizable, incluyendo ubicación de sitios de descarga. ....	105
Figura 15 Principales actividades humanas llevadas a cabo en y alrededor de la Bahía de Quintero. ....	129
Figura 16 Representación espacial de la multiplicidad de actividades humanas llevadas a cabo en la Bahía de Quintero. Fuente de datos: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA). ....	130
Figura 17 Relación entre insumos de producción, por unidad fiscalizable y parámetros de monitoreo ambiental de la Bahía de Quintero. Fuente: DIRINMAR (2019). Los colores utilizados en las líneas indican si la UF cuenta o no con un sistema de tratamiento de agua (azul= cuenta con un sistema de tratamiento, rojo=no). Fuente: Elaborado con datos propios sistematizados en el archivo DB_QNTR_INSUMOS_UFs_PARAMETROS.xlsx en ruta \02_CODIGOS_Y_BASES_DE_DATOS\01_BASES_DE_DATOS. ....	135
Figura 18 Esquematación de los convenios internacionales que regulan, controlan y/o eliminan sustancias químicas o residuos peligrosos, de protección de capa de Ozono, entre otros. Fuente: CSIRO Chile. ....	153
Figura 19 Esquematación de matrices ambientales (suelo, aire, agua, sedimento, biota) y mecanismos de migración de contaminantes (flechas). Fuente: CSIRO Chile. ....	168

Figura 20 Modelo de interacciones de red la red trófica con flujos de materia a la Bahía de Quintero y diferentes hábitats (columna de agua, intermareal y submareal). Las relaciones tróficas aparecen en líneas tenues. Fuente: CEA (2020).	168
Figura 21 Estimaciones de flujos masicos en tres escenarios temporales: Fuente: CEA (2013).....	171
Figura 22 Usos de suelo y tipos vegetaciones circundantes a la Bahía de Quintero. Fuente: Datos CONAF desde IDE Chile. ....	175
Figura 23 Contaminantes primarios y secundarios asociados a emisiones atmosféricas y quema de combustibles fósiles. ....	177
Figura 24 Susceptibilidad de contaminación de estuarios y bahías y factores de incidencia. Modificado de Bricker et al. (2003) y Brylinsky (2006). ....	182
Figura 25 Modelo conceptual de fuentes, emisiones, y su clasificación (puntuales y difusas, directas e indirectas, aéreas, fluviales, antropogénicas, acústicas, subterráneas) a la Bahía de Quintero. Fuente: elaboración propia. ....	185
Figura 26 Número de observaciones históricas de contaminantes medidos en muestras de agua de mar en la Bahía de Quintero. Fuente: datos SEA (DIA-EIA), PVA, y POAL compilada por CEA (2020).....	189
Figura 27 Número de observaciones históricas de contaminantes medidos en muestras de sedimento de la Bahía de Quintero. Fuente: datos SEA (DIA-EIA), PVA, y POAL compilada por CEA (2020).....	191
Figura 28 Número de observaciones históricas de contaminantes medidos en biota destinada a consumo humano proveniente de la Bahía de Quintero. Fuente: datos SEA (DIA-EIA), PVA, y POAL compilada por CEA (2020).....	191
Figura 29 Número acumulado de mediciones de contaminantes y parámetros fisicoquímicos en agua de mar, sedimentos y biota en la Bahía de Quintero entre 1993 y 2019 agrupadas por programa de monitoreo (DIA, EIA, POAL, PVA, otros). ....	192
Figura 30 Número acumulado de parámetros (contaminantes y variables fisicoquímicas) monitoreadas en agua de mar, sedimentos y biota en la Bahía de Quintero entre 1993 y 2019 y por programa de monitoreo ambiental. ....	193
Figura 31 Número de observaciones de contaminantes y variables fisicoquímicas monitoreadas en agua de mar, sedimentos y biota en la Bahía de Quintero entre 1993 y 2019, por programa de monitoreo ambiental y estación del año. ....	194
Figura 32 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de concentración de Zinc disuelto en agua de mar de la Bahía de Quintero. La FDA muestra distribución relativamente simétrica o normal de las observaciones. ....	195
Figura 33 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de selenio en sedimentos marinos de la Bahía de Quintero. La FDA muestra distribución de colas relativamente pesadas. ....	195
Figura 34 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de saturación de oxígeno en muestras de agua de mar de la Bahía de Quintero. La FDA muestra distribución de colas relativamente livianas. ....	196
Figura 35 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de concentraciones de amonio en muestras de agua de mar de la Bahía de Quintero. La FDA muestra un significativo sesgo a la izquierda o negativo. ....	197
Figura 36 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de concentraciones de cloruros en muestras de agua de mar de la Bahía de Quintero. La FDA muestra un significativo sesgo a la izquierda o negativo. ....	197
Figura 37 Función de distribución empírica (acumulada) o FDA para mediciones históricas de concentraciones de amonio en muestras de agua de mar de la Bahía de Quintero. La FDA muestra un significativo sesgo a la izquierda o negativo. ....	198
Figura 38 Frecuencia de excedencia de directrices internacionales para contaminantes monitoreados en agua de mar en la Bahía de Quintero. Las normas y directrices que no presentan excedencias no se incluyen en los gráficos. Para significado de abreviaciones de directrices consultar la Tabla 4 de este informe. ....	210

Figura 39 Frecuencia de excedencia de directrices internacionales para contaminantes monitoreados en sedimentos de la Bahía de Quintero. Las normas y directrices que no presentan excedencias no se incluyen en los gráficos. Para significado de abreviaciones de directrices consultar la Tabla 4 de este informe. ....	211
Figura 40 Frecuencia de excedencia del D.S. 90 (2001) en RILes evacuados por ENAP Refinerías S.A. a la Bahía de Quintero. Las normas y directrices que no presentan excedencias no se incluyen en los gráficos. Se han excluido de este análisis todos aquellos parámetros (sustancias o variables fisicoquímicas) con menos de 50 observaciones en el periodo histórico analizado. Para significado de abreviaciones de directrices consultar la Tabla 4 de este informe. ....	212
Figura 41 Frecuencia de excedencia del D.S. 90 (2001) en RILes evacuados por la CODELCO Ventanas a la Bahía de Quintero. Las normas y directrices que no presentan excedencias no se incluyen en los gráficos. Se han excluido de este análisis todos aquellos parámetros (sustancias o variables fisicoquímicas) con menos de 50 observaciones en el periodo histórico analizado. Para significado de abreviaciones de directrices consultar la Tabla 4 de este informe. ....	212
Figura 42 Frecuencia de excedencia del D.S. 90 (2001) en RILes evacuados por AES Gener S.A. a la Bahía de Quintero. Las normas y directrices que no presentan excedencias no se incluyen en los gráficos. Se han excluido de este análisis todos aquellos parámetros (sustancias o variables fisicoquímicas) con menos de 50 observaciones en el periodo histórico analizado. Para significado de abreviaciones de directrices consultar la Tabla 4 de este informe. ....	212
Figura 43 Los aspectos a considerar para la selección del método analítico. ....	237
Figura 44 Propuesta de áreas de vigilancia y puntos de monitoreo en Bahía Quintero por CEA (2020). ....	238
Figura 45 Patrón de circulación, con ondas predominantes, en fase lunar en sicigia (A) y cuadratura (B). Fuente: Con Potencial Consultores (2020). ....	239
Figura 46 Patrón de circulación, con ondas dominantes, en fase lunar en sicigia (A) y cuadratura (B). Fuente: Con Potencial Consultores (2020). ....	240
Figura 47 Origen y trayectoria habitual de los vertidos a Bahía Quintero. Fuente: Con Potencial Consultores (2020). ....	241
Figura 48 Red de monitoreo óptima propuesta de la Bahía de Quintero según Con Potencial Consultores (2020). ....	242
Figura 49 Red de monitoreo propuesta reducida de la Bahía de Quintero según Con Potencial Consultores (2020). ....	242
Figura 50 Propuesta de áreas de vigilancia de la Bahía de Quintero según Con Potencial Consultores (2020). ....	243
Figura 51 Distribución superficial de metales y metaloides en sedimentos de la Bahía de Quintero. Fuente: Universidad de Concepción (2021). ....	244
Figura 52 Distribución superficial de pH, Redox, Materia Orgánica Total (MOT) y Tamaño Medio de Grano (TMG) en sedimentos de la Bahía de Quintero. Fuente: Universidad de Concepción (2021). ....	245
Figura 53 Diagrama de flujo que describe los pasos de trabajo asociados a la implementación de la Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero, incluyendo la línea base de contaminantes y el programa regular de monitoreo. ....	248
Figura 54 Descripción general del área de estudio que muestra la ubicación de fuentes puntuales. Clave: Puntos naranjas = Descargas industriales, Puntos verdes = Aducciones, Puntos morados = Ubicación de la desembocadura del estuario del río Campiche, Polígonos naranjos y borde gris = Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERBs) ....	254
Figura 55 El dominio de muestreo (área sombreada; sombreada por profundidad (batimetría). Clave: Puntos naranjas = Descargas industriales, Puntos verdes = Aducciones, Puntos morados = Ubicación de la desembocadura del estuario del río Campiche ....	255
Figura 56 Búferes espaciales para definir probabilidades de inclusión. La clave de color para las fuentes puntuales en el gráfico a continuación es la misma que la anterior (naranja = emisarios, verde = aducción, púrpura = estuario). Los colores del sombreado que rodean los puntos son arbitrarios, mostrando los búferes de 100 m, 200 m, 500 m y 2 km. ....	256
Figura 57 Superficie de probabilidad de inclusión, ponderada por la distancia desde las fuentes puntuales. ....	257
Figura 58 Diseño de muestreo aleatorio con ponderaciones iguales en todo el dominio de muestreo. Número de estaciones aleatorias consideradas: 30. ....	258

Figura 59 Diseño de muestreo aleatorio, con probabilidades ponderadas por la distancia a los emisarios (preferencia de ubicación de estaciones más cercanas a los emisarios). Número de estaciones aleatorias consideradas: 30. ....	259
Figura 60 Ubicación de sitios heredados. Leyenda: azul = 10 estaciones mas muestreadas, magenta = 30 estaciones más muestreadas; gris oscuro = 50 estaciones más muestreadas. Los puntos en gris claro son el resto de las estaciones de muestreo. ....	261
Figura 61 Superficie de probabilidad de inclusión modificada, que representa los 10 sitios heredados más muestreados en la Bahía de Quintero (puntos azules).....	262
Figura 62 Diseño de muestreo con inclusión de los 10 sitios heredados mas muestreados (etiquetados y numerados en azul), y 20 estaciones aleatorias con preferencia de ubicaciones más cercanas a las fuentes puntuales (puntos rojos). Clave: azul = estaciones heredadas (10); rojo = estaciones aleatorias (20); naranja = fuentes puntuales (etiquetadas); poligonos de color gris = AMERBs. Numero de estaciones total (heredadas y aleatorias): 30. ....	263
Figura 63 Distribución espacial de registros batimétricos disponibles de FIP, PUCV y CENDHOC. ....	268
Figura 64 Panel superior compuesto de geología multihaz de margen continental frente a Quintero, Abajo, el mismo, ampliado, con etiquetas. ....	269
Figura 65 Posibles sitios de referencia a lo largo de la costa.....	270
Figura 66 Tráfico marítimo por tipo de embarcación en la zona central de Chile: Fuente: marinetraffic.com .....	272
Figura 67 Posibles sitios de referencia a lo largo de la costa.....	272
Figura 68 Invitación electrónica del seminario de difusión de resultados del proyecto. ....	288
Figura 69 Aspectos considerados para el diseño de la Red de Monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero.....	300

# 13 Tablas

Tabla 1 Línea de tiempo del desarrollo, regulación y control del Complejo Industrial Ventanas. Fuente: Bravo (2005), PGS Chile (2015).	24
Tabla 2. Resumen de datos de calidad de agua de mar, sedimentos, biodiversidad, metales en biota y RILes a la Bahía de Quintero utilizados en este estudio. Fuente: CEA (2020), MMA.	41
Tabla 3 Factores de corrección de unidades de concentración.	41
Tabla 4. Normas y directrices nacionales e internacionales de contaminantes en el medio marino y aire analizadas en el presente estudio.	42
Tabla 5. Directrices internacionales y regulación de concentración de metales pesados en fracciones disueltas o totales.	45
Tabla 6. Valores medidos de metales prioritarios en organismos recolectados en Bahía de Quintero, comparados con guías de salud humana. Los valores en negrita y color rojo superan los estándares de seguridad de los productos del mar.	62
Tabla 7 Comparación de volumen de emisiones difusas y puntuales en las comunas de Quintero y Puchuncavi. Fuente: RETC: <a href="http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/emisiones-al-aire-de-fuente-puntuales">http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/emisiones-al-aire-de-fuente-puntuales</a> .	65
Tabla 8 Ubicación propuesta de estaciones o puntos de monitoreo en Humedal Estero Campiche. Ubicación propuesta a partir de BIOMA S.A. Consultores Ambientales (2020).	68
Tabla 9 Metales pesados en material particulado sedimentable considerados en versiones resumida y extendida de la Red de monitoreo de la Bahía de Quintero.	69
Tabla 10 Contaminantes atmosféricos propuestos para versión acotada de la Red de Monitoreo de Contaminantes atmosféricos con posible impacto en el medio marino de la Bahía de Quintero.	69
Tabla 11 ubicación de las estaciones de monitoreo de contaminantes de origen atmosférico con potencial impacto en las aguas de la Bahía de Quintero.	71
Tabla 12 Número de estaciones y frecuencia de monitoreo de contaminantes de origen atmosférico en la Bahía de Quintero.	72
Tabla 13 Unidades fiscalizables con emisiones de residuos líquidos industriales a la Bahía de Quintero. Fuente: Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC).	73
Tabla 14 Parametros normados y monitoreados en RILes emitidos a la Bahía de Quintero de acuerdo al D.S. 90 (2001), la norma primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo (D.S. 144 2009), las Resoluciones de Programas de Monitoreo (datos SNIFA, 2017-2020) de unidades fiscalizables según SNIFA, los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA), el Programa de Observación del Ambiente Litoral (POAL) y el monitoreo de autocontrol de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS, año 2019) y de unidades fiscalizables con emisiones a la bahía de Quintero.	74
Tabla 15 Parametros monitoreados en RILes reportados en SNIFA e informes de autocontrol de PTAS 2019 y datos de monitoreo ambiental asociado a los Programas de Vigilancia Ambiental (PVA) de cada unidad fiscalizable.	77
Tabla 16 Parametros adicionales monitoreados en RILes vertidos a la Bahía de Quintero establecidos en las Resoluciones de Programas de Monitoreo (RPM) en relación a aquellos establecidos en las normas de emisión (D.S. 90 2001).	82
Tabla 17 Parametros adicionales a aquellos normados y monitoreados en emisarios (RILes) de unidades fiscalizables con emisiones a la Bahía de Quintero que han sido monitoreados en matrices ambientales (agua de mar, sedimentos y biota marina) a través del P.O.A.L. (1993-2017) y P.V.A. (1994-2019) en la Bahía de Quintero.	82
Tabla 18. Resumen de Indicadores de presión ambiental y variables estructurales asociadas a cuerpos de agua receptores de contaminantes. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de HOLON SPA. (2019), CEA (2020), Bricker et al. (2003), Simpson & Batley (2016) y Brylinsky (2006).	85

Tabla 19 Emisiones de contaminantes atmosféricos desde fuentes puntuales registradas en el RETC asociadas a unidades fiscalizables presentes en la Bahía de Quintero. Fuente: datos reportados al RETC por el Ministerio de Salud a través del Sistema de Declaración de Emisiones de Fuentes Fijas o Formulario 138 (F138). .....	86
Tabla 20 Requerimientos específicos de monitoreo de emisiones atmosféricas por Resolución Exenta a unidades fiscalizables colindantes a la Bahía de Quintero. ....	86
Tabla 21 Parámetros monitoreos como parte del RPM reportados de manera regular o por monitoreos externos como el realizado por SEA (2013). ....	87
Tabla 22 Metodos analíticos definidos por la normativa nacional para la determinación de concentraciones de contaminantes atmosféricos y acuáticos, además de los metodos para la estimación de variables ambientales. Fuente: D.S. 90 (2001), D.S. 112 (2002), D.S. 104 (2019), D.S. 114 (2003), D.S. 115 (2002), D.S. 136 (2001) y D.S. 144 (2009). ..	88
Tabla 23 Metodologías analíticas utilizadas por el Instituto de Salud Pública de Chile para el análisis de contaminantes en muestras de agua de mar junto con sus respectivos límites de detección y cuantificación. Fuente: Consulta SIAC Código: AO005W0011947. ....	93
Tabla 24 Metodologías analíticas utilizadas por el Instituto de Salud Pública de Chile para el análisis de contaminantes en muestras de sedimentos junto con sus respectivos límites de detección y cuantificación. Fuente: Consulta SIAC Código: AO005W0011947. ....	94
Tabla 25 Metodologías analíticas utilizadas por el Instituto de Salud Pública de Chile para el análisis de contaminantes en muestras de biota junto con sus respectivos límites de detección y cuantificación. Fuente: Consulta SIAC Código: AO005W0011947. ....	94
Tabla 26 Metodologías analíticas utilizadas por el Instituto de Salud Pública de Chile para el análisis de contaminantes en muestras de productos hidrobiológicos (pescados y mariscos) junto con sus respectivos límites de detección y cuantificación. Fuente: Consulta SIAC Código: AO005W0011947. ....	95
Tabla 27 Metodologías analíticas utilizadas por el Instituto de Salud Pública de Chile para el análisis de contaminantes en muestras de algas marinas junto con sus respectivos límites de detección y cuantificación. Fuente: Consulta SIAC Código: AO005W0011947. ....	96
Tabla 28 Metodologías analíticas para el análisis de contaminantes en muestras de agua de mar junto con sus respectivos límites de detección. Fuente: POAL 2018-2023. ....	96
Tabla 29 Metodologías analíticas para el análisis de contaminantes en muestras de sedimentos marinos junto con sus respectivos límites de detección. Fuente: POAL 2018-2023. ....	97
Tabla 30 Metodologías analíticas para el análisis de contaminantes en muestras de biota junto con sus respectivos límites de detección. Fuente: POAL 2005-2006, 2007-2011, 2018-2023. ....	98
Tabla 31 Métodos analíticos utilizados para el monitoreo de parámetros en residuos líquidos industriales declarados en los informes de autocontrol ingresados al Sistema de Seguimiento Ambiental de la SMA ( <a href="https://ssa.sma.gob.cl/">https://ssa.sma.gob.cl/</a> ). Fuente: SNIFA. ....	99
Tabla 32 Métodos analíticos utilizados para el monitoreo de emisiones puntuales al aire declaradas en los informes de autocontrol ingresados al Sistema de Seguimiento Ambiental de la SMA ( <a href="https://ssa.sma.gob.cl/">https://ssa.sma.gob.cl/</a> ). Fuente: SNIFA. ....	100
Tabla 33 Límites totales de detección del método recuperable para agua de reactivo de acuerdo con el método propuesto en prNCh3633. ....	101
Tabla 34 Métodos analíticos para la determinación de contaminantes atmosféricos. Fuente: reportes individuales de monitoreo ambiental ingresados a SNIFA. ....	102
Tabla 35 Monitoreo de Material Particulado Sedimentable (MPS) por parte de CEA (2013) y métodos analíticos utilizados. ....	103
Tabla 36 Caracterización de residuos líquidos generados por unidades fiscalizables colindantes a la Bahía de Quintero. Fuente: Declaraciones y Estudios de Impacto Ambiental de Unidades Fiscalizables. Para más detalles consultar Anexo A. ....	105



Tabla 37 Caracterización de residuos sólidos asociados a unidades fiscalizables colindantes a la Bahía de Quintero. Fuente: Declaracione y Estudios de Impacto Ambiental de Unidades Fiscalizables. Para mas detalles consultar Anexo A. ....	106
Tabla 38 Caracterización de emisiones atmosfericas asociadas a unidades fiscalizables señaladas colindantes a la Bahía de Quintero. Fuente: Declaracione y Estudios de Impacto Ambiental de Unidades Fiscalizables. Para mas detalles consultar Anexo A. ....	108
Tabla 39 Análisis crítico de la pertinencia de los parámetros actualmente monitoreados en RILes de unidades fiscalizables evacuados a la Bahía de Quintero. ....	110
Tabla 40 Justificación de parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) adicionales de monitoreo potencialmente asociados a descargas de RILes de la Bahía de Quintero. ....	115
Tabla 41 Actividades industriales existentes con potencial impacto en el medio marino. Fuente: Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA). ....	130
Tabla 42 Proyectos industriales, no implementados según el conocimiento de los consultores, con potencial impacto en el medio marino. Fuente: Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA). ....	132
Tabla 43 Fuentes de descargas comerciales, industriales, institucionales y residenciales al sistema de alcantarillado de la ciudad de Quintero. Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). ....	134
Tabla 44 Descripción de principales materias primas o insumos de producción que circulan por la Bahía de Quintero, incluyendo clasificación de peligrosidad en caso de derrame, vertimiento o fuga al medio ambiente. Fuente: DIRINMAR (2019), declaraciones y/o estudios de impacto ambiental, además de memorias anuales de empresas. ....	136
Tabla 45 Clasificación de los principales insumos de producción circulantes en la Bahía de Quintero. Fuente: Convenio sobre sustancias peligrosas y nocivas CPN/HNS, CAS Número de registro, asignación e identificación de sustancia, El Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH), Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA), Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), Administración Federal de Seguridad de Autotransportes (FMCSA). ....	136
Tabla 46 Clasificación de Sustancias Peligrosas y Nocivas (HNS) para las principales materias primas y/o insumos de producción que son movilizados en la Bahía de Quintero. n.d. = información no disponible. ....	142
Tabla 47 Parametros de monitoreo clave sugeridos por HOLON SPA. (2019) para agua de mar, sedimentos y biota en la Bahía de Quintero. ....	144
Tabla 48 Lista de normas nacionales e internacionales analizadas por CEA 2020. ....	145
Tabla 49. Propuesta de variables a medir en Bahía de Quintero. Fuente: CEA (2020). ....	146
Tabla 50 Analitos medidos en estudio de la química del sedimento en el Seno del Sur de California en el último estudio quinquenal "Bight '18" <sup>1</sup> . Fuente: Southern California Bight 2018 Regional Monitoring Program: Volume II. Sediment Chemistry. Bowen Du, Charles S. Wong, Karen McLaughlin, and Kenneth Schiff. July 2020 SCCWRP Technical Report 1130. ....	148
Tabla 51 Contaminantes analizados en Cockburn Sound, Australia Occidental 2008 (126 analitos). Fuente: PB (2009) Study of the Contaminants in the Waters of Cockburn Sound 2008. Prepared for the Cockburn Sound Management Council by Parsons Brinckerhoff Australia, Perth, Western Australia, January 2009. ....	149
Tabla 52 Listado de estándares primarios, secundarios y de emisiones al agua y el aire vigentes en Chile. ....	150
Tabla 53 Convenios internacionales y regionales adoptadas por Chile en relación con contaminación marina. Fuente: Adaptado de DIRECTEMAR (2014). ....	151
Tabla 54. Listado de sustancias contaminantes (elementos y compuestos) de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero. ....	156
Tabla 55. Listado de variables fisicoquímicas e indicadores biológicos de interés de monitoreo en la Bahía de Quintero. ....	161
Tabla 56 Brechas de monitoreo y/o regulación en la matriz agua de mar respecto a listado de parámetros de posible preocupación ambiental de la Bahía de Quintero. ....	162


Tabla 57 Brechas de monitoreo y/o regulación en la matriz sedimentos marinos respecto a listado de parámetros de posible preocupación ambiental de la Bahía de Quintero. ....	164
Tabla 58 Brechas de monitoreo y/o regulación en biota marina respecto a listado de parámetros de posible preocupación ambiental de la Bahía de Quintero. ....	165
Tabla 59 Registro histórico de actividades de dragado de la Bahía de Quintero. ....	169
Tabla 60 Estimaciones de emisiones de residuos líquidos para 14 descargas reconocidas a la Bahía de Quintero. Fuente Con Potencial Consultores (2020). ....	170
Tabla 61 Historial de incidentes mayores con resultado de contaminación del medio marino registrados en la Bahía de Quintero. Fuente: Boletines Estadísticos Marítimos de DIRECTEMAR Ediciones 2010 a 2020, Piraino et al. (2017) y notas de prensa digital. ....	172
Tabla 62 Superficie (ha) frutícolas de las comunas de Quintero y Puchuncaví. Fuente: de Estudios et al. (2020). ....	174
Tabla 63 Emisiones de fuentes puntuales monitoreadas en las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso. Fuente: <a href="http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/emisiones-al-aire">http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/emisiones-al-aire</a> .....	177
Tabla 64 Fuentes difusas de Compuestos Orgánicos Volátiles identificadas en las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso. Fuente: Emisiones al aire, RETC  <a href="#">link detalle</a> .....	178
Tabla 65 Parametros atmosféricos monitoreados, las Resoluciones de Programas de Monitoreo (datos SNIFA, 2017-2020), Reportes de Monitoreo individuales y de unidades fiscalizables según SNIFA, Bases de datos de fuentes fijas (RETC), incluyendo el DS 13/2011 para termoeléctricas y el estudio del CEA (2013). ....	179
Tabla 66. Parámetros hidrológicos, oceanográficos y geográficos de la Bahía de Quintero. ....	182
Tabla 67 Volumen de aducción de agua de mar para procesos industriales en la Bahía de Quintero. Fuente: DIRINMAR (2019) y referencias en el mismo. ....	183
Tabla 68 Resumen de datos de monitoreo ambiental disponibles para la Bahía de Quintero (agua de mar, sedimentos y biota). Fuente de los datos: Generación propia a partir de datos de PVA, POAL, SEA y CEA (2020). ....	187
Tabla 69 Número de parámetros (elementos, compuestos o variables ambientales) con criterios de referencia disponibles a partir de la revisión de normas nacionales y directrices internacionales para agua de mar, sedimentos, biota (destinada a consumo humano), aire y RILes. Los nombres completos de las abreviaciones utilizadas para identificar normas y directrices se entregan en la Tabla 4 (página 42 de la sección de Métodos). ....	199
Tabla 70 Numero de criterios de referencia extraídos desde normas nacionales y directrices internacionales (señaladas en la Tabla 54, página 156 de este informe) diferenciados por matriz de analisis. Los nombres completos de las abreviaciones utilizadas para identificar normas y directrices se entregan en la Tabla 4 (página 42 de este informe). ....	200
Tabla 71 Priorización de elementos y compuestos de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero. EL grupo 1 en general agrupa todos los compuestos y variables ambientales de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero. Los grupos 1A y 1C diferencian elementos y compuestos que presentan (1A) o no (1C), excedencias históricas de normas nacionales (D.S. 144.-2009) y directrices internacionales. El grupo 1B integra Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero que cuentan con directrices nacionales e internacionales (umbrales definidos) cuya presencia no ha sido medida o cuantificada en la Bahía. El Grupo 1D integra sustancias de posible preocupación ambiental que no cuentan con directrices internacionales que permitan caracterizar su riesgo ambiental o para la salud humana. Se omitieron los grupos (columnas) sin parámetros.....	203
Tabla 72 Variables fisicoquímicos de monitoreo en agua de mar, sedimentos y biota de la Bahía de Quintero.....	206
Tabla 73 Caracterización de peligrosidad de sustancias (elementos y compuestos) pertenecientes al grupo de prioridad 1 de monitoreo en la Bahía de Quintero. ....	214
Tabla 74 Priorización de elementos y compuestos de posible preocupación ambiental en la Bahía de Quintero. Grupo 2 de sustancias que a la fecha no se consideran de preocupación ambiental en la Bahía de Quintero que cuentan con directrices internacionales (es decir con criterios de referencia o umbrales de toxicidad definidos) .....	218
Tabla 75 Caracterización de peligrosidad de sustancias (elementos y compuestos) pertenecientes al grupo de prioridad 2 de monitoreo en la Bahía de Quintero. ....	221

Tabla 76 Parámetros (sustancias y variables fisicoquímicas) monitoreados en RILes de unidades fiscalizables asociadas a la Bahía de Quintero, junto con parámetros adicionales no monitoreados identificados en este estudio. ....	224
Tabla 77 Laboratorios nacionales (incluido código ETFa) que realizan análisis con las metodologías y límites de detección sugeridos a partir de Actividad 6.3.2 .....	230
Tabla 78 Laboratorios nacionales con capacidades analíticas declaradas ante ETFa para el análisis de calidad del aire. Fuente: Superintendencia de Medio Ambiente (SMA) – Registro de Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental. .	231
Tabla 79 Resumen de los principales parámetros analizados en los programas de monitoreo ambiental (PVA) de unidades fiscalizables con emisiones de residuos líquidos a la Bahía de Quintero (agua y sedimentos). Se indican el límite de detección recomendado (LD), el límite de cuantificación recomendado (LC), la unidad de medida y las referencias a métodos validados. Fuente: HOLON SPA. (2019) .....	233
Tabla 80 Contaminantes atmosféricos priorizados para monitoreo ambiental en la Bahía de Quintero en las versiones reducidas y extendidas de la Red de monitoreo. ....	247
Tabla 81 Árboles de decisión para definir y optimizar el programa de monitoreo regular basado en el resultado del programa de monitoreo de "línea de base". ....	249
Tabla 82 Visión general del número de sitios o estaciones de muestreo en programas de monitoreo internacionales. ....	251
Tabla 83 Número y frecuencia de muestreo en línea base de contaminantes en matrices marinas de la Bahía de Quintero y en tres escenarios hipotéticos de muestreo regular basados en un requerimiento de muestreo inferior (escenario 1), similar o anticipado (escenario 2) o superior/mayor (escenario 3) respecto a la línea base de contaminantes. ....	253
Tabla 84 Ubicaciones de las estaciones de muestreo (Latitud/ Longitud y UTM/WGS84) considerando 30 estaciones aleatorias (sin estaciones heredadas).....	259
Tabla 85 Ubicaciones de las estaciones de muestreo (Latitud/ Longitud y UTM/WGS84) considerando 20 estaciones aleatorias y 10 estaciones heredadas.....	263
Tabla 86 Número de estaciones de muestreo a 2 km de cada fuente puntual para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso único de estaciones aleatorias (n = 30).....	264
Tabla 87 Número de estaciones de muestreo dentro de Áreas de Vigilancia y AMERBs para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso único de estaciones aleatorias (n = 30). ....	265
Tabla 88 Número de estaciones de muestreo por banda de profundidad para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso único de estaciones aleatorias (n = 30). ....	265
Tabla 89 Número de estaciones de muestreo a 2 km de cada fuente puntual para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso combinado de estaciones aleatorias (n = 20) y heredadas (n = 10).....	265
Tabla 90 Número de estaciones de muestreo dentro de Áreas de Vigilancia y AMERBs para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso combinado de estaciones aleatorias (n = 20) y heredadas (n = 10). ....	266
Tabla 91 Número de estaciones de muestreo por banda de profundidad para la propuesta de Red de Monitoreo basada en el uso combinado de estaciones aleatorias (n = 20) y heredadas (n = 10). ....	266
Tabla 92 Clasificación de posibles sitios de referencias basado en criterios de homología e influencia antrópica (pasada y presente). ....	273
Tabla 93. Costos unitarios de análisis de laboratorio e in-situ informados por laboratorios nacionales encuestados en este proyecto (n = 3). Valores en Unidades de Fomento al mes de agosto de 2021 (mes de recepción de encuestas). 276	
Tabla 94 Costos unitarios de análisis de contaminantes atmosféricos asociados a material particulado sedimentable. Fuente: NEMI. ....	278
Tabla 95 Estimación de costos totales asociados al monitoreo de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas asociados a la versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero.....	279

Tabla 96 Costo estimado de análisis de laboratorio asociados al monitoreo de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas asociados a la versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero desglosado por tipo de estación de monitoreo.....	279
Tabla 97 Costo estimado de análisis de laboratorio de contaminantes y variables ambientales asociados a la versión acotada de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero desglosado por matriz ambiental. ....	280
Tabla 98 Parámetros (variables ambientales y contaminantes) considerados en la versión acotada de la Red de Monitoreo .....	280
Tabla 99 Costos (en UF) de monitoreo de contaminantes de origen atmosférico en material particulado con potencial impacto en la Bahía de Quintero. ....	282
Tabla 100 Costos totales estimados de implementación de la versión acotada de la Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero. ....	282
Tabla 101 Estimación de costos totales asociados al monitoreo de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas asociados a la versión extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero. ....	283
Tabla 102 Costo estimado de análisis de laboratorio asociados al monitoreo de contaminantes y variables ambientales en matrices marinas asociados a la versión extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero desglosado por tipo de estación de monitoreo. ....	283
Tabla 103 Costo estimado de análisis de laboratorio de contaminantes y variables ambientales asociados a la versión extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero desglosado por matriz ambiental. ....	283
Tabla 104 Parámetros (variables ambientales y contaminantes) considerados en la versión extendida de la Red de Monitoreo de la Bahía de Quintero.....	284
Tabla 105 Costos (en UF) de monitoreo de contaminantes de origen atmosférico en material particulado con potencial impacto en la Bahía de Quintero. ....	286
Tabla 106 Costos totales estimados de implementación de la versión extendida de la Red de monitoreo y caracterización de contaminantes para la componente agua en la Bahía de Quintero. ....	286
Tabla 107 Listado de personas e instituciones convocadas al seminario de difusión de resultados del proyecto. ....	289
Tabla 108 Principales industrias ubicadas en la Bahía de Quintero y probables sustancias contaminantes. No se considera en esta tabla parámetros fisicoquímicos usados como indicadores de calidad ambiental. ....	293
Tabla 109. Listado de parámetros (elementos o compuestos contaminantes) no muestreados y/o no monitoreados regularmente en las diferentes matrices ambientales asociadas a la Bahía de Quintero.....	294
Tabla 110. Justificación de los parámetros (compuestos y elementos) emitidos a la Bahía de Quintero que no son monitoreados rutinariamente, pero se recomienda incluir en un eventual programa de monitoreo integral de la Bahía de Quintero dado las actividades humanas actuales y futuras proyectadas. ....	294

## 14 Referencias

- Ahrens MJ, Hertz J, Lamoureux EM, Lopez GR, McElroy AE, Brownawell BJ (2001) The role of digestive surfactants in determining bioavailability of sediment-bound hydrophobic organic contaminants to 2 deposit-feeding polychaetes. *Marine Ecology Progress Series* 212:145–157
- ANZECC, ARMCANZ (2000) Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Canberra:1–103
- Bakke T, Källqvist T, Ruus A, Breedveld GD, Hylland K (2010) Development of sediment quality criteria in Norway. *Journal of Soils and Sediments* 10:172–178
- Bakke T, Klungsøyr J, Sanni S (2013) Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry. *Marine environmental research* 92:154–169
- Bakovic, Balic ingenieros consultores (1984) Estudio de Pre-factibilidad técnica y económica, Alcantarillado Litoral Norte. Informe Final y Anexos.
- Beliaeff B, Burgeot T (2002) Integrated biomarker response: a useful tool for ecological risk assessment. *Environ Toxicol Chem* 21:1316–22
- Besser JM, Brumbaugh WG, May TW, Schmitt CJ (2007) Biomonitoring of lead, zinc, and cadmium in streams draining lead-mining and non-mining areas, southeast Missouri, USA. *Environ Monit Assess* 129:227–41
- BIOMA S.A. Consultores Ambientales (2020) Monitoreo de humedales boca Maule (región del BíoBío), estero Campiche (Puchuncaví, región de Valparaíso) y desembocadura del río Huasco (región de Atacama), en el contexto de la red de monitoreo de ecosistemas acuáticos del Ministerio de Medio Ambiente.
- Black BD, Harrington GW, Singer PC (1996) Reducing cancer risks by improving organic carbon removal. *Journal-American Water Works Association* 88:40–52
- Blackmore G, Wang W-X (2004) The transfer of cadmium, mercury, methylmercury, and zinc in an intertidal rocky shore food chain. *J Exp Mar Bio Ecol* 307:91–110
- Boehm PD, Mankiewicz PJ, Reilly JE, Hartung R, Neff JM, Page DS, Gilfillan ES, Parker KR (1996) Characterization of mussel beds with residual oil and the risk to foraging wildlife 4 years after the Exxon Valdez oil spill. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 15:1289–1303
- Boehm PD, Page DS, Brown JS, Neff JM, Burns WA (2004) Polycyclic aromatic hydrocarbon levels in mussels from Prince William Sound, Alaska, USA, document the return to baseline conditions. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 23:2916–2929
- Bogdal C, Scheringer M, Abad E, Abalos M, Bavel B Van, Hagberg J, Fiedler H (2013) Worldwide distribution of persistent organic pollutants in air, including results of air monitoring by passive air sampling in five continents. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 46:150–161
- Borowik A, Wyszowska J, Kucharski M, Kucharski J (2019) Implications of soil pollution with diesel oil and BP petroleum with ACTIVE Technology for soil health. *Int J Environ Res Public Health* 16:2474
- Bravo J (2005) Gestión. El caso de ENAMI Ventanas.

- Bravo F (2007) Estudio de procesos metabólicos y variables sedimentológicas como proxy para la evaluación del estado de trofia del bentos. Universidad Austral de Chile. Tesis de Licenciatura de Biología Marina.
- Bricker S, Ferreira J, Simas T (2003) An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status. *Ecol Modell* 169:39–60
- Brylinsky M (2006) A nutrient guidance framework for Canadian nearshore waters. Report prepared for Environment Canada Water Quality Task Group and Canadian Council of Ministers of the Environment. ACER Publication No.84. 89 p.
- Buchan S, Hinojosa I, Flores M, Patris J (2018) Elaboración de una guía técnica para la evaluación de impacto producido por ruido subacuático. Informe final.
- Burnett WC, Taniguchi M, Oberdorfer J (2001) Measurement and significance of the direct discharge of groundwater into the coastal zone. *Journal of Sea Research* 46:109–116
- Burton Jr GA (2002) Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology* 3:65–76
- Cañete JI, Leighton GL, Soto EH (2000) Proposición de un índice de vigilancia ambiental basado en la variabilidad temporal de la abundancia de dos especies de poliquetos bentónicos de bahía Quintero, Chile. *Revista de biología marina y oceanografía* 35:185–194
- Capitanía de Puerto de Quintero (2019) C.P. QUI. ORD. N° 12.000/ 381 /VRS. Establece condiciones de operación marítimo-portuario en la bahía de Quintero.
- Cappelletti N, Astoviza M, Migoya MC, Colombo JC (2016) Airborne PCDD/F profiles in rural and urban areas of Buenos Aires Province, Argentina. *Science of the Total Environment* 573:1406–1412
- Castañé P, Topalián M, Cordero R, Salibián A (2003) Influencia de la especiación de los metales pesados en medio acuático como determinante de su toxicidad. *Revista de Toxicología* 20:13–18
- CEA (2013) Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, Chile, 380 pp.
- CEA (2020) Sistematización de información de calidad de agua, sedimentos, objetos de valoración ambiental y fuentes de emisión, como insumos para la elaboración de una Norma Secundaria de Calidad de Aguas en la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-34-LE19.
- Chen Z, Mayer LM (1999) Sedimentary metal bioavailability determined by the digestive constraints of marine deposit feeders: gut retention time and dissolved amino acids. *Marine Ecology Progress Series* 176:139–151
- Cheung M-S, Fok EMW, Ng TYT, Yen Y-F, Wang W-X (2006) Subcellular cadmium distribution, accumulation, and toxicity in a predatory gastropod, thais *Clavigera*, fed different prey. *Environ Toxicol Chem* 25:174–81
- Cheung M, Wang W-X (2005) Influence of subcellular metal compartmentalization in different prey on the transfer of metals to a predatory gastropod. *Marine Ecology Progress Series* 286:155–166
- Colpaert W, Briones RL, Chiang G, Sayigh L (2016) Blue whales of the Chiloé-Corcovado region, Chile: Potential for anthropogenic noise impacts. In: *Proceedings of Meetings on Acoustics* 4ENAL.p 040009
- Con Potencial Consultores (2020) Desarrollo de un modelo de dispersión de contaminantes en la Bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-21-LE19.
- CONAMA (2003) Evaluación plan de descontaminación de Ventanas.

- CONAMA (2004) Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos policlorados (PCBs; Askareles). Un estudio de caso sobre la aplicación de guías.
- Cortés J, Cobo M, González C, Gómez C, Abalos M, Aristizábal B (2016) Environmental variation of PCDD/Fs and dl-PCBs in two tropical Andean Colombian cities using passive samplers. *Science of the Total Environment* 568:614–623
- D.S. 104 (2019) Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Ministerio del Medio Ambiente.
- D.S. 112 (2002) Establece norma primaria de calidad de aire para ozono (O<sub>3</sub>). Ministerio Secretaría General de la Presidencia.
- D.S. 114 (2003) Establece norma primaria de calidad de aire para dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Ministerio Secretaría General de La Presidencia.
- D.S. 115 (2002) Establece norma primaria de calidad de aire para monóxido de carbono (CO). Ministerio Secretaría General de La Presidencia.
- D.S. 136 (2001) Establece norma de calidad primaria para plomo en el aire. Ministerio Secretaría General de La Presidencia.
- D.S. 144 (2009) Establece normas de calidad primaria para la protección de las aguas marinas y estuarinas aptas para actividades de recreación con contacto directo. Ministerio Secretaría General de La Presidencia.
- D.S. 40 (2013) Aprueba reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental.
- D.S. 90 (2001) Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Ministerio Secretaría General de la Presidencia.
- Dam R Van, Humphrey C, Harford A, Sinclair A, Jones D, Davies S, Storey A (2014) Site-specific water quality guidelines: 1. Derivation approaches based on physicochemical, ecotoxicological and ecological data. *Environmental Science and Pollution Research* 21:118–130
- Davidson EA, Keller M, Erickson HE, Verchot LV, Veldkamp E (2000) Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides: using two functions based on soil nitrogen availability and soil water content, the hole-in-the-pipe model characterizes a large fraction of the observed variation of nitric oxide and nitrous oxide emissions from soils. *Bioscience* 50:667–680
- Davies TW, Coleman M, Griffith KM, Jenkins SR (2015) Night-time lighting alters the composition of marine epifaunal communities. *Biology letters* 11:20150080
- DGA (2004) Evaluación de los recursos subterráneos de las cuencas costeras de la V región.
- DIRECTEMAR (2014) Plan nacional de respuesta ante derrames de hidrocarburos u otras sustancias nocivas en el medio ambiente acuático.
- DIRECTEMAR (2018) Análisis Estadísticas Portuarias 2018.
- DIRINMAR (2007) Ordenamiento de la bahía de Quintero. Presentación.
- DIRINMAR (2019) Informe de diagnóstico ambiental. Análisis data POAL bahía de Quintero (2005-2018) y unidades fiscalizables controladas por la autoridad marítima.
- Dotinga HM, Elferink AGO (2000) Acoustic pollution in the oceans: the search for legal standards. *Ocean Development & International Law* 31:151–182

- Dû-Lacoste M Le, Akcha F, Dévier M-H, Morin B, Burgeot T, Budzinski H (2013) Comparative study of different exposure routes on the biotransformation and genotoxicity of PAHs in the flatfish species, *Scophthalmus maximus*. *Environmental Science and Pollution Research* 20:690–707
- [EC] European Commission (2006) Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on Environmental Quality Standards in the Field of Water Policy and Amending Directive 2000/60/EC. COM(2006) 397 final. Brussels (BE): EC.
- Edwards M, Jacob A, Kimbrough K, Davenport E, Johnson W (2014) Assessment of trace elements and legacy contaminant concentrations in California Mussels (*Mytilus* spp.): Relationship to land use and outfalls. *Marine pollution bulletin* 81:325–333
- Encina F, Oberti C, Viel M, Castillo C, Guerra F (2014) Levantamiento de información sobre sedimentos para llevar a cabo un proceso de evaluación de riesgo ecológico en la bahía de Quintero, Región de Valparaíso.
- Estudios O de, Agrarias P, others (2020) Catastro frutícola Región de Valparaíso: principales resultados/2020.
- EU (2009) Protocol on integrated coastal zone management in the Mediterranean. *Official Journal of the European Union* OJ L 34, 4.2.2009, p. 19–28
- Farag A, Woodward D, Brumbaugh W, Goldstein J, MacConnell E, Hogstrand C, Barrows F (1999) Dietary effects of metals-contaminated invertebrates from the Coeur d’Alene River, Idaho, on cutthroat trout. *Transactions of the American Fisheries Society* 128:578–592
- Farag A, Woodward D, Goldstein J, Brumbaugh W, Meyer J (1998) Concentrations of metals associated with mining waste in sediments, biofilm, benthic macroinvertebrates, and fish from the Coeur d’Alene River Basin, Idaho. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 34:119–127
- Federal Highway Administration (2012) User guidelines for waste and byproduct materials in pavement construction.
- Gamas ED, Magdaleno M, Diaz L, Schifter I, Ontiveros L, Alvarez-Cansino G (2000) Contribution of liquefied petroleum gas to air pollution in the metropolitan area of Mexico City. *Journal of the Air & Waste Management Association* 50:188–198
- Gilbert N (2012) Drug-pollution law all washed up: EU initiative to clean up waterways faces tough opposition. *Nature* 491:503–505
- Goldberg ED, Bertine KK (2000) Beyond the Mussel Watch-new directions for monitoring marine pollution. *Sci Total Environ* 247:165–74
- Gonsioroski A, Mourikes VE, Flaws JA (2020) Endocrine Disruptors in Water and Their Effects on the Reproductive System. *International journal of molecular sciences* 21:1929
- Grant J, Filgueira R (2011) The application of dynamic modeling to prediction of production carrying capacity in shellfish farming. In: *Shellfish aquaculture and the environment*. Wiley Online Library, p 135–154
- Greenbaum DS (2017) Air Pollution and c? ncer. In: Straif, Kurt and Cohen, Aaron and Samet, S and others (ed) *International Agency for Research on Cancer (IARC)*
- Gregori I De, Pinochet H, Arancibia M, Vidal A (1996) Grain size effect on trace metals distribution in sediments from two coastal areas of Chile. *Bull Environ Contam Toxicol* 57:163–70
- Harvey HR, Taylor KA (2017) Alkane and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and benthic invertebrates of the northern Chukchi Sea. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 144:52–62



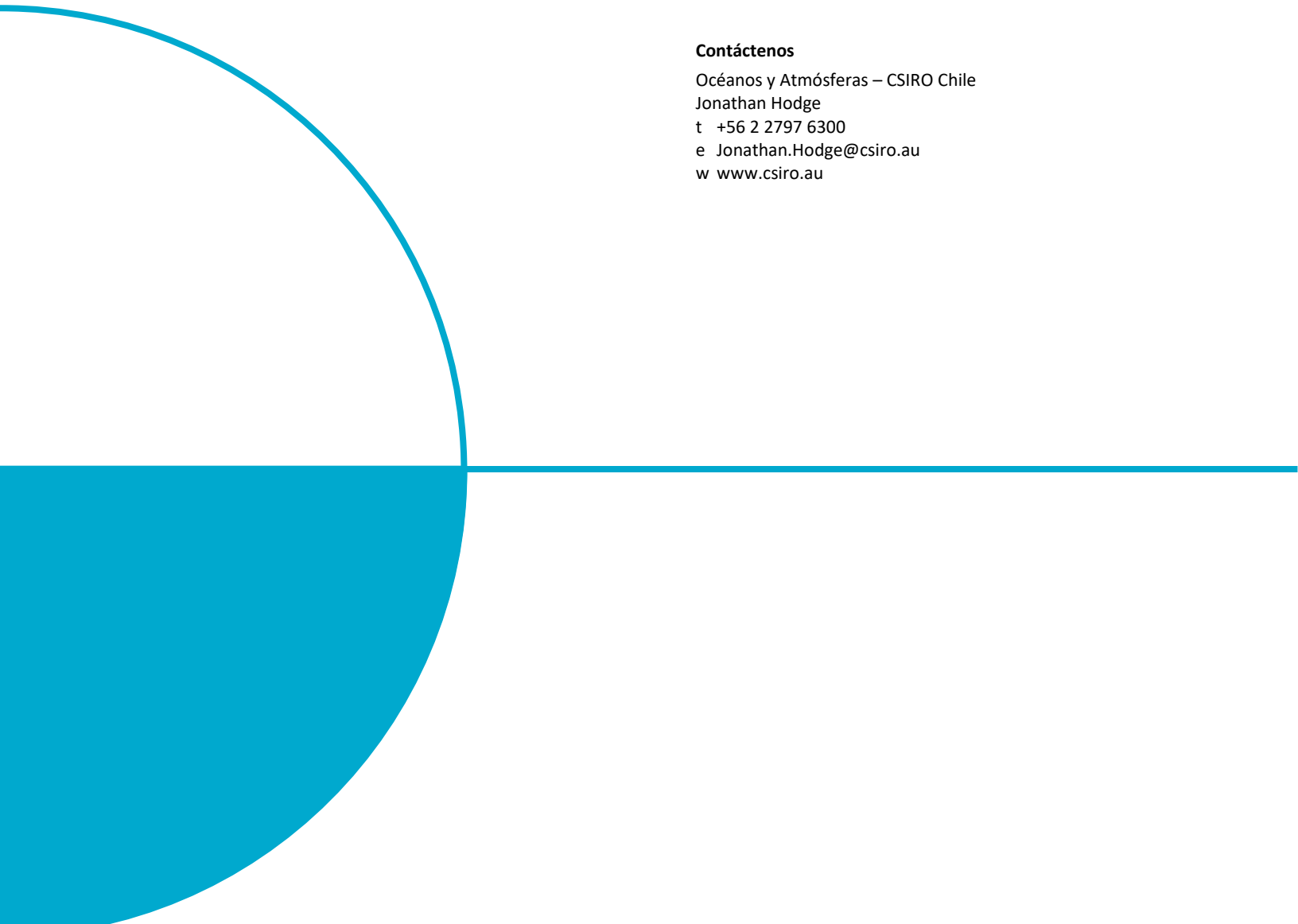
- Hewelke E, Szaty\lowicz J, Hewelke P, Gnatowski T, Aghalarov R (2018) The impact of diesel oil pollution on the hydrophobicity and CO<sub>2</sub> efflux of forest soils. *Water, Air, & Soil Pollution* 229:51
- HOLON SPA. (2019) Análisis crítico de informes de Seguimiento de Variables Ambientales y Planes de Vigilancia Ambiental de establecimientos que descargan RILes a la bahía de Quintero. ID mercado público: 608897-39-LE19.
- Hübner R, Astin KB, Herbert RJ (2009) Comparison of sediment quality guidelines (SQGs) for the assessment of metal contamination in marine and estuarine environments. *Journal of Environmental Monitoring* 11:713–722
- Kamble PH, Bhosale S (2019) Environmental impact of bauxite mining: A review. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)* 7:86–90
- Kaur J, Adamchuk VI, Whalen JK, Ismail AA (2015) Development of an NDIR CO<sub>2</sub> sensor-based system for assessing soil toxicity using substrate-induced respiration. *Sensors* 15:4734–4748
- Keil F (2008) Pharmaceuticals for Human Use: Options of Action for Reducing the Contamination of Water Bodies: A Practical Guide. Institute for Social-Ecological Research (ISOE) GmbH and Research Project start (“Management Strategies for Pharmaceutical Residues in Drinking Water”) Frankfurt/Main, Germany [https://http:// www start-project de/ downloads/ start\\\_ Practical\\\_ Guide.pdf](https://http://www.start-project.de/downloads/start\_Practical\_Guide.pdf)
- Khare P, Machesky J, Soto R, He M, Presto AA, Gentner DR (2020) Asphalt-related emissions are a major missing nontraditional source of secondary organic aerosol precursors. *Science Advances* 6:eabb9785
- Krumgalz BS (1989) Unusual grain size effect on trace metals and organic matter in contaminated sediments. *Marine Pollution Bulletin* 20:608–611
- Lauenstein GG (1995) Comparison of organic contaminants found in mussels and oysters from a current mussel watch project with those from archived mollusc samples of the 1970s. *Marine pollution bulletin* 30:826–833
- Lauenstein GG, Daskalakis KD (1998) US long-term coastal contaminant temporal trends determined from mollusk monitoring programs, 1965-1993. *Marine Pollution Bulletin* 37:6–13
- Lepper P (2005) Manual on the methodological framework to derive environmental quality standards for priority substances in accordance with Article 16 of the Water Framework Directive (2000/60/EC). Schmallenberg, Germany: Fraunhofer-Institute Molecular Biology and Applied Ecology 51
- Levine CR, Yanai RD, Lampman GG, Burns DA, Driscoll CT, Lawrence GB, Lynch JA, Schoch N (2014) Evaluating the efficiency of environmental monitoring programs. *Ecological Indicators* 39:94–101
- Lillis A, Eggleston DB, Bohnenstiehl DR (2013) Oyster larvae settle in response to habitat-associated underwater sounds. *PLoS One* 8:e79337
- Loyola-Sepúlveda R, Salamanca MO, Gutiérrez-Baeza F, Chandia CV, Bravo-Linares C, Mudge SM, others (2018) Contributions of dioxins and furans to the urban sediment signature: The role of atmospheric particles. *Science of the total Environment* 615:751–760
- Lyman W (1995) Transport and transformation processes. *Fundamentals of Aquatic Toxicology* 2:449–477
- MacDonald DD, Dipinto LM, Field J, Ingersoll CG, Lvong ER, Swartz RC (2000) Development and evaluation of consensus-based sediment effect concentrations for polychlorinated biphenyls. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 19:1403–1413
- MacDonald DD, Ingersoll CG, Berger TA (2000) Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch Environ Contam Toxicol* 39:20–31

- Maret TR, MacCoy DE (2002) Fish assemblages and environmental variables associated with hard-rock mining in the Coeur d'Alene River basin, Idaho. *Transactions of the American Fisheries Society* 131:865–884
- Mayer LM, Weston DP, Bock MJ (2001) Benzo[a]pyrene and zinc solubilization by digestive fluids of benthic invertebrates—a cross-phyletic study. *Environ Toxicol Chem* 20:1890–900
- McGrane SJ (2016) Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. *Hydrological Sciences Journal* 61:2295–2311
- Ministerio de Medio Ambiente (2014) Lineamientos metodológicos para la evaluación de riesgo ecológico.
- Ministerio del Medio Ambiente (2019) Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile. Volumen 4: Vulnerabilidad y riesgos en playas.
- MMA (2013) D.S. 406. Guía metodológica para la gestión de suelos con potencial presencia de contaminantes y sus anexos y deja sin efecto Resolución que indica.
- Mokhtar MM, Taib RM, Hassim MH (2014) Measurement of PCDD/Fs emissions from a coal-fired power plant in Malaysia and establishment of emission factors. *Atmospheric Pollution Research* 5:388–397
- Morales L, Dachs J, González-Gaya B, Hernán G, Ábalos M, Abad E (2014) Background concentrations of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, and biphenyls in the global oceanic atmosphere. *Environmental science & technology* 48:10198–10207
- Muratova AY, Golubev SN, Dubrovskaya EV, Pozdnyakova NN, Panchenko LV, Pleshakova EV, Chernyshova MP, Turkovskaya OV (2012) Remediating abilities of different plant species grown in diesel-fuel-contaminated leached chernozem. *Applied soil ecology* 56:51–57
- Myers M, Anulacion B, French B, Reichert W, Laetz C, Buzitis J, Olson P, Sol S, Collier T (2008) Improved flatfish health following remediation of a PAH-contaminated site in Eagle Harbor, Puget Sound, Washington. In: Northwest Fisheries Science Center Symposium “Looking to the Past to Envision the Future.” p 106
- Myers MS, Johnson LL, Hom T, Collier TK, Stein JE, Varanasi U (1998) Toxicopathic hepatic lesions in subadult English sole (*Pleuronectes vetulus*) from Puget Sound, Washington, USA: relationships with other biomarkers of contaminant exposure. *Marine Environmental Research* 45:47–67
- Navarro-Barranco C, Hughes LE (2015) Effects of light pollution on the emergent fauna of shallow marine ecosystems: Amphipods as a case study. *Marine pollution bulletin* 94:235–240
- Nusz JB, Fairbrother A, Daley J, Burton GA (2018) Use of multiple lines of evidence to provide a realistic toxic substances control act ecological risk evaluation based on monitoring data: D4 case study. *Science of the Total Environment* 636:1382–1395
- Oyarzo-Miranda C, Latorre N, Meynard A, Rivas J, Bulboa C, Contreras-Porcía L (2020) Coastal pollution from the industrial park Quintero bay of central Chile: Effects on abundance, morphology, and development of the kelp *Lessonia spicata* (Phaeophyceae). *PLoS One* 15:e0240581
- Page DS, Boehm PD, Brown JS, Neff JM, Burns WA, Bence AE (2005) Mussels document loss of bioavailable polycyclic aromatic hydrocarbons and the return to baseline conditions for oiled shorelines in Prince William Sound, Alaska. *Marine environmental research* 60:422–436
- Pandey PK, Kass PH, Soupir ML, Biswas S, Singh VP (2014) Contamination of water resources by pathogenic bacteria. *Amb Express* 4:51

- Parra S, Bravo MA, Quiroz W, Querol X, Paipa C (2015) Distribution and pollution assessment of trace elements in marine sediments in the Quintero Bay (Chile). *Marine pollution bulletin* 99:256–263
- Perera F (2018) Pollution from fossil-fuel combustion is the leading environmental threat to global pediatric health and equity: solutions exist. *Int J Environ Res Public Health* 15:16
- PGS Chile (2015) Muestreo de suelos para las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso. Informe final.
- Piraino E, Owens E, Rios J, Graham A (2017) Oil behaviour and the response to a sunken oil spill of slurry in Quintero Bay, Chile. In: *International Oil Spill Conference Proceedings*.p 124–133
- Ramirez H (2020) Minuta relativa al registro de varamientos de carbón en caleta Ventanas entre 2009 y 2019.
- Regoli F, Errico G d', Nardi A, Mezzelani M, Fattorini D, Benedetti M, Carlo M Di, Pellegrini D, Gorbi S (2019) Application of a weight of evidence approach for monitoring complex environmental scenarios: the case-study of off-shore platforms. *Frontiers in Marine Science* 6:377
- Regoli F, Pellegrini D, Cicero AM, Nigro M, Benedetti M, Gorbi S, Fattorini D, D'Errico G, Carlo M Di, Nardi A, others (2014) A multidisciplinary weight of evidence approach for environmental risk assessment at the Costa Concordia wreck: integrative indices from Mussel Watch. *Marine environmental research* 96:92–104
- Roberts C (2019) Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Steam Electric Power Generating Point Source Category; Proposed Rule 78 Fed. Reg. 34, 432 (June 7, 2013).
- Rowntree KM, Waal BW van der, Pulley S (2017) Magnetic susceptibility as a simple tracer for fluvial sediment source ascription during storm events. *J Environ Manage* 194:54–62
- Saiki MK, Martin BA, Thompson LD, Welsh D (2001) Copper, cadmium, and zinc concentrations in juvenile chinook salmon and selected fish-forage organisms (aquatic insects) in the upper Sacramento River, California. *Water Air Soil Pollut* 132:127–139
- Santos IR, Eyre BD, Huettel M (2012) The driving forces of porewater and groundwater flow in permeable coastal sediments: A review. *Estuar Coast Shelf Sci* 98:1–15
- Schofield N, Davies P (1996) Measuring the health of our rivers. *WATER-MELBOURNE THEN ARTARMON-* 23:39–43
- Shipman R (2002) Liquefied petroleum gas. In: *Plant Engineer's Reference Book*. Elsevier, p 14–1
- SHOA (2018) Tabla de Marea de la Costa de Chile, Publicación SHOA N° 3009.
- Simpson SL, Apte SC, Batley GE (1998) Effect of short-term resuspension events on trace metal speciation in polluted anoxic sediments. *Environmental Science & Technology* 32:620–625
- Simpson SL, Apte SC, Batley GE (2000) Effect of short-term resuspension events on the oxidation of cadmium, lead, and zinc sulfide phases in anoxic estuarine sediments. *Environmental science & technology* 34:4533–4537
- Simpson S, Batley G (2016) *Sediment quality assessment: a practical guide*. Csiro Publishing
- Simpson SD, Radford AN, Nedelec SL, Ferrari MC, Chivers DP, McCormick MI, Meekan MG (2016) Anthropogenic noise increases fish mortality by predation. *Nature communications* 7:10544
- Singer PC, Chang SD (1989) Correlations between trihalomethanes and total organic halides formed during water treatment. *Journal-American Water Works Association* 81:61–65

- Slabbekoorn H, Dooling RJ, Popper AN, Fay RR (2018) Effects of anthropogenic noise on animals. Springer
- Stephan CE, Mount DI, Hansen DJ, Gentile J, Chapman GA, Brungs WA (1985) Guidelines for deriving numerical national water quality criteria for the protection of aquatic organisms and their uses. US Environmental Protection Agency Washington, DC
- Swartz RC, Cole FA, Lamberson JO, Ferraro SP, Schults DW, Deben WA, Li H Lee, Ozretich RJ (1994) Sediment toxicity, contamination and amphipod abundance at a DDT-and dieldrin-contaminated site in San Francisco Bay. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 13:949–962
- Tang Q, Chen X, Xia X, Wang L, Wang H, Jin L, Yan Z (2018) Scenario Study on PM emission Reduction in Cement Industry. *E&ES* 111:012014
- Tarafdar A, Sinha A (2019) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Pollution Generated from Coal-Fired Thermal Power Plants: Formation Mechanism, Characterization, and Profiling. In: *Pollutants from Energy Sources*. Springer, p 73–90
- Ternes T, Joss A, Siegrist H (2004) The complexity of these hazards should not be underestimated. *Environ Sci Technol* 38:392A–399A
- Tessier A, Campbell P (1987) Partitioning of trace metals in sediments: relationships with bioavailability. In: *Ecological Effects of In Situ Sediment Contaminants*. Springer, p 43–52
- Tessier A, Campbell PG, Bisson M (1982) Particulate trace metal speciation in stream sediments and relationships with grain size: implications for geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 16:77–104
- Universidad Católica de Temuco (2015) Aplicación de los lineamientos metodológicos en la evaluación de riesgo ecológico en la bahía de Quintero, región de Valparaíso. Informe Final.
- Universidad de Concepción (2021) Evaluación temporal y espacial del contenido de metales pesados en sedimentos de la bahía de quintero-puchuncaví. Informe Final. Licitación ID: 608897-85-LE20. Ministerio de Medio Ambiente.
- Universidad de Valparaíso (2005) Informe Estudio Bahía Quintero. Proyecto GNL ENAP refinерías S.A. Informes Científicos y Técnicos N° 57/2005.
- US EPA U (2001) Protocol for developing pathogen TMDLs.
- Valderrama L, Gonzalez M, Santander M, Zazzali B (2018) Recuperación de cobre contenido en escoria de cobre mediante flotación. *HOLOS* 5:40–50
- Wade TL, Sericano J, Gardinali PR, Wolff G, Chambers L (1998) NOAA’s “Mussel Watch” project: Current use organic compounds in bivalves. *Marine Pollution Bulletin* 37:20–26
- Wang J, Anthony EJ, Abanades JC (2004) Clean and efficient use of petroleum coke for combustion and power generation. *Fuel* 83:1341–1348
- Warne M (2000) Description of how each toxicant trigger value was derived.
- Warne Ms, Batley G, Dam R van, Chapman J, Fox D, Hickey C, Stauber J (2015) Revised method for deriving Australian and New Zealand water quality guideline values for toxicants. Prepared for the Council of Australian Government’s Standing Council on Environment and Water (SCEW). Department of Science, Information Technology and Innovation, Brisbane, Queensland
- WCS (2019) Diagnóstico sobre la gestión actual de residuos en la pesca artesanal de la región de Magallanes y de la Antártica Chilena.

- Webster L, Roose P, Bersuder P, Kotterman M, Haarich M, Vorkamp K (2013) Determination of polychlorinated biphenyls (PCBs) in sediment and biota.
- Weston DP, Judd JR, Mayer LM (2004) Effect of extraction conditions on trace element solubilization in deposit feeder digestive fluid. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 23:1834–1841
- Xie M, Simpson SL, Wang W-X (2019) Bioturbation effects on metal release from contaminated sediments are metal-dependent. *Environmental Pollution* 250:87–96
- Yori A (2017) Fuentes de Ruido Antropogénico en los Ríos de la Ciudad de Valdivia, Centro Sur de Chile. In: Congreso Internacional de Acústica y Audio profesional.
- Yori Fernandez A (2018) Underwater Assessment of Anthropogenic Noise Sources Using a Field Recording Method. *Acta Acustica united with Acustica* 104:13–24
- Yuan S, Tang H, Xiao Y, Xia Y, Melching C, Li Z (2019) Phosphorus contamination of the surface sediment at a river confluence. *Journal of Hydrology* 573:568–580
- Zhiyi Y, Xunmin O (2019) Life Cycle Analysis on Liquefied Natural Gas and Compressed Natural Gas in Heavy-duty Trucks with Methane Leakage Emphasized. *Energy Procedia* 158:3652–3657
- Instituto de Fomento Pesquero (2016) Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V Región. Informe Final.



Como agencia nacional de ciencias de Australia y catalizador de la innovación, CSIRO está resolviendo los mayores desafíos a través de la ciencia y la tecnología innovadoras.

CSIRO. Desbloqueando un futuro mejor para todos

**Contáctenos**

Océanos y Atmósferas – CSIRO Chile

Jonathan Hodge

t +56 2 2797 6300

e [Jonathan.Hodge@csiro.au](mailto:Jonathan.Hodge@csiro.au)

w [www.csiro.au](http://www.csiro.au)