

# inodú

PROYECTO FIPA N° 2016 - 53

INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – A

## IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DEL IMPACTO POR SUCCIÓN DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS PARA PROYECTOS SOMETIDOS AL SEIA

---

ASPECTOS DE DISEÑO INGENIERIL INDUSTRIAL Y BIOLÓGICO ASOCIADOS A LA CAPTACIÓN  
DE AGUA EN PROCESOS INDUSTRIALES

PREPARADO PARA:



20 de octubre, 2017



PROYECTO FIPA N° 2016 - 53

INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – A

## IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DEL IMPACTO POR SUCCIÓN DE RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS PARA PROYECTOS SOMETIDOS AL SEIA

---

ASPECTOS DE DISEÑO INGENIERIL INDUSTRIAL Y BIOLÓGICO ASOCIADOS A LA CAPTACIÓN  
DE AGUA EN PROCESOS INDUSTRIALES

### EQUIPO DE TRABAJO:

Jorge Moreno, Jefe de Proyecto, inodú  
Donny Holaschutz, Ingeniero de Sistemas, inodú

### COLABORADORES:

Tim Hogan, Biólogo Marino Senior Internacional, HDR Inc  
Tomas Englert, Experto en Modelación de Efectos de Atrapamiento y Arrastre, HDR Inc  
John Burnett, Experto Medioambiental Sistemas de Captación, HDR Inc  
Pablo Mackenney, Biólogo Marino Senior Nacional, Costasur Ltda  
Alexander Valdenegro, Oceanógrafo, Costasur Ltda  
Héctor Moreno, Consultor de Ingeniería, Inodú

[Página dejada en Blanco Intencionalmente]

## CONTENIDO DEL REPORTE

1	RESUMEN EJECUTIVO DEL INFORME .....	9
2	OBJETIVOS .....	11
2.1	Objetivo General .....	11
2.2	Objetivos Específicos .....	11
3	INTRODUCCIÓN .....	12
4	ANTECEDENTES GENERALES .....	13
5	IMPACTOS AMBIENTALES PRODUCIDOS POR LA SUCCIÓN DE AGUA EN SISTEMAS INDUSTRIALES.....	21
5.1	Impacto Ambiental por Atrapamiento y Arrastre de Especies y Recursos Hidrobiológicos .....	23
5.1.1	Susceptibilidad y su Relación a la Capacidad de Nado de los Peces .....	27
5.1.2	Susceptibilidad de Organismos y su Relación al Tamaño de los Organismos .....	28
5.1.3	Susceptibilidad de Organismos y su Relación a la Temperatura de Agua.....	29
5.2	Respuesta del Receptor .....	30
6	EMPLAZAMIENTO APROPIADO DEL PUNTO DE CAPTACIÓN .....	33
7	SISTEMAS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN.....	37
7.1	Velocity Cap y Torres de Captación de Baja Velocidad .....	41
7.2	Mallas Cilíndricas con Alambre de Forma Trapezoidal o Triangular (Cylindrical Wedge Wire Screen) .....	44
7.3	Mallas Móviles Modificadas (Modified Traveling Water Screens) .....	49
8	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
9	CONCLUSIONES .....	53
10	REFERENCIAS .....	55
11	ANEXOS .....	66
11.1	ANEXO N° 1: Cuantificación del Desempeño de Velocity Caps en Estados Unidos (Southern California).....	66
11.2	ANEXO N° 2: Antecedentes de Principales Industrias que Succionan Agua de Mar en Chile, Principalmente Generación Termoeléctrica y Desalinización .....	70
11.2.1	Captación de Agua en Plantas Termoeléctricas en Chile .....	70

11.2.2 Captación de Agua en Plantas Desaladoras ..... 76

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Factores que afectan la definición de un sistema de captación de agua. Fuente: Adaptada de Water Research Foundation, 2011 .....	14
Figura 2: Diagrama estructural de un sistema de captación de agua superficial (Vista superior). Fuente: Kit Y. Ng 2005.....	16
Figura 3: Ilustración de distintos tipos de sistemas de captación de agua. Fuente: Missimer, et al., 2013; Hogan, Fay, Lattemann, Beck, & Pankratz, 2014 .....	20
Figura 4: Diagrama de Modelo genérico de riesgo utilizado por la US EPA en desarrollo de la norma 316(b). Fuente: Adaptado de EPRI .....	22
Figura 5: Aspectos de diseño ingenieril y aspectos biológicos que influyen en la mortalidad generada por la succión de agua de mar. Fuente: Elaboración propia.....	25
Figura 6- Velocidades Criticas de Nado de Peces. Fuente: EPRI, 2000b .....	27
Figura 7: Probabilidad de arrastre de peces a través de una malla de 2,0 mm. Fuente: HDR .....	29
Figura 8: Variación Temporal del Perfil de Temperatura de la Termoclina. Fuente: Costa Sur, 2015.....	35
Figura 9: Diagrama de un velocity cap instalado en el fondo del mar junto a un diagrama de velocidades de flujo de agua (en fp/s) en la entrada de un velocity cap. Fuente: Imagen adaptada de Alden y MBC Applied Environmental Sciences .....	42
Figura 10: sistema de toma de agua cubierto en su parte superior, Gold Coast SWRO. Estructura (izquierda), Perfil de Velocidades de Captación (Derecha), Fuente: Craig, 2015 .....	43
Figura 7: Probabilidad de arrastre de peces a través de una malla de 2,0 mm. Fuente: Hogan, Impingement and Entrainment at SWRO Desalination Facility Intakes, 2015 .....	45
Figura 12: Mallas cilíndricas con alambre trapezoidal o triangular. Fuente: Johnson Screens.....	46
Figura 13: Disposición de la instalación de Cylindrical Wedge Wire Screens para un sistema de captación de agua. Fuente: Hogan, Fay, Lattemann, Beck, & Pankratz, 2014.....	49
Figura 14: Esquema de malla móvil modificada o pantalla Ristroph. Fuente: Evoqua Water Technologies.....	50
Figura 15: Aspectos de diseño ingenieril y aspectos biológicos que influyen en la mortalidad generada por la succión de agua de mar. Fuente: Elaboración propia.....	51
Figura 16: Aspectos de diseño ingenieril y aspectos biológicos que influyen en la mortalidad generada por la succión de agua de mar. Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 17: Principio de operación de un velocity cap. Fuente: MBC Applied Environmental Sciences .....	66

Figura 18: Análisis de efectividad de instalación de un velocity cap en Central Scattergood, Southern California. Fuente: MBC Applied Environmental Sciences .....	67
Figura 19: Análisis de efectividad de instalación de un velocity cap en Central El Segundo, Southern California. Fuente: MBC Applied Environmental Sciences .....	68
Figura 20: Análisis de efectividad de instalación de un velocity cap en Central Huntington Beach (HBGS) y Ormond Beach (OBGS), Southern California. Fuente: MBC Applied Environmental Sciences.....	69
Figura 21: Relación del agua con las centrales termoeléctricas chilenas (Fuente: Elaboración Propia). .....	71
Figura 22: Catastro de tecnologías de protección instaladas en plantas termoeléctricas en Chile al año 2014 (Fuente: Elaboración Propia). .....	73
Figura 23- Historia de definición de velocidad de captación de plantas desaladoras que recibieron aprobación ambiental (Fuente: Elaboración Propia).....	77

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Síntesis de distintas arquitecturas de sistemas de captación de agua y sus atributos. Fuente Adaptado de Pankratz, 2015 .....	19
Tabla 2: Tablas de buceo de US Navy para definir límites de descompresión. Fuente: Missimer, Jones, & Maliva, 2015 .....	34
Tabla 3: Alternativas Tecnológicas de Protección del Sistema de Enfriamiento. Fuente: Elaboración propia.....	40
Tabla 4: Potencial de Protección de las Familias de Concepto en Función de la Etapa de Vida del Organismo. Fuente: EPRI, 2000 .....	41
Tabla 5: US EPA, Respecto a los velocity caps. Fuente: Federal Register/Val. 77, No. 112, Monday, June 11, 2012/ Proposed Rules, page 34320 .....	42
Tabla 6: Eficiencia de filtros tipo Cylindrical Wedge Wire Screens instalados en Central Santa María. Fuente: Adaptado de Hernández, 2014 .....	47
Tabla 7: Agua retirada por MWh producido para diferentes tipos de unidades y sistemas de enfriamiento (Fuente: Elaboración Propia).....	72
Tabla 8: Volumen de Captación de Diseño Plantas Generación (Fuente: Elaboración Propia). .....	72
Tabla 9: Velocidades de captación de agua en plantas termoeléctricas en Chile (Fuente: Elaboración Propia) .....	74
Tabla 10: Centrales termoeléctricas incluidas en la revisión desarrollada por inodú el año 2014 (Fuente: Elaboración Propia).....	75
Tabla 11: Historia de Resoluciones Ambientales Aprobadas para Plantas Desaladoras (Fuente: Elaboración Propia).....	76
Tabla 12: Volumen de Captación de Diseño Plantas Desaladoras (Fuente: Elaboración Propia) .....	76

## **1 RESUMEN EJECUTIVO DEL INFORME**

El presente informe forma parte de los antecedentes relacionados al proyecto FIPA N° 2016 – 53, el cual tiene como objetivo desarrollar una guía para implementar en Chile la metodología de estimación del impacto por succión y la pérdida del ejemplar adulto equivalente para proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

El proyecto FIPA N° 2016 – 53 se ha propuesto los siguientes objetivos específicos:

1. Minimizar las brechas de conocimiento desde el punto de vista técnico y metodológico asociado a la estimación del impacto por succión y al proceso de valorización de la pérdida del ejemplar adulto equivalente.
2. Presentar los aspectos que influyen en la mortalidad generada por la succión de agua de mar, desde el punto de vista de diseño ingenieril industrial y biológico.
3. Presentar los aspectos normativos asociados a organismos e instituciones extranjeras dirigidos a regular, estandarizar o normar los procesos de succión de agua de mar.

Este informe (INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – A) presenta una síntesis de las principales experiencias internacionales en cuanto al diseño de sistemas de succión y captación de agua de mar. Se realiza una clasificación en sistemas de captación de agua superficial y sistemas de captación de agua submarinos. Adicionalmente se exponen aspectos respecto a aquellos sistemas que están ubicados en la ribera o línea de la costa y aquellos sistemas que realizan la captación de agua fuera de la ribera o línea de la costa.

Se revisa los impactos ambientales producidos por la succión de agua de mar en proyectos de generación termoeléctrica, desalinización, terminal gasífero, proyecto minero, u otro sistema industrial. Se sintetizan los aspectos de diseño ingenieril y aspectos biológicos que influyen en la mortalidad generada por la succión de agua de mar.

Se indica que la estandarización de un concepto de sistema de captación que sea factible para todas las posibles locaciones no es un objetivo práctico. Sin un conocimiento de las condiciones específicas del emplazamiento donde se instalará el sistema de toma de agua, no es posible seleccionar un concepto de manera confiable. Realizar supuestos, sin un estudio acabado, puede inducir estimaciones de tiempo de construcción y costos errados.

Se describen las principales alternativas de protección del sistema de captación de agua de mar. Se presentan antecedentes que contribuyen a justificar la utilización de ciertos sistemas de protección del sistema de captación de agua como una opción válida desde la

perspectiva del cumplimiento de objetivos de reducción de impactos de atrapamiento y arrastre de organismos.

Finalmente, se indica que si bien el nivel de abertura o separación de las mallas es un parámetro de diseño relevante en sistemas de protección (mallas) pasivos, durante la definición de la normativa EPA 316(b) en Estados Unidos se determinó que no es necesario normar dicho parámetro debido a que las condiciones particulares de un emplazamiento pueden resultar tanto en sobre como sub especificaciones de diseño.

Como parte de este proyecto se han desarrollado siete documentos técnicos:

- INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – 0: Informe Final, Síntesis de Aspectos Generales.
- INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – A: Aspectos de diseño ingenieril industrial y biológico asociados a la captación de agua en procesos industriales.
- INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – B: Aspectos normativos asociados a organismos e instituciones extranjeras dirigidos a regular, estandarizar o normar los procesos de succión de agua de mar.
- INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – C: Estimación del impacto por succión y proceso de valorización de la pérdida del ejemplar adulto equivalente.
- INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – D: Guía para la estimación del impacto por succión y al proceso de valorización de la pérdida del ejemplar adulto equivalente.
- INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – E: Taller de trabajo asociado a la Actividad 3.
- INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – F: Presentación final.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

El proyecto tiene la intención desarrollar una guía para implementar en Chile la metodología de estimación del impacto por succión y la pérdida del ejemplar adulto equivalente para proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

### **2.2 Objetivos Específicos**

Este reporte contribuye con una recopilación de antecedentes, análisis bibliográfico y presentación de antecedentes relacionados a aspectos de diseño ingenieril industrial y biológico asociados a la captación de agua en procesos industriales.

### 3 INTRODUCCIÓN

La posibilidad de utilizar agua de mar, junto al tiempo y complejidad de tramitación de los permisos requeridos para ello, está definiendo la localización y tipo de proyectos de generación termoeléctrica, desalinización, terminal gasífero, proyecto minero, u otro sistema industrial que se desarrolla en el país.

La succión continua de grandes volúmenes de agua de mar, concentrada en regiones específicas, genera una presión adicional en la sostenibilidad de los recursos hidrobiológicos, impacto que debe ser debidamente considerado al momento de definir el emplazamiento, el diseño y la operación de diversos tipos de sistemas industriales usuarios del borde costero. A lo anterior se suma el desafío de informar adecuadamente los riesgos e impactos ambientales a las comunidades usuarias del borde costero de manera de generar las percepciones adecuadas al contexto específico de cada emplazamiento y sistema industrial.

Como parte del proyecto FIPA N° 2016 – 53 se han desarrollado siete documentos con la intención de<sup>1</sup>:

1. Presentar los aspectos que influyen en la mortalidad generada por la succión de agua de mar, desde el punto de vista de diseño ingenieril industrial y biológico (INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – A).
2. Presentar los aspectos normativos asociados a organismos e instituciones extranjeras dirigidos a regular, estandarizar o normar los procesos de succión de agua de mar (INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – B).
3. Minimizar las brechas de conocimiento desde el punto de vista técnico y metodológico asociado a la estimación del impacto por succión y al proceso de valorización de la pérdida del ejemplar adulto equivalente (INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – C, INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – D, INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – E y INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – F).

Particularmente, este documento presenta una síntesis de las principales experiencias internacionales en cuanto al diseño de sistemas de succión y captación de agua de mar.

Los insumos presentados en este reporte han sido utilizados para proponer una guía para implementar en Chile la metodología de estimación del impacto por succión y la pérdida del ejemplar adulto equivalente para proyectos sometidos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

---

<sup>1</sup> También se incluye el INFORME FINAL FIPA 2016 – 53 – 0, que para efectos de formalidad presenta una síntesis de los aspectos generales del proyecto.

## 4 ANTECEDENTES GENERALES

Una estructura de captación de agua es un componente de un sistema de enfriamiento de una planta termoeléctrica, sistema de desalinización de agua, terminal gasífero, proyecto minero, u otro sistema industrial; y como tal debe ser consistente — y estar adaptado — a sus necesidades. La función del sistema de captación de agua es extraer agua y entregarla a él o los usuarios de ésta de manera confiable y con la mejor calidad posible.

El sistema de toma de agua debiera ser diseñado para asegurar un abastecimiento constante de agua, con limitadas fluctuaciones temporales. Generalmente, el proceso industrial usuario del agua succionada requiere que ésta esté libre de desechos, sedimento, algas, y organismos acuáticos que pueden afectar el correcto funcionamiento del sistema industrial.

El diseño de sistemas de captación de agua requiere de consideraciones hidráulicas para llegar a un concepto de diseño que permita obtener y entregar agua económicamente y con impacto ambiental aceptable dentro del contexto regulatorio y social de la región donde se desarrolla el proyecto.

El sistema de captación de agua también debiera proteger a peces y otros organismos acuáticos de ser atrapados o arrastrados por la estructura de captación de agua (UNESCO, 1979). Para cumplir este objetivo, diversos sistemas son utilizados para proteger tanto a los elementos del sistema industrial de interés como a los organismos acuáticos presentes en el cuerpo de agua.

La definición de un concepto de un sistema de captación de agua y su diseño específico es una tarea compleja, que está influenciada por diversos aspectos (Figura 1):

- Tipo de cuerpo de agua
- Disponibilidad de agua
- Variaciones de nivel del cuerpo de agua (la marea astronómica alta y baja)
- Variaciones de la calidad del cuerpo de agua
- Batimetría de la zona
- Layout de la planta
- Transporte de sedimentos
- Regulación medioambiental
- Condiciones climáticas
- Constructividad de la solución
- Protección de los organismos hidrobiológicos
- Productividad biológica del emplazamiento y caracterización de especies.

- Necesidad de limitar la velocidad de captación
- Esfuerzo producto de olas (si el sistema está expuesto a olas de tamaño considerable)
- Requerimientos de operación del usuario (flujo presente y futuro, calidad de agua y confiabilidad)
- Requerimientos de mantenimiento (acceso para mantenimiento adecuado)
- Requerimientos de dragado inicial y de mantención
- Interacción con otros sistemas de captación (presentes y futuros)
- Interacción con sistemas de descarga (presentes y futuros)
- Requerimientos de navegación y pesca
- Costo de capital

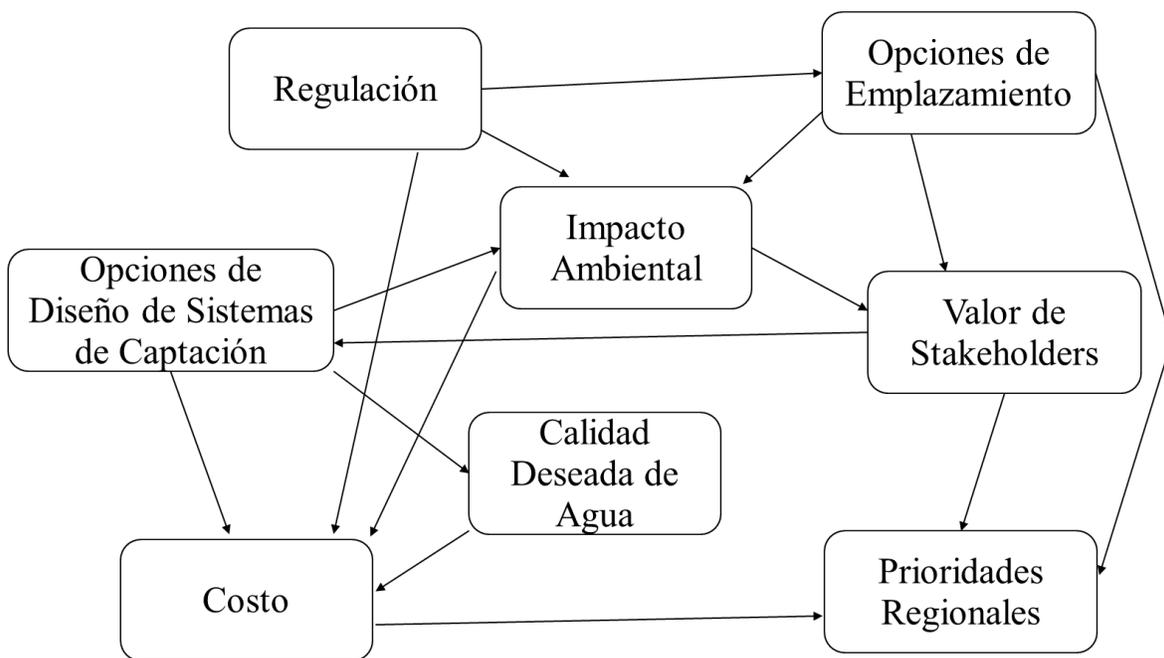


Figura 1: Factores que afectan la definición de un sistema de captación de agua. Fuente: Adaptada de Water Research Foundation, 2011

Los atributos del sistema de captación de agua que afectan la naturaleza y la magnitud del estrés por atrapamiento y arrastre producido en organismos hidrobiológicos durante la operación del sistema son los siguientes:

- Emplazamiento del sistema de captación y punto de succión,
- Flujo o volumen de agua retirada,
- Diseño y ubicación sistema de protección, y

- Velocidad en el primer punto de contacto<sup>2</sup> de la entrada al sistema de captación,
- Velocidad a través de la rejilla de la entrada al sistema de captación,
- Elevación de temperatura del condensador del sistema de enfriamiento de una planta termoeléctrica.
- Elevación de presión en el agua de uso industrial.

Los sistemas industriales que utilizan agua de mar, estuario, lago o río utilizan dos tipos de sistemas de captación de agua principalmente: sistema de captación en la ribera o línea de la costa (Figura 2, imagen superior), y sistema de captación fuera de la ribera o línea costa (Figura 2, imagen inferior).

Adicionalmente, es posible clasificar los sistemas de captación de agua como sistemas de captación de agua superficial, es decir, aquellos que retiran agua de mar sobre el fondo del mar; o sistemas de captación de agua submarino, es decir, aquellos que retiran agua de mar bajo el fondo marino filtrando el agua a través de las características geológicas del fondo marino (California Environmental Protection Agency, 2015).

---

<sup>2</sup> La velocidad en el primer punto de contacto corresponde a la velocidad percibida en lugar donde los organismos podrían tener la primera, y probablemente la mejor, oportunidad de detectar y evitar la estructura de toma de agua (Tetra Tech Inc, 2008).

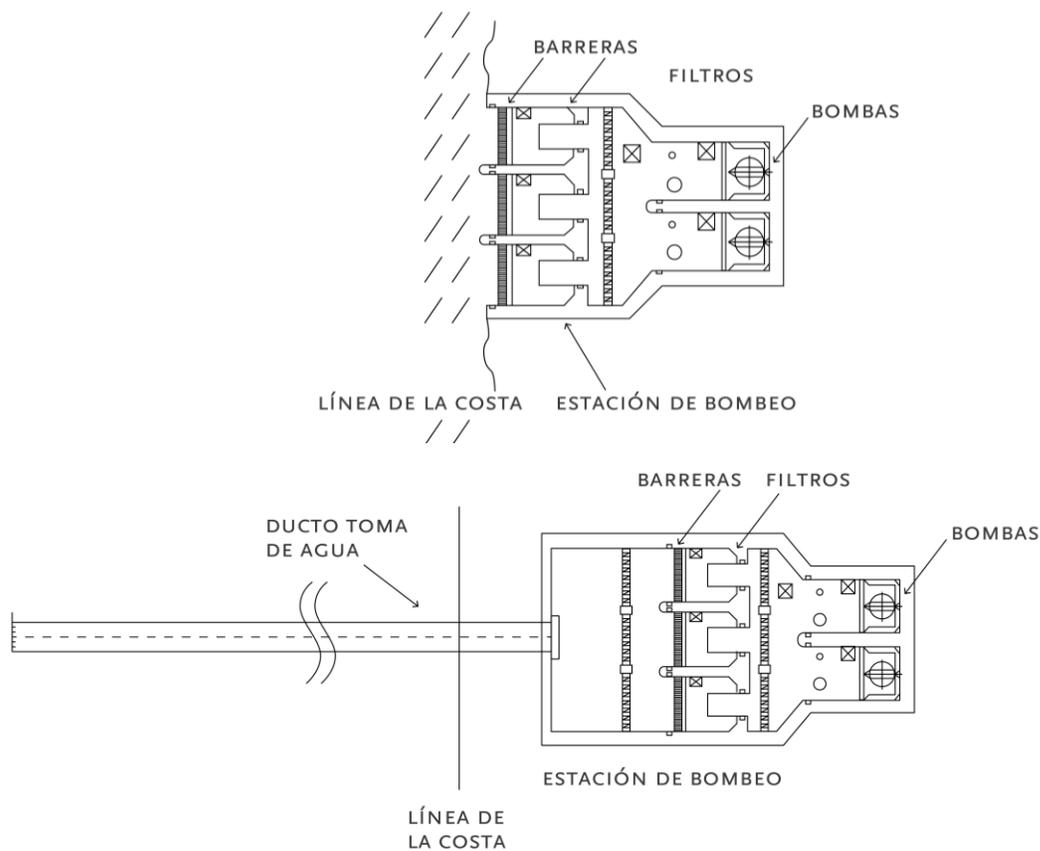


Figura 2: Diagrama estructural de un sistema de captación de agua superficial (Vista superior). Fuente: Kit Y. Ng 2005

Como se indica más adelante en esta sección, los sistemas de agua submarino se pueden desarrollar, entre otras formas, mediante pozos y galerías de infiltración. No obstante, generalmente estas soluciones están orientadas a industrias que requieren menor volumen de agua de mar (por ejemplo: un flujo menor a 800 m<sup>3</sup>/hora) y pueden ser desarrollados en emplazamientos con requerimientos geológicos e hidrogeológicos específicos (Water Research Foundation, 2011)<sup>3</sup>. Debido a su capacidad más limitada, la utilización de sistemas de captación de agua de mar mediante pozos y galerías de infiltración es menos común para instalaciones industriales de mayor tamaño (por ejemplo, que requieren un flujo mayor a 1600 m<sup>3</sup>/hora).

Los sistemas de captación fuera de la ribera o línea de la costa con ducto por sobre la superficie del agua son llamados sifones invertidos. En ellos el agua es retirada por un

<sup>3</sup> Para que sistemas de infiltración sean una solución práctica se recomienda que su conductividad hidráulica sea mayor a 1100 m<sup>3</sup>/día/metro a una profundidad mayor a 14 metros. Generalmente se requiere de estudios hidrogeológicos para calificar y cuantificar el potencial de desarrollo de un sistema de captación mediante infiltración; además se requiere ponderar otros factores como patrones de erosión estacional, contaminación de aguas subterráneas, uso local de agua subterránea, entre otros.

ducto que se extiende desde la línea costa hacia el cuerpo de agua (por ejemplo, mar). En el extremo de la captación el ducto se sumerge verticalmente. El agua captada es conducida por efecto vaso comunicante hacia una estación de bombeo ubicada en la costa, desde la cual se impulsa el agua hasta la central. La abertura de captación inserta en el cuerpo de agua, o campana de succión del sifón, se protege con una reja simple, malla perimetral, u otro sistema para evitar el ingreso de organismos acuáticos de mayor tamaño (los Sistemas de Protección del Sistema de Captación se revisan más adelante en la Sección 7).

Es posible encontrar también sistemas industriales con sistemas de captación fuera de la ribera o línea de la costa con ducto sumergido donde el agua es transportada a través de conductos gravitacionales, tubos, o túneles hacia un pozo de bombeo ubicado en la costa. En este caso la abertura sumergida típicamente toma la forma de una torre de captación tipo *velocity cap*. Estos sistemas tienen una mayor complejidad de mantenimiento y reparación.

La Tabla 1 sintetiza una comparación en términos cualitativos de los distintos sistemas de captación utilizados tanto para plantas termoeléctricas como para sistemas de desalinización (Pankratz, 2015)<sup>4</sup>. Para mayores antecedentes de sistemas de captación en sistemas de desalinización se recomienda revisar (Missimer, Jones, & Maliva, 2015) y (Hogan, Fay, Lattemann, Beck, & Pankratz, 2014). De manera complementaria, la Figura 3 ilustra distintos tipos de sistemas de captación.

La estandarización de un concepto que sea factible para todas las posibles locaciones no es un objetivo práctico (Alsaffar & Zheng, 2007), (UNESCO, 1979). Sin un conocimiento de las condiciones específicas del sitio donde se instalará el sistema de toma de agua, no es posible seleccionar un concepto de manera confiable. Realizar supuestos, sin un estudio acabado, puede inducir estimaciones de tiempo de construcción y costos errados.

Respecto del propósito de la succión de agua en procesos industriales, es importante distinguir entre retiro, uso, y consumo de agua. El retiro de agua tiene relación con la

---

<sup>4</sup> En la tabla, el concepto de calidad de agua entregada al proceso se refiere a la capacidad del sistema de captación de proveer un agua libre de sedimentos, algas, y organismos al proceso. En general, los sistemas de desalinización de osmosis reversa tienen requerimientos de calidad de agua de entrada más altos que los sistemas de generación termoeléctrica. De hecho, los sistemas de captación en la línea de la costa con pantalla metálica no son utilizados en sistemas de desalinización de osmosis reversa producto principalmente a la baja calidad del agua que pueden entregar al proceso.

Adicionalmente, los costos de inversión están indicados como bajo, moderado o alto en términos relativos de un sistema de captación con requerimientos equivalentes, pero en distintas tipologías. De esta forma, un sistema de captación de tipo galería de infiltración es más costoso que un sistema de requerimientos equivalentes, pero ubicado fuera de la línea de la costa con torre de captación.

cantidad de agua que se extrae del cuerpo de agua en un determinado periodo de tiempo. El uso de agua corresponde a la cantidad de agua que el proceso industrial necesita para su operación durante un determinado periodo de tiempo. El consumo de agua se define como la cantidad de agua que no retorna al cuerpo de agua producto de evaporación.

Finalmente, el involucramiento de grupos de interés (*stakeholders*) actualmente es una parte importante en el proceso de definición y desarrollo de sistemas de captación de agua de mar, particularmente cuando hay organizaciones que pueden observar con cierto grado de alerta el desarrollo de cualquier proyecto que involucre un impacto negativo en el medio ambiente marino.

Tabla 1: Síntesis de distintas arquitecturas de sistemas de captación de agua y sus atributos. Fuente Adaptado de Pankratz, 2015

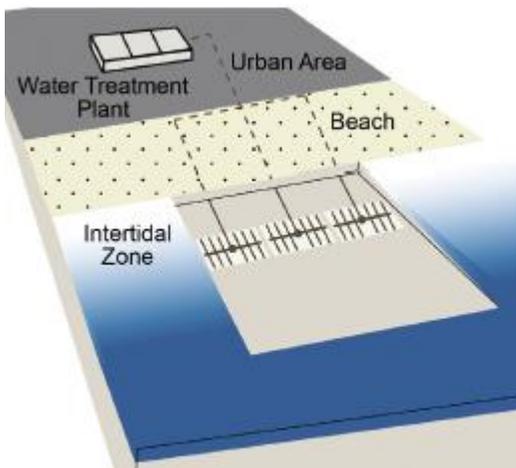
	Pozo vertical	Galería de infiltración	Fuera de la línea de la costa con pantalla pasiva	Fuera de la línea de la costa con torre de captación o <i>velocity cap</i>	En la línea de la costa, con pantalla mecánica
Uso en generación termoeléctrica	X	X	✓	✓	✓
Uso en desalinización	✓	✓	✓	✓	X
Factibilidad técnica	Limitada por la geología local	Limitada por la hidrogeología y las condiciones del mar	Moderado-alta	Alta	Alta
Calidad agua alimentación entregada al proceso	Alta	Alta	Moderada-alta	Moderado	Baja
Implicaciones ambientales	No presenta atrapamiento y arrastre de organismos	No presenta atrapamiento y arrastre de organismos. Impacto en su construcción	No tiene atrapamiento de organismos si el agua es captada a baja velocidad; arrastre bajo	Bajo atrapamiento, arrastre moderado	Tiene atrapamiento y arrastre gestionable
Flexibilidad	Baja. Limitaciones de espacio pueden limitar mejoras	Baja	Limitaciones se pueden mejorar agregando pantallas	Moderado	Moderado
Confiabilidad	Los pozos pueden ser reacondicionados y/o se pueden agregar nuevos	Difícil de predecir. La limpieza puede ser marginalmente efectiva	El taponamiento puede ser monitoreado y su limpieza efectiva	El taponamiento puede ser monitoreado y su limpieza efectiva	El taponamiento puede ser monitoreado y su limpieza efectiva
Susceptibilidad de operar anormalidades	Baja	Baja	Moderadamente vulnerable a las medusas y proliferación de algas	Moderadamente vulnerable a la proliferación de algas	Moderadamente a altamente vulnerable a las medusas y proliferación de algas
Mantenimiento	Bajo	Si se requiere. Puede ser importante	Tubería de succión 1 ó 2 x año. Inspeccionar las pantallas cada 3 meses	Tubería de succión 1 ó 2 x año. Mantenimiento según sea necesario	Mantenimiento a las pantallas según sea necesario
Riesgo de construcción	Moderado	Alto	Bajo-moderado	Bajo-moderado	Bajo
Costo de capital	Bajo-moderado	Alto	Moderado-alto	Moderado-alto	Moderado



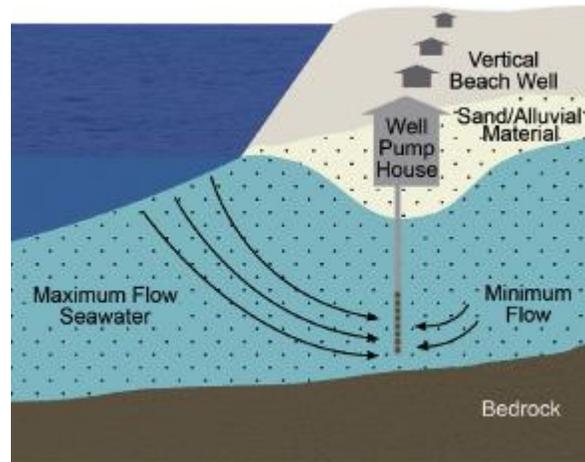
Sistema de captación en la línea de la costa



Sistema de captación en la línea de la costa con dique poroso



Sistema de captación con galería de infiltración



Sistema de captación con pozo vertical

Figura 3: Ilustración de distintos tipos de sistemas de captación de agua. Fuente: Missimer, *et al.*, 2013; Hogan, Fay, Lattemann, Beck, & Pankratz, 2014

A modo de referencia, en el Anexo N° 3 se presentan antecedentes sobre las principales industrias que succionan agua de mar en Chile, principalmente generación termoeléctrica y desalinización.

## 5 IMPACTOS AMBIENTALES PRODUCIDOS POR LA SUCCIÓN DE AGUA EN SISTEMAS INDUSTRIALES

Los impactos producto de succión y descarga de agua de procesos industriales no es posible eliminarlos, pero pueden ser minimizados. Es posible identificar ciertos aspectos comunes en distintas industrias (termoeléctrica, desalinización, y otras) que succionan y descargan agua.

En el caso particular de plantas termoeléctricas que realizan retiros de aguas terrestres superficiales y aguas marítimas los principales aspectos que requieren atención han sido ampliamente estudiados<sup>5</sup> y pueden asociarse tanto al proceso de captación de agua, como a las descargas de las aguas utilizadas en el proceso. Particularmente, la operación del sistema de captación de agua puede producir efectos de atrapamiento y arrastre de especies hidrobiológicas con un efecto en la dinámica de la población del hábitat costero si el sistema de captación no es diseñado y gestionado apropiadamente.

Existe evidencia que peces, macroinvertebrados nectónicos, plancton, y en menor medida organismos bentónicos, son las comunidades biológicas susceptibles a los efectos de atrapamiento y arrastre de sistemas de captación de agua de diversas instalaciones industriales. La mayoría de otras comunidades eventualmente presentes en cuerpos de agua tienen una baja exposición al sistema de captación (ejemplo: infauna y epifauna, plantas vasculares acuáticas) o tienen una baja sensibilidad a los efectos de dicha exposición (EPRI, 2002)<sup>6</sup>.

Es importante notar que el proceso de análisis de riesgo e impacto medio ambiental está basado en dos pilares: caracterización de la exposición de los organismos a diversas fuentes de estrés y caracterización de los efectos o impactos producidos en los organismos.

La Figura 4 sintetiza un modelo genérico de riesgo utilizado por la US EPA y EPRI en el contexto de desarrollo de la norma 316(b) en Estados Unidos. Se ilustra la relación entre

---

<sup>5</sup> (Clark & Brownell, 1973), (US EPA, 1973), (US EPA, 1976), (UNESCO, 1979), (Turnpenny & Coughlan, 1992), (EPRI, 2000), (EPRI, 2003), (California Energy Commission, 2005), (MBC Applied Environmental Sciences, 2005), (Moss Landing Marine Laboratories, 2008), (UCN, 2008), (IFC, 2008), (EPRI, 2011), (Rajagopal, Jenner, & Venugopalan, 2012), (SMA, 2014) y (US EPA, 2014, págs. 76-88).

<sup>6</sup> Por su parte, la guía preparada por la Agencia Ambiental del Reino Unido (UK Environmental Agency, 2010) indica que el arrastre afecta todos los tipos de plancton; no obstante, debido al rápido tiempo de reposición, el impacto sobre la población de zooplancton y fitoplancton se puede considerar como mínimo en la mayoría de los casos. La misma guía indica que el efecto de arrastre sobre ictioplancton requiere ciertas consideraciones especiales, mencionando que eso ha sido también indicado de esa forma en la norma 316(b) en Estados Unidos.

conceptos de Fuente de Estrés, Estrés, Receptor, Respuesta del Receptor y Métricas de Riesgo aplicados al contexto de Sistemas de Captación de Agua, y sintetizados en la presente sección.

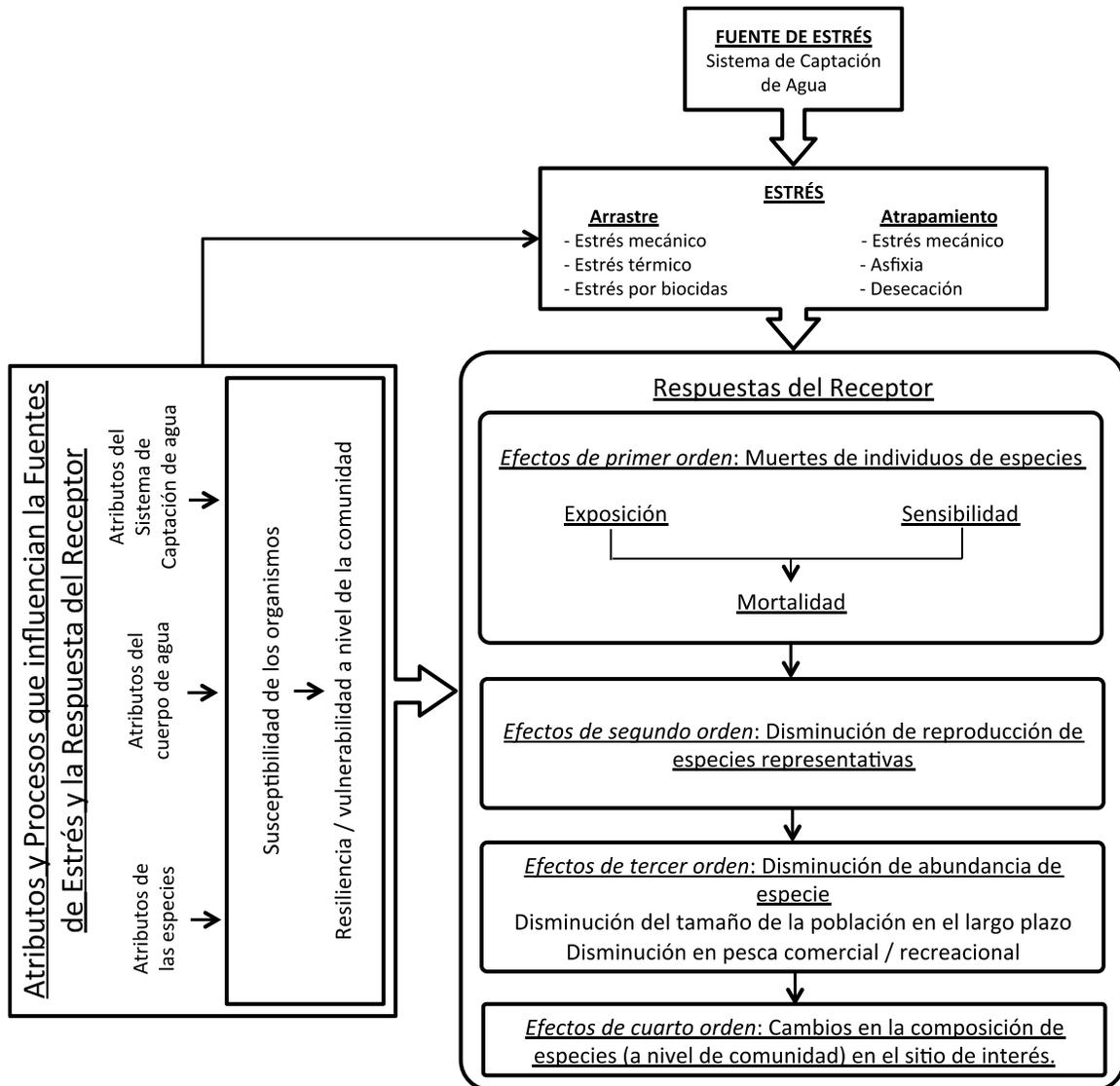


Figura 4: Diagrama de Modelo genérico de riesgo utilizado por la US EPA en desarrollo de la norma 316(b). Fuente: Adaptado de EPRI

La respuesta del Receptor a un Estrés específico está generalmente definida por una combinación de factores que determinan la susceptibilidad de un grupo de Especies Representativas, la que está definida por su nivel de exposición al Estrés, su nivel de sensibilidad a ese nivel de exposición, o ambos factores.

A nivel internacional se han observado dos tendencias para abordar los desafíos asociados al uso de agua en centrales termoeléctricas. La primera tendencia está centrada en la

determinación del impacto derivado del desarrollo y operación de una central termoeléctrica de interés. Reconociendo que puede ser altamente costoso y, en algunos casos, especulativo determinar la ex-ante y/o ex-post la magnitud de dichos impactos. Por su parte, la segunda tendencia se centra en definir un conjunto de opciones de ingeniería y de gestión que son reconocidas como buenas prácticas que contribuyen a minimizar los impactos y/o el riesgo de producirlos.

### **5.1 Impacto Ambiental por Atrapamiento y Arrastre de Especies y Recursos Hidrobiológicos**

Como se ilustró en la Figura 4, el atrapamiento y el arrastre corresponden a los dos tipos de efectos – o estrés sobre el medio ambiente – que debieran ser considerados en un sistema de succión de agua.

El esquema regulatorio vigente en Chile, tanto para Norma Primaria de Calidad Ambiental, Norma Secundaria de Calidad Ambiental y Norma de Emisión, se basa en el concepto del efecto de un contaminante, que de acuerdo a la Ley 19.300 para todos los efectos legales se define como todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental.

La definición de contaminante, en estricto rigor, difiere del concepto de estrés por atrapamiento y arrastre. Por lo tanto, en el caso particular de los desafíos asociados a los potenciales efectos de sistemas de captación producto de atrapamiento y arrastre de organismos se podría dificultar la aplicación de estos conceptos bajo el esquema vigente en la normativa ambiental al año 2016.

Por su parte, la Ley General de Pesca y Acuicultura indica en el Artículo 1° que “a las disposiciones de esta ley quedará sometida la preservación de los recursos hidrobiológicos, y toda actividad pesquera extractiva, de acuicultura y de investigación, que se realice en aguas terrestres, playa de mar, aguas interiores, mar territorial o zona económica exclusiva de la República y en las áreas adyacentes a esta última sobre las que exista o pueda llegar a existir jurisdicción nacional de acuerdo con las leyes y tratados internacionales.” De la misma manera, en el Artículo 1° B se indica que el objetivo de la ley es la conservación y el uso sustentable de los recursos hidrobiológicos, mediante la aplicación del enfoque precautorio, de un enfoque ecosistémico en la regulación pesquera y la salvaguarda de los ecosistemas marinos en que existan esos recursos.

Si no se tienen precauciones adecuadas, la succión de agua puede arrastrar una cantidad importante de organismos acuáticos (o especies hidrobiológicas) que incluyen organismos tales como microalgas y plancton, y organismos de mayor tamaño como crustáceos, peces, macroalgas entre otros.

Se define el arrastre como el efecto de movilizar organismos presentes en el cuerpo de agua a través del sistema de captación de agua, hacia el proceso industrial, pudiendo incluso pasar a través de ciertos elementos que componen el proceso para ser posteriormente devueltos al cuerpo de agua (por ejemplo: mar).

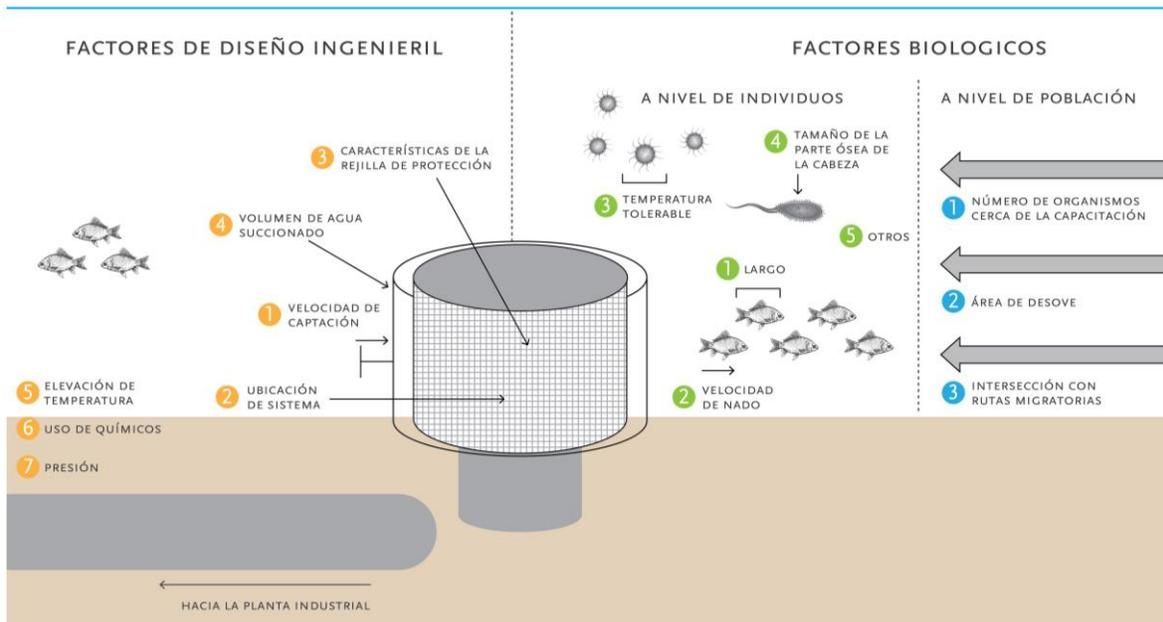
El arrastre está directamente relacionado con la selección del emplazamiento del punto de succión, el flujo o volumen de agua succionado, la velocidad de succión, la definición de las características de la rejilla de protección del sistema de captación, y ciertas características de los organismos presentes en área de influencia del sistema de captación (Figura 5).

El estrés por arrastre sobre el medio ambiente se produce por los siguientes motivos:

- Mecánico (ej: presión, fuerza de corte)
- Químico (producto del uso de biocidas)
- Térmico (shock térmico debido a la diferencia de temperatura en el condensador)

Para evitar o reducir el arrastre de ciertos organismos y desechos que podrían dañar el sistema de enfriamiento comúnmente se utilizan distintos tipos de rejillas o filtros. Sin embargo, producto de ello se puede producir el efecto de atrapamiento, que se define como el efecto de movilizar organismos presentes en el cuerpo de agua hacia la rejilla o filtro de protección y atraparlos en dicho elemento.

Al igual que el arrastre, el atrapamiento depende de la selección del emplazamiento del punto de succión, el flujo o volumen de agua succionado, la velocidad de succión, la definición de las características de la rejilla de protección del sistema de captación, y características de los organismos presentes en área de influencia del sistema de captación (Figura 5).



**Figura 5: Aspectos de diseño ingenieril y aspectos biológicos que influyen en la mortalidad generada por la succión de agua de mar. Fuente: Elaboración propia.**

El efecto de atrapamiento puede exponer a los organismos a estrés de naturaleza mecánica, asfixia, y desecación. En algunos casos después de un tiempo los organismos pueden ser liberados y retornados a su medio natural. Es importante notar que el atrapamiento de organismos se evita con una adecuada velocidad de succión.

Con el fin de evaluar los efectos de atrapamiento y arrastre, es posible definir especies representativas entre los organismos que residen en el cuerpo de agua. En general el proceso de selección de especies representativas es cualitativo y requiere de la formación y coordinación de un grupo técnico en conjunto con grupos de interés en el proyecto específico que se desea evaluar.

Las especies pueden ser escogidas dependiendo si ellas son importantes en términos comerciales, recreacionales, ecológicos, culturales, o si se trata de especies protegidas. El criterio de selección de especies representativas también está influenciado por la susceptibilidad de las especies de interés a los efectos de atrapamiento y arrastre; de manera que las especies representativas pueden tener un nivel de susceptibilidad más alto que el promedio de otras poblaciones de peces o macroinvertebrados en el área de influencia biológica.

La susceptibilidad de las especies representativas está definida por el nivel de exposición al estrés, la sensibilidad a un nivel de exposición determinado, o ambos factores.

Las características del ecosistema y cuerpo de agua que potencialmente influyen el nivel de exposición de cada especie, en su ciclo de vida, son las siguientes:

- Abundancia relativa de especies en la vecindad del sistema de captación.
- Funcionalidad del área en la vecindad del sistema de captación para fines de reproducción de organismos.
- Tamaño, edad, y capacidad de nado de los organismos presentes en la vecindad del sistema de captación.
- Patrones y rutas migratorias de los organismos.
- Patrones estacionales, por ejemplo, de variación de temperatura en el agua o presencia de especies.
- Presencia de otras Fuentes de Estrés en el ecosistema que pueden predisponer a los organismos a los efectos de atrapamiento y arrastre.
- Hidrología del cuerpo de agua.
- Presencia de desechos en el agua.

Los atributos del sistema de captación de agua que afectan la naturaleza y la magnitud del *estrés* por atrapamiento y arrastre producido sobre los organismos hidrobiológicos durante la operación del sistema son los siguientes:

- Emplazamiento del sistema de captación y punto de succión,
- Magnitud de agua retirada desde el cuerpo de agua.
- Patrones estacionales en el flujo de agua retirada.
- Velocidad en el primer punto de contacto<sup>7</sup> de la entrada al sistema de captación,
- Profundidad del punto de entrada al sistema de captación de agua.
- Características hidrológicas del sistema de captación de agua que afectan la zona de influencia biológica del agua retirada.
- Barreras en el sistema de captación de agua.
- Diseño de la cámara de carga.
- Diseño y operación del sistema de bombeo.
- Tiempo de tránsito en el sistema de enfriamiento del sistema industrial.
- Aumento de temperatura en el condensador del sistema de enfriamiento del sistema industrial.
- Elevación de presión en el agua de uso industrial.
- Diseño y operación de la descarga.
- Mecanismos de tratamiento de incrustación.

---

<sup>7</sup> La velocidad en el primer punto de contacto corresponde a la velocidad percibida en lugar donde los organismos podrían tener la primera, y probablemente la mejor, oportunidad de detectar y evitar la estructura de toma de agua (Tetra Tech Inc, 2008).

- Diseño y operación de mecanismo de retorno de peces.

### 5.1.1 Susceptibilidad y su Relación a la Capacidad de Nado de los Peces

Existe amplia evidencia científica respecto de la capacidad de nado de distintas especies de peces (U.S. Army Corps of Engineers, 1990), (EPRI, 2000), y (Turnpenny A. W., 1988). Para la mayoría de las especies de peces el atrapamiento depende tanto de la capacidad de nado del organismo y su condición de salud<sup>8</sup>, como de la velocidad del agua.

La EPRI ha tabulado el patrón de velocidad de nado prolongado o crítico de peces sanos en Estados Unidos, el cual varía principalmente de acuerdo con el tamaño del pez y la temperatura del agua. En la Figura 6 se presentan los datos para distintas especies evaluadas en Estados Unidos, clasificadas por el tipo del cuerpo de agua donde habitan.

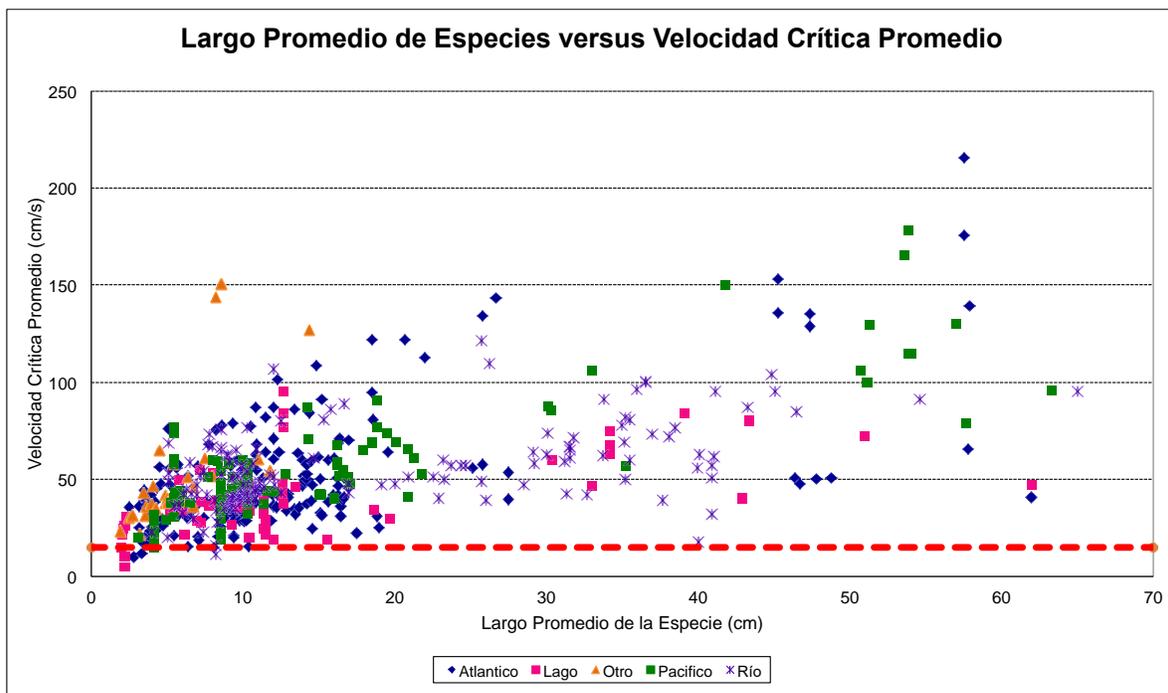


Figura 6- Velocidades Críticas de Nado de Peces. Fuente: EPRI, 2000b

Al observar la capacidad de nado de las distintas especies analizadas en Estados Unidos, se puede inferir que aumenta la probabilidad de atrapamiento cuando el agua es captada a

<sup>8</sup> El estado de salud de los organismos puede depender de la temperatura del cuerpo de agua y de la calidad del cuerpo de agua. En este contexto, la cantidad de oxígeno disuelto, el pH y la presencia de otros contaminantes en el agua puede afectar la capacidad de nado de los peces.

una velocidad superior a 0,15 m/s<sup>9</sup> (US EPA, 2014, pág. 108; US EPA, 2014, pág. 6\_66; EPRI, 2000; Tetra Tech Inc, 2008)<sup>10</sup>. La velocidad mencionada anteriormente tiene relación con el concepto de “approach velocity” utilizado en Estados Unidos y difiere del concepto de velocidad a través de la malla de protección o “through-screen velocity.”

El “approach velocity” es la velocidad medida justo en el frente de la malla o en la entrada del sistema de captación de agua, y desde el punto de vista biológico es la velocidad más importante” (66 Fed. Reg. 65,274). De acuerdo a la EPRI, el “approach velocity” se considera de manera paralela a la dirección del flujo de agua principal, en una zona definida entre 3 pulgadas (7,5 cm) y 1 pies (30 cm) antes de la malla de protección o abertura de captación (EPRI, 2002).

### **5.1.2 Susceptibilidad de Organismos y su Relación al Tamaño de los Organismos**

La exclusión física en el sistema de captación es el factor principal a considerar al momento de evaluar la efectividad biológica de sistemas de protección pasivos. La exclusión física es una métrica que depende de las especies de interés, dado que hay diferencias importantes en las características morfológicas de distintas especies.

El factor principal a considerar al momento de determinar la exclusión física tiene relación con el tamaño de los organismos que se desea proteger en relación a la separación de las mallas de protección. En el caso de larvas, se utiliza como métrica el tamaño de la parte ósea de la cabeza (Head Capsule Depth – HCD), porque es el elemento del cuerpo no comprimible de mayor diámetro, y el largo del organismo.

La siguiente figura ilustra cómo la componente morfológica afecta la métrica de arrastre de distintos organismos ante una malla cilíndrica con alambre de forma trapezoidal o triangular de 2 mm de separación.

---

<sup>9</sup> Velocidad en el primer punto de contacto o “approach velocity”. Es importante notar que para desarrollar un umbral que pueda ser aplicable de manera estandarizada a nivel nacional (en Estados Unidos), y que sea efectivo para prevenir el atrapamiento de la mayoría de las especies de peces en sus distintas etapas de su ciclo de vida, la EPA aplicó un factor de seguridad igual a dos (2,0) sobre umbral de 1,0 pies por segundo para definir un requerimiento de velocidad equivalente a 0,5 pies por segundo (15 cm/segundo).

<sup>10</sup> Antecedentes similares han sido levantados en Europa.

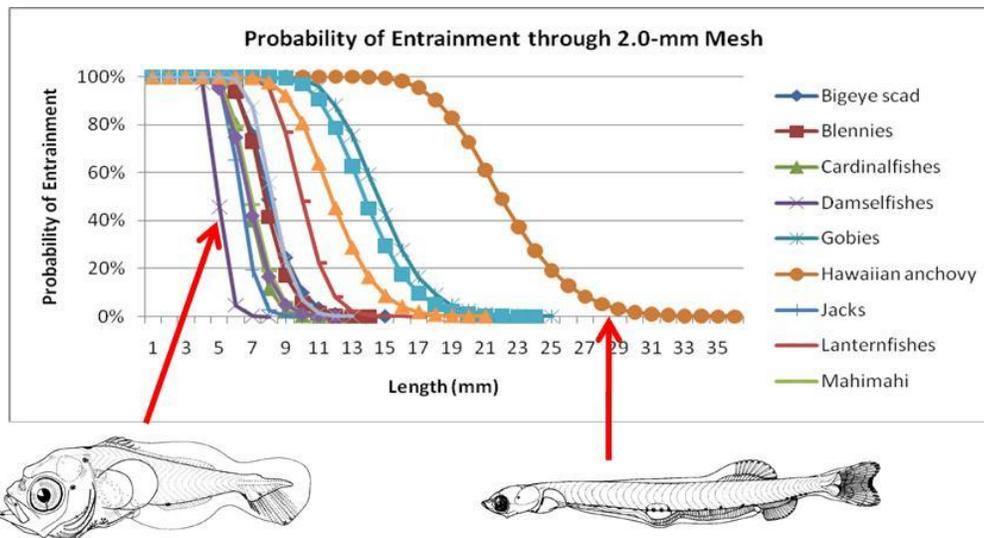


Figura 7: Probabilidad de arrastre de peces a través de una malla de 2,0 mm. Fuente: HDR

A medida que el largo de las especies aumenta, la probabilidad de arrastre disminuye. (Turnpenny A. W., 1988). Como se puede observar en la Figura 7, ante una malla específica (por ejemplo de 2 mm de separación), aquellas larvas caracterizadas por una mayor razón entre el diámetro de la parte ósea de la cabeza y su longitud, son excluidas a largos inferiores en comparación con aquellas larvas caracterizadas por una menor razón entre el diámetro de la parte ósea de la cabeza y su longitud.

Es comúnmente aceptado que el efecto de atrapamiento en mallas pasivas que utilizan una baja velocidad de captación a través de la malla es prácticamente eliminado, por lo tanto, se prescinde de la necesidad de determinar el potencial de sobrevivencia al efecto de atrapamiento.

De acuerdo con Alden Lab, existen limitaciones prácticas para prevenir el arrastre de fitoplancton y zooplancton. La EPA no se habría pronunciado respecto a esta materia en el proceso de definición de la norma 316(b) (Ministerio de Energía, 2015, Anexo 12).

### 5.1.3 Susceptibilidad de Organismos y su Relación a la Temperatura de Agua

Como se mencionó anteriormente, el arrastre puede producir estrés térmico en los organismos arrastrados debido a la diferencia entre la temperatura del agua donde estos habitan y la temperatura del agua al interior del condensador. Adicionalmente, también existe el riesgo sobre el medio ambiente por el efecto de mayor temperatura en la zona de mezcla de la descarga.

Los efectos de la temperatura en distintos organismos también han sido revisados en procesos para determinar límites máximos aceptables, concluyéndose que es posible

encontrar un amplio rango de sensibilidad térmica entre las distintas especies (U.S. Army Corps of Engineers, 1990, p. Cap 11), (EPRI, 2011), (EPRI, 2012), ( British Energy Estuarine & Marine Studies, 2011), (Wither, et al., 2012).

Generalmente se diferencian distintos niveles de tolerancia para distintas especies: temperatura óptima, temperatura superior (o inferior) tolerable y temperatura superior (o inferior) letal.

Los peces pueden experimentar un shock térmico cuando pasan rápidamente desde un agua de menor temperatura a un agua de mayor temperatura. De acuerdo con el US Army Corps of Engineers, los peces son capaces de detectar cambios de temperatura menores a 0,5 °F y no existe evidencia que indique fehacientemente si ciertas especies de peces optan por entrar a zonas de temperatura mayor a su temperatura óptima (hasta el punto de alcanzar su temperatura superior tolerable) o son capaces de optar por evitarlas sin afectar su metabolismo. Lo anterior es particularmente válido para especies de aguas cálidas.

En el contexto de ambientes marinos del Reino Unido, el panel de expertos BEEMS<sup>11</sup> ha indicado en sus estudios que los peces tienen una habilidad importante para regular su comportamiento para permanecer en áreas de temperatura más comfortable (British Energy Estuarine & Marine Studies, 2011).

En el caso particular de Chile, donde las corrientes marinas tienen patrones de temperatura más fríos, se debiera poner especial atención a la sensibilidad de especies de agua fría, particularmente en zonas cercanas a la costa que sirvan como hábitat de reproducción. Un desafío pendiente es realizar un levantamiento y sistematización de dichos antecedentes para especies representativas.

## **5.2 Respuesta del Receptor**

La respuesta del Receptor, indicada en la Figura 4 (página 22) corresponde a un cambio medible en un atributo de un Objetivo de Evaluación en respuesta a su exposición a un Estrés. Asociar la respuesta de un receptor a una o más causas puede ser particularmente complejo cuando múltiples Fuentes de Estrés impactan a un cuerpo de agua.

De acuerdo a estudios realizados por EPRI, no siempre sería posible concluir que existe una afectación directa entre el daño a la población de organismos en una localidad y el volumen de agua retirado por un sistema de captación, siendo otros factores tales como el nivel total de sólidos disueltos, el uso de biocidas, características ecológicas de la zona,

---

<sup>11</sup> BEEMS: British Energy Estuarine & Marine Studies

la estacionalidad del uso del agua, y el ciclo de vida de las especies afectadas factores relevantes en explicar la afectación (EPRI, 2003) (EPRI, 2011). La Comisión de Energía de California ha realizado una afirmación similar (California Energy Commission, 2005). En el contexto de estudios realizados en ríos y lagos en Estados Unidos, la EPRI indica que podría haber una relación entre la población afectada de organismos en casos donde las tasas de retiro de agua son altas comparadas con el volumen de agua disponible (mayor a 2-4%) y los tiempos de residencia son cortos (menor a 25 – 50 días) (EPRI, 2003).

La capacidad de identificar elementos de Estrés de manera precisa y defender evidencias que fundamenten dicha identificación es un paso crítico en el desarrollo de estrategias para mejorar la calidad de los cuerpos de agua (EPA, 2000).

Al realizar un análisis de riesgo, la relación causa efecto entre el Estrés, el Receptor y el Objetivo de Evaluación es utilizada para establecer y caracterizar las hipótesis de riesgo ambiental. Para representar el riesgo ambiental en el contexto de sistemas de captación de agua para enfriamiento, las hipótesis de riesgo pueden ser jerarquizadas de la siguiente forma:

- *Efectos de primer orden*: Muertes directas de individuos de especies representativas.
- *Efectos de segundo orden*: Disminución de capacidad de reproducción de especies representativas.
- *Efectos de tercer orden*: Disminución de abundancia de especie representativa en el largo plazo.
- *Efectos de cuarto orden*: Cambios en la composición de especies (a nivel de comunidad) en el sitio de interés.

Estudios en Europa han indicado que la mortalidad relacionada al atrapamiento de larvas de peces es mayor que la mortalidad en el arrastre (European Commission, 2001). El atrapamiento de organismos comúnmente puede ser minimizado, o en algunos casos prácticamente eliminado, cuando se utiliza una localización adecuada, en conjunto con definiciones de diseño y operación adecuadas.

El arrastre de organismos en etapas tempranas de su ciclo de vida corresponde a un desafío mayor debido a la naturaleza pasiva de huevos y larvas, y debido al supuesto conservador de 100% de mortalidad por arrastre. Por lo tanto, los reguladores generalmente han puesto más énfasis al impacto por arrastre. No obstante, dependiendo del proceso industrial utilizado (desalación, central termoeléctrica con sistema de enfriamiento cerrado mediante torre de enfriamiento o central termoeléctrica con

sistema de enfriamiento abierto), es posible encontrar cierta tasa de sobrevivencia de los organismos arrastrados<sup>12</sup>.

Estudios realizados por EPRI en California indican que centrales termoeléctricas que utilizan sistemas de enfriamiento abiertos, emplazados en ambientes costeros abiertos, tienen un efecto significativamente menor sobre la población de organismos que centrales termoeléctricas similares cuya captación y descarga está localizada en lagunas costeras o bahías<sup>13</sup>. En las centrales termoeléctricas cuya captación y descarga se encuentra en ambientes costeros abiertos la fuente de agua para enfriamiento y los organismos se distribuyen en una extensión geográfica de cientos de kilómetros a lo largo de la costa (EPRI, 2007).

Una conclusión similar se ha obtenido de estudios realizados para analizar el uso de sistemas de enfriamiento abierto en centrales termoeléctricas en Inglaterra (Bamber & Turnpenny, 2012) y Japón (EPRI, 2012). M. Kiyono y un equipo de investigadores del Marine Ecology Research Institute de Tokyo indican que, en el contexto de diseño, emplazamiento y operación de plantas termoeléctricas japonés, estudios científicos han mostrado que el impacto de atrapamiento y arrastre en recursos pesqueros es relativamente pequeño, comparado con el impacto de actividades pesqueras y la mortalidad natural de huevos y larvas. Se indica además que se han reportado cambios en la composición de especies de algas sólo cerca de la descarga, zona que la mayor parte del tiempo está cubierta por un efluente térmico 2 a 3 °C superior a la temperatura normal del medio marino (EPRI, 2012).

---

<sup>12</sup> Para sistemas de desalinización o centrales termoeléctricas con sistema de enfriamiento cerrado se puede utilizar 100% de mortalidad por arrastre. Para centrales termoeléctricas con sistema de enfriamiento abierto se ha observado una tasa de sobrevivencia, que depende del contexto medioambiental, de diseño y operacional de la planta.

<sup>13</sup> No obstante, debido a facilidades constructivas y operativas en el manejo de embarcaciones que transportan combustible, las centrales termoeléctricas ubicadas en ambientes costeros marinos generalmente se han emplazado en zonas más cubiertas (bahías), situación que también se refleja en las centrales instaladas en Chile. En estos casos, con requerimientos regulatorios adecuados, y medidas de protección de succión y sistemas de descarga diseñados, operados y mantenidos apropiadamente se puede minimizar el impacto ambiental.

## 6 EMPLAZAMIENTO APROPIADO DEL PUNTO DE CAPTACIÓN

El factor más importante que tiene una influencia sobre el riesgo de arrastre de organismos es la ubicación o emplazamiento del punto de captación. Por lo tanto, la selección apropiada del emplazamiento del punto de captación, sobre todo en aquellas zonas de menor riqueza biológica, permite reducir los efectos de atrapamiento y arrastre asociados a la succión de agua (US EPA, 2014). En el caso de plantas de desalinización, generalmente hay un foco en la búsqueda de un punto que permita contar con un agua con la menor cantidad de sólidos suspendidos posible.

El planteamiento de localizaciones fuera de la línea de la costa generalmente involucra la utilización de *velocity caps*, torres de captación o campanas de captación. Recientemente se han planteado experiencias con mallas cilíndricas con alambres trapezoidales o triangulares (en inglés conocidos por Cylindrical Wedgewire Screens).

La mayoría de los sistemas de toma de agua fuera de la línea de la costa están instalados a una profundidad entre 5 y 15 metros, dependiendo de la pendiente del fondo marino. Se puede diseñar y construir un sistema de toma de agua a mayores profundidades considerando cuidadosamente los desafíos asociados a la mantención del sistema.

Si se requiere mantención manual del sistema de captación, probablemente la mayor profundidad factible a evaluar para el emplazamiento del punto de succión debiera considerar como umbral aquella profundidad que no requiera descompresión del buzo durante un periodo extendido de tiempo de trabajo. Por ejemplo, de acuerdo a la US Navy, si se considera una profundidad de 10 metros, se permite trabajar por aproximadamente 160 minutos utilizando aire comprimido normal, antes que se requiera descompresión durante el ascenso (Tabla 2). Requerimientos similares han sido desarrollados por Directemar (Directemar, 2006).

Un sistema de limpieza manual se vuelve más complejo a mayores profundidades; lo que puede ser considerado como un límite a los requerimientos de diseño tanto en términos de costo como de seguridad.

Tabla 2: Tablas de buceo de US Navy para definir límites de descompresión. Fuente: Missimer, Jones, & Maliva, 2015

Depth feet / metres		Doppler No-Decompression Limits (minutes)	No-Decompression Limits and Repetitive Group Designation Table For No-Decompression Air Dives																
10	3.0		60	120	210	300													
15	4.5		35	70	110	160	225	350											
20	6.0		25	50	75	100	135	180	240	325									
25	7.5	245	20	35	55	75	100	125	160	195	245								
30	9.0	205	15	30	45	60	75	95	120	145	170	205							
35	10.5	160	5	15	25	40	50	60	80	100	120	140	160						
40	12.0	130	5	15	25	30	40	50	70	80	100	110	130						
50	15.0	70		10	15	25	30	40	50	60	70								
60	18.0	50		10	15	20	25	30	40	50									
70	21.0	40		5	10	15	20	30	35	40									
80	24.0	30		5	10	15	20	25	30										
90	27.0	25		5	10	12	15	20	25										
100	30.0	20		5	7	10	15	20											
110	33.0	15			5	10	13	15											
120	36.0	10			5	10													
130	39.0	5			5														

Un estudio realizado por Vásquez *et al.* (2008) titulado “Análisis de los Potenciales Efectos Ambientales de la Operación de proyectos Termoeléctricos en ambientes marinos de la Cuarta Región”, indica: “La profundidad donde se minimice el efecto de arrastre depende puntualmente de la localización y condiciones oceanográficas”, y agrega “sin embargo, un buen criterio es establecer la aducción a una profundidad mayor que aquella que se encuentre en la termoclina.”

Tomando como referencia el requerimiento indicado anteriormente es importante definir qué se entiende por termoclina. El glosario de marea y corrientes del SHOA (SHOA Pub. 3013) define la termoclina como aquella zona de la capa superficial del océano en la cual la temperatura del agua del mar tiene una rápida disminución en sentido vertical con poco aumento de la profundidad<sup>14</sup>.

Por su parte, la US Army Corps of Engineers define termoclina como aquella capa en el cuerpo de agua donde se alcanza el máximo diferencial de temperatura por unidad de profundidad, indicando más específicamente que es la capa en donde diferencia (caída) de temperatura es mayor o igual a 1 °C por metro de profundidad.

No obstante, es importante notar que la ubicación de la profundidad de la termoclina está expuesta y condicionada a episodios dinámicos que dependen de las condiciones

<sup>14</sup> La definición es ambigua ya que no define “rápida disminución en sentido vertical con poco aumento de la profundidad” de una forma que se pueda aplicar apropiadamente en la definición de un diseño de ingeniería.

oceanográficas del lugar de emplazamiento de las estructuras de captación. Esta dinámica física costera genera cambios y variaciones en la estructura térmica de la columna de agua en escalas espacio-temporales breves, provocando la ocurrencia de episodios de estratificación y/o mezcla de la columna de agua (Henríquez *et al.* 2007). La Figura 8 presenta el promedio (y su desviación estándar) de registros de mediciones de temperatura en un emplazamiento de la costa de Chile. Los datos fueron tomados cada 10 minutos durante 24 horas los días 20, 22, 24 y 28 de diciembre. En la figura es posible observar la variabilidad natural propia del sistema costero respecto de gradientes térmicos (Ministerio de Energía, 2015 - Anexo 13).

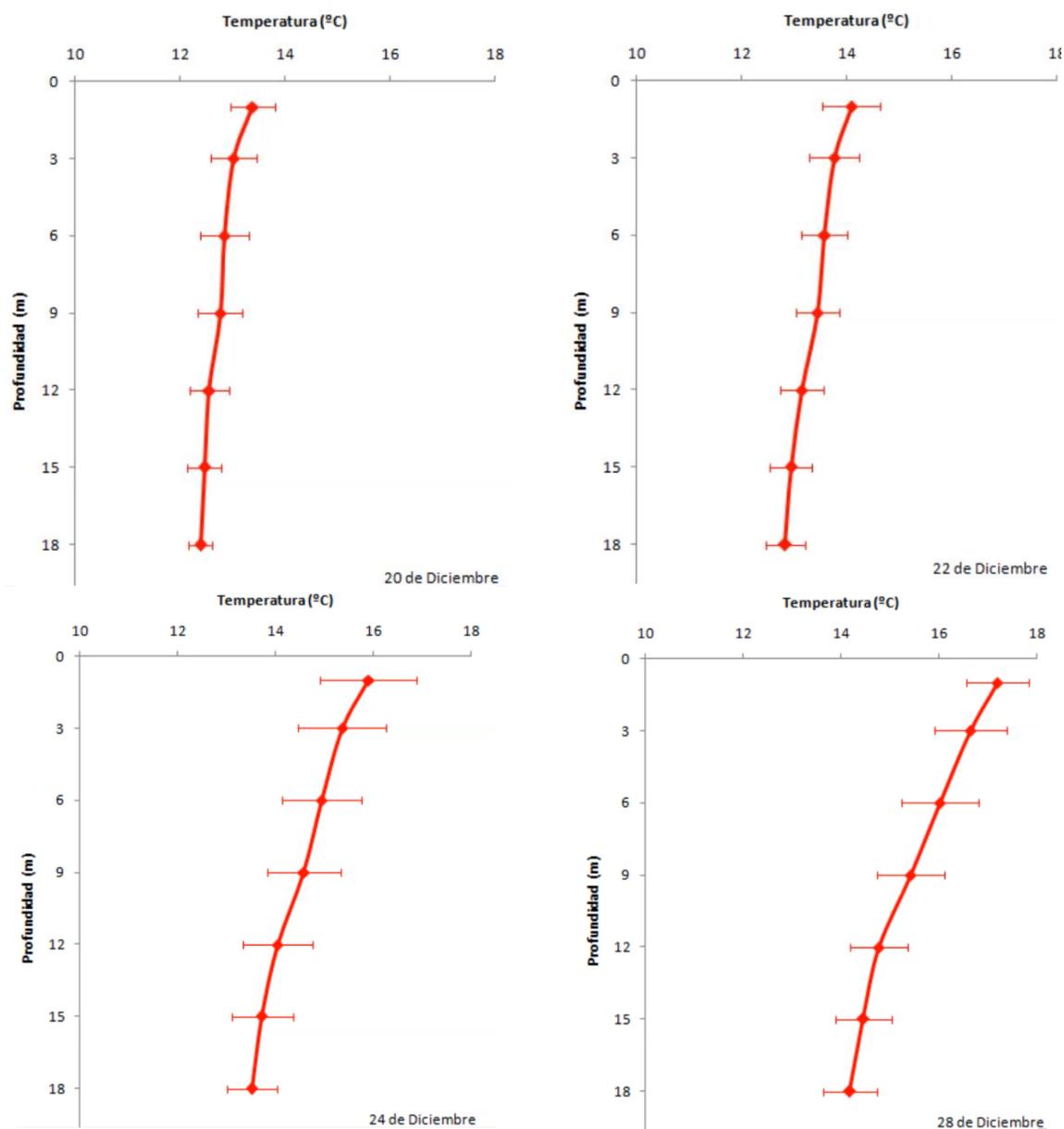


Figura 8: Variación Temporal del Perfil de Temperatura de la Termoclina. Fuente: Costa Sur, 2015.

Se ha observado que en aguas someras prevalece la ocurrencia de capa de mezcla por sobre la estratificación y presencia de una termoclina estacional. Por lo tanto, en condiciones reales es probable que se generen movimientos de parcelas de agua que pueden afectar los patrones de distribución y abundancias de organismos planctónicos en la columna de agua (Henríquez *et al.* 2007).

La necesidad de captar bajo la termoclina para evitar el efecto de ingreso masivo de biomasa zooplanctónica, es una recomendación que considera como supuesto el hecho que en sectores costeros la distribución de organismos en la columna de agua es restringida sólo a los estratos superficiales o que se encuentra estratificada con respecto a la termoclina. No obstante, Gray & Kingsford, 2003 presentan evidencia donde la termoclina no se considera una barrera física o interfaz importante para las interacciones tróficas en zonas costeras, es más, argumentan que las termoclinas no son críticas para la sobrevivencia de estadios larvales de peces en aguas costeras relativamente poco profundas y que se caracterizan por procesos oceanográficos dinámicos donde las perturbaciones en la posición e intensidad de las termoclinas son frecuentes (Gray & Kingsford, 2003).

Por lo tanto, la termoclina no necesariamente puede ser considerada como un buen predictor de la distribución vertical de las larvas. Dicho lo anterior, se ha trabajado preliminarmente en definir los componentes principales de un estudio de caracterización que contribuya a probar que un emplazamiento determinado es o no adecuado (Ministerio de Energía, 2015 - Anexo 8).

Finalmente, desde el punto de vista de mantenimiento de un sistema de mallas pasivas, la distancia desde la costa y profundidad son dos factores importantes de diseño de sistemas de captación protegidos mediante mallas pasivas que utilizan aire comprimido como método de limpieza. Distancias mayores a 200 – 300 metros desde la línea de la costa podría dificultar el uso de sistemas de aire comprimido como procedimiento de limpieza de mallas cilíndricas con alambres trapezoidales o triangulares.

## 7 SISTEMAS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN

La función del sistema de protección del sistema de enfriamiento de una planta termoeléctrica no sólo es reducir la probabilidad de obstrucción de tubos del condensador al impedir el paso de objetos y organismos presentes en el agua (biomasa), sino también, proteger a los organismos presentes en el medio acuático de los efectos que puede causar su atrapamiento en rejillas o su arrastre hacia el interior de sistema de enfriamiento de la central.

En una central termoeléctrica, como los tubos del condensador corresponden al punto de menor diámetro en el sistema de paso de agua de enfriamiento, y por lo tanto, tienen mayor riesgo de obstrucción; históricamente el tamaño de las ranuras de las mallas de protección del sistema de captación de agua ha sido determinado en función del diámetro de los tubos del condensador. Como regla general se ha utilizado que el tamaño de las ranuras de protección no debe ser mayor a la mitad del área de sección del tubo del condensador.

La selección de cualquier tecnología de protección del sistema de enfriamiento debe ser revisada con un entendimiento completo de los parámetros de diseño y operación de la planta. Para una planta nueva, se puede mantener cierta flexibilidad durante la etapa de diseño (hasta cierto grado de avance del proyecto). Para una planta existente, los parámetros de diseño y operación imponen restricciones importantes en el potencial de aplicación a una tecnología de protección del sistema de enfriamiento.

Los mecanismos de reducción de atrapamiento y arrastre de organismos mediante la protección del sistema de enfriamiento de plantas termoeléctricas pueden tener un rol importante en el diseño de centrales termoeléctricas eficientes y operadas en armonía con el medio acuático, en localidades donde el volumen de agua retirado por la central es varios órdenes de magnitud inferior al volumen de agua disponible.

Ciertos autores indican que la reducción de atrapamiento y arrastre de organismos mediante reducción de flujo de agua (por ejemplo, torres de enfriamiento en plantas termoeléctricas) podrían no ser, en todos los casos, la alternativa de diseño más conveniente para condiciones particulares del emplazamiento, debiendo ser consideradas otras soluciones de menor complejidad y costo (Hanson, White, & Li, 1977) (Haddingh, 1979). En este contexto, un reporte desarrollado el año 2010 por la Agencia de Medio Ambiente de Reino Unido indica que sistemas de refrigeración con torres de enfriamiento

no han sido utilizados en plantas instaladas en las costas de Europa, siendo, a esa fecha, los sistemas de enfriamiento abierto los aplicados en estas situaciones<sup>15</sup>.

Por lo tanto, existen diversas tecnologías que utilizadas de manera aislada o combinada tienen el potencial de reducir el atrapamiento y el arrastre de organismos de manera significativa (US EPA, 2014, págs. 133-204) (US EPA, 2014, págs. 127-156). Su efectividad biológica y la factibilidad de aplicación práctica desde el punto de vista ingenieril son altamente dependientes de las condiciones particulares del emplazamiento y del tipo de organismos que se desean proteger. Por consiguiente, el costo asociado a la instalación de estas tecnologías también es altamente dependiente de las condiciones particulares del emplazamiento (Taft & Cook, 2003).

Es posible utilizar sistemas de protección del sistema de captación para proteger organismos acuáticos de los efectos de arrastre en niveles similares a los que se podría lograr con el cambio de sistemas enfriamiento abierto por uno cerrado en plantas termoeléctricas, es decir, lograr un objetivo de reducción de arrastre organismos de interés en niveles cercanos a 90% (Ministerio de Energía, 2015 - Anexo 8). Por lo tanto, la utilización de ciertos sistemas de protección del sistema de captación de agua debiera ser aceptable desde la perspectiva de reducción de impactos de arrastre. Se puede concluir que ciertos sistemas de protección corresponden a la mejor tecnología disponible para minimizar los impactos de arrastre.

Sin embargo, es importante comprender y plantear adecuadamente el objetivo: exclusión física de la entrada de organismos o exclusión física y sobrevivencia. Si el objetivo es sólo la exclusión física de entrada de organismos, la selección adecuada de la separación de las mallas y de la velocidad de captación puede permitir lograr el objetivo de reducción de 90% en arrastre aproximadamente. Si el objetivo es una reducción de 90% en el arrastre de organismos y lograr una tasa de sobrevivencia de 100% en los organismos excluidos físicamente del sistema, es probable que el objetivo no sea alcanzable para todas las especies en sus distintas etapas de su ciclo de vida debido a la fragilidad de alguna de ellas (Ministerio de Energía, 2015 - Anexo 8).

Se puede considerar que una tecnología específica tiene efectividad biológica probada<sup>16</sup> si existen datos (preferentemente de implementaciones a escala industrial) que

---

<sup>15</sup> Los sistemas en la costa no enfrentan las limitaciones de capacidad térmica que podrían tener estuarios, ríos o lagos. Se asume que el sistema de descarga es diseñado y emplazado apropiadamente para evitar impacto de efectos térmicos, los que no representarían un problema fuera del límite de zona de mezcla.

documenten que la tecnología ha sido efectiva protegiendo — en otras localidades — a uno o más organismos similares a los presentes zona de interés<sup>17</sup>. Desde el punto de vista de ingeniería, una tecnología puede tener una ventaja sobre otra alternativa si, para una efectividad biológica similar, tiene menores requerimientos estructurales para su instalación.

El listado de tecnologías disponibles que, en distinta medida dependiendo de las condiciones del emplazamiento, tienen el potencial de reducir el atrapamiento y el arrastre de organismos por el sistema de captación de agua se presenta en la Tabla 3, donde se agrupan las tecnologías según distintas familias. Por completitud también se incluyen las alternativas que involucran una reducción de flujo de agua. La tabla está basada en la información presentada en (Taft & Cook, 2003). Una comparación más extensiva de las ventajas y desventajas de los distintos conceptos es presentada en la Tabla 19-4 de (EPRI, 2005), en (Taft E. , 2000), en (Turnpenny & O'Keeffe, 2005) y (Alden, 2003).

Una familia de protección del sistema de captación corresponde a aquellas tecnologías que cumplen la función de bloquear físicamente el paso de organismos: barreras físicas (Anderson, 2004), (EPRI, 2006), (Watson, 2004), y (Turnpenny & O'Keeffe, 2005). Desde la perspectiva biológica, esta tecnología es efectiva cuando se combina con una baja velocidad de captación de agua, en caso contrario, una barrera con aberturas más pequeñas para reducir el arrastre de organismos aumentaría el atrapamiento de dichos organismos.

Una segunda familia tecnológica corresponde a aquellos sistemas que cumplen la función de recolectar, activa o pasivamente, organismos para transportarlos a través de un

---

<sup>16</sup> Ha reducido de manera significativa el arrastre y el atrapamiento de organismos en aplicaciones a escala industrial.

<sup>17</sup> La EPRI recomienda que independiente del método para estimar el potencial de efectividad biológica, las fuentes de información y metodología sean citadas en un reporte técnico (EPRI, 2000). Se sugiere resumir la información para documentar la utilización previa de una tecnología y efectividad biológica teniendo en consideración factores ambientales, de ingeniería, y de operación que podrían influenciar el desempeño de la tecnología en evaluación. La información deseable a presentar incluye: la localización donde ha sido utilizado el sistema, el tipo de cuerpo de agua, el tamaño de la planta (número de unidades y capacidad), el tipo de sistema de enfriamiento y flujo de agua requerido, el tipo de sistema de captación de agua, los parámetros de diseño de las rejillas de protección (tamaño de ranuras, velocidad de flujo de agua), las características del agua (temperatura, salinidad, sedimentos), presencia de residuos, características de bioincrustación, efectividad biológica, y referencias relevantes.

sistema de retorno (Sistemas de Recolección). Estos pueden ser combinados con sistemas que orientan organismos a un sistema de retorno o zona segura.

Finalmente se presentan aquellos sistemas que toman ventaja de, o tienen la capacidad de, alterar el comportamiento natural de los organismos para repelerlos o atraerlos (Guías de Comportamiento) (Brown, 2004), (EPRI, 2006), (EPRI, 2008), y (Tumpenny, 2004). Estos sistemas no garantizan una barrera al paso de peces, por lo que frecuentemente son utilizados en aplicaciones menos críticas.

**Tabla 3: Alternativas Tecnológicas de Protección del Sistema de Enfriamiento. Fuente: Elaboración propia**

<p><b>BARRERAS FÍSICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mallas estáticas</li> <li>- Sistemas de Mallas en tambor</li> <li>- Mallas en Cilindros con Alambre en V</li> <li>- Barreras</li> <li>- Banda móvil de paneles filtrantes</li> <li>- Filtros</li> <li>- Mallas en Disco Rotatorio</li> <li>- Diques porosos</li> <li>- Otros</li> </ul>	<p><b>SISTEMAS DE RECOLECCIÓN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Banda móvil con filtros de paneles</li> <li>- Bomba para peces</li> </ul> <p><b>SISTEMAS DE REDIRECCIÓN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paneles o mallas angulares</li> <li>- Paneles inclinados</li> <li>- Banda móvil con filtros de paneles</li> <li>- Persianas</li> </ul>
<p><b>GUIAS DE COMPORTAMIENTO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estroboscopio</li> <li>- Lámpara de Mercurio</li> <li>- Sistemas acústicos</li> <li>- Infrasonido (menor 20 Hz)</li> <li>- Cortina de burbujas</li> </ul>	<p><b>REDUCCIÓN DE FLUJO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bombas de velocidad variable</li> <li>- Reducción de operación de bombas</li> <li>- Sistemas de enfriamiento en ciclo cerrado o seco</li> </ul>

Las familias o categorías descritas anteriormente para los mecanismos reducción de atrapamiento y arrastre de organismos mediante protección del sistema de enfriamiento generalmente tienen distinto desempeño biológico dependiendo de la etapa de vida en que se encuentran los organismos que interactuarán con el sistema. La Tabla 4 presenta el nivel de efectividad para cada una de las cuatro familias identificadas para proteger organismos dependiendo de la etapa de vida en que se encuentren: huevo, larva, juvenil y adulto (EPRI, 2000).

En términos generales, se ha determinado que las alternativas de mitigación de atrapamiento basadas en la alteración del comportamiento de los organismos son generalmente poco efectivas en reducir el arrastre de larvas (Weisberg, Burton, Jacobs, & Ross, 1987). Por consiguiente, los siguientes conceptos pueden ser considerados con efectividad tecnológica limitada: Infrasonido, Lámpara de Mercurio, Pantallas eléctricas, y

Cortina de Burbujas (Taft E. , 2000). Adicionalmente, estos sistemas son dependientes de factores medioambientales como el flujo de agua, turbiedad, profundidad, temperatura, entre otros.

Tabla 4: Potencial de Protección de las Familias de Concepto en Función de la Etapa de Vida del Organismo. Fuente: EPRI, 2000

Concepto	Potencial de Protección en Etapa del Organismo			
	Huevo	Larva	Juvenil	Adulto
Barrera Física	Sí	Sí	Sí	Sí
Sistemas de Recolección	Sí	Sí	Sí	Sí
Guías de Comportamiento	No	No	Sí	Sí
Sistemas de Redirección	No	No	Sí	Sí

A continuación, se revisan ciertas alternativas tecnológicas de sistemas de protección que han sido reconocidas como parte de las mejores alternativas disponibles para efectos de protección de sistemas de captación; sin perjuicio que puedan existir o desarrollarse otras con resultados, al menos, equivalentes.

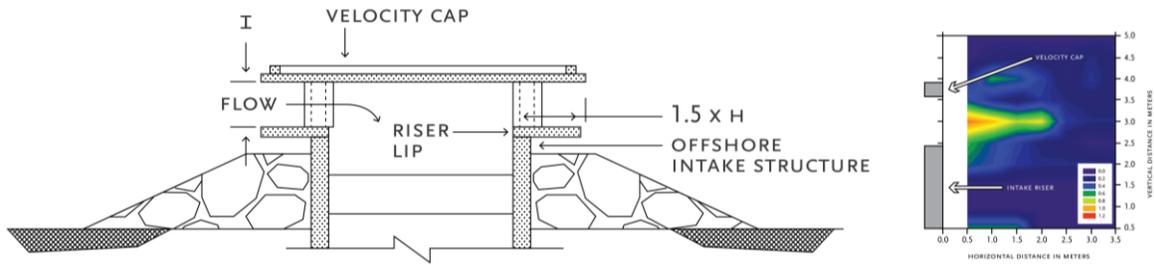
### 7.1 *Velocity Cap* y Torres de Captación de Baja Velocidad

Los *velocity caps* y las torres de captación corresponden a un sistema de captación instalado sobre el fondo marino, diseñado para cambiar la orientación del flujo de vertical a horizontal. De esta forma, limitan la zona de influencia del sistema de captación al nivel de profundidad donde se emplaza el sistema.

Se ha observado que los peces tienen una mayor capacidad de detectar variaciones de flujo horizontal que variaciones de flujo vertical. Los *velocity cap* tienen que generar velocidades lo suficientemente altas de modo que los peces puedan detectarlas, se recomienda velocidades horizontales entre 0,3 y 0,9 m/s (Pankratz, 2015).

La velocidad del agua en un *velocity cap* es calculada en el plano vertical de la apertura. Se ha planteado que para generar un flujo que acelere de manera más gradual, y que de esa manera favorezca el tiempo de respuesta de los peces y otros organismos, se debe extender la tapa y la parte inferior de la apertura en un plano horizontal equivalente a 1,5 veces la altura de la apertura (Pankratz, 2015).

La Figura 9 presenta un diagrama de un *velocity cap* junto a un perfil de velocidades calculado en la etapa de diseño de un *velocity cap*.



**Figura 9: Diagrama de un *velocity cap* instalado en el fondo del mar junto a un diagrama de velocidades de flujo de agua (en fp/s) en la entrada de un *velocity cap*. Fuente: Imagen adaptada de Alden y MBC Applied Environmental Sciences**

Recientemente la definición de un *velocity cap* ha evolucionado más allá de su definición original y se utiliza incorrectamente para referirse a cualquier sistema de toma de agua cubierto en su parte superior, independiente de su velocidad de captación y la altura de su apertura (Tabla 5). A modo de referencia, la Figura 10 presenta una torre de captación de baja velocidad instalada en una planta de desalinización en Australia. Esta situación ha sido aclarada por la EPA, quien en el proceso de revisión de la norma 316(b) indicó:

**Tabla 5: US EPA, Respecto a los *velocity caps*. Fuente: Federal Register/Val. 77, No. 112, Monday, June 11, 2012/ Proposed Rules, page 34320**

<p><i>“EPA is aware that low intake velocity is sometimes confused with velocity cap technologies, and EPA would like to clarify that these concepts are not the same. Most velocity caps do not operate as a fish diversion technology at low velocities, and in fact are often designed for an intake velocity exceeding one foot per second.”</i></p>	<p>La EPA está consciente que un sistema de captación de agua de baja velocidad es considerado equívocamente como un <i>Velocity Cap</i>. La EPA desea clarificar que estos conceptos no son equivalentes. La mayoría de los <i>Velocity Cap</i> no operan como una tecnología que redirecciona peces a bajas velocidades de captación, de hecho generalmente son diseñados para operar a una velocidad de toma de agua que excede a 1 pies por segundo.</p>
--	--

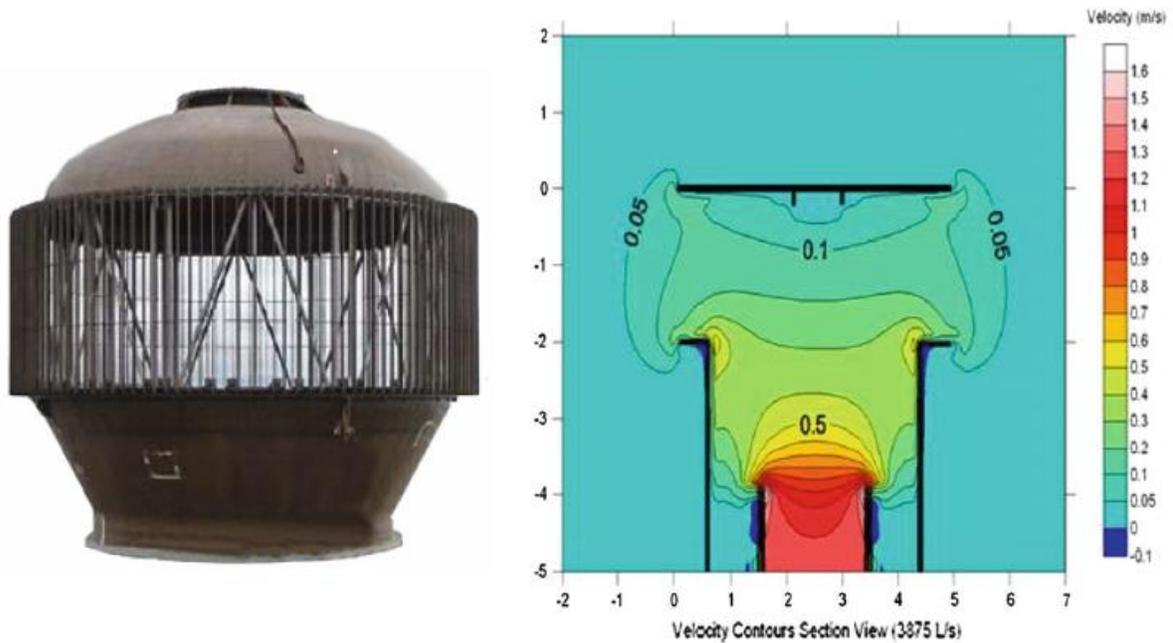


Figura 10: sistema de toma de agua cubierto en su parte superior, Gold Coast SWRO. Estructura (izquierda), Perfil de Velocidades de Captación (Derecha), Fuente: Craig, 2015

De acuerdo a exigencias de la EPA, en Estados Unidos un *velocity cap* tiene que estar emplazado a una distancia mínima de 243 metros desde la línea de la costa y deben utilizar un sistema de barreras para impedir el paso de mamíferos marinos, tortugas de mar y otros organismos de tamaño considerable (US EPA, 2014). En California la regulación de sistemas de refrigeración abiertos de plantas termoeléctricas establece que las barras de protección tengan una separación que no supere las 9 pulgadas de manera de prevenir el atrapamiento de organismos de mayor tamaño.

La EPA ha indicado que no cuenta con datos que demuestren que *velocity caps* instalados a una distancia menor de 243 metros de la línea de la costa pueden cumplir consistentemente con los estándares que ha determinado. Adicionalmente, la EPA ha afirmado que la instalación de *velocity caps* a profundidades con menor riqueza productiva - al menos de 19,8 metros en el contexto de Estados Unidos - contribuye a disminuir el impacto ambiental asociado a la operación del sistema de captación con ducto sumergido (US EPA, 2014, p. 194).

Estudios considerados por la EPA durante el proceso de desarrollo de la normativa 316(b) en Estados Unidos indican que los *velocity caps* son suficientemente efectivos en reducir el atrapamiento y arrastre de organismos al sistema de captación de agua. No obstante, su nivel de desempeño puede variar en función de factores temporales y locales característicos del emplazamiento (Tetrattech, 2008c), (Tetrattech, 2014), (MBC Applied Environmental Sciences et al., 2007), y (US EPA, 2014).

Estudios realizados en el Reino Unido, que consideran condiciones de centrales termoeléctricas en emplazamientos en el Reino Unido, indican que el uso de *velocity cap* no sería por sí solo una solución para disminuir el arrastre en sistemas de captación de agua sumergidos; por lo tanto, se sugiere la utilización de *velocity cap* en conjunto con otras tecnologías tales como: sistemas acústicos, cortina de burbujas, o sistema de retorno para peces (Turnpenny & O'Keeffe, 2005).

En síntesis, se puede mencionar que se ha demostrado, al menos en Estados Unidos, que un *velocity cap* diseñado apropiadamente puede reducir de manera efectiva el atrapamiento de organismos (en las figuras presentadas en el Anexo N° 2 se presentan ciertos detalles asociados a casos de estudio realizados en Southern California). Su efectividad en la reducción de arrastre dependerá del emplazamiento del sistema, siendo deseable que esté alejado de áreas de mayor productividad biológica (Hogan, Fay, Lattemann, Beck, & Pankratz, 2014).

Un aspecto práctico asociado a la verificación de velocidades de captación en terreno tiene relación con el efecto de la dinámica costera y sus agentes forzantes, que ocurren naturalmente en el medio marino, sobre las velocidades en la entrada de un *velocity cap* o torre de captación de baja velocidad.

Ha sido posible observar velocidades de corrientes con magnitudes mayores a la velocidad de diseño producto de movimientos naturales de agua que están fuera del ámbito de control del operador de sistema de captación. Dada esta condición y las dificultades propias asociadas al registro de esta variable en mayores profundidades (aspectos logísticos), se estima más práctico basar el cumplimiento normativo de velocidades de captación utilizando cálculos de ingeniería, y no en mediciones reales de velocidad (Ministerio de Energía, 2015 – Sección 6.1.5 y Anexo 12). Lo anterior también corresponde a una de las alternativas de cumplimiento establecidas en la norma 316(b) (Craig, 2015), (Pankratz, 2015), y (Hogan, Impingement and Entrainment at SWRO Desalination Facility Intakes, 2015)

## **7.2 Mallas Cilíndricas con Alambre de Forma Trapezoidal o Triangular (Cylindrical Wedge Wire Screen)**

Las Mallas Cilíndricas con Alambre de Forma Trapezoidal o Triangular (Cylindrical Wedge Wire Screen) funcionan bajo el principio de exclusión física de entrada de manera de prevenir de forma pasiva el arrastre de organismos basados en su tamaño.

## Exclusión Física de la Entrada de Organismos

En los sistemas de protección pasivos, la exclusión física de entrada es el factor principal a considerar al momento de evaluar la efectividad biológica. La exclusión física es una métrica que depende de las especies de interés, dado que hay diferencias importantes en las características morfológicas de distintas especies.

El factor principal a considerar al momento de determinar la exclusión física tiene relación con el tamaño de los organismos que se desea proteger en relación a la separación de los alambres. En el caso de larvas, se utiliza como métrica el tamaño de la parte ósea de la cabeza (Head Capsule Depth – HCD), porque es el elemento del cuerpo no comprimible de mayor diámetro, y el largo del organismo. A medida que el largo de las especies aumenta, la probabilidad de arrastre disminuye.

La siguiente figura ilustra cómo la componente morfológica afecta la métrica de arrastre de distintos organismos ante una malla cilíndrica con alambre de forma trapezoidal o triangular de 2 mm de separación (Tim Hogan, 2015).

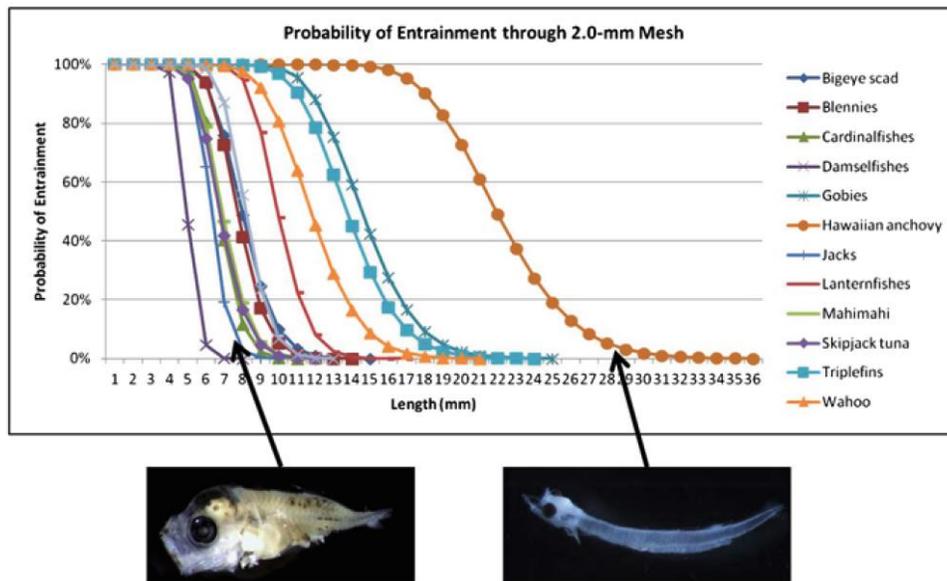


Figura 11: Probabilidad de arrastre de peces a través de una malla de 2,0 mm. Fuente: Hogan, Impingement and Entrainment at SWRO Desalination Facility Intakes, 2015

Es comúnmente aceptado que el efecto de atrapamiento en mallas pasivas que utilizan una baja velocidad de captación a través de la malla es prácticamente eliminado, por lo tanto, se prescinde de la necesidad de determinar el potencial de sobrevivencia al efecto de atrapamiento.

Considerando que la malla excluirá a aquellos organismos de tamaño igual o superior a la abertura o separación de los alambres, la efectividad potencial puede ser determinada basada en la distribución del tamaño de organismos presentes en el emplazamiento de interés. Estos sistemas son diseñados típicamente con bajas velocidades de captación a través de la malla (ejemplo: 0,15 m/s) para reducir el riesgo de atrapamiento (Hogan 2015) y (Hogan, Fay, Lattemann, Beck, & Pankratz, 2014). La Figura 12 presenta una ilustración de Mallas Cilíndricas con Alambre de Forma Trapezoidal o Triangular.

Weisberg *et al.* 1987 indican que el arrastre a través de sistemas de captación de agua puede ser reducido significativamente utilizando Mallas en Cilindros con Alambre de Forma Trapezoidal o Triangular (con separación de hasta 3 mm), siempre y cuando los organismos en riesgo excedan los 5 mm de longitud (Weisberg, Burton, Jacobs, & Ross, 1987). Otro caso de estudio indica que un sistema con separación de 6 mm logró reducir el arrastre de huevos y larvas de peces en un 60% en un año, comparado con caso base (Normandeau Associates, Inc, 2008). PSEG Services Corporation proyectó la instalación de estos sistemas con una separación de 2 mm; estimando una reducción del arrastre de organismos de 98% comparado con un escenario base (PSEG Services Corporation, 2002).

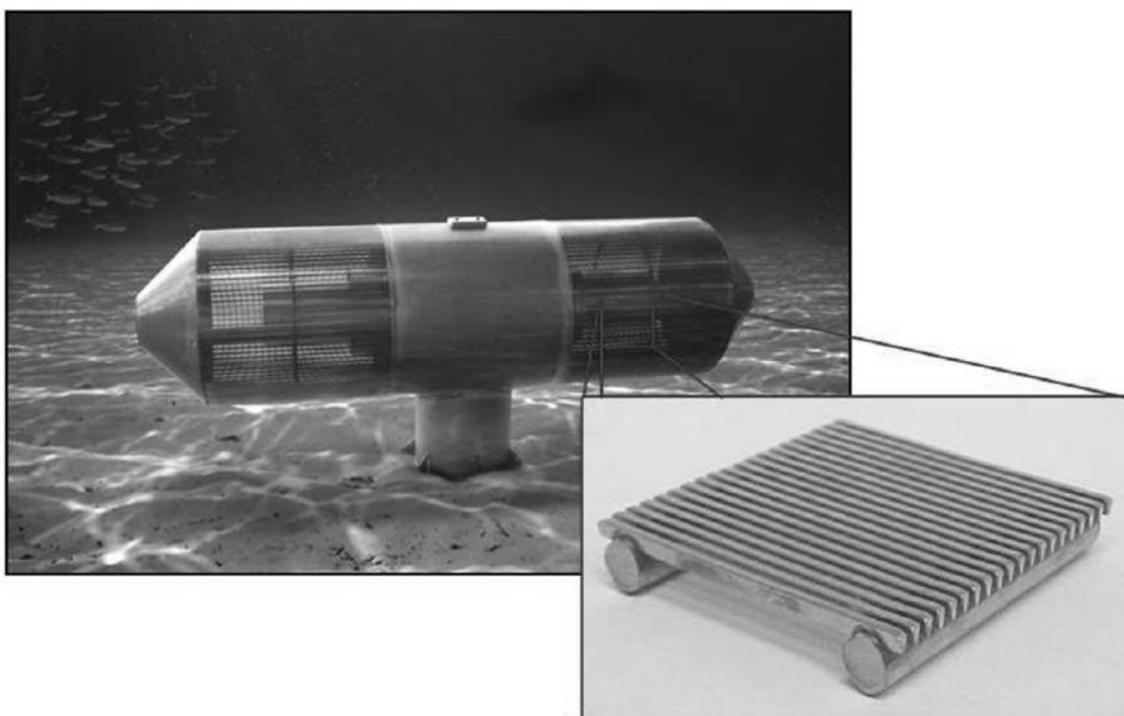


Figura 12: Mallas cilíndricas con alambre trapezoidal o triangular. Fuente: Johnson Screens.

Otros estudios con resultados positivos asociados a la utilización de la utilización de Cylindrical Wedge Wire Screens se presentan en (Ehrler & Raifsnider, 2000), (EPRI, 2005),

(EPRI, 2006), (Turnpenny & O'Keeffe, 2005), (Normandeau Associates, 2009) y (Bechtel, 2012). En Chile, la aplicación práctica de 10 filtros cilíndricos de 4 mm de abertura, instalados en la Central Santa María en la Bahía de Coronel, ha sido monitoreada y verificada por estudios realizados por la Universidad de Concepción, que indican los siguientes resultados (Hernández, 2014):

**Tabla 6: Eficiencia de filtros tipo Cylindrical Wedge Wire Screens instalados en Central Santa María. Fuente: Adaptado de Hernández, 2014**

<b>Componente analizado</b>	<b>Eficiencia del filtro</b>
Macrofauna	98,30%
Biomasa	99,20%
Macroalgas	99,23%
Peces	99,80%
Moluscos	96,90%
Crustáceos	99,90%
Algas verdes	96,84%
Algas rojas	99,95%
Algas pardas	95,45%
Otros organismos	96,90%

Por su principio de operación, es decir, la reducida velocidad de captación y su limitada zona de influencia hidrológica, las Mallas Cilíndricas con Alambre de Forma Trapezoidal o Triangular han mostrado que prácticamente pueden eliminar el atrapamiento de organismos. Es importante notar que el desempeño biológico y de ingeniería de estos sistemas es optimizado cuando hay una velocidad en el ambiente marino suficiente para arrastrar organismos y desechos fuera de la pantalla del filtro (Hogan, 2015). Por lo tanto, a medida que se maximiza la razón entre la velocidad natural del medio acuático y la velocidad a través de la malla, mejora el desempeño del filtro en términos de exclusión de organismos y desechos presentes en el medio acuático (Ministerio de Energía, 2015 - Anexo 8).

Si bien el nivel de abertura o separación en Cylindrical Wedge Wire Screens es un parámetro de diseño relevante, durante la definición de la normativa EPA 316(b) en Estados Unidos se determinó que no es necesario normar este parámetro debido a que las condiciones particulares de un emplazamiento pueden resultar tanto en sobre como sub especificaciones de diseño (Tetra Tech Inc., 2008).

Se han identificado dos obstáculos para la utilización de esta tecnología: Primero, su efectividad biológica está asociada a una velocidad de captación baja en la entrada de la malla, por lo tanto, para aplicaciones donde se requiere una cantidad importante de agua se debe utilizar una cantidad considerable de equipamiento, y por lo tanto, espacio. Esta mayor exigencia de espacio está asociada a los requerimientos y procedimientos

administrativos de solicitud de concesión marítima en Chile (DFL N° 340, 1960). Segundo, las mallas pueden estar sujetas a formación biológica por incrustación (*fouling*), efecto que se puede mitigar dependiendo del material utilizado y la operación apropiada de mecanismos de inyección de aire (Ng, Zheng, & Taylor, 2005).

Evaluaciones realizadas a la utilización de Cylindrical Wedge Wire Screens indican que la ubicación del sistema de captación de agua es un factor importante que afecta los criterios de diseño y la efectividad del sistema, la cual depende de las características biológicas del sitio y de las corrientes de agua (Brandt, 2004), (Alden Research Laboratory Inc, 2004), (Watson, 2004) y (Taft E. , 2000, págs. Anexo p. 29 - 30). La disposición de los filtros depende de la profundidad del agua, el espacio disponible y otros factores, pero las opciones tecnológicas disponibles hacen que la configuración sea flexible. La Figura 13 ilustra un esquema de la disposición de mallas cilíndricas en un sistema de captación existente.

Dependiendo de las condiciones del sitio y las características de los organismos a proteger, las aberturas a considerar van desde 0,5 a 9,5 mm. La abertura más utilizada en el Reino Unido es 3 mm (Turnpenny & O'Keeffe, 2005), pero en definitiva, se debe buscar un compromiso el área de abertura y el filtrado de desechos y organismos dependiendo de las condiciones particulares del lugar y los objetivos de protección. Recientemente en California se ha establecido el requerimiento de 1 mm (California Environmental Protection Agency, 2015). Aberturas más pequeñas requieren una mayor superficie de filtrado, y por consiguiente mayor número de filtros y disposición de espacio, lo que también se traduce en un costo mayor (debido también a la necesidad de redundancias en el diseño para mantener la confiabilidad operativa). Por lo tanto, es crítico revisar que las aberturas más pequeñas sean prácticamente y económicamente implementables en el contexto del lugar donde se desea desarrollar la instalación.

De acuerdo a una guía de buenas prácticas publicada por la Agencia de Medio Ambiente de Reino Unido, la profundidad de instalación mínima requerida para este tipo de filtros corresponde a medio diámetro de la pantalla del cilindro. Si la instalación se realiza sobre el lecho marino, dicha institución recomienda una distancia similar entre el extremo del cilindro y el fondo del mar.

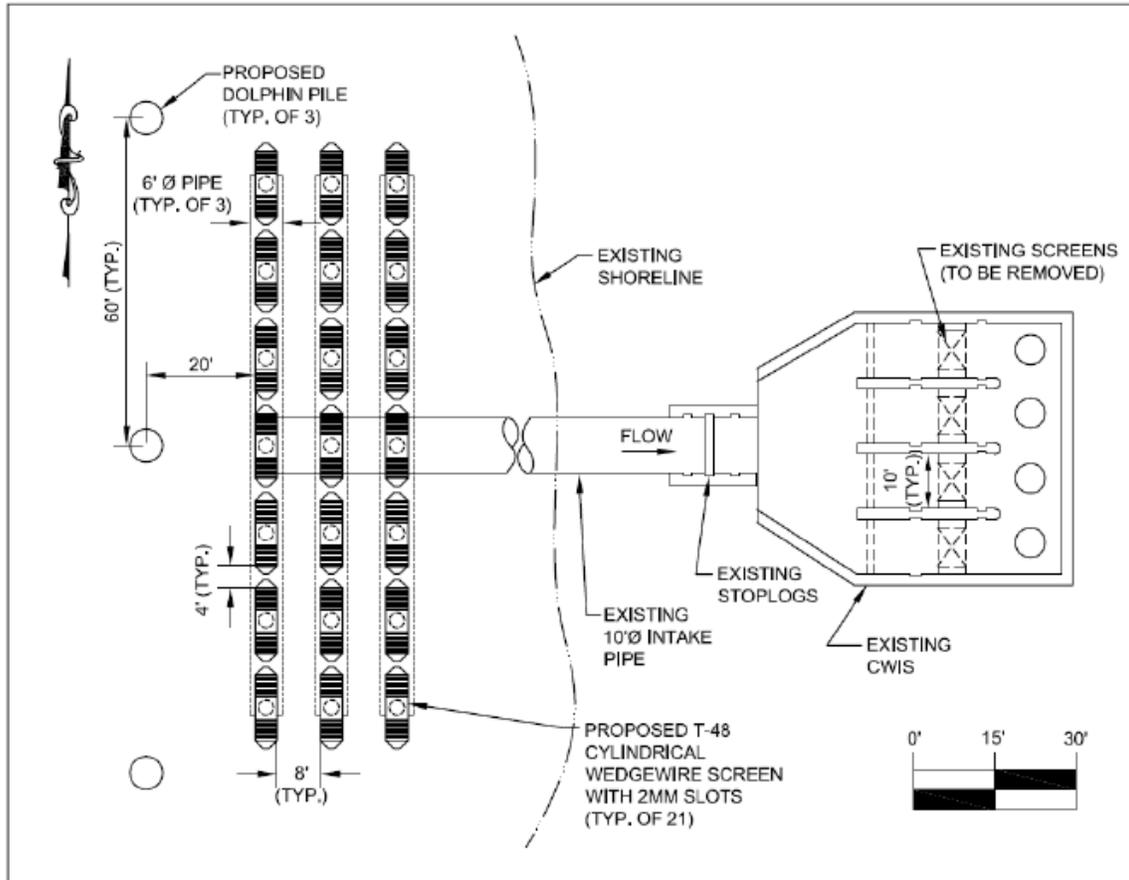


Figura 13: Disposición de la instalación de Cylindrical Wedge Wire Screens para un sistema de captación de agua.  
 Fuente: Hogan, Fay, Lattemann, Beck, & Pankratz, 2014

### 7.3 Mallas Móviles Modificadas (Modified Traveling Water Screens)

Las mallas móviles convencionales son parte del equipamiento estándar en la mayoría de los sistemas industriales de captación de agua de alto volumen. La función primaria de estas mallas es prevenir el ingreso de residuos que tienen el potencial de tapan el equipamiento de la planta (ejemplo: los tubos del condensador en una planta termoeléctrica).

La capacidad de una malla móvil de actuar como una barrera física ante peces, sin resultar en atrapamiento, depende de diversas consideraciones específicas del emplazamiento, tales como el tamaño de los peces, la velocidad del flujo de agua, la ubicación de las mallas, y la presencia de rutas de escape. Si la velocidad a través de la malla excede la capacidad de nado del organismo, este será atrapado.

Generalmente, sin la incorporación de elementos que contribuyan a la protección de peces, tales como canastillos de recolección, un sistema de lavado con agua a baja presión

(ejemplo: 5-20 psi)<sup>18</sup>, y un sistema de retorno de peces, las mallas móviles sólo se desempeñan como una barrera física a aquellos organismos que son capaces de nadar en sentido inverso al flujo. Los elementos mencionados anteriormente pueden ser incorporados en mallas móviles para mejorar la tasa de sobrevivencia de organismos atrapados (Hogan, Fay, Lattemann, Beck, & Pankratz, 2014). La Figura 14 ilustra el principio de funcionamiento de esta tecnología. Las mallas móviles modificadas también son conocidas como pantallas Ristroph. Es importante tener en consideración que es posible encontrar diversas variaciones de esta tecnología.

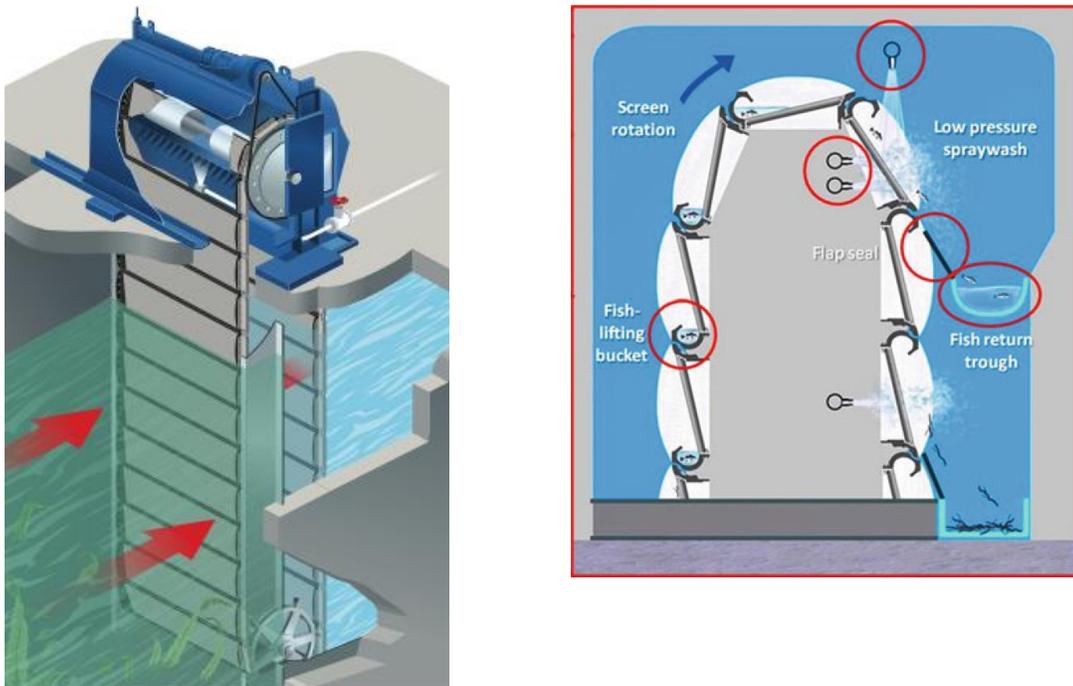


Figura 14: Esquema de malla móvil modificada o pantalla Ristroph. Fuente: Evoqua Water Technologies

Al igual que en las mallas cilíndricas con alambre trapezoidal o triangular, la separación de la malla va a depender de las especies que se desee proteger y de la cantidad de residuos o algas presentes en el ambiente. Para mayor detalle del desempeño de las mallas rotatorias modificadas se recomienda revisar el Anexo 8 desarrollado por Alden Lab para un estudio realizado por inodú el año 2015 (Ministerio de Energía, 2015 - Anexo 8). El anexo incluye la revisión de un caso de estudio asociado a la instalación de mallas cilíndricas modificadas en Tampa Electric Company Big Bend Station, donde se indica la efectividad en reducción de arrastre para distintas especies en estado larval o huevo. También existe una amplia bibliografía en esta materia (Normandeau Associates, 2009) (US EPA, 2014).

<sup>18</sup> Después de una primera limpieza mediante rocío de agua a baja presión (ej: 5-20 psi) para remover organismos de una manera que aumente su posibilidad de sobrevivencia, se realiza una limpieza con agua a alta presión (ej: 60 – 100 psi) para remover depósitos de residuos en las mallas.

## 8 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se presentó una síntesis de las principales experiencias internacionales en cuanto al diseño de sistemas de succión y captación de agua de mar.

La oportunidad de emplear agua de mar está directamente relacionada a la utilización de sistemas adecuados de protección del sistema de captación, teniendo en consideración que la función del sistema de protección no es sólo impedir el paso de objetos y organismos hidrobiológicos para proteger el proceso industrial, sino también, proteger dichos organismos de los efectos que puede causar su atrapamiento en rejillas o su arrastre hacia el interior del proceso. Un factor crítico para el éxito del sistema está asociado a la selección adecuada del emplazamiento del sistema de captación.

Los aspectos de diseño ingenieril y aspectos biológicos que influyen en la mortalidad por atrapamiento y mortalidad por arrastre generada por la succión de agua de mar pueden ser sintetizados de acuerdo a lo que se ilustra en la siguiente figura.

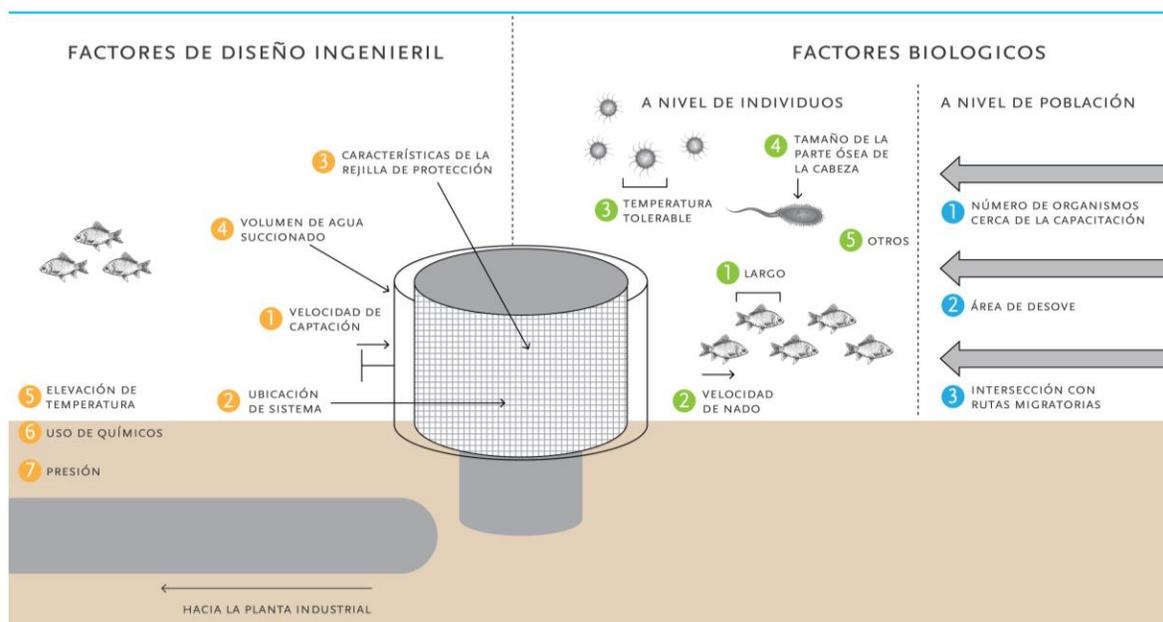


Figura 15: Aspectos de diseño ingenieril y aspectos biológicos que influyen en la mortalidad generada por la succión de agua de mar. Fuente: Elaboración propia.

Se indicó que la estandarización de un concepto de diseño de sistema de captación que sea factible para todas las posibles locaciones no es un objetivo práctico. Sin un conocimiento de las condiciones específicas del sitio donde se instalará el sistema de toma de agua, no es posible seleccionar un concepto de manera confiable. Realizar supuestos,

sin un estudio acabado, puede inducir estimaciones de tiempo de construcción y costos errados.

Se presentaron antecedentes que contribuyen a justificar la utilización de ciertos sistemas de protección del sistema de captación de agua como una opción aceptable desde la perspectiva del cumplimiento de objetivos de reducción de impactos de atrapamiento y arrastre de organismos.

Es posible concluir que si bien el nivel de abertura o separación de las mallas es un parámetro de diseño relevante en sistemas de protección (mallas) pasivos, durante la definición de la normativa EPA 316(b) en Estados Unidos se determinó que no es necesario normar este parámetro debido a que las condiciones particulares de un emplazamiento pueden resultar tanto en sobre como sub especificaciones de diseño.

## 9 CONCLUSIONES

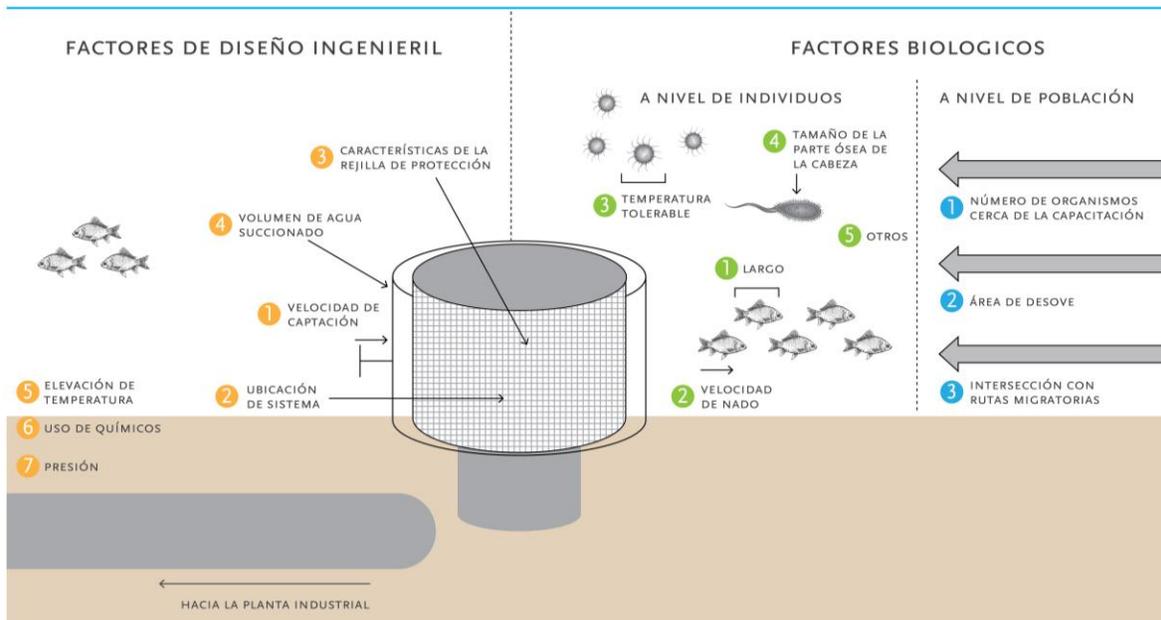
Se indicó que los siguientes aspectos de diseño ingenieril influyen en la mortalidad generada por la succión de agua de mar:

- Velocidad de captación en el punto de captación (a una distancia no superior a 8 cm de la malla de protección).
- Selección de emplazamiento del punto de captación.
- Características de la rejilla de protección en el sistema de captación de agua.
- Volumen de agua succionado.
- Elevación de temperatura en el proceso industrial.
- Uso de químicos en el proceso industrial.
- Presión en el proceso industrial.

Se indicó que los siguientes aspectos biológicos influyen en la mortalidad generada por la succión de agua de mar:

- Largo de los organismos hidrobiológicos.
- Velocidad de nado de los organismos hidrobiológicos.
- Temperatura tolerable de los organismos hidrobiológicos.
- Tamaño de la parte ósea de la cabeza de los organismos hidrobiológicos (en estado larval).
- Si el área corresponde a una zona de desove.
- Si el área se intersecta con una ruta migratoria.
- El número de individuos presentes en el área.
- Si el área cumple otras funciones críticas para el ciclo de vida de dicha especie.

Los aspectos de diseño ingenieril y aspectos biológicos se sintetizaron en la siguiente figura.



**Figura 16: Aspectos de diseño ingenieril y aspectos biológicos que influyen en la mortalidad generada por la succión de agua de mar. Fuente: Elaboración propia.**

Los antecedentes presentados con respecto a los aspectos que influyen en la mortalidad generada por succión son suficientes. Lo anterior está en línea con los antecedentes considerados en otras jurisdicciones, levantados ampliamente en el documento y referenciados en la bibliografía.

De los antecedentes levantados se concluye que es posible utilizar sistemas de protección del sistema de captación para proteger organismos acuáticos de los efectos de arrastre y lograr un objetivo de reducción de arrastre organismos de interés en niveles cercanos a 90% (Ministerio de Energía, 2015 - Anexo 8). Por lo tanto, la utilización de ciertos sistemas de protección del sistema de captación de agua debiera ser aceptable desde la perspectiva de reducción de impactos de arrastre. Los distintos sistemas protección recomendados han sido descritos en el estudio.

## 10 REFERENCIAS

- British Energy Estuarine & Marine Studies. (2011). *Thermal Standards for Cooling Water from New Build Nuclear Power Stations*. British Energy Estuarine & Marine Studies.
- Alden (m1). (2015). *Memo on Fish Protection Technologies for Reducing Entrainment Commesurate with Closed Cycle Cooling*. Holden: Alden Research Laboratory.
- Alden (m5). (2015). *Memo Providing Responses to Questions Posed by Inodu on October 29th 2015*. Holden: Alden Research Laboratory.
- Alden. (2003). *Evaluation of fish protection alternatives for the canal generating station*.  
Web:  
[http://yosemite.epa.gov/oa/eab\\_web\\_docket.nsf/Filings%20By%20Appeal%20Number/3A9A9A7F6C643181852574E200727865/\\$File/Ex.%207%20Alden%202003%20Report...19.pdf](http://yosemite.epa.gov/oa/eab_web_docket.nsf/Filings%20By%20Appeal%20Number/3A9A9A7F6C643181852574E200727865/$File/Ex.%207%20Alden%202003%20Report...19.pdf) (Accedido por última vez en Octubre de 2014).
- Alden Research Laboratory Inc. (2004). *Field Evaluation of Wedge Wire Screens. EPRI Clean Water Act §316(b) Fish Protection Technology Workshop Presentations*.
- Alsaffar, A., & Zheng, Y. (2007). *Water Intakes - Sitting and Design Approached*. Bechtel Corporation.
- Alstom. (2009). *Clean Combustion Technologies*. Connecticut: Alstom.
- Anderson, D. (2004). *Rotatory Screens. FGS Acoustic Fish Barrier Technology*. EPRI.
- ASME. (2003). *PTC 23 - 2003: Atmospheric Water Cooling Equipment*.
- Auckland Regional Council. (2010). *"Mixing Zones" and "Reasonable Mixing" in Receiving Waters*. Auckland Regional Council.
- Auer, N. (1982). *Identification of Larval Fishes of the Great Lakes Basin with Emphasis on the Lake Michigan Drainage*. Great Lakes Fisheries Commission, Special Publication 82-3.
- Bamber, R. N., & Turnpenny, A. W. (2012). *Entrainment of Organisms Through Power Station Cooling Water Systems. Operational and Enviromental Concequences of Large Industrial Cooling Systems*, 339.
- Barnthouse, L., Klauda, R., Vaughan, D., & Kendall, R. (1988). *Sciencce, LAw, and Hudson River Power Plants: a Case Study in Environmental Impact Assessment*. Bethesda,

- Maryland, USA: American Fisheries Society Monograph 4. American Fisheries Society.
- Bechtel. (2012). *Offshore Modular Wedge Wire Screens for San Onofre Nuclear Generating Station*. State Water Resources Control Board Nuclear Review Committee.
- Bitecma. (2015). *Informe de Estimación del Impacto por Succión, Anexo 36, Adenda 1 - EIA Desarrollo Minera Centinela*.
- Brandt, J. (2004). Hendrick Water Intake Screens. *EPRI Clean Water Act §316(b) Fish Protection Technology Workshop Presentations*. EPRI.
- British Energy Estuarine & Marine Studies. (2011). *Methodology for the measurement of entrainment, edition 2*. Scientific Advisory Report Series 2010 No 005 Ed 2.
- British Energy Estuarine & Marine Studies. (2011b). *Methodology for the measurement of impingement*. Scientific Advisory Report Series 2010 No 006 Ed 2.
- Brown, R. (2004). Aquatic Guidance Lighting. *EPRI Clean Water Act §316(b) Fish Protection Technology Workshop Presentations*. EPRI.
- Brujis, M. C., & Taylor, C. J. (2012). Fish Impingement and Prevention Seen in the Light of Population Dynamics. In *Operational and Environmental Consequences of Large Industrial Cooling Water Systems* (pp. 391-409). New York: Springer.
- California Energy Commission. (2005). *ISSUES AND ENVIRONMENTAL IMPACTS ASSOCIATED WITH ONCE-THROUGH COOLING AT CALIFORNIA'S COASTAL POWER PLANTS*. CEC-700-2005-013.
- California Environmental Protection Agency. (2015). *Amendment to the Water Quality Control Plan For Ocean Waters of California - Desalination Facility Intake, Brine Discharges, and the Incorporation of other Non-Substantive Changes*. Sacramento: California Water Boards.
- Clark, J., & Brownell, W. (1973). *Electric power plants in the coastal zone : environmental issues*. American Littoral Society; no. 7.
- Comision Chilena del Cobre. (2014). *Proyeccion del consumo de agua en la mineria del cobre 2014-2015*. Santiago: Comision Chilena del Cobre.
- Costa Sur. (2015). *Memo - Termoclina y velocidades de captación*. Santiago: Costa Sur.
- Council of the European Communities. (1992). *Council Directive on the Conservaton of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora*. European Council.

- Craig, K. (2015). Sydney and Gold Coast Desalination Plant Intake Design, Construction, and Operating Experience. In *Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities* (pp. 39-56). Springer International Publishing.
- Delgado, A. (2012). *Water Footprint of Electric Power Generation: Modeling its Use and Analyzing Options for a Water-Scarce Future*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Dey, W. (2002). Use of Equivalent Loss Models Under Section 316(b) of the Clean Water Act. *Defining and Assessing Adverse Environmental Impact Symposium 2001*.
- DFL Nº 340. (1960). *Ley sobre concesiones marítimas*. MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL; SUBSECRETARIA DE MARINA.
- Directemar. (2006). *Reglamento de Buceo para Buzos Profesionales*.
- Ditty, J., Shaw, R., & Fuiman, L. (2005). . Larval Development of Five Species of Blenny (Teleostei: Blenniidae) from the Western Central North Atlantic, with a Synopsis of Blennioid Family Characters. *Journal of Fish Biology* 66 (5), 1261-1284.
- Dreas Nielsen, R., & Ginn, T. (2005). *An Evaluation of the Approaches Used to Predict Potential Impacts of Open Loop LNG Vaporization Systems on Fishery Resources of the Gulf of Mexico*. Exponent.
- Ehrler, C., & Raifsnider, C. (2000). Evaluation of the effectiveness of intake wedgewire screens. *Environmental Science & Policy*, 361-368.
- EPA. (1998). *Guidelines for Ecological Risk Assessment*. Washington DC: EPA.
- EPA. (2000). *Background and Justification for Using Through-Screen Velocity of 0.5 fps as a Threshold Criterion Value for the Section 316 (b) Rulemaking Draft*. EPA.
- EPA. (2000). *Stressor Identification Guidance Document*. Washington DC: EPA.
- EPA. (2006). *Compilation of EPA Mixing Zone Documents*. Washington DC: EPA.
- EPA. (2009). *Steam Electric Power Generating Point Source Category: Final Detailed Study Report*. Washingto DC: EPA.
- EPA. (2013). *Technical Development Document for the Proposed Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Steam Electric Power Generating Point Source Category*. Washington, DC: EPA.

- EPA. (2014 , September). *Water Quality Standards Handbook - Chapter 5: General Policies (40 CFR 131.13)*. Retrieved from EPA: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/handbook/chapter05.cfm>
- EPRI. (1999). *Catalog of Assessment Methods for Evaluating the Effects of Power Plant Operations on Aquatic Communities*. Palo Alto: EPRI.
- EPRI. (2000). *Procedural Guideline for Evaluating Alternative Fish Protection Technologies to Meet Section 316(b) Requirements of the Clean Water Act*.
- EPRI. (2000). *Technical Evaluation of the Utility of Intake Approach Velocity as an Indicator of Potential Adverse Environmental Impact under Clean Water Act Section 316(b)*. 1000731.
- EPRI. (2000b). *Technical Evaluation of the Utility of Intake Approach Velocity as an Indicator of Potential Adverse Environmental Impact under Clean Water Act Section 316(b)*. EPRI.
- EPRI. (2002). *Evaluating the Effects of Power Plants in Aquatic Communities*. Palo Alto: EPRI.
- EPRI. (2003). *Impacts of Volumetric Flow Rate of Water Intakes on Fish Populations and Communities*. 1005178.
- EPRI. (2004). *Impingement Abundance Monitoring Technical Support Document*.
- EPRI. (2005). *Extrapolating Impingement and Entrainment Losses to Equivalent Adults and Production Foregone*.
- EPRI. (2005). *Field Evaluation of Wedgewire Screens for Protecting Early Life Stages of Fish at Cooling Water Intakes*.
- EPRI. (2005). *Identifying Alternative Fish Protection Technologies for Detailed Evaluation*.
- EPRI. (2006). *Benefit Valuation Studies Under 316(b) of the Clean Water Act: An Overview*. Palo Alto, CA. 1012539.
- EPRI. (2006). *Design Considerations and Specifications for Fish Barrier Net Deployment at Cooling Water Intake Structures*. 1013309.
- EPRI. (2006). *Field Evaluation of the Effectiveness of Strobe Lights for Preventing Impingement of Fish at Cooling Water Intakes*. 1012541.

- EPRI. (2006). *Field Evaluation of Wedgewire Screens for Protecting Early Life Stages of Fish at Cooling Water Intake Structures - Chesapeake Bay Studies*. 1012542.
- EPRI. (2006). *Laboratory Evaluation of Modified Ristroph Traveling Screens for Protecting Fish at Cooling Water Intakes*. 1013238.
- EPRI. (2007). *Assessment of Once-Through Cooling System Impacts to California Coastal Fish and Fisheries*. Palo Alto: EPRI.
- EPRI. (2008). *Evaluation of Strobe Lights for Reducing Fish Impingement at Cooling Water Intakes*. 1015577.
- EPRI. (2011). *Do Power Plant Impingement and Entrainment Cause Changes in Fish Populations? A Review of the Scientific Evidence*. 1023094.
- EPRI. (2011). *Thermal Toxicity Literature*. Palo Alto: EPRI.
- EPRI. (2012). *Third Thermal Ecology and Regulation Workshop*. Palo Alto: EPRI.
- EPRI. (2012b). *Fish Life History Parameter Values for Equivalent Adult and Production Foregone Models: Comprehensive Update*. Palo Alto, CA: EPRI 1023103.
- EPRI. (2013). *Power Plant Cooling System Overview for Researchers and Technology Developers*. Palo Alto: EPRI.
- EPRI. (2013). *Power Plant Cooling System Overview for Researchers and Technology Developers*. Palo Alto: ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE.
- European Commission. (2001). *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems*. European Commission.
- European Commission. (2006). *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants*. European Commission.
- European Commission. (2010). *Technical Background Document on Identification of Mixing Zones*. European Commission.
- European Parliament and Council of the European Union. (2000). *Water Framework Directive*. *Official Journal of the European Communities*, 327/1 -327/72.

- Ferry-Graham, L., Dorin, M., & Lin, P. (2008). *Understanding Entrainment at Coastal Power Plants: Informing a Program to Study Impacts and Their Reduction*. Prepared By: Moss Landing Marine Laboratories. Prepared for: California Energy Commission.
- Fish and Wildlife Service. (1978). *Factors Associated with Accuracy in Sampling Fish Eggs and Larvae*. US Department of the Interior.
- Gray, C., & Kingsford, M. (2003). Variability in thermocline depth and strength, and relationships with vertical distributions of fish larvae and mesozooplankton in dynamic coastal waters. *Marine Ecology Progress Series*, 247:211-224.
- Hadderingh, R. (1979). Fish Intake Mortality at Power Stations - The Problem and Its Remedy. *Hydrobiological Bulletin* , 13(2-3), 83-93.
- Hanson, C., White, J., & Li, H. (1977). Entrapment and impingement of fishes by power plant cooling-water intakes: an overview. *Marine Fisheries Review*.
- Henry, M. F. (2005). *Effects of Cooling Water Discharge from a Thermoelectric Power Plant on the Nutrient and Phytoplankton Dynamics in Port Moody Arm, British Columbia, Canada*. The University of British Columbia.
- Hogan, T. W. (2015). Impingement and Entrainment at SWRO Desalination Facility Intakes. In *Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities* (pp. 57-78). Springer International Publishing.
- Hogan, T. W., Fay, C. N., Lattemann, S., Beck, S. D., & Pankratz, T. (2014). *Impingement Mortality and Entrainment (IM&E) Reduction Guidance Document for Existing Seawater Intakes*. Alexandria, VA: Water Reuse Foundation.
- IFC. (2008). *Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para las plantas termoeléctricas*. Corporación Financiera Internacional.
- Innovamar, C. (2011). *Informe Final - Proyecto Bahía Quintero - Pescadores*.
- Krebs, C. (1985). *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 3rd Ed. HarperCollins Publishers, New York, 800 p.
- Mackey, E., Pozos, N., James, W., Seacord, T., Hunt, H., & Mayer, D. (2011). *Assessing Seawater Intake Systems for Desalination Plants*. Denver: Water Research Foundation.
- MBC Applied Environmental Sciences. (2005). *AES HUNTINGTON BEACH L.L.C. GENERATING STATION ENTRAINMENT AND IMPINGEMENT STUDY*.

- MBC Applied Environmental Sciences et al. (2007). *Scattergood Generating Station. Clean Water Act Section 316(b) Velocity Cap Effectiveness Study. Prepared for: Los Angeles Department of Water and Power.*
- Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. (2014). *Guía par la Aplicación de la Ley de Espacios Costeros Marinos para Pueblos Originarios.* Santiago: Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.
- Ministerio de Energía. (2014). *Antecedentes Técnicos, Económicos, Normativos y Ambientales de Tecnologías de Centrales Termoeléctricas y sus Sistemas de Captación.* Preparado por Inodú. Link: [http://dataset.cne.cl/Energia\\_Abierta/Estudios/Minerg/Informe%20Final%20Tecnolog%C3%ADas%20Termoelectrica\\_inodu.pdf](http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/Informe%20Final%20Tecnolog%C3%ADas%20Termoelectrica_inodu.pdf).
- Ministerio de Energía. (2015). *Propuesta de Regulación Ambiental para Sistemas de Refrigeración de Centrales Termoeléctricas y Otros Sectores que Succionan Agua y Descargan Cursos de Agua en sus Procesos Industriales.* Preparado por Inodú. Link: [http://dataset.cne.cl/Energia\\_Abierta/Estudios/Minerg/8%20Propuesta%20de%20regulaci%C3%B3n%20ambiental.pdf](http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/8%20Propuesta%20de%20regulaci%C3%B3n%20ambiental.pdf).
- Missimer, T. M., Ghaffour, N., Dehawah, A. H., Rachman, R., Maliva, R. G., & Amy, G. (2013). Subsurface intakes for seawater reverse osmosis facilities: Capacity limitation, water quality improvement, and economics. *Desalination*, Vol: 322 - 37-51.
- Missimer, T. M., Jones, B., & Maliva, R. G. (2015). *Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities.* Springer International Publishing.
- Moser, H. (1996). *The Early Stages of Fishes in the California Current Region. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Atlas No. 33.* ISBN 0-935868-82-8. 1505 pp.
- Moss Landing Marine Laboratories. (2008). *UNDERSTANDING ENTRAINMENT AT COASTAL POWER PLANTS: INFORMING A PROGRAM TO STUDY IMPACTS AND THEIR REDUCTION.* CEC-500-2007-120.
- Ng, K., Zheng, Y., & Taylor, S. (2005). Recent Development in Hydraulic Design of Power Plant Cooling Water Intake Structures. *ASCE Impacts of Global Climate Change*, 1-12.

- Normandeau Associates. (2009). *Biological Performance of Intake Screen Alternatives to Reduce Annual Impingement Mortality and Entrainment at Merrimack Station*. Manchester: Public Service of New Hampshire.
- Normandeau Associates, Inc. (2008). *Wedgewire Screen Larval Entrainment Reductions at Eddystone Generating Station. Apr 2005 – Apr 2006*. EPA-HQ-OW-2008-0667-1260, Minuta entregada a US EPA durante la definición de normativa 316b.
- Pankratz, T. (2015). Overview of Intake Systems for Seawater Reverse Osmosis Facilities. In *Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities* (pp. 3-18). Springer International Publishing.
- PSEG. (2002). *Salem Generating Station NJPDES Permit N° NJ0005622 - Custom Requirement G.9.b.ii - Entrainment Extrusion Studies Task #1, Morphometric Analysis*.
- PSEG Services Corporation. (2002). *Selection and Design of Wedge Wire Screens and a Fixed-Panel Aquatic Filter Barrier System to Reduce Impingement and Entrainment at a Cooling Water Intake Structure on the Hudson River*. EPA-HQ-OW-2008-0667-0763, Informe entregado a US EPA durante la definición de normativa 316b.
- Raimondi, P. (2011). *Cariation in Entrainment Impact Estimations Based on Different Measures of Aceptable Uncertainty*. En *Apéndice E - Guidance Documents for Assessing Entrainment (California Desalination Ammend)*.
- Rajagopal, S., Jenner, H., & Venugopalan, V. (2012). *Operational and Environmental Consequences of Large Industrial Cooling Water Systems*. Springer.
- Ricker, W. (1975). *Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations*. . Ottawa. 382 p.: Bulletin 191. Department of the Environment, Fisheries, and Marine Service.
- Rose, K., Cowan, J., Winemiller, K., Myers, R., & Hilborn, R. (2001). Compensatory density dependence in fish populations: importance, controversy, understanding and prognosis. *Fish and Fisheries* (2), 293-327.
- Royal Haskoning. (2003). *Harmonisation of Environmental Emission Scenaris for Biocides used as Preservatives for Liquid Cooling Systems*. Nijmegen: European Commission.
- SMA. (2013). *Memorándum N°645 de 26 de septiembre de 2013 de la División de fiscalización que remite el informe de fiscalización ambiental de la inspección*

*ambiental realizada al proyecto "Central termoelectrica Santa María". ORD. U.I.P.S. N° 853. Santiago 20 Octubre .*

- SMA. (2014). *Guía de Aspectos Ambientales Relevantes para Centrales Termoeléctricas*. Superintendencia de Medio Ambiente, Gobierno de Chile.
- SMA. (2014b). *Resolución exenta N°39*. Santiago: Superintendencia del Medio Ambiente.
- Taft, E. (2000). Fish protection technologies: a status report. *Environmental Science & Policy*, 349-359.
- Taft, E., & Cook, T. (2003). An overview of Fish Protection Technologies and Costo for Cooling Water Intake Structures. *Symposium on Cooling Water Intake Technologies to Protect Aquatic Organisms* (pp. 8-23). U.S. Environmental Protection Agency.
- Taylor, C. J. (2006). The effects of biological fouling control at coastal and estuarine power stations. *Marine Pollution Bulletin*, 53 (2006) 30–48.
- Tetra Tech Inc. (2008). *Analysis of swim speed data*. EPA-HQ-OW-2008-0667-0660, Minuta entregada a US EPA durante la definición de normativa 316b.
- Tetra Tech Inc. (2008). *Maximum Wedgewire Screen Slot Size*. EPA-HQ-OW-2008-0667-0584, Minuta entregada a US EPA durante la definición de normativa 316b.
- Tetrattech. (2008c). *California Offshore Intake Structures with Velocity Caps*. EPA-HQ-OW-2008-0667-0583.
- Tetrattech. (2014). *Velocity Cap Performance Data*. Minuta entregada a US EPA durante la definición de la normativa 316b. EPA-HQ-OW-2008-0667-3632.
- The Babcock & Wilcox Company. (2015). *Steam: Its Generation and Its Use. 42nd Edition*. North Carolina: The Babcock & Wilcox Company.
- Tumpenny, A. (2004). FGS Acoustic Fish Barrier Technology. *EPRI Clean Water Act §316(b) Fish Protection Technology Workshop Presentations*. EPRI.
- Turnpenny, A. W. (1988). *The Behavioural Basis of Fish Exclusion from Coastal Power Station Cooling Water Intakes*. CEGB Internal Publication No. RD/L/3301/R88.
- Turnpenny, A. W., Bruijs, M. C., Wolter, C., & Edwards, N. (2012). Regulatory Aspects of Choice and Operation of Large-Scale Cooling Systems in Europe. In *Operational and Environmental Consequences of Large Industrial Cooling Water Systems* (pp. 421-454). New York: Springer.

- Turnpenny, A., & Coughlan, J. (1992). Power Generation on the British Coast: Thirty Years of Marine Biological Research. *Hydroécologie Appliquée*, 1-11.
- Turnpenny, A., & O'Keeffe, N. (2005). *Screening for Intake and Outfalls: a best practice guide*. UK Environmental Agency.
- U.S. Army Corps of Engineers. (1990). *Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria*. Portland: U.S. Army Corps of Engineers.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2013). *Technical Development Document for the Proposed Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Steam Electric Power Generating Point Source Category*. Washington, DC: EPA.
- UCN. (2008). *Análisis de los potenciales efectos ambientales de la operación de proyectos termoeléctricos en ambientes marinos de la cuarta región*. Universidad Católica del Norte, Departamento de Biología Marina.
- UK Environmental Agency. (2010). *Cooling Water Options for the New Generation of Nuclear Power Stations in the UK - SC070015/SR3*.
- UNESCO. (1979). Predicting effects of power plant once-through cooling on aquatic systems. *Technical papers in hydrology*.
- US EPA. (1973). *Reviewing Environmental Impact Statements - Power Plant Cooling Systems, Engineering Aspects*. EPA-660/2-73-016.
- US EPA. (1976). *Effects of Wastewater and Cooling Water Chlorination on Aquatic Life*. EPA-600/3-76-098.
- US EPA. (2004). *Regional Analysis Document for the Final Section 316(b) Phase II Existing Facilities Rule (Chapter A5)*.
- US EPA. (2014). *National Pollutant Discharge Elimination System—Final Regulations to Establish Requirements for Cooling Water Intake Structures at Existing Facilities and Amend Requirements at Phase I Facilities*. Preamble.
- US EPA. (2014). *National Pollutant Discharge Elimination System—Final Regulations To Establish Requirements for Cooling Water Intake Structures at Existing Facilities and Amend Requirements at Phase I Facilities; Final Rule*. US Federal Register.
- US EPA. (2014). *Technical Development Document for the Final Section 316(b) Existing Facilities Rule*. EPA-821-R-14-002.

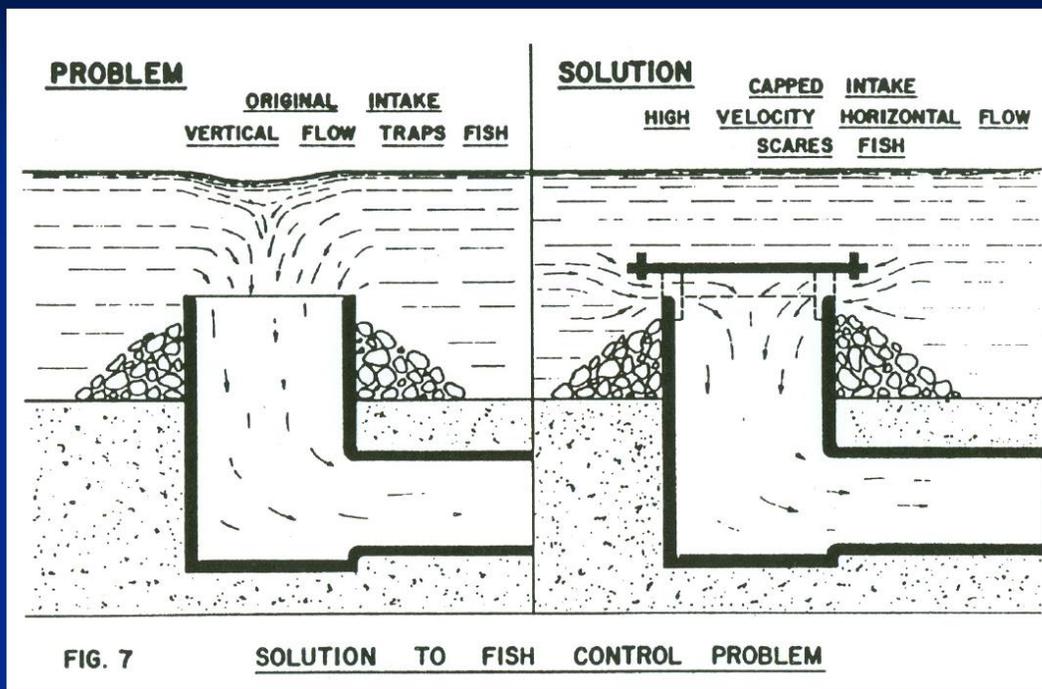
- Wang, J., & Kernehan, R. (1979). *Fishes of the Delaware Estuaries. A guide to the early life histories*. ISBN: 0-931842-02-6. 410 pp.
- Water Research Foundation. (2011). *Assesing Seawater Intake Systems for Desalination Plants*.
- Watson, M. (2004). Cylindrical V-Wire Screens. *EPRI Clean Water Act §316(b) Fish Protection Technology Workshop Presentations*. EPRI.
- Weisberg, S., Burton, W., Jacobs, F., & Ross, E. (1987). Reductions in Ichthyoplankton Entrainment with Fine-Mesh, Wedge Wire Screens. *Journal of Fisheries Management*(7), 386-393.
- Wither, A., Bamber, R., Colclough, S., Dyer, K., Elliott, M., Holmes, P., . . . Turnpenny, A. (2012). Setting new thermal standards for transitional and coastal (TraC) waters. *Marine Pollution Bulletin*, 1564-1579.

## 11 ANEXOS

### 11.1 ANEXO Nº 1: Cuantificación del Desempeño de Velocity Caps en Estados Unidos (Southern California)

Imágenes tomadas de una presentación realizada por MBC Applied Environmental Sciences en American Fisheries Society's 137th Annual Meeting, San Francisco, CA. 6 de septiembre de 2007.

#### Operating principle:



Weight, R.H. 1958. Ocean Cooling System for 800 MW Power Station. J. Power Div., Proc. ASCE.

Figura 17: Principio de operación de un velocity cap. Fuente: MBC Applied Environmental Sciences

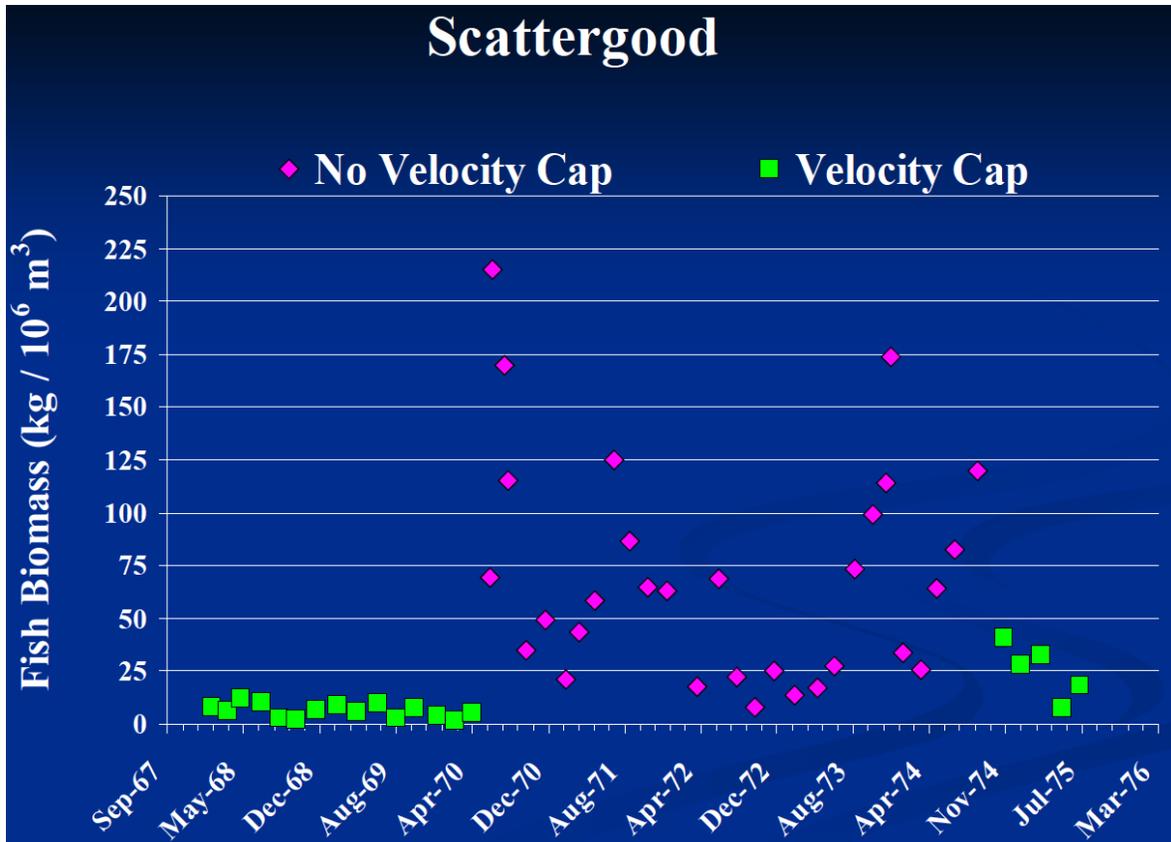


Figura 18: Análisis de efectividad de instalación de un velocity cap en Central Scattergood, Southern California.  
 Fuente: MBC Applied Environmental Sciences

# ESGS Units 1&2

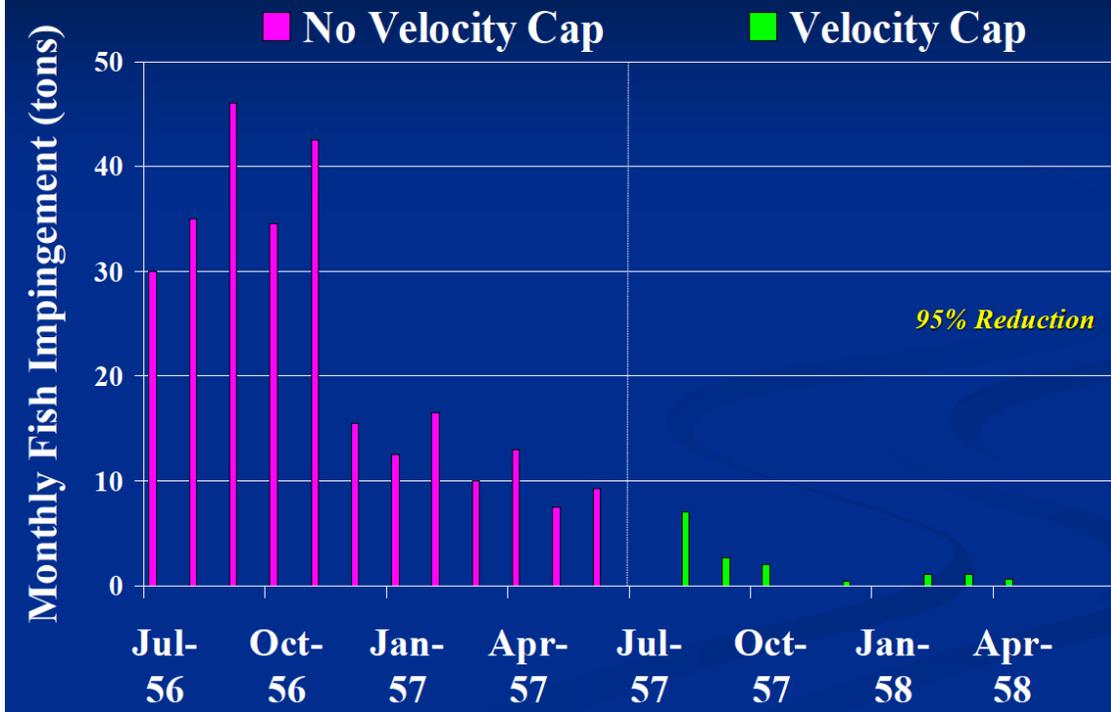


Figura 19: Análisis de efectividad de instalación de un velocity cap en Central El Segundo, Southern California. Fuente: MBC Applied Environmental Sciences

## Huntington Beach / Ormond Beach (cont.)

### ■ HBGS Entrapment

- Nighttime reduction: 53-87%
- Daytime reduction: 99%
- Day/night reduction: 90%

### ■ OBGS Entrapment

- Nighttime reduction: 61%
- Daytime reduction: 87%

Figura 20: Análisis de efectividad de instalación de un velocity cap en Central Huntington Beach (HBGS) y Ormond Beach (OBGS), Southern California. Fuente: MBC Applied Environmental Sciences

## **11.2 ANEXO N° 2: Antecedentes de Principales Industrias que Succionan Agua de Mar en Chile, Principalmente Generación Termoeléctrica y Desalinización**

El siguiente material ha sido elaborado con información presentada por inodú al Ministerio de Energía en el estudio “Propuesta de Regulación Ambiental para Sistemas de Refrigeración de Centrales Termoeléctricas y Otros Sectores que Succionan Agua y Descargan a Cursos de Agua en sus Procesos Industriales” (Ministerio de Energía, 2015).

### **11.2.1 Captación de Agua en Plantas Termoeléctricas en Chile**

En Chile las unidades de generación termoeléctrica, que cuentan con ciclos de vapor<sup>19</sup>, se ubican de preferencia en el borde costero del Océano Pacífico, y solo 5 unidades se ubican en el interior.

La Figura 21, presenta la relación entre el agua y la producción de energía mediante centrales termoeléctricas en el país. Se ilustra el retiro potencial<sup>20</sup> de agua por región y por tipo de sistema de enfriamiento. El 97% del agua retirada es descargada a la fuente de agua original de captación (retorno) y un 3% se consume (evapora).

---

<sup>19</sup> Se contabiliza solo aquellas instalaciones industriales cuya función primaria es la generación de electricidad.

<sup>20</sup> Asumiendo que se retira toda el agua autorizada y potencialmente utilizable en cada central.

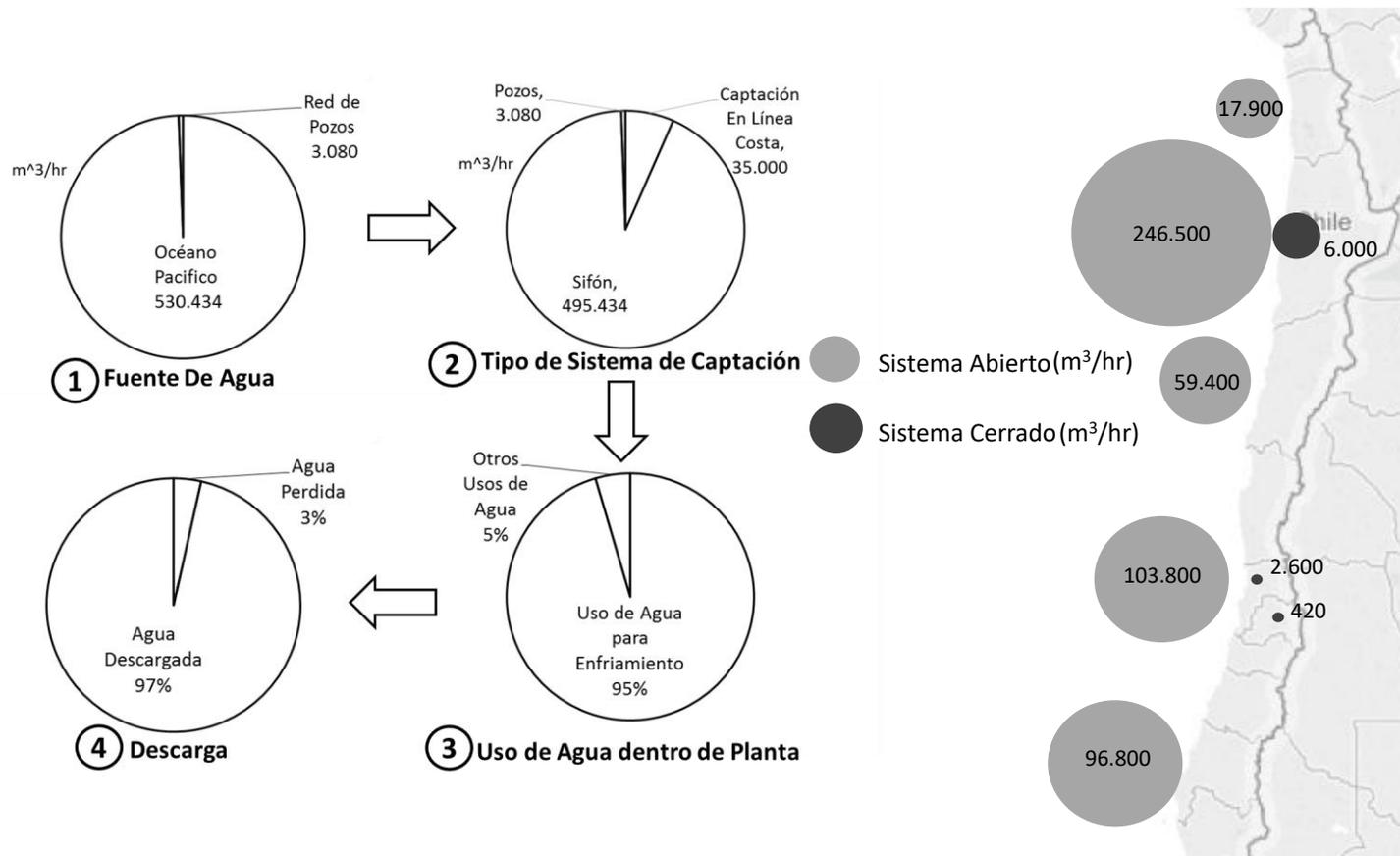


Figura 21: Relación del agua con las centrales termoeléctricas chilenas (Fuente: Elaboración Propia).<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Los sistemas de captación son presentados en informe “Antecedentes Técnicos, Económicos, Normativos y Ambientales de Tecnologías de Centrales Termoeléctricas y Sus Sistemas de Refrigeración” (Ministerio de Energía, 2014).

El mayor retiro potencial de agua por plantas termoeléctricas se observa en el norte del país mediante la utilización de sistemas de captación tipo sifón invertido (Figura 21). Aproximadamente el 95% del agua retirada por plantas termoeléctricas se utiliza para enfriamiento. En Chile, una central de ciclo de vapor simple a carbón retira en promedio 131,0 m<sup>3</sup>/MWh si posee un sistema de enfriamiento abierto, y 5,7 m<sup>3</sup>/MWh si el sistema de enfriamiento es cerrado. En el caso del Ciclo Combinado este índice cambia a 114,8 m<sup>3</sup>/MWh para centrales con sistema de enfriamiento abierto y 1,1 m<sup>3</sup>/MWh para centrales con sistema de enfriamiento cerrado (Tabla 7).

**Tabla 7: Agua retirada por MWh producido para diferentes tipos de unidades y sistemas de enfriamiento (Fuente: Elaboración Propia).**

	Retiro de Agua de Unidades con Sistemas Abiertos (2013)			Retiro de Agua de Unidades con Sistemas Cerrados (2013)		
	Promedio (m <sup>3</sup> /MWh)*	Minimo (m <sup>3</sup> /MWh)*	Maximo (m <sup>3</sup> /MWh)*	Promedio (m <sup>3</sup> /MWh)*	Minimo (m <sup>3</sup> /MWh)*	Maximo (m <sup>3</sup> /MWh)*
<b>Ciclo de Vapor Simple</b>	131,0	81,5	218,8	5,7	5,7	5,7
<b>Ciclo Combinado</b>	114,8	96,6	134,5	1,1	0,9	1,23

\* Operacion promedio para unidades instaladas en Chile

Para Centrales Termoeléctricas a carbón se observó un flujo de captación entre 3.000 (m<sup>3</sup>/hr) y 81.325 (m<sup>3</sup>/hr). El flujo mínimo se debe a la utilización de sistema de enfriamiento cerrado. La Tabla 8 presenta el rango de flujo de agua retirado para plantas termoeléctricas a carbón y ciclos combinados de acuerdo a información proporcionada por empresas de generación (datos representativos de la lista de centrales indicadas en el Anexo 3).

**Tabla 8: Volumen de Captación de Diseño Plantas Generación (Fuente: Elaboración Propia).**

	Flujo de Captación Mínimo (m <sup>3</sup> /hr)	Flujo de Captación Máximo (m <sup>3</sup> /hr)	Flujo de Captación Promedio (m <sup>3</sup> /hr)
Térmica Carbón	3.000	81.325*	23.672
Térmica de Ciclo Combinado	23.750	34.400	30.338

\*Dos unidades de generación comparten un sistema de captación.

La siguiente figura sintetiza un catastro de sistemas de protección del sistema de captación de agua instalados por plantas termoeléctricas en Chile. Los datos fueron obtenidos mediante una encuesta realizada a distintas empresas durante el desarrollo de un estudio desarrollado por el Ministerio de Energía (Ministerio de Energía, 2014). En general se observaron sistemas de protección para impedir el arrastre de basura de mayor

tamaño y grandes organismos. Las mallas perimetrales son un componente ampliamente utilizado<sup>22</sup>. Al año 2014, sólo una instalación contaba con Mallas Cilíndricas con Alambre en Triangular o Cylindrical Wedge Wire Screens; no obstante, al año 2016 se identifican dos instalaciones que cuentan con este sistema de protección.

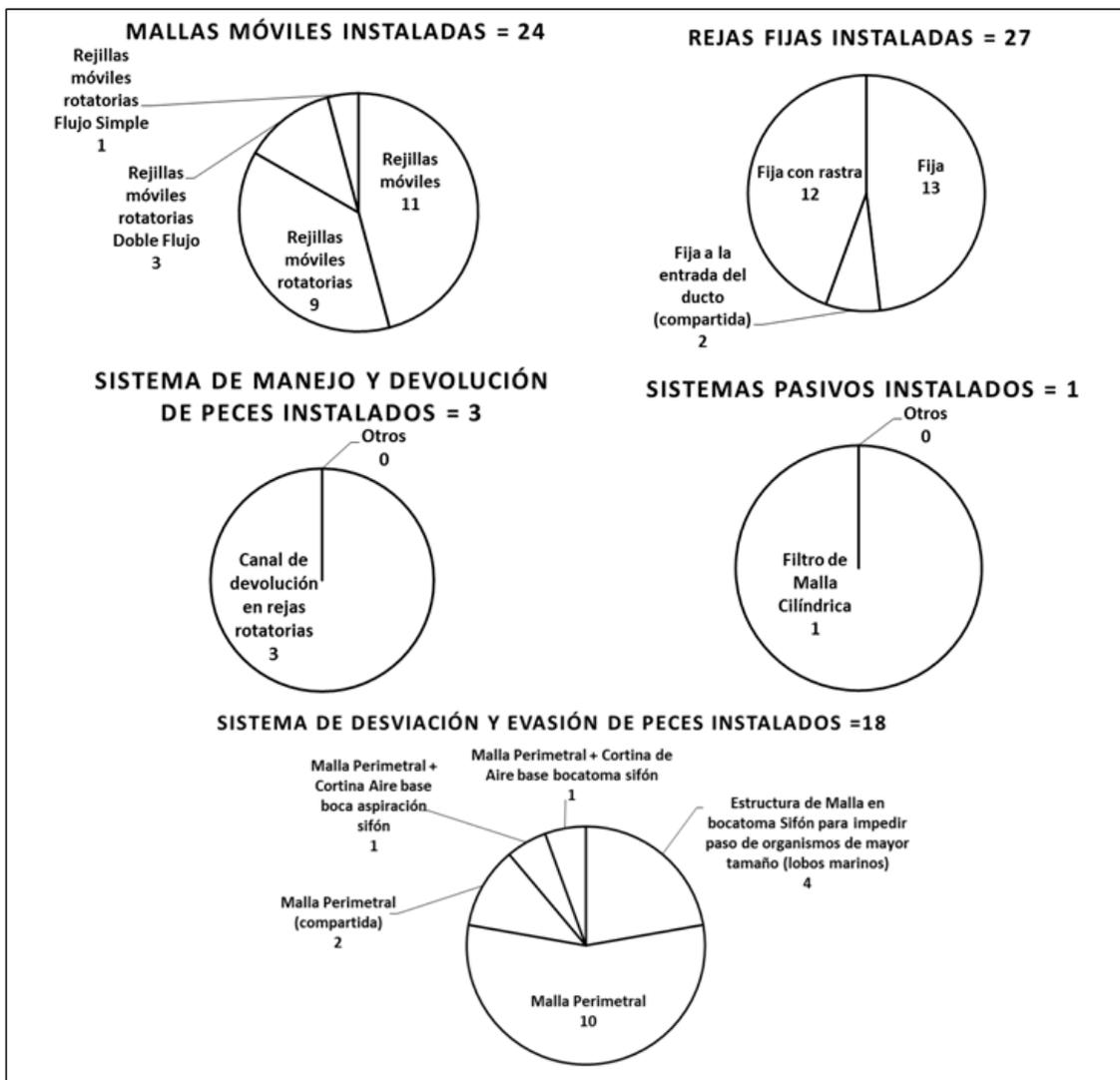


Figura 22: Catastro de tecnologías de protección instaladas en plantas termoeléctricas en Chile al año 2014 (Fuente: Elaboración Propia).

La velocidad de captación de agua informada fue medida en diferentes puntos del sistema de captación (Tabla 9). Será importante en el futuro desarrollar una mayor

<sup>22</sup> Las mallas perimetrales son mallas fijas, de tipo red de pescador, que se instalan en la boca del sifón, en el primer punto de contacto entre organismos y la estructura de captación.

estandarización de dicha métrica y determinar la velocidad en el primer punto de contacto de los organismos acuáticos con el sistema de captación. A partir de la información recibida, la velocidad promedio de captación en la campana del sifón<sup>23</sup> es de 0,96 m/s. Se puede destacar un sistema de captación tipo sifón pero con barreras pasivas tipo mallas cilíndricas que logra velocidades de captación de 0,11 m/s (a Diciembre de 2014 existía un sistema instalado de estas características en el país).

**Tabla 9: Velocidades de captación de agua en plantas termoeléctricas en Chile (Fuente: Elaboración Propia)**

	<b>Velocidad Mínima (m/s)</b>	<b>Velocidad Máxima (m/s)</b>
Velocidad Dentro del Sifón	1,70	2,70
Velocidad en Campana del Sifón	0,58	1,50
Velocidad Punto de Contacto	0,06	0,24
Velocidad sin Especificar Punto de Medición	0,11	0,11

La siguiente tabla presenta el detalle de las centrales termoeléctricas incluidas en la revisión desarrollada por inodú el año 2014.

---

<sup>23</sup> La campana del sifón es el punto donde el agua entra a la tubería.

Tabla 10: Centrales termoeléctricas incluidas en la revisión desarrollada por inodú el año 2014 (Fuente: Elaboración Propia)

Central	Unidad	Potencia Bruta (MW)	Eficiencia	HHV / LHV	Tipo
Atacama	CC1	378,7	45,5%	HHV	Ciclo Combinado
Atacama	CC2	378,7	45,5%	HHV	Ciclo Combinado
Mejillones	CTM3	250,3	44,2%	No Indicado	Ciclo Combinado
Nehuenco I	Nehuenco I	380,7	52,5%	LHV	Ciclo Combinado
Nehuenco II	Nehuenco II	386,6	53,6%	LHV	Ciclo Combinado
Nueva Renca	Nueva Renca	379	43,7%	HHV	Ciclo Combinado
San Isidro I	San Isidro I	377,5	45,6%	HHV	Ciclo Combinado
San Isidro II	San Isidro II	388	47,4%	HHV	Ciclo Combinado
Tocopilla	U16	400	50,9%	HHV	Ciclo Combinado
Andina	CTA	157	33,9%	No Indicado	Ciclo de Vapor Simple
Angamos	ANG1	272	34,4%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Angamos	ANG2	272	34,4%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Bocamina	Bocamina	125	35,6%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Bocamina I	Bocamina II	370	35,6%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Campiche	Campiche	270	35,9%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Guacolda I	U1	152	37,6%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Guacolda II	U2	152	37,6%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Guacolda III	U3	152	38,7%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Guacolda IV	U4	152	38,7%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Hornitos	CTH	158	34,8%	No Indicado	Ciclo de Vapor Simple
Mejillones	CTM1	154	35,5%	No Indicado	Ciclo de Vapor Simple
Mejillones	CTM2	166	36,5%	No Indicado	Ciclo de Vapor Simple
Nueva Tocopilla	NTO1	135	34,6%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Nueva Tocopilla	NTO2	135	34,6%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Nueva Ventanas	Nueva Ventanas	270	36,1%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Santa María	Santa María	370	36,4%	No Indicado	Ciclo de Vapor Simple
Tarapaca	CTTAR	150	38,9%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Tocopilla	U12	85,3	28,0%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Tocopilla	U13	85,5	29,3%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Tocopilla	U14	136,4	31,8%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Tocopilla	U15	132,4	33,0%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Ventanas 1	Ventanas 1	120	37,3%	HHV	Ciclo de Vapor Simple
Ventanas 2	Ventanas 2	218	38,6%	HHV	Ciclo de Vapor Simple

## 11.2.2 Captación de Agua en Plantas Desaladoras

Respecto a plantas de desalinización, se identificaron 23 resoluciones de calificación ambiental aprobadas en las regiones de Tarapacá, Antofagasta y Atacama (Tabla 11). De las 23 declaraciones identificadas, 12 fueron ingresadas por empresas mineras. De acuerdo a proyecciones de Cochilco, la utilización de agua de mar en minería debiera aumentar desde 6.120 m<sup>3</sup>/hora en 2014 a 31.680 m<sup>3</sup>/hora, lo que significa más de cuatro veces lo utilizado el 2014 (Comision Chilena del Cobre, 2014).

En la mayoría de los sistemas de desalinización de osmosis reversa, que corresponden a los instalados o evaluados en Chile, se convierte entre el 40% y 50% del agua captada en agua desalada (industrial y potable), mientras que el agua restante, que incluye la sal removida por el sistema de osmosis reversa, es retornada al mar.

Tabla 11: Historia de Resoluciones Ambientales Aprobadas para Plantas Desaladoras (Fuente: Elaboración Propia)

Resoluciones Ambientales Aprobadas Desaladoras													
	1997	1999	2000	2004	2005	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
<b>Tarapacá</b>	1								1				2
<b>Antofagasta</b>		1	1	3	1	2	1	2	2	1	1		15
<b>Atacama</b>							1	2		1		2	6
<b>Total</b>	1	1	1	3	1	2	2	4	3	2	1	2	23

De los 23 proyectos identificados en el sistema de evaluación ambiental que recibieron aprobación y reportaron el tipo de estructura de captación de agua la mayoría indica que utiliza un ducto submarino para captar agua. Los ductos informados tienen un largo desde 45 a 924 metros y un diámetro entre 0,23 y 2,50 metros. En la mayoría de los casos, el sistema de captación contiene una torre de captación protegida con barras. Un par de proyectos de plantas desaladoras está proyectando el uso de pozos en la orilla del mar. La Tabla 12 presenta los volúmenes de diseño de captación para plantas desaladoras, el promedio de volumen de captación de diseño es 5.609 m<sup>3</sup>/hora.

Tabla 12: Volumen de Captación de Diseño Plantas Desaladoras (Fuente: Elaboración Propia)

	Flujo de Captación Mínimo (m <sup>3</sup> /hr)	Flujo de Captación Máximo (m <sup>3</sup> /hr)	Flujo de Captación Promedio (m <sup>3</sup> /hr)
Desalinización	2,2	28.800	5.609

Desde el año 2010 se ha comenzado a indicar una velocidad de captación de agua en los estudios o declaraciones de impacto ambiental para plantas desaladoras (Figura 23).

Aquellos proyectos que declararon una velocidad de captación de agua realizaron la definición tomando como referencia el borde exterior de las rejillas de protección o, simplemente, no definieron claramente el punto de referencia. Lo anterior también indica la necesidad de lograr una mayor estandarización en la definición de dicha métrica. Independiente de ello, las velocidades de captación reportadas en el sistema de evaluación ambiental para plantas desaladoras se encuentra dentro del rango comprendido entre 0,1 y 0,3 m/s.

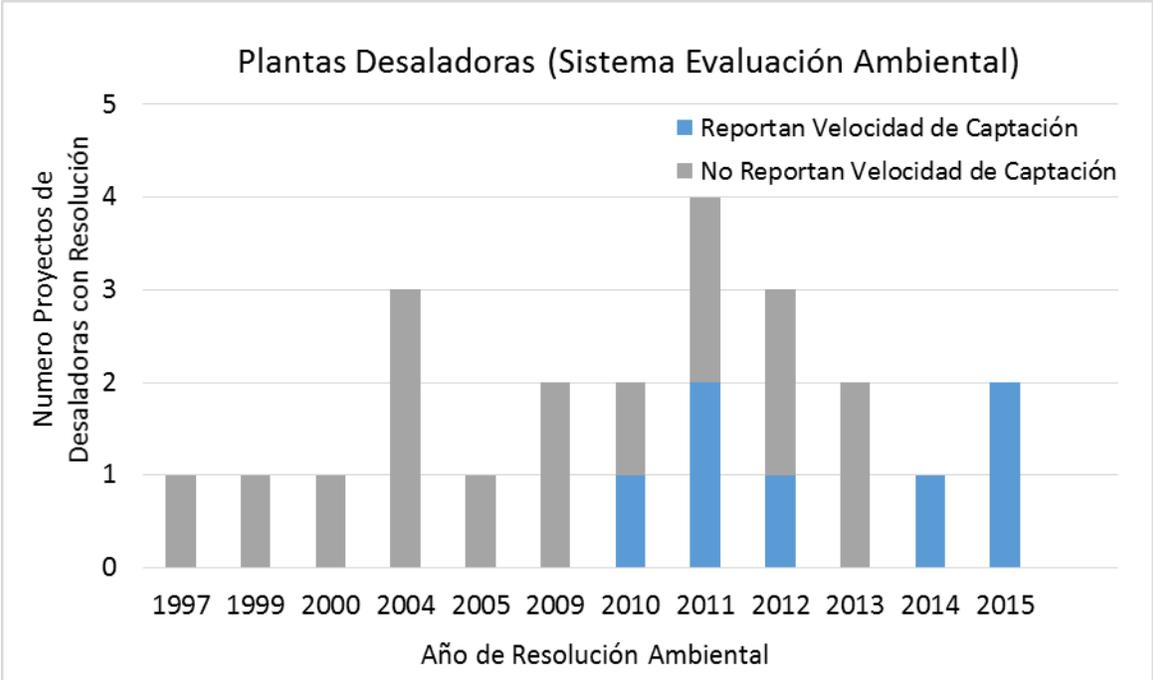


Figura 23- Historia de definición de velocidad de captación de plantas desaladoras que recibieron aprobación ambiental (Fuente: Elaboración Propia).

[Página dejada en Blanco Intencionalmente]