ESCUELA DE INGENIERÍA OCEÁNICA

Universidad de Valparaíso CHILE
Facultad de Ingeniería

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA BOYA DESALINIZADORA EN LA COMUNA DE ALGARROBO, CHILE.

Fecha:

Lunes 16 de Diciembre 2024

Presentado por:

Fernando Catalán Tobar

CONTENIDOS

01 INTRODUCCIÓN

02 OBJETIVOS

03 MARCO TEÓRICO

04 METODOLOGÍA

05 RESULTADOS

06 DISCUSIÓN

07 CONCLUSIONES

INTRODUCCIÓN

- **Contexto del cambio climático en Chile.**

- **Desalación como solución a través de boyas desalinizadoras.**

  Oleaje ⟶ recurso energético renovable intenso.



FIGURA 1: BOYA DESALINIZADORA CLASE “P” (ONEKA TECHNOLOGIES, 2023).

- **Tecnología sostenible de Oneka Technologies.**

- **Proyecto piloto en Algarrobo.**

  Estudio de factibilidad de una boya piloto en la comuna de Algarrobo.

CONTENIDOS

01 INTRODUCCIÓN

02 **OBJETIVOS**

03 MARCO TEÓRICO

04 METODOLOGÍA

05 RESULTADOS

06 DISCUSIÓN

07 CONCLUSIONES

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la factibilidad técnica, económica y medioambiental de la implementación de una boya desalinizadora piloto para la comuna de Algarrobo (Chile).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el clima de oleaje utilizando datos de ERA5 y validarlos con una base de datos acotada medidos en el lugar de interés.
- Evaluar los aspectos técnicos de la instalación de una boya desalinizadora, incluyendo consideraciones de diseño y mantenimiento.
- Realizar un análisis económico que incluya los costos de instalación, operativos y de mantenimiento de la boya desalinizadora piloto.
- Aplicar la normativa chilena e internacional sobre los impactos ambientales más relevantes de la boya desalinizadora.

CONTENIDOS

01 INTRODUCCIÓN

02 OBJETIVOS

03 **MARCO TEÓRICO**

04 METODOLOGÍA

05 RESULTADOS

06 DISCUSIÓN

07 CONCLUSIONES

3.1 DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR

Desalación de agua de mar ⟶ separar las sales disueltas que dicha agua contiene (Vicuña et al., 2022).

Se realiza a través de la osmosis inversa, ya que se considera uno de los métodos más eficientes (Charcosset, 2008).

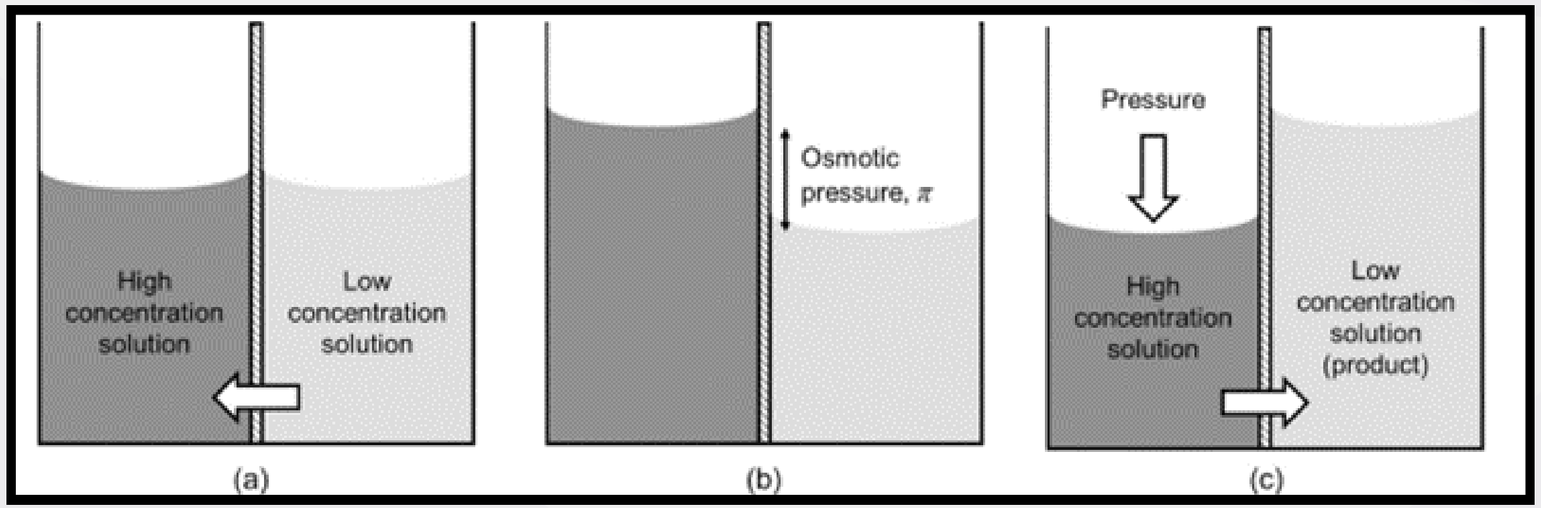


Figura 2: Esquema de osmosis, equilibrio osmótico y osmosis inversa. Fuente: (Qasim et al., 2019)

Situación actual desalación en Chile:

Región	Capacidad actual			Capacidad futura		
	l/s	%	N	l/s	%	N
Operativas	8.558	100	38	38.766	100	76
Tarapacá	13	0,1	1	2.067	5,3	4
Arica	208	2,4	1	408	1,1	2
Antofagasta	6.603	77,1	25	19.591	50,5	32
Atacama	1.620	19,0	4	9.177	23,7	14
Coquimbo	4	0,0	1	3.804	9,8	13
Valparaíso	59	0,7	3	3.669	9,5	8
Biobío	33	0,4	1	33	0,1	1
Aysén	3	0,0	1	3	0,0	1
Magallanes	15	0,2	1	15	0,1	1
Sist. de impulsión sin desalinización			5			5
No operativas			3			3
Sin información			2			2
Proyecto suspendido o fusionado						11
Total			**48**			**97**

Figura 3: Capacidad de desalinización actual y futura en Chile. Fuente: (Vicuña et al., 2022)

3.2 BOYA DESALINIZADORA

Sistema mecánico

- Cuerpo activado por las olas (oscilante).
- Orientación perpendicular a las olas.
- Altura óptima de operación >1 [m].

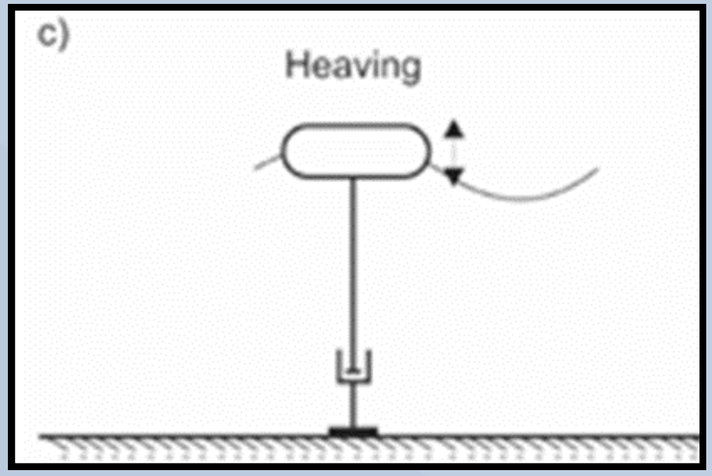


Figura 4: Convertidor de energía del oleaje de estilo "Heaving". Fuente: (Jennifer Leijon, 2017)

Sistema hidráulico

- Presión de acumulación óptima 220 psi.
- Energía del oleaje acciona bomba de pistón.
- Clark pump (bomba clark) recuperadora de energía.

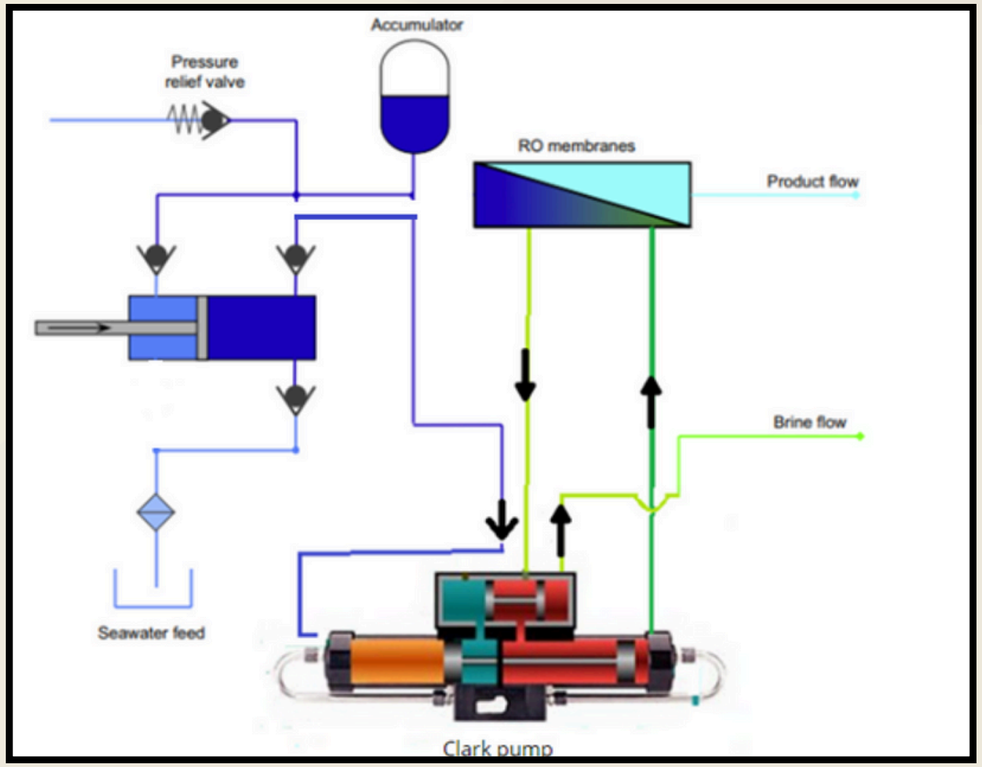


Figura 5: Sistema hidráulico de la boya desalinizadora P1. Fuente: Editado de (Matt Folley, 2008)

3.4 OLEAJE

Clasificación del oleaje:



Figura 6: Oleajes de tipo “Sea”, oleaje local A) y B) “Swell”, oleaje distante. Fuente: (Silva, 2005)

Análisis del oleaje

Análisis largo plazo:

- **Clima Medio ⟶ Operatividad**
- **Clima Extremo ⟶ Diseño**

3.5 ENERGÍA DEL OLEAJE

- **Ideal para sostener en forma undimotriz la desalinización (Veera et al., 2010).**
- **Realizando una comparación, en términos de eficiencia de conversión de la energía solar se considera comúnmente limitada al 86,7%. En cambio, no parece haber ninguna razón teórica por la que las olas no puedan alcanzar una eficiencia del 100% (Veera et al., 2010).**

3.6 MODELO ECONÓMICO

El modelo económico de una planta desalinizadora undimotriz parte de la base de que los costes pueden dividirse en dos tipos básicos de capital; costes operacionales y mantenimiento.

Cálculo de coste anualizado → **Es una forma de expresar el costo total de un gasto durante un año.**

$$a = C\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Ecuación 1: Cálculo de coste anualizado (Matt Folley, 2008).

Donde **a** es el coste anualizado, **C** es la inversión inicial de capital, **i** es el tipo de interés y **n** el número de años de amortización. Para este análisis se establece que la boya desalinizadora tendrá una vida útil de 5 años y el tipo de interés es del 8% (Matt Folley, 2008)

CONTENIDOS

01 INTRODUCCIÓN

02 OBJETIVOS

03 MARCO TEÓRICO

04 **METODOLOGÍA**

05 RESULTADOS

06 DISCUSIÓN

07 CONCLUSIONES

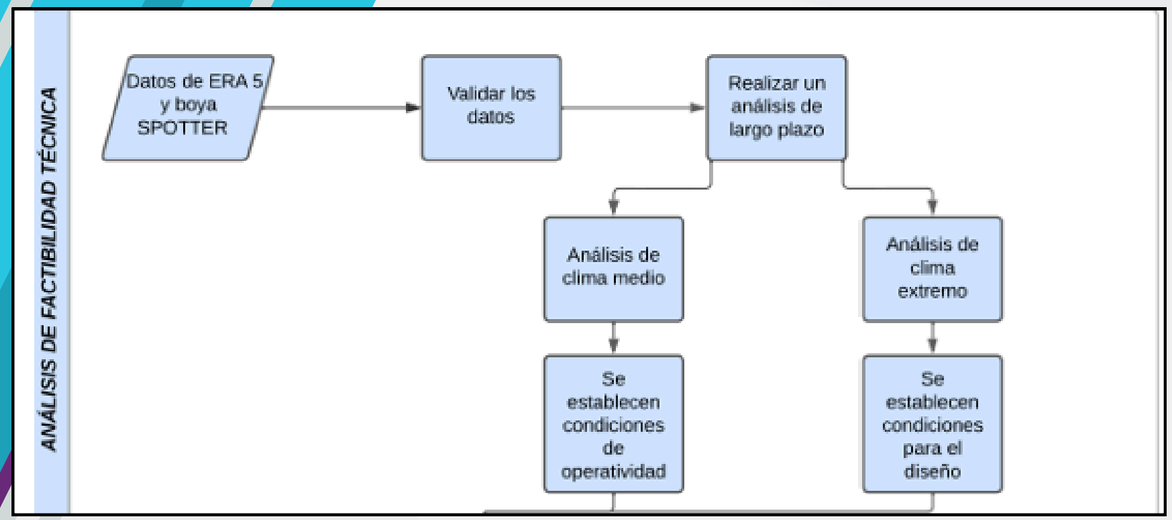


Figura 7: Sección de diagrama de flujo de la metodología propuesta para el desarrollo de la memoria. Fuente: Elaboración Propia.

- **Sistema de anclaje**

Guía para el diseño IALA Directriz N° 1066, "Diseño de Fondeos para Ayudas Flotantes a la Navegación".

- **Análisis técnico**

1. **Procesamiento de datos**
2. **Comparación Visual**
3. **Correlación**
4. **Análisis de Errores**
5. **Corrección por sesgo.**
6. **Clima medio: Tablas de incidencia.**
7. **Clima extremo: Seleccionar distribución de probabilidad y obtener periodos de retorno de la altura de la ola. A través de:**

Ecuación 2: Relación periodo de retorno con riesgo y vida útil.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^{vu}$$

Fuente: Liu & Frigaard (2001).

Donde Tr es el periodo de retorno, vu es la vida útil y R riesgo.

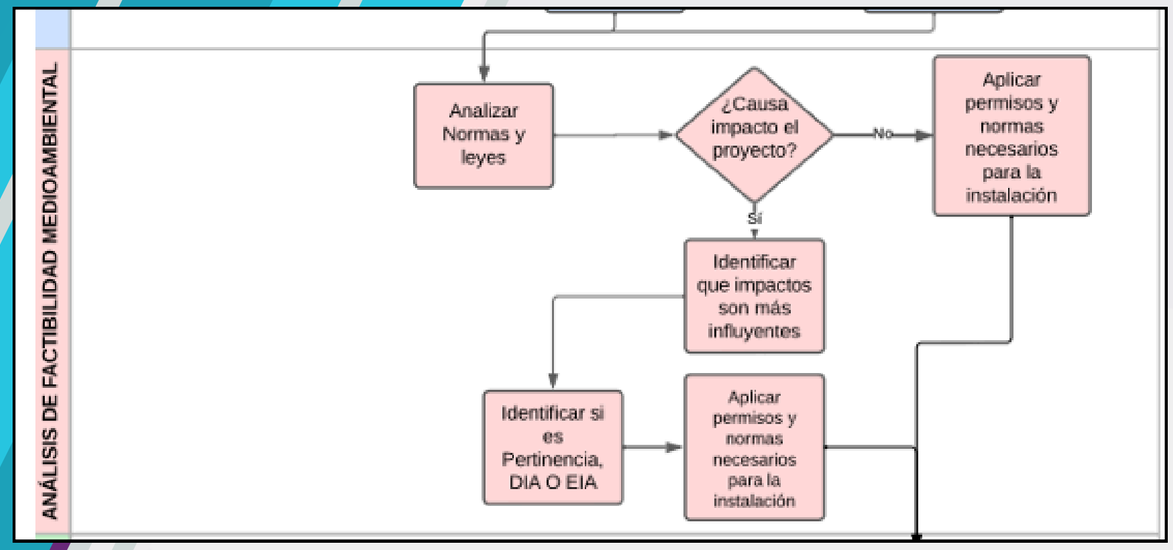


Figura 8: Sección económica de diagrama de flujo de la metodología propuesta para el desarrollo de la memoria. Fuente: Elaboración Propia.

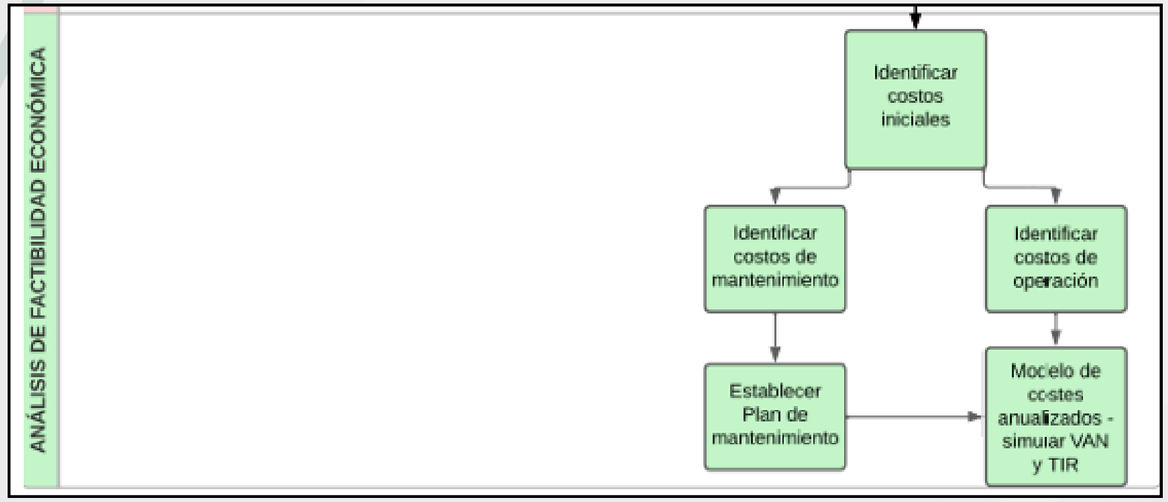


Figura 9: Sección ambiental de diagrama de flujo de la metodología propuesta para el desarrollo de la memoria. Fuente: Elaboración Propia.

- **Análisis medio ambiental**

1. **Recopilar información sobre normativa en Chile e internacional sobre proyectos de desalación.**
2. **Identificar impactos ambientales más influyentes y aplicarlos a la normativa.**

- **Análisis económico**

1. **Identificar costos iniciales: Adquisición, instalación, permisos y licencias.**
2. **Identificar costos operativos y de mantenimiento.**

CONTENIDOS

01 INTRODUCCIÓN

02 OBJETIVOS

03 MARCO TEÓRICO

04 METODOLOGÍA

05 **RESULTADOS**

06 DISCUSIÓN

07 CONCLUSIONES

EXTRACCIÓN DE DATOS EN ERA 5

Ubicación del nodo de ERA 5 y SPOTTER.

Nodo	Latitud	Longitud
ERA 5	-33.50°	-71.85°
SPOTTER	-33.361404°	-71.693763°

La distancia entre ambos nodos es de 21,23[km] aproximadamente.

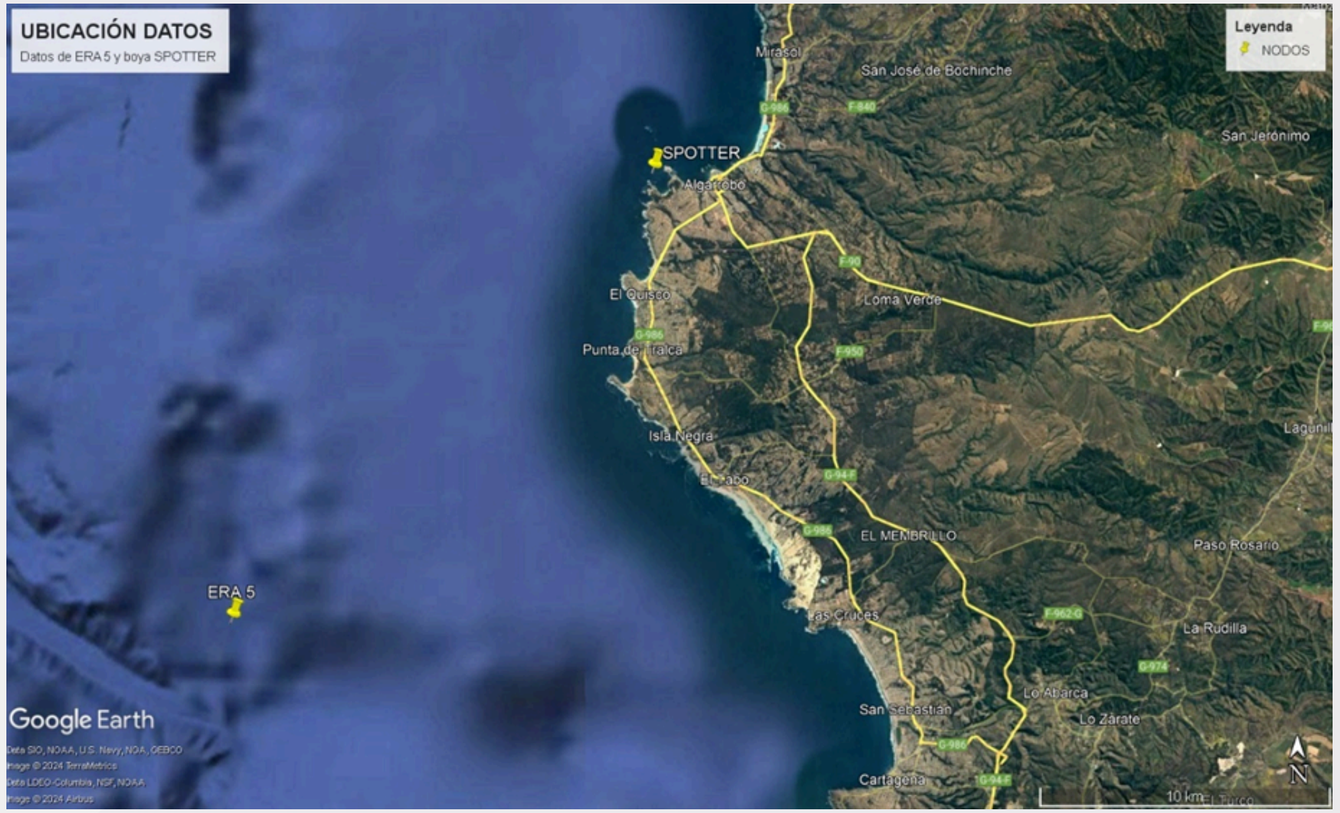


Figura 10: Ubicación nodo ERA 5 y boya SPOTTER. Fuente: Google Earth.

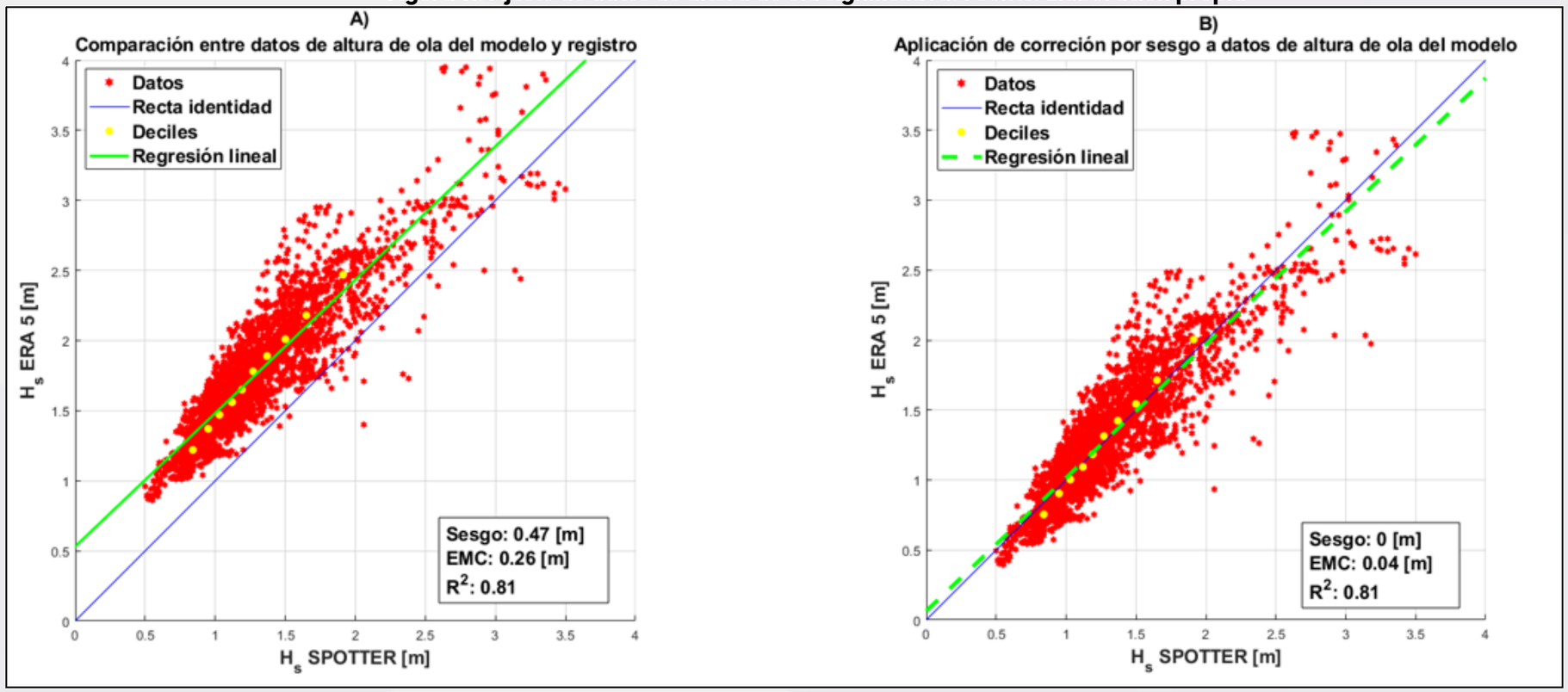
Objetivo: Analizar el clima de oleaje utilizando datos de ERA5 y validarlos con una base de datos acotada medidos en el lugar de interés.

AJUSTE DE DATOS

Altura de ola significativa

- **Correlación de 0,9 entre los datos observados y el modelo.**

Figura 11: Ajuste de datos de altura de ola significativa. Fuente: Elaboración propia



- **Sesgo inicial (A): Sesgo de 0,47 m, desplazando los datos hacia mayores alturas.**
- **Error medio cuadrático (EMC) de 0,26 m.**
- **Coeficiente de determinación R^2=0,81.**
- **Corrección por sesgo (B): Sesgo eliminado (igual a 0).**
- **EMC reducido a 0,04 m, indicando una mejora significativa en el ajuste de los datos de ERA 5.**
- **Mejora en la capacidad de predicción de ERA 5 respecto a los datos observados.**

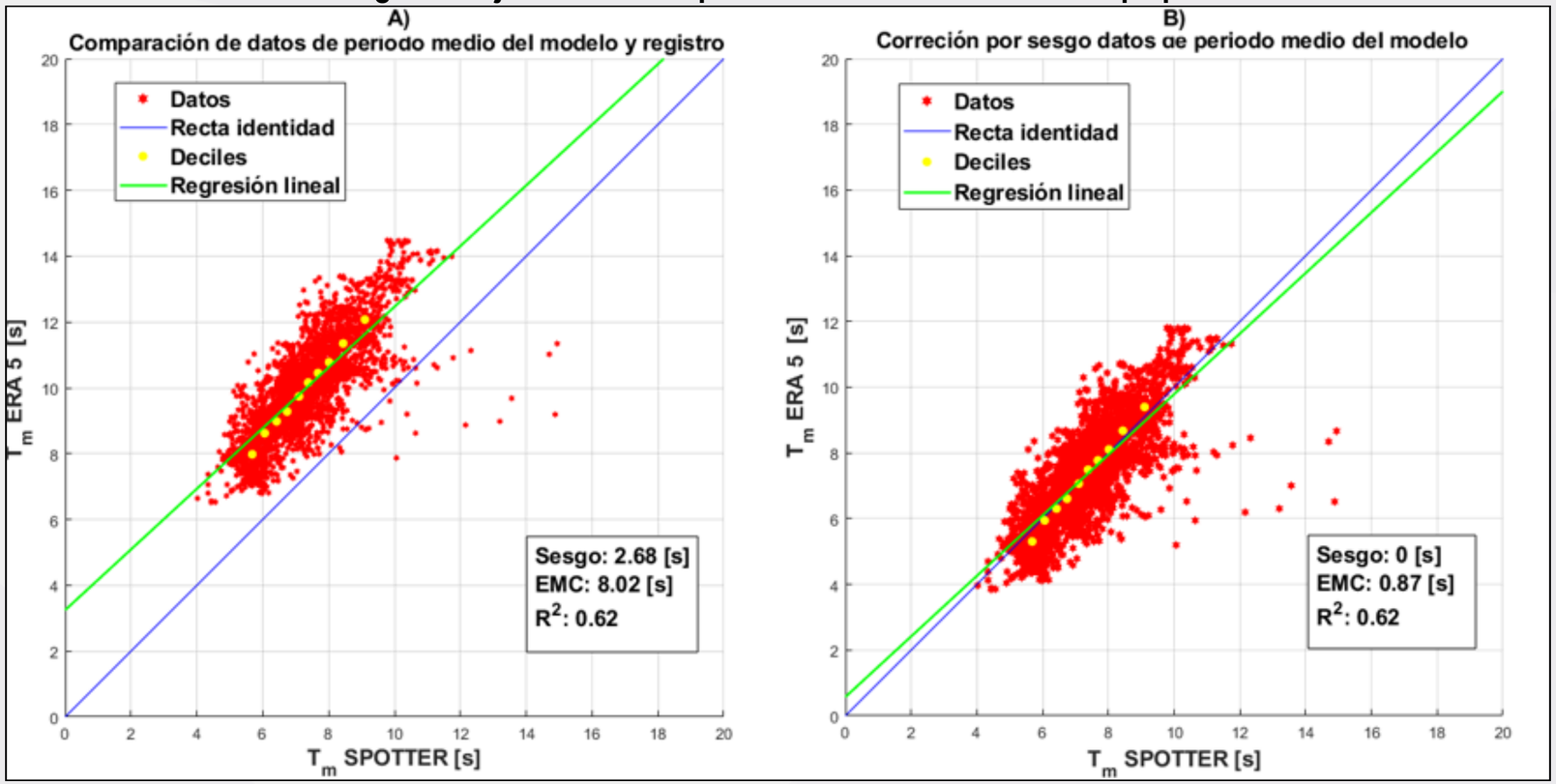
Objetivo: Analizar el clima de oleaje utilizando datos de ERA5 y validarlos con una base de datos acotada medidos en el lugar de interés.

AJUSTE DE DATOS

Periodo medio

- **Correlación de 0,79 entre los datos observados y el modelo.**

Figura 12: Ajuste de datos de periodo medio. Fuente: Elaboración propia



- **Sesgo inicial (A): Sesgo de 2,68[s], desplazando los datos hacia mayores periodos.**
- **Error medio cuadrático (EMC) de 8,02[s].**
- **Coeficiente de determinación R^2=0,62.**
- **Corrección por sesgo (B): Sesgo eliminado (igual a 0).**
- **EMC reducido a 0,87 [s], indicando una mejora significativa en el ajuste de los datos de ERA 5.**

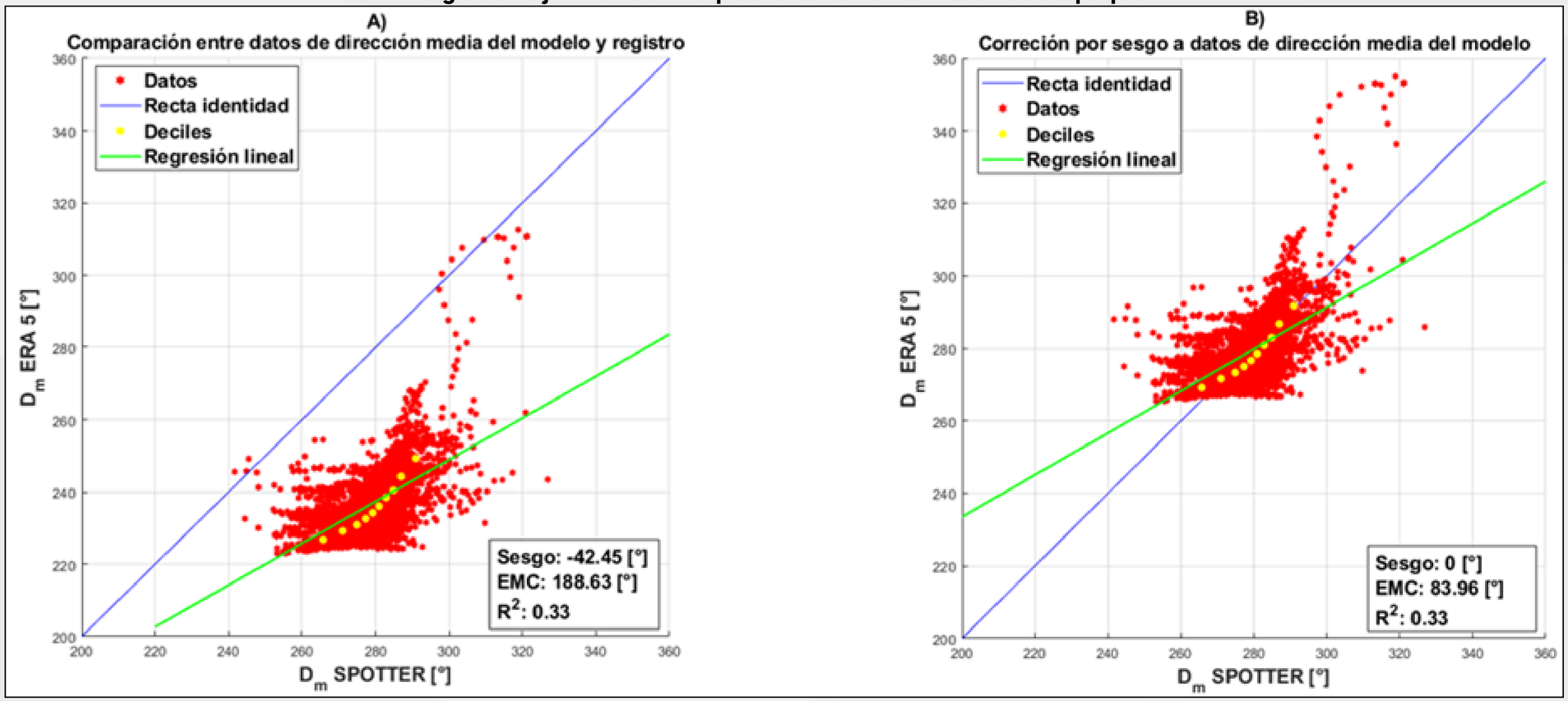
Objetivo: Analizar el clima de oleaje utilizando datos de ERA5 y validarlos con una base de datos acotada medidos en el lugar de interés.

AJUSTE DE DATOS

Dirección media

- **Correlación** de 0,57 entre los datos observados y el modelo.

Figura 13: Ajuste de datos de periodo medio. Fuente: Elaboración propia



- **Sesgo inicial (A):** Sesgo de -42.45[˚], desplazando los datos hacia menores direcciones.
- **Error medio cuadrático (EMC)** de 188,63[˚].
- **Coeficiente de determinación** R^2=0,33.

- **Corrección por sesgo (B):** Sesgo eliminado (igual a 0).
- **EMC** reducido a 83,96 [˚], indicando una mejora en el ajuste de los datos de ERA 5.

Objetivo: Analizar el clima de oleaje utilizando datos de ERA5 y validarlos con una base de datos acotada medidos en el lugar de interés.

CLIMA MEDIO

Tablas de incidencia

Figuras 14 y 15: Tablas de incidencia entre altura de ola significativa - periodo medio y dirección media. Fuente: Elaboración propia.

Ocurrencia

Dirección media [°]

Hs [m] \ Intervalos	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	Total	Frec %
0,1-0,5	-	-	-	-	2007	875		-	2882	1,6%
0,5-1,0	-	-	-	-	33038	8151	79	-	41268	23,5%
1,0-1,5	-	-	-	-	64224	7699	322	-	72245	41,2%
1,5-2,0	-	-	-	-	37527	4318	456	-	42301	24,1%
2,0-2,5	-	-	-	-	10602	2219	256	-	13077	7,5%
2,5-3,0	-	-	-	-	1815	766	198	-	2779	1,6%
3,0-3,5	-	-	-	-	256	226	104	-	586	0,3%
3,5-4,0	-	-	-	-	65	63	28	-	156	0,1%
4,0-4,5	-	-	-	-		9	7	-	16	0,0%
4,5-5,0	-	-	-	-	-	-	8	-	8	0,0%
5,0-5,5	-	-	-	-	-	-	2	-	2	0,0%
5,5-6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0%
6,0-6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0%
6,5-7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0%
>7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0%
Total	0	0	0	0	149534	24326	1460	0	175320	100,0%
Frec %	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	85,3%	13,9%	0,8%	0,0%	100,0%	
Total Acum	0	0	0	0	149534	173860	175320	175320		

Ocurrencia

Periodo medio [s]

Hs [m] \ Intervalos	<0	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	Total	Frec %
<0,5	-	23	834	1731	278	16	-	-	-	2882	1,6%
0,5-1,0	-	315	9982	22315	8268	387	1	-	-	41268	23,5%
1,0-1,5	-	246	13726	37489	19045	1724	15	-	-	72245	41,2%
1,5-2,0	-	38	4260	18656	16370	2839	138	-	-	42301	24,1%
2,0-2,5	-	2	451	3565	6678	2249	132	-	-	13077	7,5%
2,5-3,0	-	-	156	355	1043	1145	80	-	-	2779	1,6%
2,0-3,5	-	-	38	103	129	305	11	-	-	586	0,3%
3,5-4,0	-	-	9	25	29	74	19	-	-	156	0,1%
4,0-4,5	-	-	-	12	4	-	-	-	-	16	0,0%
4,5-5,0	-	-	-	8		-	-	-	-	8	0,0%
5,0-5,5	-	-	-	2		-	-	-	-	2	0,0%
5,5-6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0%
6,0-6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0%
6,5-7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0%
>7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0,0%
Total	0	624	29456	84261	51844	8739	396	0	0	175320	100,0%
Total Acum	0	624	30080	114341	166185	174924	175320	175320	175320		
Frec %	0,0%	0,4%	16,8%	48,1%	29,6%	5,0%	0,2%	0,0%	0,0%	100,0%	

- **74,8% de las alturas de ola significativa superan umbral de operatividad (>1m), lo que indica que la boya funcionará en condiciones óptimas la mayor parte del tiempo.**
- **Dirección media predominante - Oeste, el cual está entre los valores 247,5 [˚] hasta los 290 [˚]. Detalla el rango para la orientación de la boya desalinizadora en cuanto a operación.**

- **El periodo dominante de 6 a 8 segundos asegura un flujo constante de energía al sistema de desalinización, ya que las olas llegan en intervalos relativamente cortos.**

Objetivo: Evaluar los aspectos técnicos de la instalación de una boya desalinizadora, incluyendo consideraciones de diseño y mantenimiento.

CLIMA EXTREMO Y VARIABLES PARA EL DISEÑO

Periodo de retorno [Años]	Hs[m]
5	4,12
10	4,45
15	4,64
20	4,76
25	4,86
30	4,93
35	5,00
40	5,05
45	5,10
50	5,14
55	5,18
60	5,21
65	5,25
70	5,27
75	5,30
80	5,33
85	5,35
90	5,37
95	5,39
100	5,41

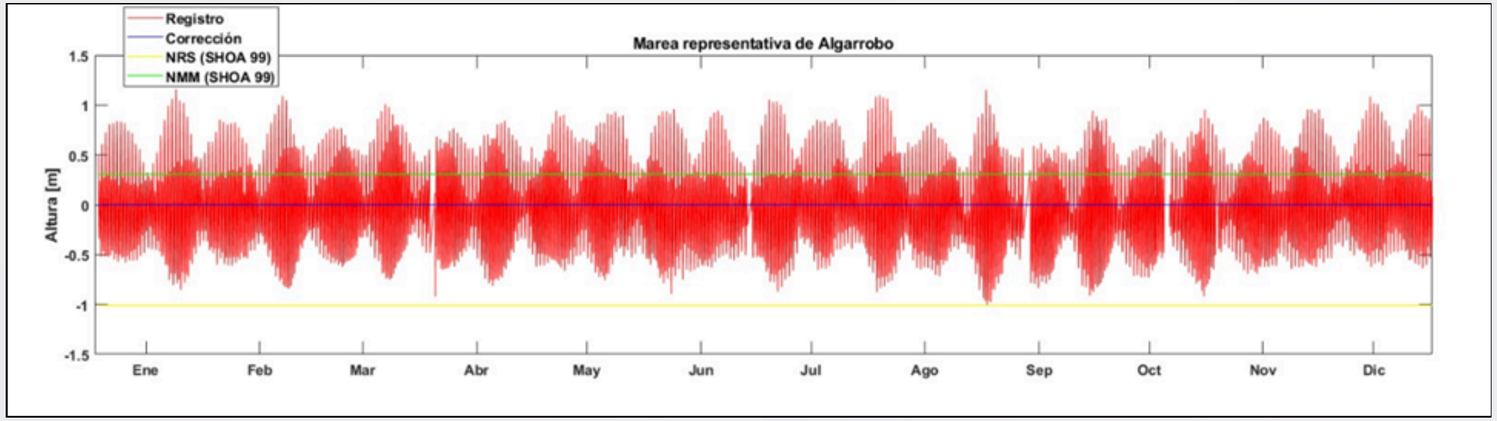
20% de riesgo y vida útil de 5 años.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^{vu}$$

5% de riesgo y vida útil de 5 años.

Figura 16: Alturas de ola significativa para periodos de retorno de interés. Fuente: Elaboración propia.

Figura 17: Plano mareal para sector de interés. Fuente: Elaboración propia.

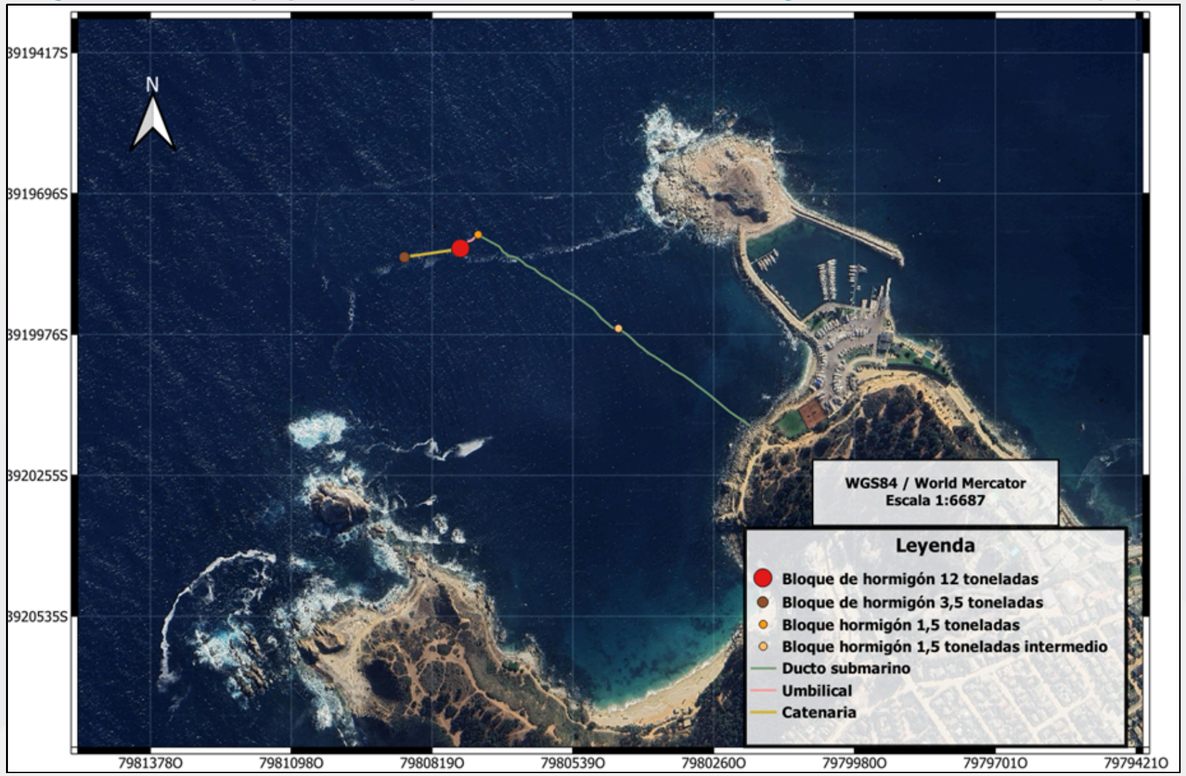


Pleamar máxima: 1,16[m]
NRS -1,01 [m]
Profundidad máxima del sector: 25,03[m] (incluyendo altura de ola de diseño)
Magnitud del viento (máxima): 19,89 [m/s]

Objetivo: Evaluar los aspectos técnicos de la instalación de una boya desalinizadora, incluyendo consideraciones de diseño y mantenimiento.

SISTEMA DE ANCLAJE

Figura 18: Ubicación proyecto de boya desalinizadora en la bahía de Algarrobo. Fuente: Elaboración propia.



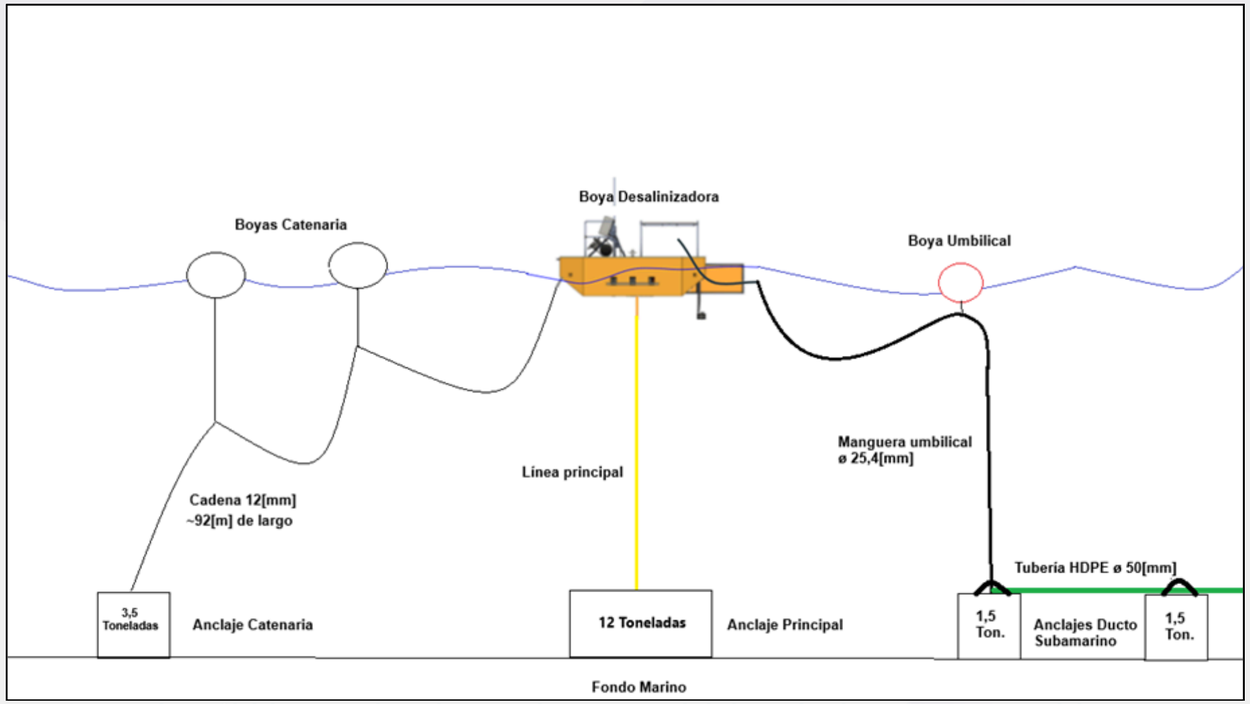


Figura 19: Vista de perfil del sistema de anclaje para la operación de la boya desalinizadora. Fuente: Elaboración propia.

Objetivo: Evaluar los aspectos técnicos de la instalación de una boya desalinizadora, incluyendo consideraciones de diseño y mantenimiento.

ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

IMPACTOS:
- Ø Alteración del hábitat marino
- Ø Descarga de salmuera
- Ø Interferencia con actividades humanas/Impacto visual

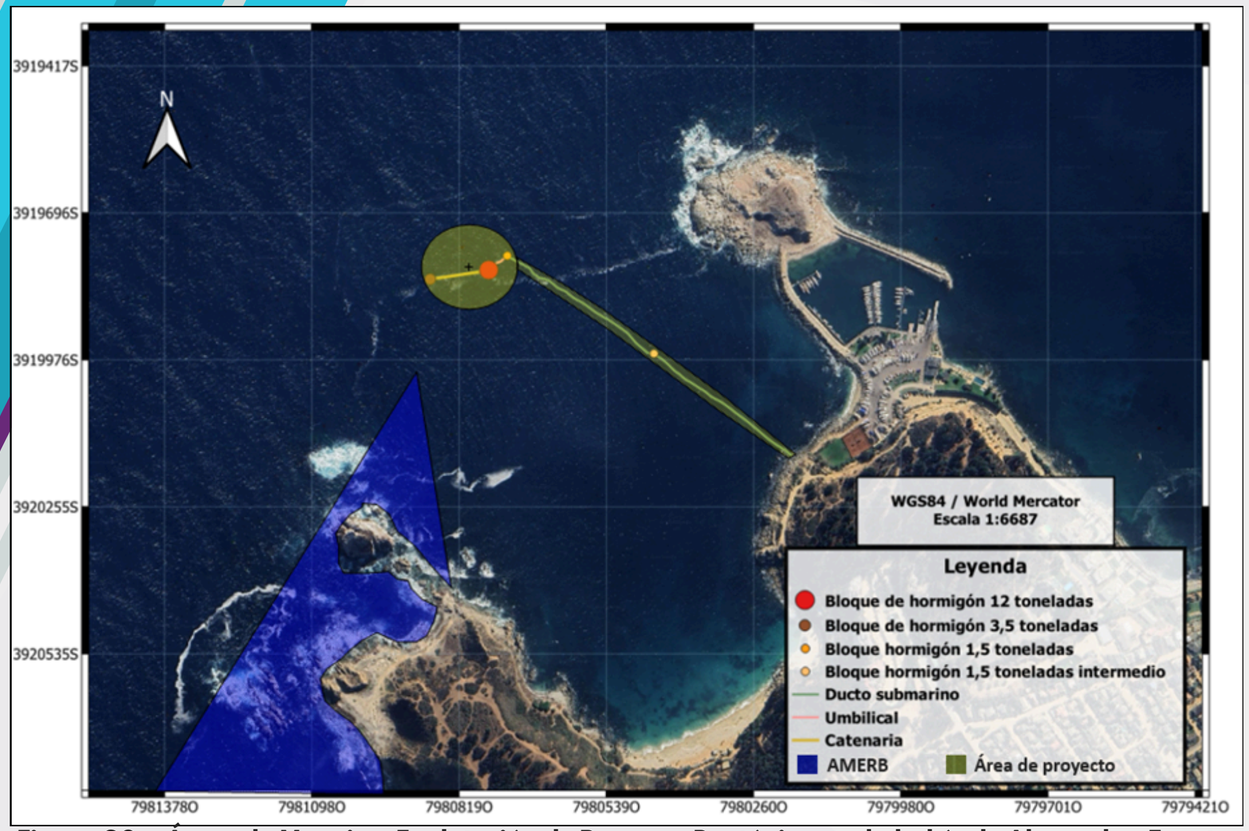


Figura 20: : Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos en la bahía de Algarrobo. Fuente: Editada de (Subpesca, 2024).

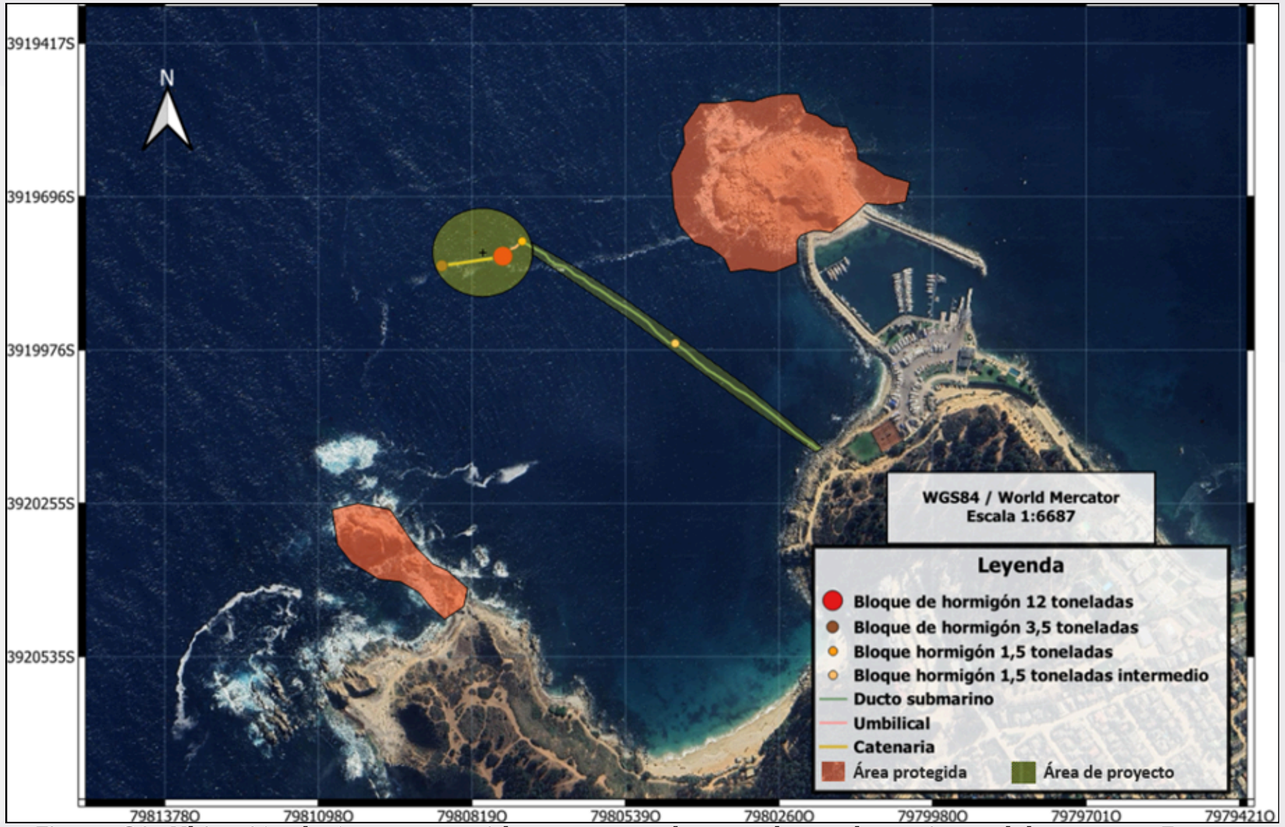


Figura 21: :Ubicación de áreas protegidas cercanas al sector de emplazamiento del proyecto. Fuente: Editado de (SIMBIO, 2016).

Objetivo: Aplicar la normativa chilena e internacional sobre los impactos ambientales más relevantes de la boya desalinizadora.

DESCARGA DE SALMUERA E IMPACTO VISUAL

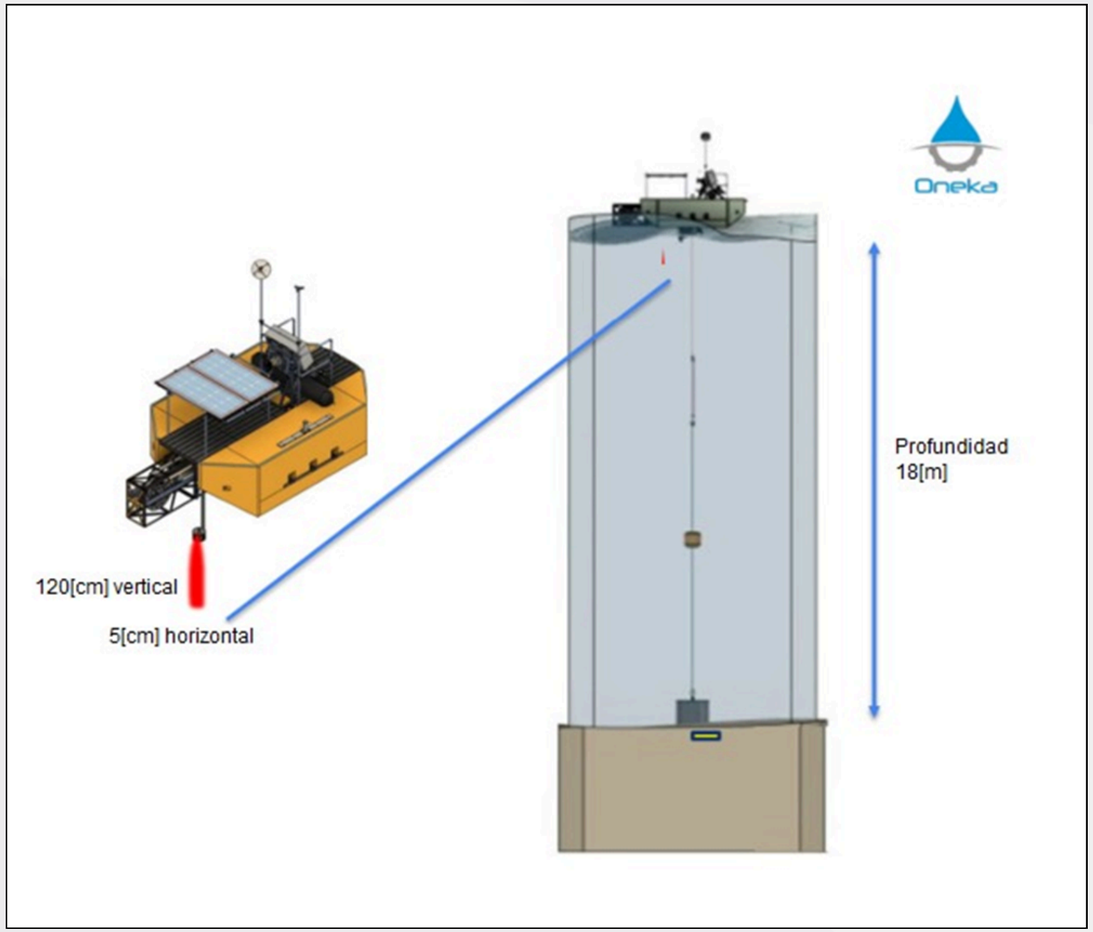
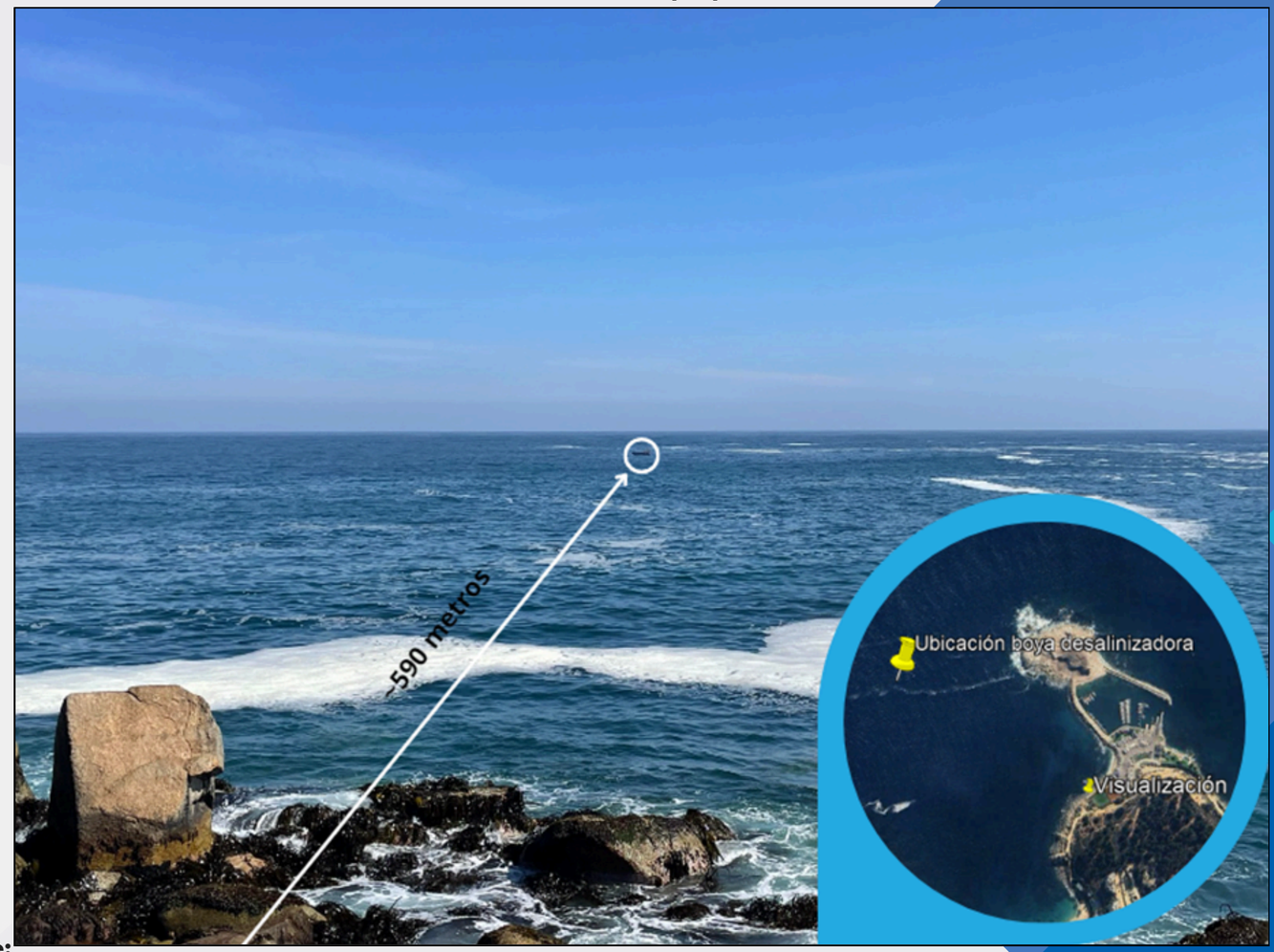


Figura 22: Visualización gráfica de longitudes necesarias para alcanzar salinidad aceptable. Fuente: (Meyer-Steele, 2023).

Figura 23: Ejemplificación de lo que sería el impacto visual de la boya desalinizadora. Fuente: Elaboración propia.



Objetivo: Aplicar la normativa chilena e internacional sobre los impactos ambientales más relevantes de la boya desalinizadora.

NORMATIVA

LEY 19.300 - SEIA

Artículo 10 - sección o) emisarios submarinos.
Artículo 10 - sección p) obras o actividades en santuarios de la naturaleza.
Artículo 11 - NO aplica, por lo tanto no requiere Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

¿DIA o Pertinencia?



Si no está claro y en base a recomendación con personas expertas en el tema, el camino a considerar es realizar una consulta de pertinencia al SEA.

Procedimiento para Concesión Marítima

Solicitante →

CAPUERTO →
Recepciona antecedentes.
Ingresa solicitud y documentos.
Informe de sobreposición.

MARIGOB →
Opinión informe sobreposición.

SUBSECMAR →
Elaboración y despacho decreto supremo. Junto con toma de razón por MM.BB y C.G.R.

DIRINMAR →
Cálculo de cobros.

CAPUERTO
Envía notificación y coordina entrega.
Ingresa comprobante de pago.
Proceso de entrega.
Fiscalizaciones.

↓

Concesionario
Recibe decreto supremo.
Entrega física.

El solicitante puede ver todo el proceso o estado de su tramite a través de Sistema de Información y Administración de Bienes Costeros (SIABC)

Objetivo: Aplicar la normativa chilena e internacional sobre los impactos ambientales más relevantes de la boya desalinizadora.

ANÁLISIS ECONÓMICO

- El capital inicial corresponde a los costos de instalación, mantención y operación. Su total es de $642.043.385 (pesos chilenos).

  → Con este capital inicial el coste anualizado es de $160.803.910 para el escenario menos conservador.
  Para el escenario más conservador aumenta a $162.688.553

Por último se realiza una simulación en cuanto a ingresos vendiendo el agua en camiones aljibe, obteniendo un VAN de $-399.400.415 (pesos chilenos) y una TIR que no es posible de obtener para el escenario menos conservador. En el caso conservador el VAN es de $-406.367.852 y la TIR no se puede obtener.

CONTENIDOS

01 INTRODUCCIÓN

02 OBJETIVOS

03 MARCO TEÓRICO

04 METODOLOGÍA

05 RESULTADOS

06 **DISCUSIÓN**

07 CONCLUSIONES

FACTIBILIDAD TÉCNICA



Figura 24: Ubicación nodo ERA 5 y boya SPOTTER. Fuente: Google Earth.



Figura 25: Zoom a ubicación nodo boya SPOTTER. Fuente: Google Earth.

- La dirección es compleja de modelar por fenómenos como refracción y difracción.
- Condiciones locales (islotes) desvían la dirección incidente.
- Análisis de clima extremo y clima medio: Relevante para diseño de estructuras costeras en Algarrobo.

FACTIBILIDAD MEDIOAMBIENTAL

IMPACTOS NEGATIVOS

Muñoz et al. (2023) observaron dentro de su investigación que concentraciones de salinidad elevadas influyen negativamente en comunidades de invertebrados y algas, indicando de igual manera que la descarga debe controlarse para evitar efectos nocivos.

IMPACTOS POSITIVOS

Wilhelmsson et al. (2006), quienes encontraron que sistemas de anclajes y diversos elementos o estructuras marinas crean microhábitats, las cuales pueden atraer diversas especies bentónicas.

IMPACTOS VISUAL

Ladenburg (2009) examina cómo el impacto visual de las granjas eólicas offshore afecta la percepción pública y concluye que las campañas de educación sobre beneficios ambientales pueden mejorar la aceptación social.

Además...

- **Normativa poco específica y procesos de adjudicación de concesión marítima demasiado lentos**

FACTIBILIDAD ECONÓMICA

- Los costos obtenidos son bastante elevados, esto principalmente se debe a que los proyectos en el mar de este tipo son bastante caros, debido a la logística y maquinaria que se necesita, por ejemplo, como detalla el estudio realizado por **Sadhwani y Veza (2008).**

- **Costos de mantención elevados.**

¿VAN y TIR negativos?

Análisis de **Zhang y Wang (2019)** en proyectos de innovación sin fines de lucro, un VAN negativo, refleja que los beneficios esperados son principalmente tecnológicos y de colaboración, lo cual consiste con los objetivos de validación de la tecnología y su viabilidad a largo plazo.

Entonces... ¿Cuánto se necesita para un VAN y TIR favorable?



Figura 26: Boya ICEBERG. Fuente: EcoInventos.

Con la boya ICEBERG cuya producción es de 50 metros cúbicos por día.

Esto implica que:

- Costos de instalación se eleven a $106.740.156 para el caso conservador y $92.793.356 para el caso menos conservador.

- Para el caso menos conservador del 20% de riesgo el VAN queda en $497.933.297 y la TIR es del 75%. Para el caso más conservador el VAN es de $478.502.606 y la TIR del 68%.

CONTENIDOS

01 INTRODUCCIÓN

02 OBJETIVOS

03 MARCO TEÓRICO

04 METODOLOGÍA

05 RESULTADOS

06 DISCUSIÓN

07 **CONCLUSIONES**

CONCLUSIONES

Factibilidad técnica

- Condiciones ideales: alturas de ola y períodos dominantes aseguran energía constante para ósmosis inversa.
- Diseño basado en guía IALA, con riesgos y períodos de retorno adaptables.

Factibilidad ambiental

- Descarga de salmuera: distancias de cumplimiento normativo cortas, pero se recomienda análisis más detallado para proyectos mayores.
- Impacto visual: necesario educar y sensibilizar a la comunidad sobre los beneficios del proyecto.

Factibilidad económica

- Proyecto piloto diseñado para validar tecnología, no para generar utilidades inmediatas.
- Futuras boyas con mayor capacidad (≥ 50 m^3/día) pueden obtener VAN y TIR favorables.

Contribución a la comuna y país

- Reducir la demanda de grandes instalaciones costeras.
- Aporta al desarrollo de tecnologías limpias y renovables compatibles con el entorno marino.

REFERENCIAS

- Charcosset, C. (29 de Junio de 2008). ScienceDirect. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.06.020
- Jennifer Leijon, C. B. (26 de Octubre de 2017). Science Direct. Obtenido de Freshwater production from the motion of ocean waves– A review: https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.049
- Ladenburg, J. (2009). "Visual impact assessment of offshore wind farms and public acceptance." Energy Policy.
- Matt Folley, T. W. (16 de Junio de 2008). Science Direct. Obtenido de The cost of water from an autonomous wave-powered desalination plant: https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.03.009
- Meyer-Steele, Shawn. (2024). Unidad de prueba desalinización undimotriz [PDF].
- Muñoz, G., Benavent, M., Turiel, A., & Cañete, E. (2023). Sustainable approaches to marine desalination: Technological advances and environmental impacts. Frontiers in Marine Science.
- Oneka, T. (2023). Oneka. Obtenido de https://www.onekawater.com/es/tecnologia-de-desalinizacion-del-agua-de-mar/
- Qasim et al., M. (12 de Marzo de 2019). Science Direct. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.02.008
- Sadhwani, J. J., & Veza, J. M. (2008). Desalination and energy consumption in Canary Islands. Renewable and Sustainable Energy Reviews

REFERENCIAS

- Silva, R. (2005). Analisis-y-descripcion-estadistica-del-oleaje. Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/profile/Rodolfo-Silva-9/publication/323488728_Analisis_y_descripcion_estadistica_del_oleaje/links/5d95c803a6fdccfd0e722ca4/Analisis-y-descripcion-estadistica-del-oleaje.pdf

- SIMBIO. (2016). Sistema de Información y Monitoreo de Biodiversidad. https://simbio.mma.gob.cl/CbaAP/VistaImpresion/1038

- Subpesca. (2024). Geoportal. https://geoportal.subpesca.cl/portal/home/item.html?id=5235010559be4dc38770de363542768d

- Vicuña et al., S. V. (Diciembre de 2022). Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/366893673_Desalinizacion_Oportunidades_y_desafios_para_abordar_la_inseguridad_hidrica_en_Chile

- Veera et al., G. G. (14 de Junio de 2010). Science Direct. Obtenido de Renewable and sustainable approaches for desalination: https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.06.008

- Wilhelmsson, D., Malm, T., & Öhman, M. C. (2006). "The influence of offshore windpower on demersal fish." ICES Journal of Marine Science.

- Zhang, L., & Wang, H. (2019). Feasibility analysis of non-commercial environmental projects: Economic assessment and innovation benefits. Environmental Impact Assessment Review.

ESCUELA DE INGENIERÍA OCEÁNICA

Universidad de Valparaíso CHILE
Facultad de Ingeniería

MUCHAS GRACIAS

Fernando Catalán

SISTEMA DE ANCLAJE

1. $$F_w = \frac{1}{2}\rho_a V_w^2 A C_w$$

$$F_d = \frac{1}{2}\rho_0 S^2 A C_d$$

Fuerzas de viento y corriente

2. $$L = \sqrt{H\left(H + \frac{2T_{h0}}{pg}\right)}$$

Largo de la cadena.

3. $$M \geq K\frac{T_{h0}\delta}{g(\delta - \rho_0)tan\varphi}$$

Masa del bloque para amarre flojo.

φ: el ángulo de rozamiento interno del fondo del mar, 45° es una aproximación práctica que puede emplearse en gran parte de los casos.

δ: la densidad media del material del muero o anclaje, para este caso hormigón de 2500 kg/m^3.

Para el anclaje principal (amarre tenso):

4. $$T_{v0} = \frac{pgH\sqrt{4{T_{h0}}^2 + (pgL)^2 - (pgH)^2}}{2\sqrt{(pgL)^2 - (pgH)^2}} - \frac{pgL}{2}$$

L diferente (35m)

Uso de cuerda no de cadena

5. $$M \geq K\frac{T_{h0}\delta}{g(\delta - \rho_0)tan\varphi} + \frac{T_{v0}}{g}$$

Masa del bloque para amarre tenso.

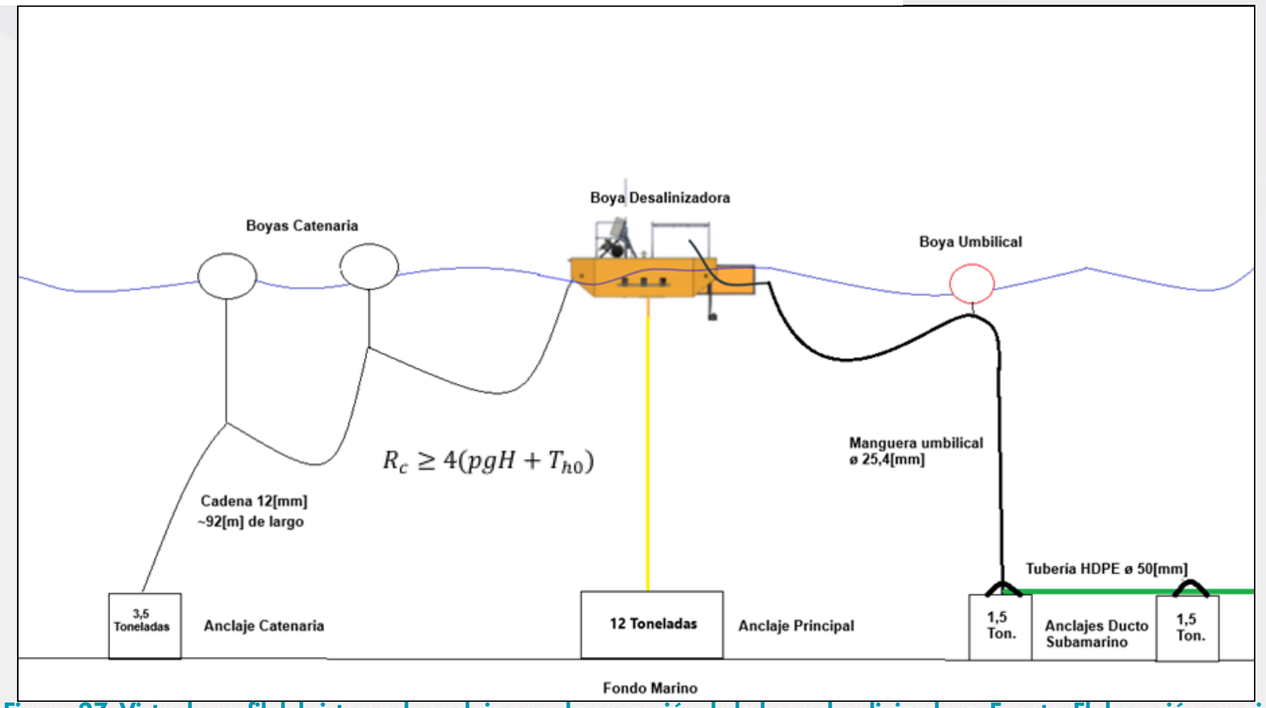


Figura 27: Vista de perfil del sistema de anclaje para la operación de la boya desalinizadora. Fuente: Elaboración propia.

DESCARGA DE SALMUERA E IMPACTO VISUAL

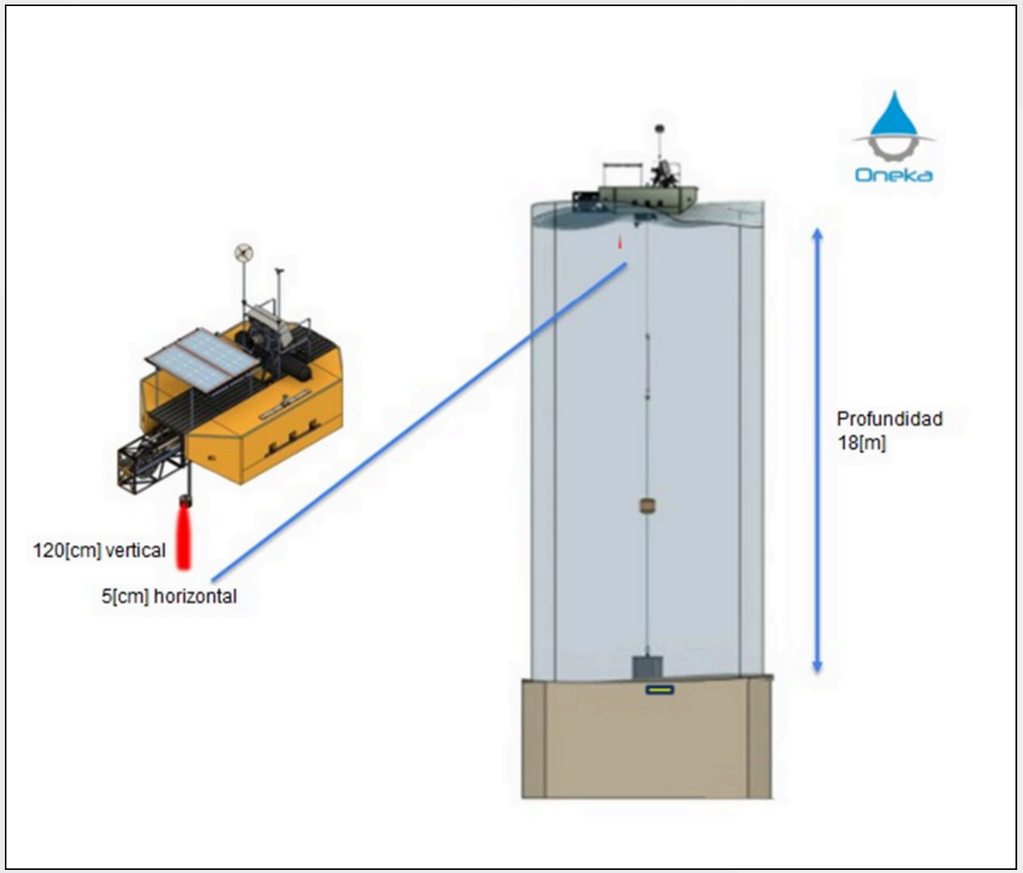


Figura 28: Visualización gráfica de longitudes necesarias para alcanzar salinidad aceptable. Fuente: (Meyer-Steele, 2023).

Condiciones ingresadas: Agua de mar con una salinidad de 34,25 [ppt] y una temperatura de 16,8 [°C]. Las condiciones de la salmuera o rechazo contiene una salinidad de 44,6 [ppt] y una temperatura de 16,8 [°C].

Siguiendo la operación del proceso de los dispositivos clase P1, el flujo de descarga es de (5 metros cúbicos/dia) y la velocidad máxima de descarga es de 0,014 m /s.

Esto es sin ninguna acción de las olas, que es la peor condición posible y en realidad es imposible, ya que se necesitan olas para generar el agua dulce y crear salmuera.

ANÁLISIS ECONÓMICO

Figura 29: Costos de operación boya desalinizadora junto con total anual y total de vida útil del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Costos de operación						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Costo por unidad (CLP)**	**IVA (19%)**	**Eventos por año**	**Costo anual(CLP)**
Boya desalinizadora	Seguimiento de la operación por el personal	Diaria	$ 3.908.000	-	12	$ 46.896.000
	Adquisición de embarcación	1	$ 13.900.000	$ 2.641.000	1	$ 16.541.000
	Estadía embarcación en el agua	365	$ 18.144	-	365	$ 6.622.560
	Oficina y taller para el personal	1	$ 530.000	-	12	$ 6.360.000
Taller de operaciones	Container, herramientas y estadía en CNP	Container y herramientas (1) - estadía mensual (12)	$ 9.734.499	$ 1.849.555	1 y 12	$ 11.584.054
						$ 88.003.614
					Por 5 años	$ 440.018.069

Figura 30: Costos de mantención boya desalinizadora durante la operación. Fuente: Elaboración propia.

Costos de mantenimiento						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Costo por unidad (CLP)**	**IVA (19%)**	**Eventos por año**	**Costo anual(CLP)**
Boya desalinizadora	Limpieza del fouling	Cada 2 meses en otoño - invierno, cada 1 mes primavera - verano	$ 183.330	-	9	$ 1.649.970
	Repintado	Cada 12 meses	$ 350.000	$ 66.500	1	$ 416.500
	Cambio de válvulas de retención	Cada 6 meses	$ 221.980	$ 42.176	2	$ 528.312
	Bomba clark renovar piezas (kit de piezas)	Cada 6 meses	$ 450.000	$ 85.500	2	$ 1.071.000
	Mangueras de alta presión - cambio	Cada 12 meses	$ 550.000	$ 104.500	1	$ 654.500
	Cambio de membranas de osmosis inversa y filtro de polipropileno	Cada 6 meses	$ 830.000	$ 157.700	2	$ 1.975.400
Anclajes de hormigón	Inspección visual de anclajes de hormigón y captura de videos	Cada 4 meses	$ 360.000	$ 68.400	3	$ 1.285.200
	Inspección de catenaria de seguridad	Cada 4 meses	-	-	Junto con inspección de anclajes de hormigón	-
Tubería submarina	Inspección visual y captura de videos	Cada 4 meses	$ 360.000	$ 68.400	3	$ 1.285.200
Embarcación	Lavado del casco	Cada 4 meses	$ 111.510	-	3	$ 334.530
	Mantenimiento del motor	Cada 6 meses	$ 468.000	$ 88.920	2	$ 1.113.840
						$ 10.314.452
					Por 5 años	$ 51.572.262

ANÁLISIS ECONÓMICO

Figura 31: Costos de instalación y desinstalación de la boya desalinizadora (5% riesgo) para el sector de ubicación del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Costos de instalación y desinstalación						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Costo por unidad (CLP)**	**IVA (19%)**	**Eventos por año**	**Costo inicial (CLP)**
Boya desalinizadora	Transporte por tierra en camiones con grúas	2	$ 300.000	$ 57.000	1	$ 714.000
	Uso de maquinaria para llevarla hacia el mar	2	$ 162.162	-	1	$ 324.324
	Valor de adquisición	1	$ 40.000.000	-	1	$ 40.000.000
Anclajes de hormigón	Fabricación	1	$ 1.650.000	$ 313.500	1	$ 1.963.500
	Transporte por tierra en camión de rampla plana	2	$ 548.000	$ 104.120	1	$ 1.304.240
	Uso de maquinaria para depositarlos en el mar	2	$ 1.567.566	-	1	$ 3.135.132
	Servicio de buceo comercial + embarcación	2	$ 2.930.000	$ 556.700	4	$ 27.893.600
Tubería submarina	Suministro - HDPE 50 [mm] PN10 (750 metros) + delivery	1	$ 1.858.000	$ 353.020	1	$ 2.211.020
	Lastres (Cadenas, bloques de hormigón)	1	$ 11.200.000	$ 2.128.000	1	$ 13.328.000
	Servicio de buceo comercial + embarcación	2	$ 2.930.000	$ 556.700	5	$ 34.867.000
Administrativo	Concesión maritima onerosa	5	$ 3.993.000	-	1	$ 19.965.000
Otros	Adquisición cuerda anclaje principal, catenaria y umbilical	1	$ 5.277.469	$ 1.002.719	1	$ 6.280.188
	Adquisición de boya spotter	1	$ 5.035.195	$ 956.687	1	$ 5.991.882
						$ 157.977.886

Figura 32: Costos de instalación y desinstalación (20% de riesgo) de la boya desalinizadora para el sector de ubicación del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Costos de instalación y desinstalación						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Costo por unidad (CLP)**	**IVA (19%)**	**Eventos por año**	**Costo inicial (CLP)**
Boya desalinizadora	Transporte por tierra en camiones con grúas	2	$ 300.000	$ 57.000	1	$ 714.000
	Uso de maquinaria para llevarla hacia el mar	2	$ 162.162	-	1	$ 324.324
	Valor de adquisición	1	$ 40.000.000	-	1	$ 40.000.000
Anclajes de hormigón	Fabricación	1	$ 1.550.000	$ 294.500	1	$ 1.844.500
	Transporte por tierra en camión de rampla plana	2	$ 548.000	$ 104.120	1	$ 1.304.240
	Uso de maquinaria para depositarlos en el mar	2	$ 1.351.350	-	1	$ 2.702.700
	Servicio de buceo comercial + embarcación	2	$ 2.930.000	$ 556.700	3	$ 20.920.200
Tubería submarina	Suministro - HDPE 50 [mm] PN10 (750 metros) + delivery	1	$ 1.858.000	$ 353.020	1	$ 2.211.020
	Lastres (Cadenas, bloques de hormigón)	1	$ 11.200.000	$ 2.128.000	1	$ 13.328.000
	Servicio de buceo comercial + embarcación	2	$ 2.930.000	$ 556.700	5	$ 34.867.000
Administrativo	Concesión maritima onerosa	5	$ 3.993.000	-	1	$ 19.965.000
Otros	Adquisición cuerda anclaje principal, catenaria y umbilical	1	$ 5.277.469	$ 1.002.719	1	$ 6.280.188
	Adquisición de boya spotter	1	$ 5.035.195	$ 956.687	1	$ 5.991.882
						$ 150.453.054

ANÁLISIS ECONÓMICO

Figura 33: Cálculo de VAN y TIR para caso menos conservador (20% de riesgo). Fuente: Elaboración propia.

		AÑOS DE OPERACIÓN					
		0	1	2	3	4	5
	Ingresos	-	$ 36.500.000	$ 36.500.000	$ 36.500.000	$ 36.500.000	$ 36.500.000
	Costo fijo de operación	-	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614
	Costo de mantención	-	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452
	Depreciación	-	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000
	U.A.I	-	$ -63.418.066	$ -63.418.066	$ -63.418.066	$ -63.418.066	$ -63.418.066
	Impuesto	-	$ -6.935.000	$ -6.935.000	$ -6.935.000	$ -6.935.000	$ -6.935.000
	U.D.I	-	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066
	Inversión	$ -150.453.054					
	Flujo	$ -150.453.054	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066
8%	VAN	$ -399.400.415					
	TIR	#¡NUM!					

Figura 34: Cálculo de VAN y TIR para caso conservador (5% de riesgo). Fuente: Elaboración propia.

		AÑOS DE OPERACIÓN					
		0	1	2	3	4	5
	Ingresos	-	$ 36.500.000	$ 36.500.000	$ 36.500.000	$ 36.500.000	$ 36.500.000
	Costo fijo de operación	-	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614
	Costo de mantención	-	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452
	Depreciación	-	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000
	U.A.I	-	$ -63.418.066	$ -63.418.066	$ -63.418.066	$ -63.418.066	$ -63.418.066
	Impuesto	-	$ -6.935.000	$ -6.935.000	$ -6.935.000	$ -6.935.000	$ -6.935.000
	U.D.I	-	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066
	Inversión	$ -157.977.886					
	Flujo	$ -157.977.886	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066	$ -70.353.066
8%	VAN	$ -406.367.852					
	TIR	#¡NUM!					

ANÁLISIS ECONÓMICO

Figura 35 Costos de instalación para boya ICEBERG con riesgo admisible del 20% (opción menos conservadora). Fuente: Elaboración propia.

Costos de instalación y desinstalación						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Costo por unidad (CLP)**	**IVA (19%)**	**Eventos por año**	**Costo inicial (CLP)**
Boya desalinizadora	Transporte por tierra en camiones con grúas	2	$ 300.000	$ 57.000	1	$ 714.000
	Uso de maquinaria para llevarla hacia el mar	2	$ 540.540	-	1	$ 1.081.080
	Valor de adquisición	1	$ 90.000.000	-	1	$ 90.000.000
Anclajes de hormigón	Fabricación	1	$ 2.250.000	$ 427.500	1	$ 2.677.500
	Transporte por tierra en camión de rampla plana	2	$ 548.000	$ 104.120	1	$ 1.304.240
	Uso de maquinaria para depositarlos en el mar	2	$ 1.594.593	-	1	$ 3.189.186
	Servicio de buceo comercial + embarcación	2	$ 2.930.000	$ 556.700	7	$ 48.813.800
Tubería submarina	Suministro - HDPE 50 [mm] PN10 (750 metros) + delivery	1	$ 1.858.000	$ 353.020	1	$ 2.211.020
	Lastres (Cadenas, bloques de hormigón)	1	$ 11.200.000	$ 2.128.000	1	$ 13.328.000
	Servicio de buceo comercial + embarcación	2	$ 2.930.000	$ 556.700	5	$ 34.867.000
Administrativo	Concesión marítima onerosa	5	$ 6.655.000	-	1	$ 33.275.000
Otros	Adquisión cuerda anclaje principal, catenaria y umbilical	1	$ 5.277.469	$ 1.002.719	1	$ 6.280.188
	Adquisición de boya spotter	1	$ 5.035.195	$ 956.687	1	$ 5.991.882
						$ 243.732.896

Figura 36: Costos de instalación para boya ICEBERG con riesgo admisible del 5% (opción conservadora). Fuente: Elaboración propia.

Costos de instalación y desinstalación						
Componente	**Actividad**	**Frecuencia**	**Costo por unidad (CLP)**	**IVA (19%)**	**Eventos por año**	**Costo inicial (CLP)**
Boya desalinizadora	Transporte por tierra en camiones con grúas	2	$ 300.000	$ 57.000	1	$ 714.000
	Uso de maquinaria para llevarla hacia el mar	2	$ 540.540	-	1	$ 1.081.080
	Valor de adquisición	1	$ 90.000.000	-	1	$ 90.000.000
Anclajes de hormigón	Fabricación	1	$ 2.350.000	$ 446.500	1	$ 2.796.500
	Transporte por tierra en camión de rampla plana	2	$ 548.000	$ 104.120	1	$ 1.304.240
	Uso de maquinaria para depositarlos en el mar	2	$ 1.567.566	-	1	$ 3.135.132
	Servicio de buceo comercial + embarcación	2	$ 2.930.000	$ 556.700	10	$ 69.734.000
Tubería submarina	Suministro - HDPE 50 [mm] PN10 (750 metros) + delivery	1	$ 1.858.000	$ 353.020	1	$ 2.211.020
	Lastres (Cadenas, bloques de hormigón)	1	$ 11.200.000	$ 2.128.000	1	$ 13.328.000
	Servicio de buceo comercial + embarcación	2	$ 2.930.000	$ 556.700	5	$ 34.867.000
Administrativo	Concesión marítima onerosa	5	$ 6.655.000	-	1	$ 33.275.000
Otros	Adquisión cuerda anclaje principal, catenaria y umbilical	1	$ 5.277.469	$ 1.002.719	1	$ 6.280.188
	Adquisición de boya spotter	1	$ 5.035.195	$ 956.687	1	$ 5.991.882
						$ 264.718.042

ANÁLISIS ECONÓMICO

Figura 38: Cálculo de VAN y TIR para caso menos conservador boya ICEBERG (20% de riesgo). Fuente: Elaboración propia.

		AÑOS DE OPERACIÓN					
		0	1	2	3	4	5
	Ingresos	-	$ 365.000.000	$ 365.000.000	$ 365.000.000	$ 365.000.000	$ 365.000.000
	Costo fijo de operación	-	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614
	Costo de mantención	-	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452
	Depreciación	-	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000
	U.A.I	-	$ 265.081.934	$ 265.081.934	$ 265.081.934	$ 265.081.934	$ 265.081.934
	Impuesto	-	$ -69.350.000	$ -69.350.000	$ -69.350.000	$ -69.350.000	$ -69.350.000
	U.D.I	-	$ 195.731.934	$ 195.731.934	$ 195.731.934	$ 195.731.934	$ 195.731.934
	Inversión	$ -243.732.896					
	Flujo	$ -243.732.896	$ 195.731.934	$ 195.731.934	$ 195.731.934	$ 195.731.934	$ 195.731.934
8%	VAN	$ 497.933.297					
	TIR	75%					

Figura 39: Cálculo de VAN y TIR para caso conservador boya ICEBERG (5% de riesgo). Fuente: Elaboración propia.

		AÑOS DE OPERACIÓN					
		0	1	2	3	4	5
	Ingresos	-	$365.000.000	$365.000.000	$365.000.000	$365.000.000	$365.000.000
	Costo fijo de operación	-	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614	$ -88.003.614
	Costo de mantención	-	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452	$ -10.314.452
	Depreciación	-	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000	$ -1.600.000
	U.A.I	-	$265.081.934	$265.081.934	$265.081.934	$265.081.934	$265.081.934
	Impuesto	-	$ -69.350.000	$ -69.350.000	$ -69.350.000	$ -69.350.000	$ -69.350.000
	U.D.I	-	$195.731.934	$195.731.934	$195.731.934	$195.731.934	$195.731.934
	Inversión	$ -264.718.042					
	Flujo	$ -264.718.042	$195.731.934	$195.731.934	$195.731.934	$195.731.934	$195.731.934
8%	VAN	$ 478.502.606					
	TIR	68%					

PRINCIPIO DE PASCAL

El principio de Pascal afirma que cuando se ejerce presión sobre un fluido incompresible, la presión se transmite con igual intensidad a todos los puntos del fluido y a las paredes que lo contienen. Este principio se utiliza para amplificar la fuerza aplicada.

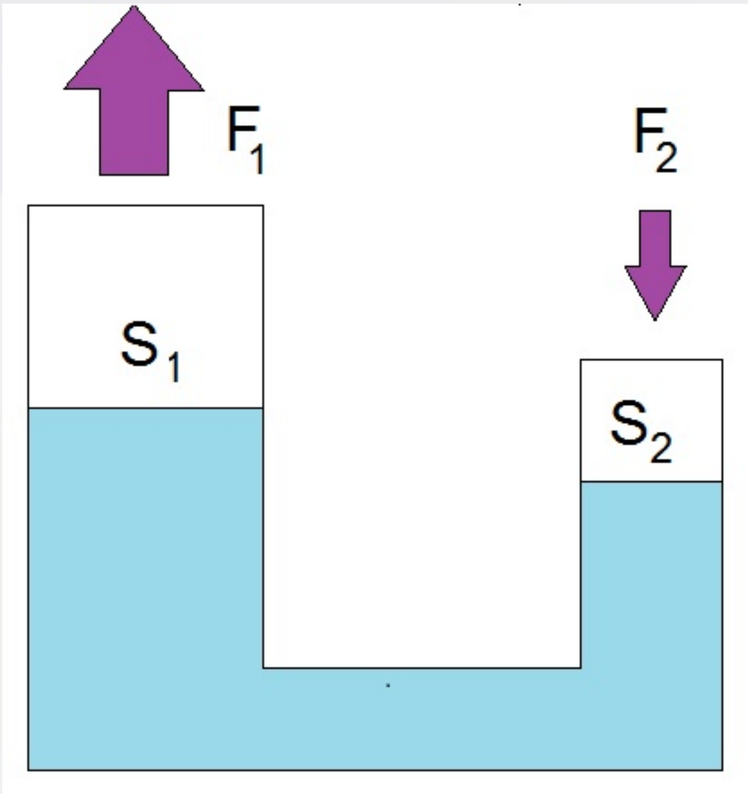


Fig. 40. Esquema de la prensa hidráulica.
Fuente: Universitat de València. (sf). Principio de Pascal: Prensa Hidráulica.

¿POR QUÉ SE UTILIZA LA NORMA AUSTRALIANA?

Según el artículo 11 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. DS (MMA) N°40 de 2013:

“Para la utilización de las normas de referencia, se priorizará aquel Estado que posea similitud en sus componentes ambientales, con la situación nacional y/o local, lo que será justificado razonablemente por el proponente.”

Valido para los siguientes estados con normativa vigente: República Federal de Alemania, República Argentina, Australia, República Federativa del Brasil, Canadá, Reino de España, Estados Unidos Mexicanos, Estados Unidos de América, Nueva Zelandia, Reino de los Países Bajos, República Italiana, Japón, Reino de Suecia y Confederación Suiza.

Criterios utilizados para establecer el aumento del 5% de aumento en la salinidad natural:

- **Sensibilidad de los ecosistemas marinos y costeros**
- **Estudios de campo y laboratorio**

El criterio se definió para evitar impactos acumulativos o irreversibles, especialmente en áreas vulnerables cercanas a los puntos de vertido.