

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento corresponde al Informe Final asociado al estudio titulado “Diagnóstico y Monitoreo Ambiental de la Bahía Mejillones del Sur”, código BIP 30126368. De acuerdo con los Términos de Referencia, se entrega la totalidad de los resultados comprometidos en el estudio, considerando como producto final, la ejecución de las cuatro campañas de monitoreo, durante invierno y verano de 2017 y 2018, los resultados del diseño de monitoreo integrado a través de la boya oceanográfica, los resultados de la batimetría, y los resultados de la Evaluación de Riesgo Ecológico (ERE) y Evaluación de Riesgo a la Salud Humana (ERSH). Se entrega una Cartera de Proyectos que aborda los problemas identificados del diagnóstico medioambiental de la bahía, como también se hace entrega de los documentos asociados a la difusión del estudio y material audiovisual y de difusión, disponible en los Anexos digitales del presente informe.

La bahía de Mejillones constituye un sistema ambiental claramente definido donde interactúan una serie de factores (naturales y antrópicos) y procesos que determinan su funcionamiento y trayectoria. Desde el punto de vista del sistema ambiental, en la bahía convergen actividades de al menos 13 diferentes titulares que descargan elementos en la bahía, entre los cuales se incluye el emisario de la planta de tratamiento de aguas servidas de la ciudad, empresas termoeléctricas, pesqueras y mineras, entre otras. A su vez, coexisten intereses diversos y en cierta medida contrapuestos, respecto al uso de la bahía. Desde la perspectiva ecológica, la bahía es reconocida por ser de alta productividad primaria debido a los procesos naturales que allí ocurren, principalmente el fenómeno de surgencia recurrente de aguas frías cargadas de nutrientes.

El conocimiento científico de la bahía Mejillones, si bien ha aumentado en el último tiempo, continúa siendo parcelado, de manera que en la actualidad no se dispone de una base sólida que permita entender a cabalidad los procesos que gobiernan el funcionamiento de esta bahía, desde una perspectiva temporal (Valdés et al. 2007). La mayoría de los estudios se han centrado en el conocimiento del ambiente sedimentario, de los procesos de surgencia y la zona mínima de oxígeno (ZMO). Por otra parte, se reconoce que la bahía de Mejillones es un sitio de surgencia cercano a la costa, bien descrito, localizado cerca de Punta Angamos, y es una de las zonas más productivas de la costa norte de Chile. El surgimiento ocurre durante todo el año con una intensidad máxima y mínima en octubre y en enero, respectivamente.

El enfoque propuesto para desarrollar este estudio, donde por una parte se pide evaluar el riesgo ecológico en la bahía de Mejillones del Sur integrando además los potenciales efectos en salud humana, plantean un desafío de integración multidisciplinaria.

Se siguió una aproximación jerarquizada de fenómenos y propiedades oceanográficas con el objeto de poder integrar los procesos determinantes del funcionamiento ecosistémico en la bahía de Mejillones. Se le dio relevancia en la ordenación a aquellas variables de las cuales se dispone de mayor cantidad de datos para encontrar patrones interanuales o espaciales del funcionamiento ecológico y ambiental del territorio. Desde lo más amplio, se analizaron y describieron los fenómenos asociados a las 8 corrientes marinas que interactúan con la bahía; se describió el efecto del sistema ENOS en el comportamiento de variables oceanográficas de interés; la batimetría de la bahía; la descripción y caracterización de sus aguas y sedimentos de fondo, para finalizar describiendo la biota

existente en la bahía, desde el fito y zooplancton hasta las comunidades de organismos bentónicos y pelágicos que allí se manifiestan.

Se realizó un análisis de los datos existentes en relación con monitoreos históricos de la calidad de agua y de los sedimentos de la bahía, centrándose en aquellos parámetros de mayor importancia desde la perspectiva ambiental, entre ellos, el oxígeno disuelto, la carga orgánica, a través de parámetros como la DBO_5 y los Aceites y Grasas, los sólidos suspendidos totales y, algunos metales. En relación a una de las variables importantes, como es el oxígeno disuelto, se ha enfatizado la presencia de la surgencia y en bahías abiertas hacia el norte, de una zona mínima de oxígeno (ZMO) a profundidades variables, y más permanente a profundidades superiores a los 100 m. Esta zona determina condiciones de hipoxia para la biota y afecta el funcionamiento de los ecosistemas. También se observó que, en las aguas costeras de la bahía de Mejillones del Sur, ocurren descargas de materia orgánica y de importantes volúmenes de agua con demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), que pueden generar hipoxia para algunos grupos de organismos y se realizó la distinción entre la hipoxia de la ZMO y aquella que eventualmente puede depender de las descargas de flujos con alta DBO_5 .

Se observa de la información analizada la existencia de cambios en el tiempo y un aumento de la variabilidad de los datos en la columna de agua, en parámetros como el oxígeno disuelto y el pH después del año 2007. El mismo comportamiento se observa para algunos metales. En los sedimentos, se realizó un análisis en función de la dirección espacial suroeste-noreste, donde emerge un patrón de aumento de materia orgánica y potencial de óxido reducción hacia el suroeste. Los componentes bióticos de los ecosistemas han sido estudiados en base a grupos funcionales que permiten caracterizarlos en función de los organismos dominantes.

Dada la importancia de la condición de oxigenación de los sedimentos, se realizaron dos campañas de medición de potencial redox en los sedimentos de la bahía, en una franja de aproximadamente 700-800 m de ancho y 14 km de largo, entre el veril 5 y aproximadamente el veril 25, abarcando 94 puntos de medición. Los valores registrados muestran una mayor concentración de sedimentos en condición de reducción (potenciales redox negativos) en la zona frente al sector urbano de la ciudad de Mejillones. Aunque en promedio el valor redox encontrado en toda el área prospectada es positivo (sedimentos en condiciones de oxidación) la desviación estándar de este valor es cerca del doble del promedio, con lo cual hay amplias zonas de la bahía que muestran sedimentos anóxicos y en condiciones de reducción.

La malla trófica elaborada, y los análisis de las concentraciones de metales en distintos organismos, de los diferentes grupos funcionales, mediante los cuales se describe, muestra las principales vías, por donde puede fluir un elemento potencialmente tóxico, en los ecosistemas y llegar potencialmente a afectar la población humana.

La evaluación de riesgo ecológico determinó la existencia de potenciales contaminantes, vías de exposición evidentes y potenciales organismos receptores de estos agentes, principalmente los organismos ligados al lecho marino. A través de un taller de expertos se concentró el análisis en 7 metales: arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc, y en particular para la salud humana se analizó el níquel por cuanto es un agente importante que considerar para evaluar el riesgo a las personas. Así, las evaluaciones de riesgo ecológico se enfocaron netamente en identificar si estos elementos metálicos representan un riesgo al ecosistema y a la salud de las personas.

El análisis de riesgo ecológico se basó en el aumento del conocimiento a través de la ejecución de una serie de bioensayos, y la recopilación de información ecotoxicológica para evaluar distintos efectos (endpoint) ecotoxicológicos. Asimismo, se estimaron factores de bioacumulación en 27 organismos, sobre 10 metales en total.

Se realizaron bioensayos con diferentes organismos, entre ellos crustáceos y moluscos bivalvos, los cuales fueron expuestos a concentraciones diferenciadas (5) de 7 diferentes elementos químicos (As, Cd, Pb, Cr, Zn, Cu y Hg). Se determinaron los índices LC_{50} , LOEC y NOEC. Los Bioensayos, se pueden clasificar según su tiempo de exposición del organismo a la sustancia, como Agudo, que significa que ocurre dentro de un periodo corto (minutos, horas o algunos días) en relación con el periodo de vida del organismo de ensayo (Castillo, 2004) y, Crónico, o que ocurre durante un periodo relativamente largo de exposición (una porción significativa de la vida del organismo, >10%) (Castillo, 2004).

Entre los Bioensayos agudos se encuentra el LC_{50} (concentración letal del 50% de las especies analizadas), y entre los Bioensayos crónicos el LOEC (concentración mínima con efecto observado) y NOEC (concentración máxima sin efecto observado) (Larrain 1995).

Los factores de bioacumulación calculados sugieren que el proceso ocurre en diferente grado para los distintos organismos y metales. En general, los organismos bentónicos presentan los mayores factores de bioacumulación para los metales arsénico, cadmio, zinc y cobre. Los organismos pelágicos (peces) presentan los mayores factores de bioacumulación para zinc. Tanto organismos pelágicos, como organismos bentónicos presentan los mayores factores de bioacumulación para los metales hierro y zinc. Los valores encontrados en algunos de los componentes de los grupos funcionales como son *carnívoros bentónicos* (pulpo y loco), que presentan valores altos de As. Para el Cu los *carnívoros bentónicos* presentan también los niveles más altos en la malla trófica. En contraste, organismos del grupo funcional Peces *carnívoros*, presentan niveles inferiores de Cu en sus tejidos. Los *herbívoros bentónicos* por su parte presentan niveles menores que los *carnívoros bentónicos*, pero a su vez mayores que las macroalgas. El orden de los valores está de acuerdo con el conocimiento científico a cerca de los niveles de metales en organismos marinos, donde las especies *carnívoras* presentan los niveles de contaminantes más altos, y también donde los organismos bentónicos presentan en general niveles relativos mayores.

La evaluación de riesgo ecológico determinó la existencia de un riesgo alto a los ecosistemas, por cuanto se determinaron probabilidades de riesgo en algunos casos sobre el 90%, lo cual indica que existe una alta probabilidad de afectación de ciertas especies sensibles producto de las concentraciones actuales de ciertos elementos. Los elementos que presentaron las mayores probabilidades de ocurrencia de riesgo fueron el cadmio y cobre en el sedimento (con valores sobre el 90%). Le siguen el cromo y mercurio con probabilidades por sobre el 65%. En el caso del agua, el cobre presentaría el mayor nivel de riesgo (57,6% de probabilidad), le siguen el zinc y cadmio con niveles sobre el 40% de probabilidad de ocurrencia de riesgo.

Se determinaron los niveles de protección ambiental para la bahía de Mejillones del Sur. Estos niveles límites permitirían proteger al 95% de las especies, según la metodología utilizada. Por tanto, las cifras anteriores resultan de suma utilidad para una futura norma secundaria para la bahía de Mejillones del Sur.

Desde el punto de vista de la modificación ecosistémica producto de la incorporación de materia orgánica a la bahía, se ha observado una cantidad apreciable de carga másica de

DBO₅ y SST en las descargas antrópicas. Desde el punto de vista ambiental, es posible indicar que la bahía presenta un estado Deficiente, con tendencia En Deterioro, usando preliminarmente la clasificación indicada por Hyde 2011, para evaluar las condiciones de las áreas marinas protegidas (AMP) de América del Norte, la cual será revisada para el informe final de este estudio. La ocurrencia de condiciones particulares (zona mínima de oxígeno, surgencia costera, alta productividad biológica) con la presencia de condiciones geológicas que hace que los sedimentos marinos presenten concentraciones altas de ciertos elementos (como arsénico), conduce a que las descargas másicas de la industria local, como de la empresa sanitaria en la bahía, tengan un eventual impacto en las condiciones de los sedimentos y la columna de agua, mayor al que es posible encontrar si esas condiciones naturales no existieran.

Las descargas de detritus o materia orgánica son parte de la actividad propia de Mejillones y de acuerdo con los resultados son másicamente importantes. Más allá de las responsabilidades de generación, es importante enfatizar que el análisis de datos revela que hay un gran aporte de detritus por parte de las plantas de enfriamiento de las generadoras termoeléctricas que utilizan agua de mar para enfriar. Se sabe también que el área asociada al emisario de la industria sanitaria presenta una carga de materia orgánica. Sin embargo, a nivel comparativo, las cargas másicas de materia orgánica son muy inferiores respecto a la descarga de la industria energética, por lo cual se debería poner especial atención a este punto. Estas plantas de enfriamiento tienen aducciones que transportan agua con organismos pequeños, propios de la columna de agua, fundamentalmente fitoplancton y zooplancton, que son la base de la producción de biomasa de los ecosistemas marinos pelágicos y la base de las mallas tróficas. También se encuentran partículas de materia orgánica muerta que constituyen parte del detritus. En el proceso de intercambio de calor de las plantas de enfriamiento, estos organismos mueren al subir la temperatura y generan detritus, material que posteriormente es descompuesto por microorganismos o bacterias. De esta forma, las plantas de enfriamiento están incorporando grandes flujos de materia orgánica degradable o detritus en la columna de agua en forma superficial, en los ecosistemas marinos del borde o litoral. Este material es distribuido espacialmente de acuerdo con los patrones de circulación de diferente escala temporal que ocurren en la bahía.

Este proceso, desarrollado en forma continua, puede en determinadas condiciones de los ecosistemas, provocar situaciones negativas para los procesos ecosistémicos y afectar la sobrevivencia de diferentes tipos de organismos, vía una reducción de los niveles de oxígeno en la columna de agua en las áreas de descargas o en los sedimentos en las vecindad de los puntos de descargas de la termoeléctricas.

La identificación de residuos potencialmente contaminantes, como también las vías de exposición, dan luces de que el potencial riesgo ecológico radica principalmente en el lecho marino y las porciones de agua cercanas a este. Por un lado, se sabe que agentes a nivel histórico se estarían acumulando en el sedimento, no así en la columna de agua donde las condiciones de calidad fisicoquímica de las aguas no permiten que existan elementos tóxicos, lo cual concuerda con concentraciones bajas de metales y metaloides. Sin embargo, en bahía de Mejillones existe un proceso que no guarda relación con toxicidad, sino más bien con la ausencia de oxígeno disuelto. Desde el punto de vista del riesgo ecológico correspondería a una alteración ecosistémica por una excesiva demanda de este elemento esencial para los organismos, donde se sabe que de forma natural la bahía de Mejillones se ve alterada estacionalmente por los procesos de surgencia costera, las cuales traen porciones de agua con baja o nula cantidad de oxígeno disuelto, siendo perjudicial

para organismos sensibles. Los potenciales receptores son los componentes biológicos de la bahía, entre ellos las algas (huairo y pelillo, entre otros), los herbívoros (erizos y lapas), los filtradores (ostión y choro y pulga de mar), los carnívoros (pulpo y loco) y el detritus orgánico, el cual es fuente de alimentación para numerosos organismos de la malla trófica. Los resultados asociados a los factores de bioacumulación dan cuenta de tales procesos de bioacumulación y biomagnificación.

Es así, que al analizar de forma integrada todos estos datos, a nivel general surge como principal amenaza al ecosistema la acumulación de agentes potencialmente contaminantes en el medio bentónico, principalmente por la acumulación en el tiempo de pasivos ambientales, los cuales pueden quedar biodisponibles producto de las condiciones naturales de anoxia en la bahía, los que además pueden verse incrementadas debido a la presión antrópica mediante el ingreso de materia orgánica muerta por las descargas a la bahía, por las empresas sanitaria y de energía.

Respecto a la Evaluación de Riesgo a la Salud humana, se determinó que, dado que las matrices físicas y biológicas se encuentran con cierta acumulación de elementos metálicos, la ingesta de productos del mar en Mejillones y el contacto e ingesta de agua de mar en forma accidental supone un riesgo latente a la salud, por lo cual entrega algunos antecedentes para que la autoridad sanitaria pueda desarrollar un análisis más focalizado, en futuros estudios de riesgo a la salud humana que incluyan otras vías de ingesta de contaminantes (ingesta de agua potable y contaminación atmosférica).