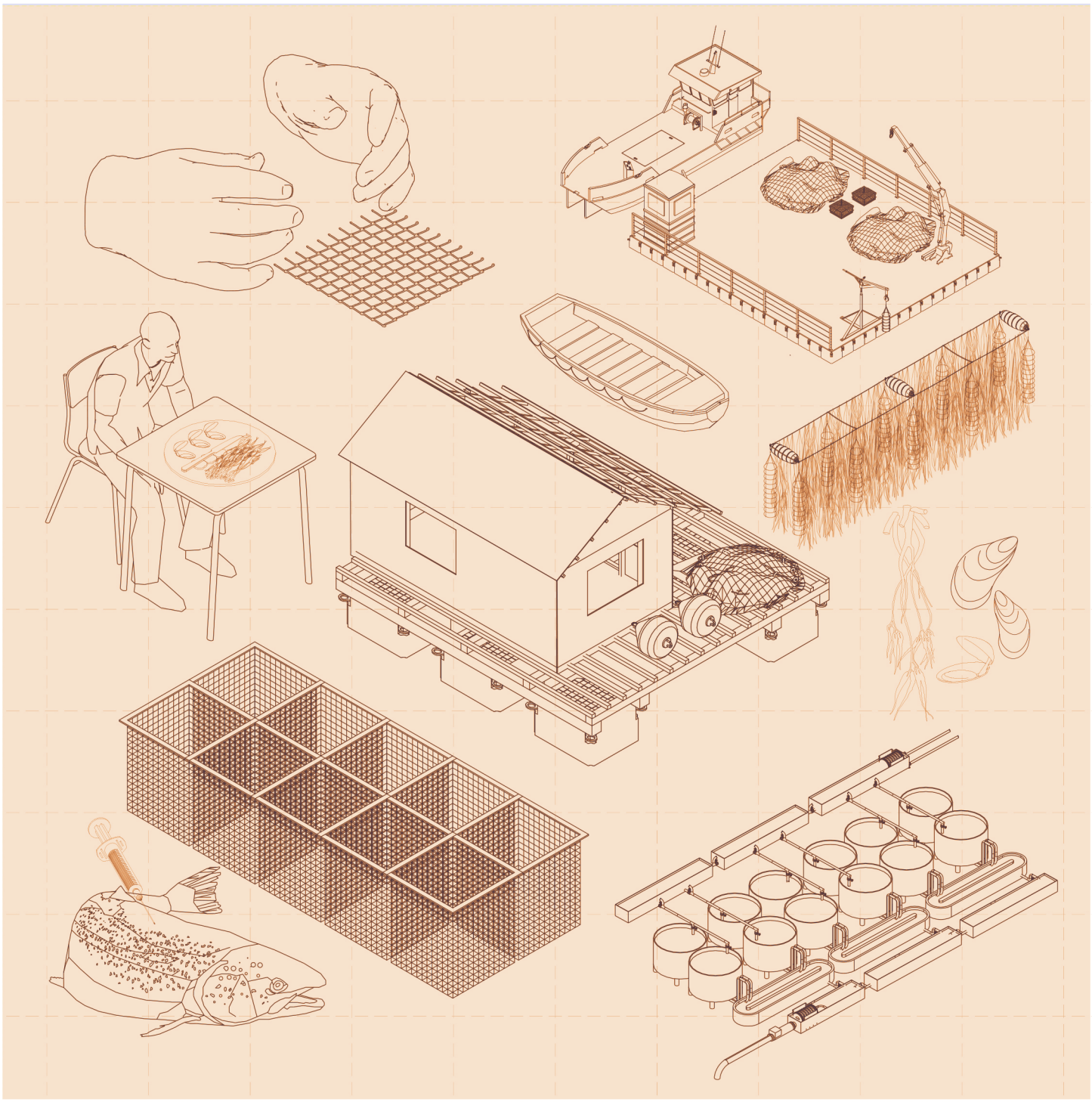


TESIS DE MAGISTER EN ARQUITECTURA

ARQUITECTURAS ALIMENTARIAS DE CULTIVO MARINO PARA LA PRODUCCIÓN Y REGENERACIÓN ECOLÓGICA DE LA RESERVA KAWÉSQAR, PATAGONIA CHILENA

alumno Sebastián Carvajal Avilés

profesor Tomás Villalón

mención Diseño y Construcción Sustentable.

Universidad del Desarrollo

ARQUITECTURAS ALIMENTARIAS DE CULTIVO MARINO PARA LA PRODUCCIÓN Y REGENERACIÓN ECOLÓGICA DE LA RESERVA KAWÉSQAR, PATAGONIA CHILENA

POR: SEBASTIÁN ENRIQUE CARVAJAL AVILÉS

Tesis presentada a la Facultad de Arquitectura y Arte de la Universidad del Desarrollo para optar al título profesional de Arquitecto(a) con mención en Diseño Sustentable, y al grado de Magister en Arquitectura con mención en Diseño y Construcción Sustentable.

PROFESOR GUÍA:

TOMÁS VILLALÓN

PROFESOR TUTOR TESIS:

JAVIER DEL RIO OJEDA

DICIEMBRE, 2024

CONCEPCIÓN, CHILE

MIS AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su apoyo incondicional y por brindarme la oportunidad de educarme.

A mi compañera de vida, por su amor, apoyo y guía constante.

A mis amigos por todas las experiencias compartidas durante esta etapa.

A mis profesores, quienes con dedicación y pasión abrieron mi mundo, despertando en mí intereses y curiosidades que desconocía.

A las personas del sur de Chile, que generosamente compartieron su tiempo, oficios y conocimientos conmigo, mostrando procesos y realidades desconocidos para muchos, permitiéndome vivir en primera persona la experiencia de los cultivos marinos regenerativos.

ÍNDICE

1. PREFACIO

1.1 Abstract 6

1.2 Definición palabras claves 7

2. INTRODUCCIÓN 9

1.1 Marco Teórico 10

1.2 Estado del Arte 39

3. FORMULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 44

3.1 Problema de la Investigación 44

3.2 Preguntas de la Investigación 45

3.3 Hipótesis 45

3.4 Objetivos 45

3.5 Metodología 46

4. CAPÍTULO I. VISIONES DE LA PATAGONIA COMO PAISAJE CULTURAL PRODUCTIVO: PASADO, PRESENTE Y FUTURO 48

4.1 Territorio Kawésqar 49

4.2 Objeto técnico como agente de cambio 53

4.3 Patagonia prístina: vacío y primeras visiones productivas 55

4.4 Industrialización y transformación del paisaje 57

4.4 Comprensión del paisaje contemporáneo 63

5. CAPÍTULO II. ACTUAL SISTEMA ALIMENTARIO DE CULTIVO MARINO EN LA PATAGONIA CHILENA 69

5.1 Salmonicultura en la Patagonia 70

5.2 Infraestructuras y componentes en mar abierto 74
5.3 Automatización 86
5.4 Procesos de producción, distribución y consumo del salmón 90

6. CAPÍTULO III. NUEVOS MODELOS DE CULTIVO MARINO REGENERATIVO 99
6.1 Modelos nacionales de cultivo marino a pequeña escala 99
6.2 Modelo Huiro Regenerativo 104
6.3 Modelo internacional Granjas 3D 106
6.4 Infraestructuras y componentes de los centros de cultivo regenerativos 109
6.5 Procesos de cultivo marino regenerativo de algas y moluscos 137
6.6 Potencialidades y barreras críticas de los nuevos modelos de cultivo 143

7. CAPÍTULO IV. SISTEMAS ARQUITECTÓNICOS FLOTANTES Y PRODUCTIVOS 151
7.1 Movimiento metabolista y arquitectura modular 151
7.2 Actuales sistemas constructivos modulares de cultivo marino 154
7.3 La primera sustentabilidad es la construcción 163
7.4 Madera en sistemas arquitectónicos flotantes 165
7.5 Hacia un modelo de arquitecturas alimentarias flotantes 171

8. CONCLUSIÓN 174
9. BIBLIOGRAFÍA 176

10. ANEXOS. DESARROLLO PROYECTUAL 183

ABSTRACT

Este estudio explora los paisajes productivos alimentarios de la Patagonia Chilena, abordando problemáticas de impacto local y global. Mediante un análisis del pasado y presente de los sistemas alimentarios y las arquitecturas que los configuran, propone un modelo futuro capaz de producir alimentos y regenerar el territorio, integrando elementos artificiales, colectivos y naturales.

La investigación se centra en las arquitecturas relacionadas con los sistemas alimentarios de cultivo marino, la cadena de producción, distribución y consumo de alimentos, y su impacto en la transformación del territorio marítimo en la Patagonia Chilena. A pesar de que esta región es considerada prístina, la autorización de actividades industriales como la salmonicultura en áreas protegidas, específicamente en la Reserva Nacional Kawésqar, provoca una fragmentación del territorio y un deterioro crítico de los ecosistemas submarinos. Esta situación compromete gravemente la capacidad de la región para proveer agua dulce y alimentos, así como a la regulación climática del planeta.

Históricamente, las arquitecturas alimentarias, tradicionalmente basadas en criterios funcionales, han ignorado los aspectos socioculturales y ecosistémicos. Este estudio busca transformar esta perspectiva, revelando cómo estas infraestructuras impactan a la sociedad y al entorno natural, entendiendo que cada vez que consumimos alimentos, también estamos consumiendo territorios.

La metodología incluye un enfoque histórico, cultural y productivo del territorio, desde los primeros habitantes indígenas hasta el paisaje contemporáneo marcado por la salmonicultura. Se realiza un análisis crítico de las arquitecturas alimentarias, explorando niveles de producción, componentes y lógicas operativas. Además, se propone un modelo regenerativo basado en el policultivo marino, validado a través de datos cuantitativos y la colaboración de biólogos marinos, ecologistas y comunidades locales.

Palabras clave: Sistemas Alimentarios, Acuicultura, Paisajes Productivos, Ecosistemas, Sistemas Arquitectónicos.

DEFINICIÓN PALABRAS CLAVES

Sistemas Alimentarios: Abarcan el conjunto de actores y todas las actividades de agregación de valor interrelacionadas que concurren en la producción, agregación, procesamiento, distribución, consumo y eliminación de productos alimenticios que se originan en la agricultura, la silvicultura y la pesca, y partes de los entornos económicos, sociales y naturales más amplios en los que estos procesos están integrados (FAO, 2018).

Acuicultura: Es el conjunto de actividades, técnicas y conocimientos dedicados a la cría, cultivo y recolección de organismos acuáticos, tanto en agua dulce como salada, con fines de consumo humano y conservación. (Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, n.d.)

Paisajes Productivos: Sistemas ecológicos y culturales relacionados no solo con la generación de materias primas sino también con la construcción de identidades territoriales, formas de habitar y lógicas económicas locales. (Saloma, M., 2015)

Ecosistemas: Abarca todo lo que existe, tanto natural como artificial (...) todo está interconectado en una red compleja de relaciones que incluye elementos tanto naturales como sintéticos. (Morton, T. 2010).

Sistemas Arquitectónicos: Conjunto de elementos heterogéneos (materiales o no), de distintas escalas, relacionados entre sí, con una organización interna que intenta adaptarse estratégicamente a la complejidad del contexto y que constituye un todo que no es explicable por la suma de sus partes. Cada parte del sistema está en función de otra; no existen elementos aislados. (Montaner, J., 2008)

“Todos han visto películas que se reproducen hacia atrás, donde las personas salen del agua y vuelven al trampolín. Voy a hacer lo mismo contigo. Acabas de desayunar, ahora, voy a reproducir la escena hacia atrás: toda la comida sale de tu boca de vuelta al plato, los platos vuelven a la bandeja, los alimentos regresan a la estufa, al refrigerador; salen del refrigerador y vuelven a las latas y luego regresan a la tienda, de la tienda al mayorista, y finalmente vuelven a las fábricas donde fueron preparados. Luego, vuelven a los camiones y barcos, y finalmente regresan a ser piñas en Hawái. Entonces, las piñas se separan, vuelven al aire, las gotas de lluvia regresan al cielo, y así sucesivamente. Pero en una acelerada reversión de un mes, prácticamente todo se reúne de nuevo para que tú tengas un cuerpo que se va convirtiendo en tu piel, tu cabello, y demás. Hace un mes, todo esto solo era aire, venía de las montañas. En otras palabras, te despliegas por completo. Quiero que te imagines a ti mismo de una manera interesante: si pusieras trazadores en las imágenes, verías los elementos químicos acercándose cada vez más, finalmente entrando en esos diferentes vegetales, en los asados, concentrándose más y más, enlatándose, llegando a la tienda, y finalmente formando parte de ti o de mí, temporalmente convirtiéndose en mi cabello, mi oreja, una parte de mi piel, hasta que se desintegra y se dispersa como polvo. Cada uno de nosotros es un patrón complejo de integridad con el que nacemos.”

Snyder, J. (2020). *Synergetic stew: Explorations in Dymaxion dining, Buckminster Fuller 125th anniversary. Lars Muller Publishers.* (Traducción propia).

INTRODUCCIÓN

El concepto de seguridad alimentaria ha evolucionado desde las necesidades básicas de supervivencia hasta convertirse en un sistema complejo de producción, distribución y consumo a escala global. Lo que antes era garantizar una fuente inmediata de energía, hoy implica desafíos relacionados con la sostenibilidad ambiental, el equilibrio social y la preservación de la biodiversidad. Estos desafíos son especialmente evidentes en regiones frágiles como la Patagonia chilena, donde los sistemas alimentarios industriales han transformado profundamente los paisajes naturales y culturales. (Friedlander et al., 2021).

La expansión de prácticas como la salmonicultura intensiva ha fragmentado el territorio marítimo, afectando ecosistemas y erosionando los vínculos tradicionales entre las comunidades costeras y su entorno. Las infraestructuras de estos sistemas, diseñadas bajo principios puramente funcionalistas y extractivos, han ignorado las dimensiones socioculturales y ecosistémicas esenciales para la resiliencia territorial. Este enfoque ha provocado una pérdida de biodiversidad y ha reducido la capacidad de la Patagonia para actuar como regulador climático global. (Friedlander et al., 2021).

Este estudio analiza críticamente la evolución de los sistemas alimentarios y sus arquitecturas, destacando su impacto en los paisajes marinos y las comunidades locales. Se plantea la necesidad urgente de transitar hacia modelos sostenibles y regenerativos, como la acuicultura de policultivo marino, que no solo ofrece una alternativa a la salmonicultura industrial, sino también promueve la regeneración ecológica y fortalece el tejido social y cultural.

A través de esta revisión, se establecen bases conceptuales para integrar los sistemas alimentarios con los ecosistemas marinos y las culturas locales. El futuro de la producción alimentaria en la Patagonia debe adoptar una visión holística, combinando inteligencias naturales, colectivas y tecnológicas para equilibrar producción, ecología y cultura. Solo así será posible garantizar una seguridad alimentaria sostenible que preserve el territorio para las generaciones futuras

MARCO TEÓRICO

"Medio Ambiente: el sistema global constituido por elementos naturales y artificiales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones" (Ley N° 19.300, 1994, art. 2).

Desde los orígenes, los seres humanos buscaron colonizar nuestro planeta. Los impulsaba la búsqueda de eso que hoy llamamos seguridad alimentaria. Era sin duda un sentido muy limitado de la seguridad alimentaria: la necesidad de tener el alimento que diera la energía suficiente para sobrevivir de un día a otro. Hoy, el concepto de seguridad alimentaria ha evolucionado y se ha vuelto mucho más complejo. Si bien para casi 700 millones de personas, tener acceso a la energía mínima sigue siendo su necesidad cotidiana. 2.000 millones de personas no saben si podrán tener suficientes alimentos en un momento dado y deben, con cierta frecuencia, reducir la cantidad o calidad de lo que comen. Tres mil millones, casi cuatro de cada diez habitantes del planeta, no tienen capacidad de alimentarse saludablemente. Pero, además, resulta que la alimentación, y las infraestructuras que la producen, están involucradas en algunas de las manifestaciones más graves de la crisis ambiental y climática de nuestra época. (Graziano da Silva et al., 2021)

IMPACTO DE LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS

Siendo esta arista un complejo de ramificaciones de procesos que derivan en la utilización de más de un tercio del suelo y el 70% del agua dulce disponible del planeta. Además, los sistemas alimentarios actuales contribuyen entre un 21% y un 37% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (WWF, 2022).

Las infraestructuras de producción, distribución y consumo alimentario están intrínsecamente vinculadas con el medio ambiente y la biodiversidad, ya que dependen de servicios ecosistémicos como la regulación del agua, uso del suelo, la polinización y el control de plagas (FAO,2021).

El Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, en 2022, ha declarado que la alteración que generan estos sistemas alimentarios y sus procesos con prácticas

no sostenibles amenazan la capacidad del planeta para alimentar a una población que se proyecta alcanzará los 10,000 millones de personas en 2050 (UN DESA, 2022).

Ya no se trata solo del grado de acceso al alimento, sino de las arquitecturas que forman parte de ello y su impacto en la forma de producirlo, procesarlo, transportarlo, comerciarlo, consumirlo, y de sus efectos planetarios. Todo esto termina de componer una nueva noción de la seguridad alimentaria en el siglo XXI, con la necesidad de replantear las formas en que nos alimentamos del territorio.

Por un lado, en el contexto Latinoamericano, estos sistemas y la proyección de sus infraestructuras han generado grandes beneficios: proporcionan empleo y oportunidades para millones de personas, desde agricultores hasta pescadores artesanales. Además, reflejan las culturas gastronómicas de nuestros pueblos y están vinculados con importantes innovaciones científicas y tecnológicas. El desarrollo de estos sistemas ha contribuido significativamente al crecimiento económico y ha hecho de la región un pilar de la seguridad alimentaria global gracias a sus exportaciones de alimentos. (Graziano da Silva, J..2021)

SISTEMAS ALIMENTARIOS ACUATICOS

A pesar de que los debates sobre sistemas alimentarios suelen centrarse en los alimentos terrestres, que constituyen la mayoría de los alimentos consumidos a nivel mundial, se ha comenzado a prestar más atención a los alimentos acuáticos debido a su papel esencial en el suministro de ácidos grasos y micronutrientes. Estos alimentos proporcionan nutrientes clave como hierro, zinc, calcio, yodo y las vitaminas A, B12 y D. Ante la creciente demanda de dietas más sostenibles desde el punto de vista ambiental, por parte de las Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se ha promovido el consumo moderado de pescado, algas, moluscos y otros productos acuáticos como parte de una dieta saludable y sostenible, lo que valida la importancia de estos sistemas.

A su vez, un estudio promovido por Blue Food Assessment (BFA) y publicado en la revista Nature investigó las dimensiones nutricionales, el impacto ambiental, la salud cardiovascular, la huella de

carbono, así como aspectos de justicia y equidad de los alimentos acuáticos, también llamados "azules," en 103 países. Los resultados demostraron que el consumo de alimentos provenientes del mar produce menos emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y tiene un menor impacto en la tierra y el agua en comparación con los alimentos derivados de la ganadería u otros animales de abasto (Crona et al., 2023). Además, la BFA estimó que la producción de alimentos azules aumentará en un 80% en peso comestible para 2050 y que estos alimentos ya sostienen los medios de subsistencia de hasta 800 millones de personas en todo el mundo.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, estos beneficios conllevan serios desafíos. La producción industrial de alimentos, especialmente en la acuicultura y la agricultura, ha ejercido una presión insostenible sobre los recursos naturales, generando un impacto ambiental significativo. Lo que se ha abordado de diferentes maneras a nivel global, nacional y local. Un ejemplo de ello es Chile, que se ha posicionado como uno de los líderes mundiales en conservación marina. Desde 2010, el país ha protegido el 24% de su mar mediante parques marinos que prohíben actividades extractivas y hasta un 42% utilizando otros instrumentos de conservación (Friedlander et al., 2021). Entre estas áreas "protegidas" se encuentra la Patagonia chilena, reconocida como uno de los biomas más extensos y prístinos del planeta. Su variada geografía, compuesta por montañas, glaciares, fiordos, canales e islas, genera una amplia diversidad de paisajes, climas, culturas y ecosistemas. Principalmente, estas redes interconectadas de ecosistemas desempeñan un papel fundamental a nivel global, ya que contribuyen a la provisión de agua dulce y alimentos, así como a la regulación climática del planeta (Díaz, 2018).

No obstante, los recientemente creados Parque Nacional y Reserva Nacional Kawésqar ofrecen distintos niveles de protección. La fragmentación del territorio ocurrió al designar la parte terrestre como parque nacional y la zona marina como reserva nacional, dejando esta última expuesta a actividades industriales, como la salmonicultura (Friedlander et al., 2021). Debido a sus características geográficas y oceanográficas, la zona austral de Chile, específicamente en las regiones de Los Lagos, Aysén y más recientemente Magallanes, ha concentrado prácticamente toda la producción salmonera nacional, alcanzando incluso el 99,7% en 2017. (Sernapesca, 2024)

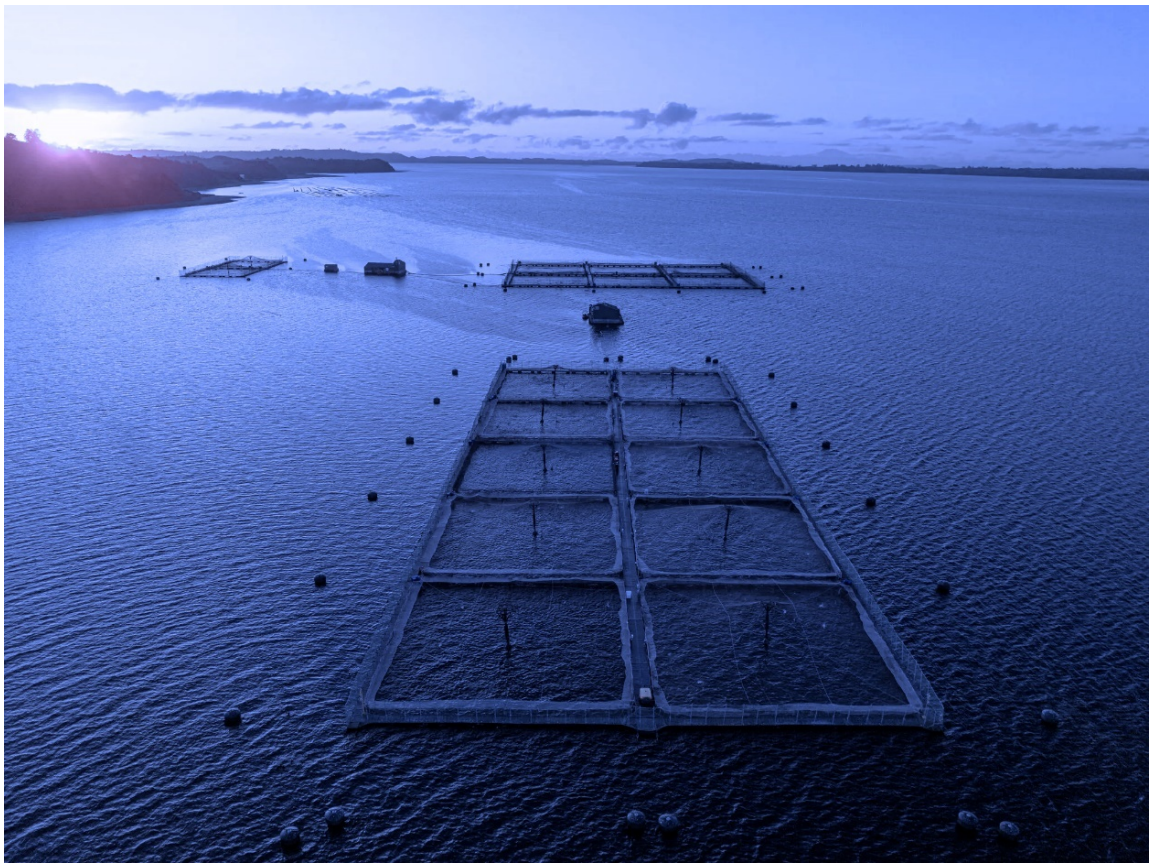
Según datos obtenidos del Visualizador de Mapas de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA), en enero de 2020 estas tres regiones sumaban 1.388 concesiones acuícolas de salmón otorgadas, de las cuales 408 se encuentran dentro de espacios marinos bajo alguna categoría de protección. Además, existen 245 concesiones en trámite, es decir, en proceso de evaluación. De estas, 105 están situadas dentro de áreas protegidas (Martínez & Paredes, 2020).

	LOS LAGOS	AYSÉN	MAGALLANES	TOTAL
Otorgadas	537	724	127	1.388
Con proyecto tecnico aprobado	9	12	10	31
En tramite	17	51	177	245
Total	563	787	314	1.664

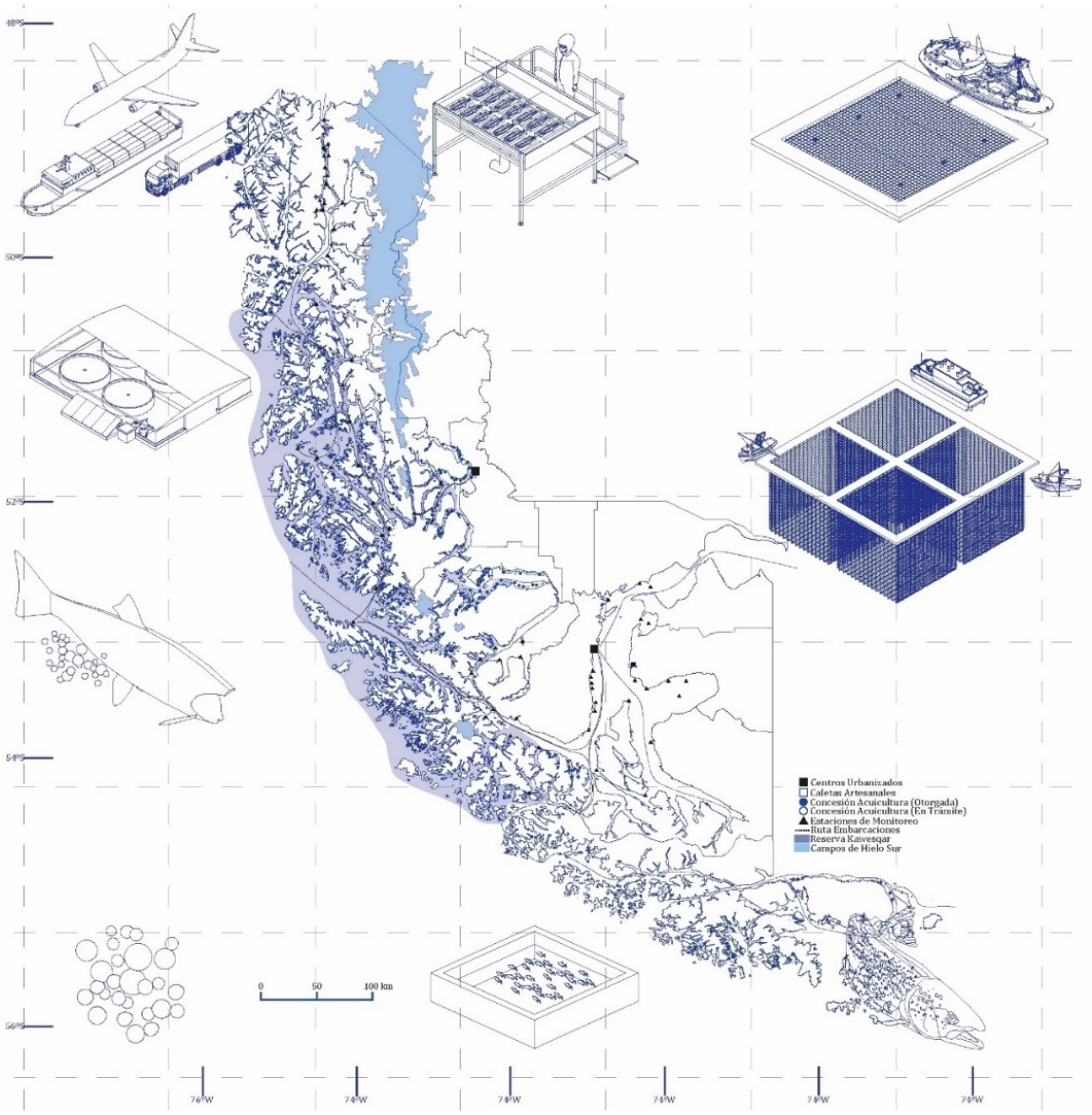
Concesiones acuícolas de salmones en las Regiones de Los Lagos, Aysén, y Magallanes Enero 2020.

Fuente: Elaboración propia con base en información disponible en el Visualizador de Mapas SUBPESCA

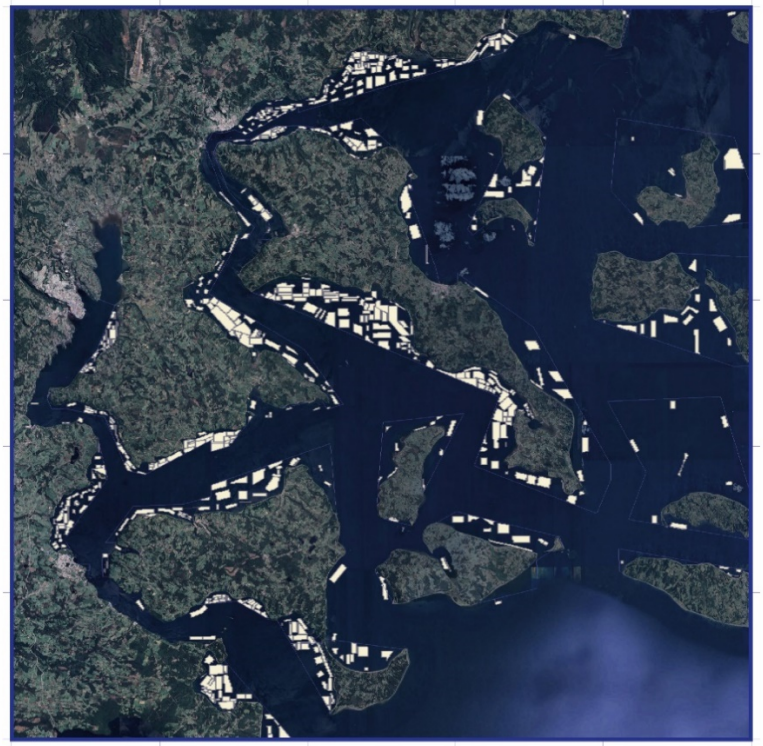
Es interesante observar cómo se han construido las condiciones para operar en el mar de manera similar a como se ha hecho en tierra, a través del uso de la retícula. Este enfoque, que se evidencia continuamente en los sistemas acuícolas y marinos, representa un intento de domesticación del paisaje, convirtiendo las condiciones naturales en un espacio abstracto y cuadriculado que pueda ser gestionado y dominado. La retícula transforma el paisaje en líneas de propiedad que dividen el océano en áreas pertenecientes a diferentes empresas, borrando la complejidad y la vitalidad de los ecosistemas que habitan esas aguas. Este tratamiento del paisaje como un recurso de extracción lleva a olvidar la existencia de vida y relaciones naturales que conforman esos ecosistemas. Al hacerlo, facilita la explotación por parte de empresas a escala nacional y global, beneficiándose de un entorno que ha sido reducido a un esquema de control y producción, alejándolo de su condición natural. (Otero Verzier, M. 2024)



Centro de Cultivo de Salmon en Patagonia Chilena. Fotografía: Marcos Zegers. (2024)



Mapa Región Magallanes - Reserva Nacional Kawésqar - Concesiones acuícolas Fuente: Elaboración propia con base en información disponible en el Visualizador de Mapas SUBPESCA

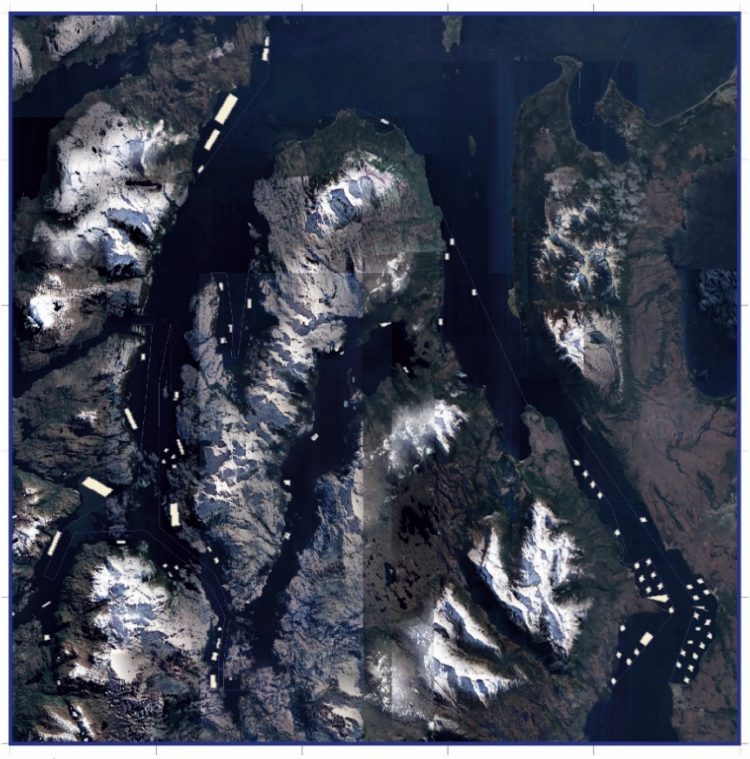


Concesiones acuícolas (polígonos en el mar) Región de los Lagos, Chiloe. Fuente: Elaboración propia con base en información disponible en el Visualizador de Mapas SUBPESCA

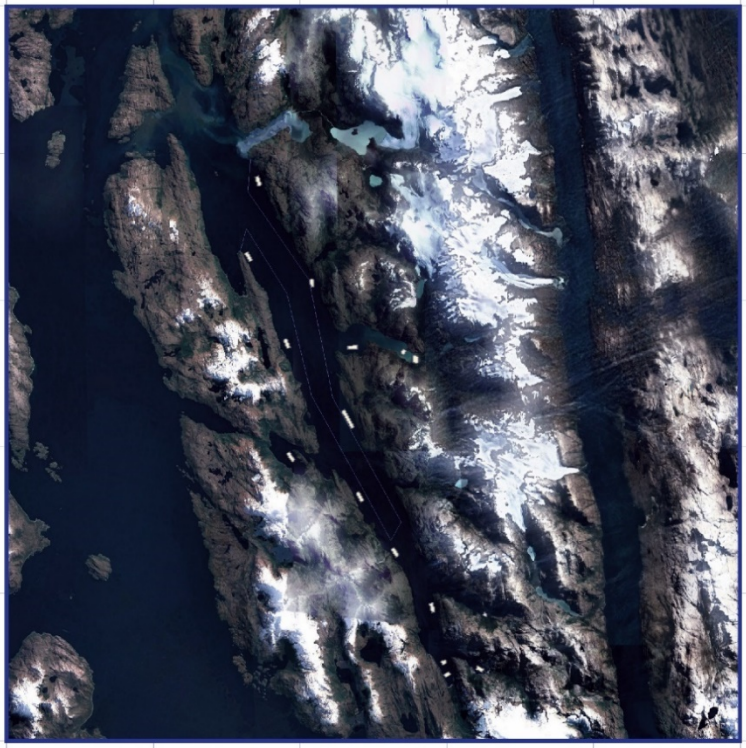


Área Archipiélagos Reserva Nacional Las Guaitecas

Concesiones acuícolas (polígonos en el mar) Reserva Nacional las Guaitecas Fuente: Elaboración propia con base en información disponible en el Visualizador de Mapas SUBPESCA



Concesiones acuícolas (polígonos en el mar) en Región de Magallanes, Reserva Nacional Kawésqar Fuente: Elaboración propia con base en información disponible en el Visualizador de Mapas SUBPESCA



Concesiones acuícolas (polígonos en el mar) Región de Magallanes, Reserva Nacional Kawésqar, Campos de Hielo Sur

Fuente: Elaboración propia con base en información disponible en el Visualizador de Mapas SUBPESCA

NIVELES DE PRODUCCION ACUICULTURA

El sistema alimentario de la acuicultura , definida como la cría de peces, moluscos, crustáceos y algas con intervención humana, en Chile, durante las últimas décadas, y de una forma inusitadamente veloz, se ha consolidado como una de las actividades económicas más importantes y rentables de nuestro país, con retornos de US$ 7.120 millones durante el 2023, correspondientes a un volumen exportado de 929.000 toneladas a 92 destinos alrededor del mundo (liderados por Estados Unidos, Japón, Brasil, Rusia, China y México). (Subpesca, 2024)

Estos niveles de producción han vuelto a Chile el segundo mayor productor mundial de salmón después de Noruega, con una producción a nivel nacional de 1.043.144 millones de toneladas en 2020 y con un promedio de 914.443 desde 2015 al 2021. (Sernapesca, 2024)

En el mismo periodo, la industria del salmón en Magallanes cosechó 180.479 toneladas que equivalen el 17% del total nacional. Durante este año operaron 51 centros de cultivo en agua de mar, mientras 3 pisciculturas y 6 plantas de proceso completan la cadena de producción del salmón en la región. (Sernapesca, 2024)

SISTEMAS ALIMENTARIOS EN LA PATAGONIA

La expansión de este modelo productivo intensivo en la región ha exigido el desarrollo de una logística robusta para sostener estos niveles de producción y todas las capas de procesos en el territorio marítimo. Sin embargo, la dependencia de estas infraestructuras en el territorio marítimo, aunque eficiente, ha incrementado la huella ecológica de la industria, afectando negativamente los paisajes naturales de la Patagonia, lo que se puede ver en diferentes vertederos ilegales denunciados por la comunidad.

En claro contraste con la escala y cifras de la salmonicultura, el sector pesquero artesanal en la región de Magallanes ha mantenido un enfoque más tradicional y a menor escala. No obstante, la expansión de la industria salmonera ha traído consigo nuevas regulaciones de navegación,

como la prohibición de utilizar ciertos puertos asociados a la industria y las restricciones para navegar cerca de los centros de cultivo. Estas medidas han obligado a los pescadores artesanales a desplazarse hacia zonas más remotas para llevar a cabo sus actividades de pesca, recolección y captura, lo que incrementa de manera significativa las horas de navegación y, con ello, el riesgo de accidentes. Además, este desplazamiento implica una inversión económica considerablemente mayor, afectando la viabilidad y sostenibilidad de la pesca artesanal en la región (Friedlander et al., 2021).

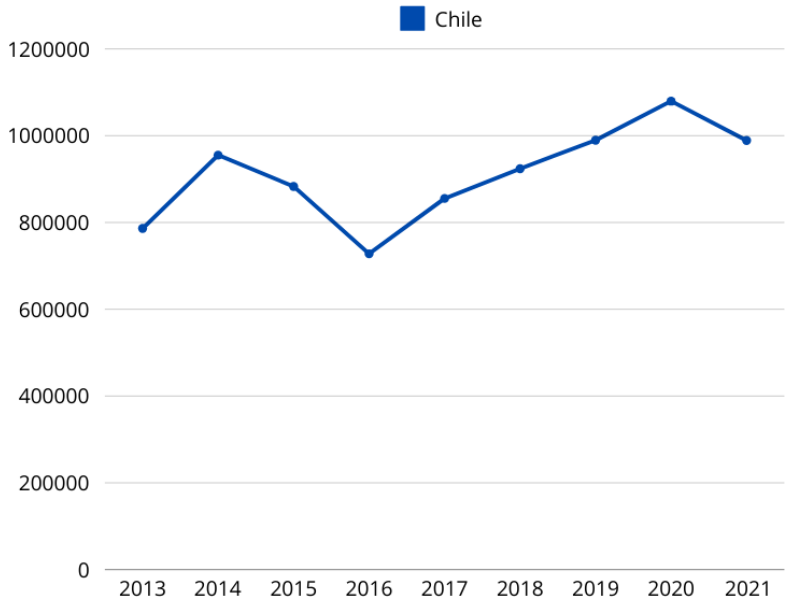
Durante el período 2013-2018, el desembarque total de la pesca artesanal en la región de Magallanes alcanzó las 32.012 toneladas, distribuidas en 29 especies distintas. Las especies con mayor volumen de desembarque son el erizo, la luga roja, la centolla y el centollón. En particular, los desembarques de erizo y luga roja están altamente concentrados en las localidades de Puerto Natales y Punta Arenas, que consolidan más del 90% de las capturas en el período analizado (Arancibia Jeraldo, 2019). Estas localidades han surgido como puntos clave para la comercialización y distribución de estos productos, no solo por su infraestructura, sino también por la transmisión de prácticas pesqueras tradicionales y el conocimiento ancestral que caracteriza la pesca artesanal en la Patagonia.

En cuanto a la mano de obra, el promedio de pescadores artesanales inscritos en la región durante el mismo período fue de 5.311. La principal infraestructura para la pesca artesanal se compone de las embarcaciones, con un promedio regional de 590 embarcaciones inscritas. Punta Arenas y Puerto Natales vuelven a destacar, pues concentran el mayor número de pescadores y embarcaciones registrados entre las 12 caletas existentes (Sernapesca). Estas localidades no solo centralizan la actividad pesquera, sino que también se han consolidado como centros logísticos y de infraestructura que sostienen la pesca artesanal en la región. En ellas, se reflejan las prácticas tradicionales de la Patagonia, transmitiendo el conocimiento y las costumbres ancestrales de generación en generación.

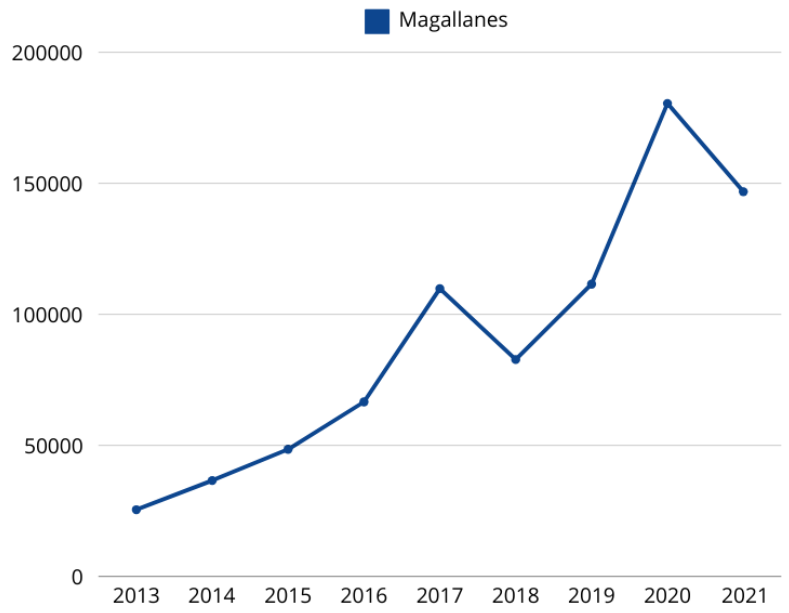
Esta concentración se explica, en parte, por el mayor nivel de urbanización y desarrollo en estas áreas, mientras que las caletas ubicadas en zonas rurales, como Puerto Edén, enfrentan condiciones mucho más precarias y menos desarrolladas.

CALETA DE INSCRIPCIÓN	BOTE	LANCHA MENOR	LANCHA MEDIA	LANCHA MAYOR	TOTAL
Bahía Chilota	1	1	0	0	2
Bahía Mansa	0	0	0	0	0
Barranco Amarillo	0	1	0	0	1
Navarino	2	9	2	0	13
Porvenir	8	10	0	0	18
Puerto Eden	14	9	0	0	23
Puerto Natales	39	117	17	0	173
Puerto Williams	9	9	2	0	20
Punta Arenas XII Reg	31	256	42	11	340

Tabla promedio de embarcaciones artesanales inscritas periodo 2013-2018 Región de Magallanes Fuente: Elaboración propia con base en información contenida en las Estadísticas de SERNAPESCA.



Producción de salmónidos cultivados en Chile entre 2013 – 2021 Fuente: Elaboración propia con base en información contenida en las Estadísticas de SERNAPESCA a través del portal de transparencia.



Producción de salmónidos cultivados en la Región de Magallanes entre 2013 – 2021 Fuente: Elaboración propia con base en información contenida en las Estadísticas de SERNAPESCA a través del portal de transparencia.

IMPACTOS DE LA SALMONICULTURA

El crecimiento y el alto nivel de producción de la salmonicultura en la Patagonia han generado múltiples impactos ambientales. Uno de los principales problemas es la liberación de desechos orgánicos, como heces y alimento no consumido, junto con desechos inorgánicos, como metabolitos de excreción (amonio) al ecosistema (Buschmann et al., 2009). Además, la industria produce polución biológica debido a la fuga de peces, los cuales depredan la fauna nativa y contribuyen a la invasión del salmón Chinook tanto en el sur-austral de Chile como en la Patagonia argentina. También provoca un flujo de patógenos y parásitos con consecuencias ambientales aún desconocidas en las costas chilenas (Buschmann et al., 2006). La salmonicultura utiliza una variedad de productos químicos, como antiparasitarios, antibióticos y antifúngicos, que pueden afectar negativamente no solo a las especies en cultivo, sino también a las especies nativas y, a largo plazo, a la población humana (Urbina et al., 2019).

En 2003, la bióloga Vreni Häussermann y un grupo de investigadores seleccionaron un sitio en el fiordo Comau, en la Patagonia chilena, para estudiar las especies marinas que allí vivían. Encontraron abundancia de pepinos de mar, poliquetos, anémonas, corales, gorgonias y crustáceos entre grandes bancos de mejillones. A lo largo de una década, documentaron gradualmente los cambios en este ecosistema. Sin embargo, en 2013, al comparar las fotografías con las de 2003, Häussermann observó que muchas de las especies registradas habían desaparecido casi por completo. La densidad de gorgonias de la especie Primnoella chilensis, que anteriormente abundaba en las rocas bajo los 20 metros de profundidad, se redujo drásticamente. En solo una década, la densidad de especies disminuyó un 75% (Häussermann et al., 2013). Los investigadores concluyeron que estos cambios fueron causados por las infraestructuras de las jaulas de engorde de salmones, base de la industria salmonera.

Un caso especialmente preocupante es el de la planta procesadora de salmónidos proyectada por la empresa Australis S.A., la más grande de Chile. Esta planta, ubicada a 1,1 km de Puerto Natales en la costa del fiordo Última Esperanza, pretende procesar 71.280 toneladas de salmónidos al año, utilizando grandes cantidades de agua potable, agua de mar y subterránea, electricidad y gas

natural. Además, se espera que genere 23.000 m^3 de desechos diarios que serán vertidos al fiordo submarino (Friedlander et al., 2021).

Debido a estos impactos, la expansión de la salmonicultura ha enfrentado numerosas polémicas y resistencias. En abril de 2024, un informe elaborado para las Naciones Unidas calificó la salmonicultura como "una de las principales amenazas para el medio ambiente en la Patagonia." David R. Boyd, profesor asociado de la Universidad de Columbia Británica y autor del informe, recomendó detener la expansión de la acuicultura del salmón hasta que se realice un análisis científico independiente de sus impactos ambientales, lo cual fue rechazado por la industria (New York Times, 2024).



Infraestructura balsas jaulas salmonicultura. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

MOVIMIENTOS DE RESISTENCIA Y CONSERVACIÓN

Junto con ello surgió el movimiento "Salvemos la Patagonia" como parte de la Alianza por la Defensa de las Áreas Protegidas, compuesta por más de 30 organizaciones civiles de diferentes regiones de Chile. Estas organizaciones se unieron para conservar las áreas protegidas de la Patagonia y demandan la salida de las salmoneras de estas zonas, sin reubicación, debido a los múltiples daños comprobados que el modelo alimentario ha causado en los ecosistemas marinos. La acción de estas organizaciones se suma a la resistencia de las Comunidades Kawésqar por la Defensa del Mar, quienes buscan frenar la expansión de la industria del salmón. En Puerto Natales, gracias a la organización de civiles, profesionales y diferentes entidades, se logró detener la instalación de la segunda piscicultura de recirculación de la empresa Sealand Aquaculture en el río Hollemberg (Friedlander et al., 2021).

El territorio de las Áreas Protegidas de la Patagonia, y en especial la Reserva Kawésqar en la Región de Magallanes, alberga un conjunto de inteligencias naturales y colectivas propias de los pueblos indígenas nómades que allí habitaron por miles de años, estos conocimientos son fundamentales para proteger este territorio vulnerable ante los impactos industriales de los actuales sistemas alimentarios. La importancia de los ecosistemas de la Patagonia en la regulación climática, la productividad primaria del océano, el balance de CO_2 atmosférico y su reconocimiento como reserva mundial de agua dulce y alimentos sugieren la necesidad de cuestionar los modelos actuales y proyectar nuevos sistemas alimentarios sostenibles que permitan su conservación a largo plazo.

NUEVOS MODELOS ALIMENTARIOS SOSTENIBLES

En respuesta a esta creciente necesidad de transformar los sistemas alimentarios, a finales de 2019 surgieron los Diálogos de los Sistemas Alimentarios incentivados por la ONU (*The Food System Dialogues*, FSD). Este mecanismo reúne a actores clave de los sistemas alimentarios para abordar retos y delinear estrategias de futuro. Los diálogos se centraron en cuatro temas fundamentales:

1. Transición hacia la producción y consumo de alimentos saludables y sostenibles

2. Acceso equitativo a los sistemas alimentarios

3. Acción climática y producción sostenible

4. Financiamiento alineado con la transformación de los sistemas alimentarios

El primer tema destaca la urgencia de acelerar la transición hacia prácticas alimentarias saludables y sostenibles. Esto requiere fomentar innovaciones inclusivas que impulsen la producción y el consumo de alimentos nutritivos. La implementación de métodos que faciliten la adopción de prácticas sostenibles en toda la cadena alimentaria es esencial para avanzar hacia un sistema más equitativo y eficiente. Además, para minimizar la pérdida y el desperdicio de alimentos, se deben aplicar principios de economía circular que permitan reciclar y reutilizar recursos, optimizando la eficiencia de las cadenas de suministro. A nivel de políticas públicas, es necesario fomentar la adquisición de alimentos saludables, ofreciendo incentivos para su producción y consumo, e integrando prácticas de compra pública que prioricen productos sostenibles. (FSD)

El segundo tema se enfoca en la necesidad de promover el acceso equitativo a los sistemas alimentarios mediante diversos enfoques. La inclusión activa de agricultores, pescadores, procesadores de alimentos, minoristas, cuidadores y chefs en las transiciones sostenibles es fundamental. Para que los productores y procesadores adopten nuevas prácticas, es esencial proporcionarles herramientas, investigaciones y conocimientos que faciliten esta transición a la proyección de nuevos modelos. (FSD)

El tercer tema se orienta hacia la acción climática y la producción sostenible. La participación activa de productores y procesadores de alimentos es clave en este proceso. Reconocer y remunerar los servicios ecosistémicos que brindan los productores, como la conservación de la biodiversidad y la protección de suelos y aguas, es fundamental para incentivar prácticas productivas beneficiosas para el medio ambiente. Asimismo, fomentar la agroecología basada en la ciencia y los conocimientos ancestrales permite promover métodos agrícolas centrados en infraestructuras con la capacidad de regenerar y preservar la biodiversidad. (FSD)

El cuarto tema hace hincapié en la importancia de alinear el financiamiento e inversiones con la transformación de los sistemas alimentarios. Los mecanismos financieros actuales deben ajustarse para que promuevan y apoyen la producción sostenible de alimentos generando alianzas entre el sector industrial y artesanal, a la vez que se plantean soluciones financieras que refuercen las decisiones de inversión en sistemas alimentarios saludables. (FSD)

En la misma línea, a nivel nacional, el Sistema de Naciones Unidas en Chile ha subrayado la urgencia de avanzar hacia sistemas alimentarios más eficientes, inclusivos, resilientes y sostenibles. La transformación de estos sistemas representa una oportunidad única para enfrentar el cambio climático, garantizar el uso sostenible de los recursos naturales, erradicar la pobreza y acabar con el hambre y la malnutrición. Además, esta transformación permite aumentar la resiliencia frente a perturbaciones y crisis, promoviendo un modelo alimentario capaz de regenerar el territorio, mantener el equilibrio ecológico y preservar las identidades culturales. (Naciones Unidas para Chile. 2022)

AGENDA 2030

Según, Naciones Unidas para Chile (2022), con miras a alcanzar las metas de la Agenda 2030, se han propuesto una serie de recomendaciones fundamentales:

Conservación y restauración de ecosistemas: La protección de los ecosistemas que proveen agua y biodiversidad es crucial para la producción de alimentos. Esto debe lograrse mediante Soluciones Basadas en la Naturaleza y herramientas sostenibles, junto con una gobernanza multisectorial y multinivel. La creación de zonas de amortiguamiento entre áreas protegidas y actividades productivas es esencial para integrar la biodiversidad en las políticas sectoriales y garantizar la seguridad alimentaria.

Uso eficiente de los recursos naturales: Incrementar el uso eficiente de recursos como el agua y el suelo en la agricultura y la pesca a gran escala es fundamental. Se debe adoptar un enfoque integrado y circular basado en la agricultura climáticamente inteligente, junto con energías

renovables compatibles con la producción de alimentos. Este cambio requiere incentivos públicos y de mercado, financiamiento y medidas que incluyan a la agricultura familiar campesina.

Escalamiento de prácticas agropecuarias sostenibles: Las prácticas agropecuarias regenerativas, basadas en la agroecología y adaptadas al clima, deben promoverse, especialmente en la agricultura familiar campesina. Esto incluye políticas públicas que rescaten semillas y productos, así como el conocimiento ancestral que contribuye a la soberanía alimentaria y resiliencia frente a disrupciones globales.

Ordenamiento pesquero y gestión marina: Implementar un ordenamiento pesquero con enfoque ecosistémico y una gestión marino-costera inclusiva permitirá la conservación y el uso sostenible de los recursos. La adaptación de la pesca y acuicultura de pequeña escala, a través de soluciones científicas y diversificación productiva, es fundamental para la sostenibilidad.

Planificación territorial participativa: Los procesos de planificación y ordenamiento territorial deben basarse en evidencia científica e integrar aspectos clave como recursos hídricos, biodiversidad y variables socioeconómicas. Este enfoque asegura la producción sostenible de alimentos en el tiempo y permite abordar los desafíos del cambio climático de manera adaptativa.

Mejora en la comercialización y acceso a mercados: La agricultura familiar campesina, la pesca y acuicultura artesanal, especialmente de mujeres, jóvenes y pueblos indígenas, requieren un mejor acceso a los mercados. Esto se logra acortando los circuitos de valor y fortaleciendo los canales tradicionales, además de impulsar las compras públicas que reduzcan los impactos ambientales y garanticen precios justos.

Reducción de la pérdida y desperdicio de alimentos: Aplicar principios de economía circular, mejorar la infraestructura, logística y transporte, y fortalecer los bancos de alimentos son medidas necesarias para recuperar alimentos aptos para el consumo humano. La creación de un sistema nacional de gestión de residuos orgánicos a nivel municipal es igualmente fundamental.

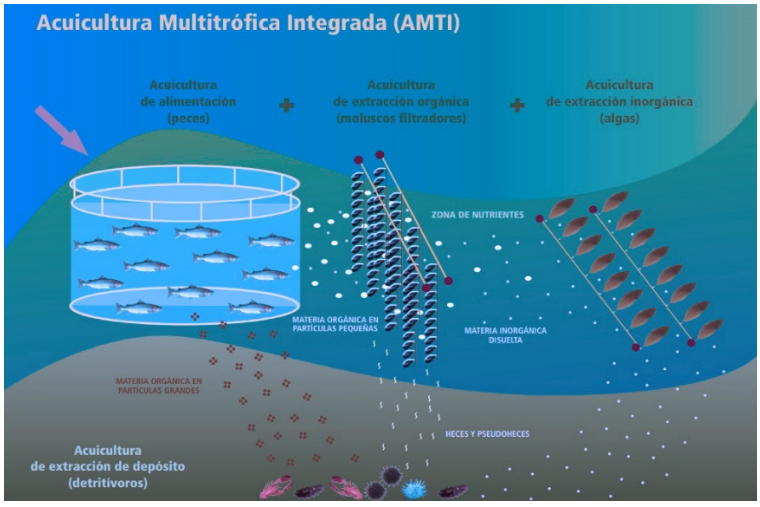
Acceso a alimentos saludables: Mejorar el acceso económico y físico a alimentos asequibles y saludables, como frutas y verduras frescas, mediante planificación territorial que reduzca los

desiertos alimentarios. Incentivar el consumo de alimentos saludables a través de impuestos, subsidios y la entrega directa de alimentos a familias vulnerables es clave para una transición hacia dietas más nutritivas.

Educación y concienciación: Informar a la población sobre la conexión entre los patrones de consumo y la sostenibilidad ambiental es fundamental. La promoción de alternativas alimentarias sostenibles en las guías alimentarias, la inclusión de estas en los currículos educativos y la implementación de experiencias como huertos escolares contribuyen a una mayor conciencia y responsabilidad en el consumo de alimentos.

ACUICULTURA DE MACROALGAS

En este contexto, la acuicultura de macroalgas se presenta como una solución innovadora para diversificar y repensar los actuales sistemas alimentarios. Las macroalgas poseen propiedades físico-químicas y nutricionales que las hacen muy valiosas para las industrias alimentarias, cosmética y farmacéutica. Además, existen iniciativas que buscan aprovecharlas para la producción de biocombustibles y su uso como "especies bioextractivas" en ambientes afectados por la eutrofización costera asociada a la acuicultura intensiva, como parte de modelos de Acuicultura Multitrófica Integrada y la captura de carbono.



Esquema combinación de cultivos marinos, de diferente nivel trófico, integrados. Recuperado de: Quintana Carballo, R. (2012). Acuicultura Multitrófica Integrada. Xunta de Galicia, Centro de Investigación Mariñas

Chile se ha consolidado como el principal productor de macroalgas en Occidente. Sin embargo, la mayor parte de su producción proviene de la explotación de praderas naturales, mientras que solo una pequeña parte se origina en actividades acuícolas. En 2018, se extrajeron aproximadamente 222 mil toneladas de macroalgas en Chile, de las cuales las especies más destacadas fueron el huiro negro (*Lessonia berteroana y Lessonia spicata*), el pelillo (*Agarophyton chilensis*) y el huiro palo (*Lessonia trabeculata*), con un 28.6%, 16.8% y 16.3% de la producción total, respectivamente (Saavedra et al., 2019).

Para impulsar el desarrollo de la acuicultura de algas, el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), a través del "Programa Integral de Desarrollo de Acuicultura de Algas para Pescadores Artesanales", ha llevado a cabo numerosas investigaciones en Chile que muestran resultados prometedores en el cultivo de diversas macroalgas. Entre las catorce especies evaluadas, se han obtenido experiencias exitosas en el cultivo de pelillo, luga roja, chicorea de mar y huiro. Además, el IFOP sostiene que las organizaciones de pescadores artesanales, mediante Áreas de Manejo o Concesiones de Acuicultura, pueden diversificar su actividad productiva cultivando macroalgas, lo que podría contribuir a aumentar sus ingresos. (Cárcamo, 2019)

Las plántulas o semillas necesarias para estos cultivos pueden provenir tanto de hatcheries autorizados como del medio natural, y su inserción en sistemas de cultivo, como los longlines, se recomienda principalmente en los meses de mayo o junio. La producción efectiva depende de factores como la selección adecuada del sitio, el tipo de macroalga y la mantención y limpieza del sistema de cultivo. Actualmente, no existen diferencias de precio entre las macroalgas cultivadas y aquellas extraídas de praderas naturales; sin embargo, para mejorar su valor, es esencial añadir valor agregado a la biomasa o fomentar un mercado interno que promueva su uso como alimento. (Cárcamo, 2019)

Aunque la acuicultura en Chile sigue siendo dominada por la salmonicultura, la mitilicultura y la pectinicultura, el cultivo de macroalgas representa una alternativa prometedora. Este enfoque podría diversificar el sector pesquero artesanal, fortalecer la economía costera local y reducir la sobreexplotación de las praderas naturales. No obstante, aunque diversas iniciativas han sido

desarrolladas por universidades e institutos de investigación, la acuicultura de macroalgas en Chile está actualmente representada casi exclusivamente por el cultivo de pelillo (Agarophyton chilensis), que solo alcanza el 1.5% de la producción total de la acuicultura nacional (Saavedra et al., 2019).

MODELO HUIRO REGENERATIVO

Un proyecto destacado en Chile es "Huiro Regenerativo", creado por la bióloga María José de la Fuente y Sebastián Gatica. Esta iniciativa busca establecer un modelo regenerativo y colaborativo a través de sistemas de policultivos marinos que involucren a los diferentes actores locales. Esta especie de alga marina son ricas en proteínas, vitaminas, zinc e hierro, y son bajas en grasas y carbohidratos. Además, desempeñan un papel crucial en la absorción de gases de efecto invernadero y la lucha contra la contaminación oceánica al limpiar el agua de nitratos y fosfatos, incrementando hasta en un 20% las poblaciones de peces. (Saffie, N. 2023)

El proyecto, reconoce que los modelos de extracción tradicionales, utilizados por las comunidades pesqueras, son insostenibles, debido que se basan en la extracción total de un lugar según las demandas del mercado, hasta agotar los recursos, sin prácticas de cultivo que permitan su regeneración.

Lo interesante del modelo que propone este proyecto es la manera en que promueve a regeneración económica, social y ambiental de los territorios marinos, creando sinergias entre los diferentes actores y favoreciendo el equilibrio del ecosistema. En este modelo, la industria pone a disposición sus concesiones (en las que necesitan hacer soberanía) e infraestructura, para ser utilizada por Huiro Regenerativo en conjunto con comunidades aledañas, desarrollando en ellas cultivos de algas colaborativos. Por otro lado, de manera paralela, se busca avanzar con la comunidad en el desarrollo de cultivos en sus propias áreas de manejo, tecnologías y codesarrollando gobernanzas que permitan la sostenibilidad del modelo en su territorio a largo plazo. A la vez que implementan procesos de capacitación activa a pescadores artesanales, pueblos originarios y comunidades costeras en general, se les enseña los diferentes procesos para cultivar algas, aprendiendo también de sus propios conocimientos locales. (Saffie, N. 2023)



Esquema crecimiento Macrocystis pyrifera – huiro Fuente: (Fotografía: María José de la Fuente/Huiro Regenerativo)

MODELO AGRICULTURA OCEÁNICA 3D

A nivel internacional, el modelo de agricultura oceánica 3D propuesto por GreenWave se presenta como una innovación altamente prometedora. Este modelo ha sido galardonado con el Premio Buckminster Fuller, conocido como "el premio más importante al diseño socialmente responsable," por su enfoque ecológico y regenerativo que transforma la acuicultura de monocultivo en un sistema que emula los ecosistemas biodiversos. Al hacerlo, integra los conceptos de sostenibilidad y economía circular en la producción acuícola. (Rosenfield, 2015)

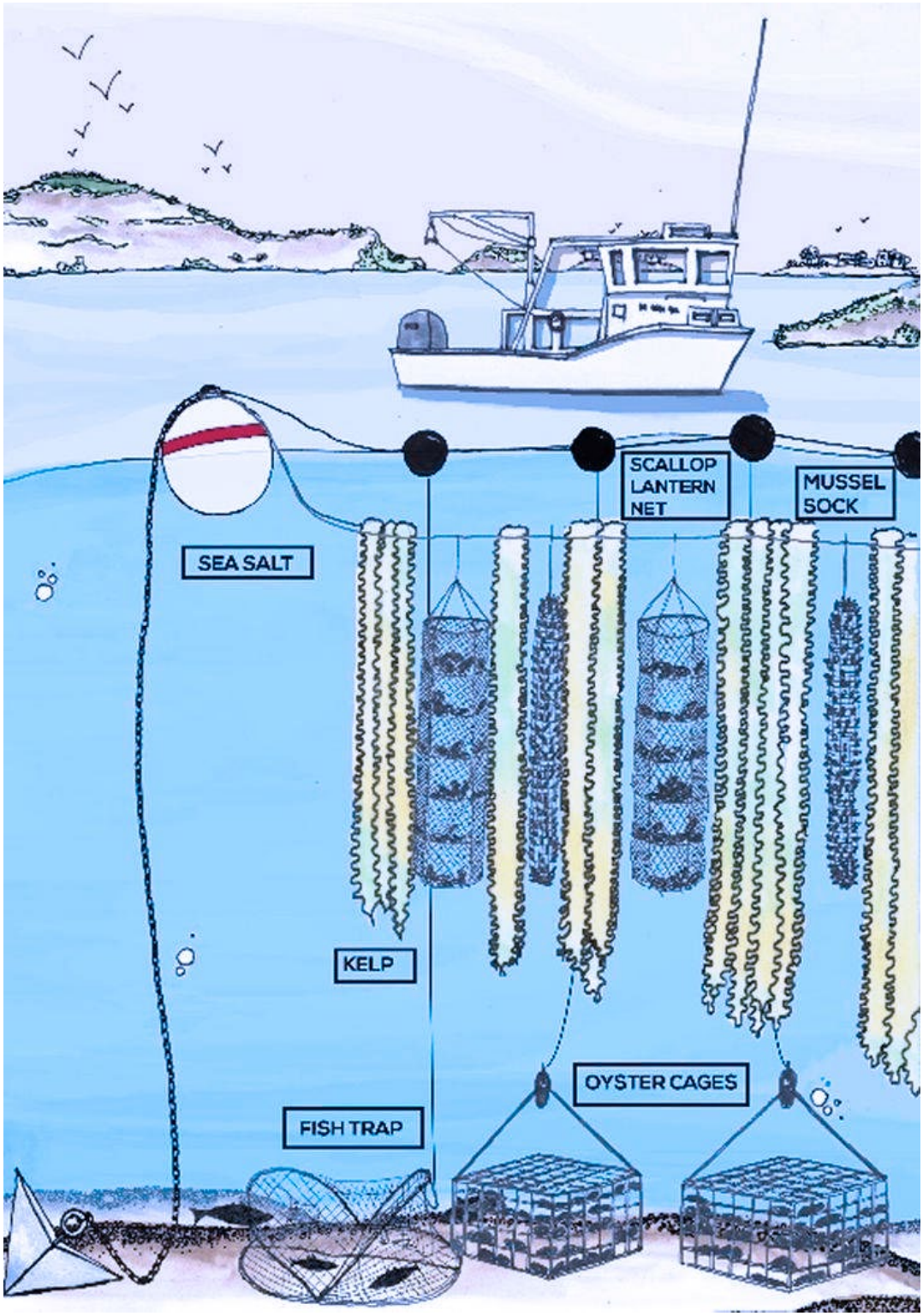
Fundada por Bren Smith, un pescador comercial arrepentido por los impactos negativos de la industria, GreenWave es la organización responsable de diseñar las primeras granjas oceánicas tridimensionales multiespecies del mundo. Estas granjas utilizan la técnica del policultivo marino para producir algas, vieiras y mejillones en cuerdas flotantes, mientras que debajo se encuentran jaulas de ostras y almejas. Este diseño multifuncional permite a los agricultores oceánicos diversificar su producción, obteniendo alimentos, fertilizantes, piensos para animales, productos farmacéuticos, cosméticos e incluso biocombustibles.

Las granjas oceánicas de GreenWave actúan como sistemas restauradores, filtrando millones de galones de agua oceánica diariamente, proporcionando hábitats para diversas especies marinas

y aves, y absorbiendo el exceso de nitrógeno y carbono. Según GreenWave, una granja típica de 20 acres (8 hectáreas) es capaz de secuestrar aproximadamente 9,000 kg de dióxido de carbono y 300 kg de nitrógeno en un año, contribuyendo significativamente a la mejora de la calidad del agua y la mitigación del cambio climático. (Ellen MacArthur Foundation, 2021)

Este método ha sido validado con éxito en la granja insignia de GreenWave, ubicada en las Islas Thimble, donde logran producir 10 toneladas de algas marinas y 250,000 mariscos al año en solo una acre (0.4 hectárea), sin necesidad de utilizar agua dulce, fertilizantes ni antibióticos. (Smith, B. 2020; Foodscapes Compendium. 2024)

Este modelo presenta varios beneficios potenciales que lo posicionan como una alternativa prometedora en la producción marina sostenible. Al ser un sistema de acuicultura multiespecífica de ciclo cerrado, no requiere insumos externos, lo que facilita su escalabilidad y hace posible su implementación en diversos lugares. Este enfoque de policultivo brinda a los agricultores oceánicos múltiples opciones económicas, al permitir el cultivo simultáneo de diferentes especies, como algas y mariscos, para diversos usos. Además, contribuye a la restauración del ecosistema oceánico y la captura de CO2, lo que lo convierte en un modelo positivo para la mitigación del cambio climático. La viabilidad económica de este sistema también es asequible, lo que facilita su adopción por nuevos agricultores. No obstante, enfrenta barreras críticas, como la falta de familiaridad de la sociedad con las algas como alimento, y la necesidad de competir con la pesca industrializada o sistemas de acuicultura con un arraigo más fuerte en el territorio y altos niveles de producción. (Foodscapes Compendium.2024)



Modelo de Granjas 3D Fuente: Greenwave

OPORTUNIDADES DE LOS NUEVOS MODELOS

Lo interesante de estos nuevos modelos de sistemas alimentarios es su capacidad de producir alimentos mientras regeneran el ecosistema y promueven la circularidad. Hasta ahora, gran parte de la discusión climática en torno al océano se ha centrado en su papel como víctima (por ejemplo, la desaparición de especies marinas y la acidificación) o como amenaza (como el aumento del nivel del mar que pone en peligro vidas y medios de subsistencia). Sin embargo, se ha prestado poca atención al enorme potencial del océano como herramienta para mitigar las causas asociadas a la crisis climática.

El océano genera el 50% del oxígeno que respiramos, absorbe el 25% de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y captura el 90% del exceso de calor causado por esas emisiones, actuando no solo como "los pulmones del planeta," sino también como el mayor "sumidero de carbono" de la Tierra (United Nations, s.f.). Sin embargo, para que continúe desempeñando este papel fundamental en la lucha contra el cambio climático, necesita apoyo y estrategias que le permitan mantenerse saludable y resiliente. Es aquí donde los modelos de policultivo oceánico regenerativo, como los propuestos por GreenWave, se vuelven cruciales.

La agricultura oceánica regenerativa se destaca por ser sumamente eficaz, ya que permite cultivar múltiples especies en espacios reducidos, aumentando la productividad y la biodiversidad del entorno marino, además de no requerir insumos externos en su proceso de producción, ya que el océano proporciona suficientes nutrientes y condiciones para el crecimiento saludable de las especies cultivadas, a la vez que tienen el potencial de proyectar un modelo con la capacidad de plantear una regeneración económica, social y ambiental de los territorios marinos.

El potencial de escalamiento de estos sistemas alimentarios es notable, de acuerdo con el Foro Económico Mundial, si la producción de algas aumentara un 14% anualmente, se podría incrementar el suministro global de alimentos en 500 millones de toneladas para 2050, lo que representaría un aumento del 10% en la disponibilidad alimentaria a nivel mundial (FAO. 2011). Esto demuestra que las granjas oceánicas regenerativas no solo son una solución ecológica, sino

también una respuesta viable a los desafíos actuales y futuros de seguridad alimentaria que enfrenta el planeta.

En este sentido, el documento de debate de ONU-Nutrición titulado “El papel de los alimentos acuáticos en unas dietas saludables sostenibles” resalta la importancia de incorporar alimentos acuáticos en las políticas alimentarias globales. (Ahern, Thilsted, & Oenema, 2021) A menudo, los estudios se han centrado en un número limitado de especies de peces de aleta de alto valor económico, ignorando el valor nutricional y cultural de una diversidad mucho más amplia de alimentos acuáticos. Sin embargo, los alimentos acuáticos, incluyendo animales, algas marinas, microorganismos cultivados en el agua y alimentos de origen vegetal desarrollados mediante nuevas tecnologías son esenciales para la seguridad alimentaria y nutricional, y ofrecen beneficios socioeconómicos y ambientales a nivel mundial.

La transformación de los sistemas alimentarios constituye una oportunidad única para abordar el cambio climático, restaurar los ecosistemas y garantizar la seguridad alimentaria. En la Patagonia, esta transformación debe centrarse en integrar los conocimientos tradicionales y ancestrales con innovaciones tecnológicas, con el fin de crear un sistema productivo con altos niveles de producción para sustentar las necesidades alimentarias de la población y, al mismo tiempo, valorar y proteger los recursos naturales, promoviendo la colaboración y la sinergia entre los diferentes actores, beneficiando tanto al ecosistema como a las comunidades locales.

REFLEXIÓN

El análisis realizado en este marco teórico demuestra que los sistemas alimentarios actuales se encuentran en una encrucijada. Aunque han proporcionado importantes beneficios económicos, su expansión y modelo industrializado han generado impactos ambientales y sociales que amenazan la sostenibilidad de los ecosistemas, especialmente en áreas sensibles como la Patagonia Chilena. La salmonicultura, en particular, ha dejado una huella significativa en la biodiversidad marina, mostrando la urgencia de replantear las infraestructuras y arquitecturas que la sostienen.

Asimismo, las prácticas tradicionales de pesca artesanal o acuicultura de menor escala, aunque más sostenibles, enfrentan desafíos debido a la presión de los altos niveles de producción de la salmonicultura y a las restricciones impuestas por las grandes empresas. Ante este panorama, la integración de conocimientos ancestrales, la colaboración con comunidades locales y la implementación de tecnologías innovadoras aparecen como caminos posibles para el desarrollo de modelos alimentarios regenerativos y circulares.

En este contexto, se plantea la importancia de repensar nuestras arquitecturas alimentarias y su relación con el territorio. Lo expuesto en el marco teórico, será la base para desarrollar una propuesta integral que explore la implementación de sistemas alimentarios de policultivo marino en la Reserva Nacional Kawésqar, proyectando un nuevo paradigma que integra lo artificial, colectivo y natural en la búsqueda de un equilibrio ecológico y productivo.

ESTADO DEL ARTE

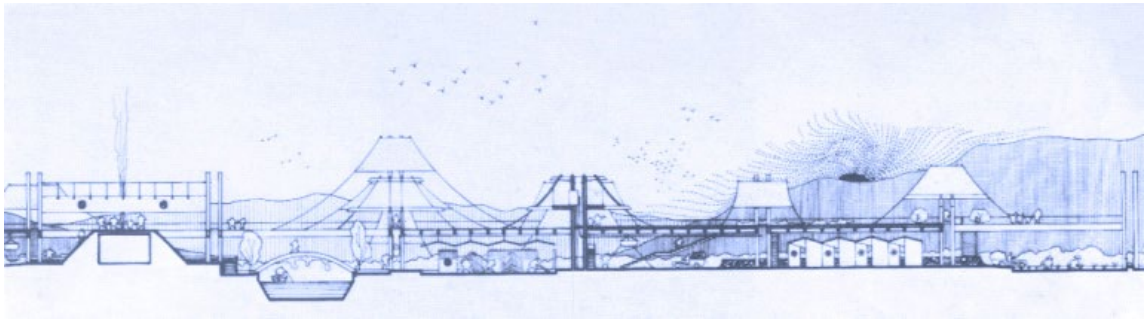
Para contextualizar esta investigación y enriquecer la discusión desde una perspectiva amplia, es esencial trazar un recorrido histórico que explore la evolución de las ideas sobre la relación entre arquitectura, producción y ecología. A través del análisis de proyectos clave, tanto en el contexto nacional como internacional, es posible entender cómo han cambiado las visiones sobre los paisajes productivos y cómo estas se entrelazan y alimentan unas de otras.

En el ámbito nacional, es relevante mencionar el trabajo de Emilio Duhart, quien como estudiante de arquitectura decidió ubicar su proyecto de título en la bahía de San Quintín, en la boca sur del canal, tras un viaje realizado a la zona. Su propuesta consistía en una base pesquera capaz de autosostenerse mediante el uso racional de los recursos naturales y la industrialización del recurso ictícola. (Brunel, J. Á.2017) Aunque el proyecto no fue construido, su valor ha sido reconocido en instancias críticas a lo largo de los años, destacándose como un ejercicio pionero que integraba las características topográficas, climáticas y la tradición técnico-constructiva del lugar de emplazamiento. Sentando las bases de las visiones futuras sobre la Patagonia como un espacio de acción que debía incorporarse a Chile, junto con un pensamiento arquitectónico más enraizado en el paisaje productivo, lo que influyó en muchas aproximaciones contemporáneas que buscan un equilibrio entre lo industrial y lo natural.



Planta Emplazamiento proyecto de título en la bahía de San Quintín Duhart, E. (1940). Fuente: Tesis de grado. ARQ, 23

En paralelo, a nivel internacional, el movimiento metabolista japonés liderado por Kisho Kurokawa presentó ideas radicalmente nuevas sobre la flexibilidad y adaptabilidad de la arquitectura sobre paisajes productivos. Su proyecto "Agricultural City" (1960) proponía un modelo de ciudad donde las infraestructuras urbanas se elevaban sobre el suelo agrícola, permitiendo que la producción y la vida urbana coexistieran sin interferir con los ciclos naturales, creado para reemplazar los pueblos agrícolas destruidos por un tifón en 1959 en Aichi. Este proyecto presentaba una malla de 500 x 500 metros elevada del suelo para proteger las construcciones de futuras inundaciones, a la vez que preservaba el suelo, anticipándose a muchos de los problemas que enfrentamos hoy, como la gestión de recursos y la resistencia a desastres naturales. La ciudad, concebida como un sistema metabólico, estaba diseñada para crecer y transformarse orgánicamente, adaptándose a las necesidades de sus habitantes.

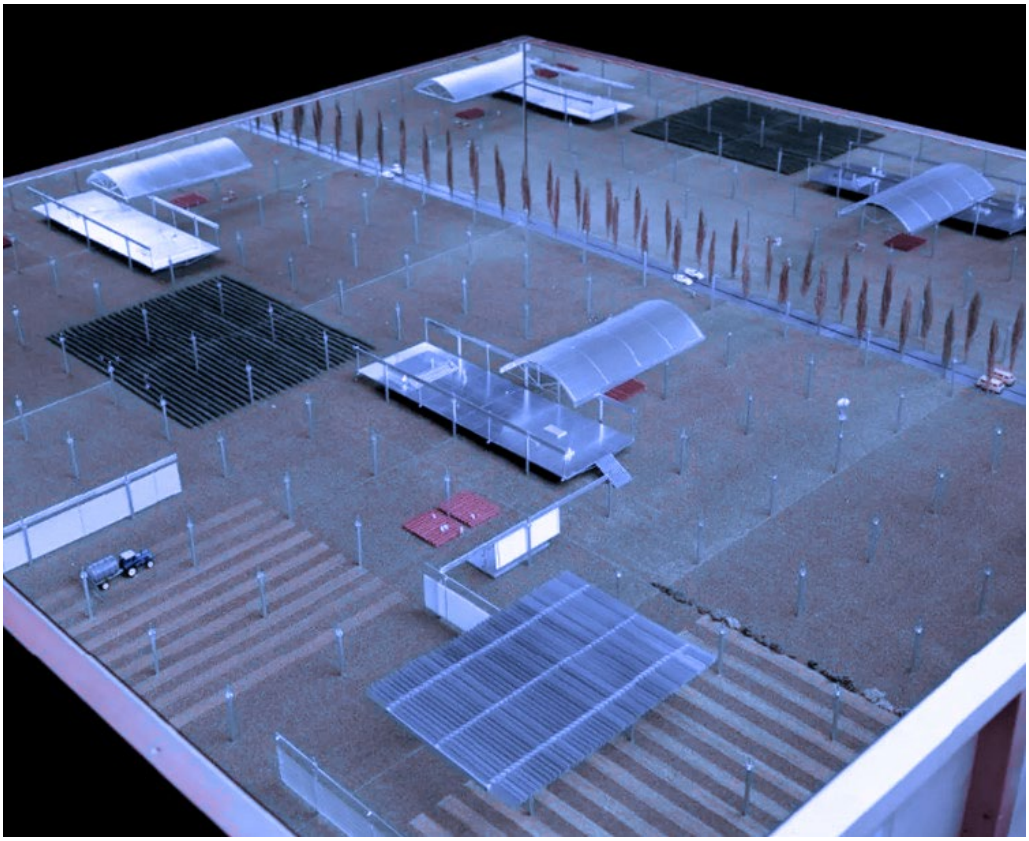


Sección "Agricultural City" (1960) Fuente: Kisho Kurokawa

La reflexión sobre la interacción entre lo natural y lo artificial fue también explorada por Gillian Darley, quien en su libro "La fábrica como arquitectura" reflexiona sobre la fábrica como un 'organismo productivo' desde la Revolución Industrial. Darley estudia cómo los objetos técnicos funcionan como organismos vivos que interactúan con el medio ambiente, estableciendo una relación simbiótica entre las máquinas y el entorno geográfico. (Simondon, 1958). Esta noción de "organismo productivo" será clave para proyectos futuros que tratan de integrar el desarrollo industrial con la preservación ecológica.

La evolución de estas ideas encuentra un nuevo impulso en la obra de Andrea Branzi, específicamente en su proyecto "Agrónica". A principios de los años 70, Branzi proponía una

ciudad que diluía las fronteras entre lo natural y lo artificial, integrando los cultivos con los espacios de hábitat humano, donde la casa se fusiona con los invernaderos y los cultivos, permitiendo una evolución continua de la industria agrícola y ganadera. Esta noción de la producción agrícola como parte integral del entorno doméstico es una reflexión crítica sobre cómo la arquitectura debe evolucionar en respuesta a los cambios en las técnicas productivas. Branzi, al igual que Kurokawa, veía la ciudad como un organismo vivo que debía adaptarse continuamente, pero, en su caso, la integración entre naturaleza y arquitectura era aún más profunda, haciendo que los espacios de producción se fundieran con los de la vida cotidiana.



Modelo Agrónica, Andrea Branzi. Fuente: Georges Meguerditchian, Centre Pompidou.

Rem Koolhaas, en su proyecto "Countryside, The Future", retoma muchas de estas reflexiones y las expande al ámbito rural y salvaje, argumentando que la experimentación arquitectónica ya no tiene lugar exclusivamente en las ciudades, sino que los territorios rurales y remotos se han

convertido en el nuevo laboratorio para repensar la producción y la sostenibilidad. Koolhaas explora cómo las tecnologías avanzadas, como la automatización y la actualmente llamada inteligencia artificial, están transformando los paisajes productivos del campo. En este sentido, Koolhaas inclusive conecta con las ideas metabolistas de Kurokawa sobre la adaptabilidad y el crecimiento flexible, pero las actualiza para un contexto donde la tecnología juega un papel clave en la reconfiguración del territorio.



Industria láctea y cárnica de vacas Fuente: Foodscapes

En un contexto más reciente, el proyecto "Foodscapes", ganador del Pabellón de España en la 18ª Bienal de Arquitectura de Venecia 2023, también retoma estas ideas y las enfoca en los sistemas alimentarios contemporáneos. Eduardo Castillo-Vinuesa desarrollador del proyecto, argumenta que, aunque el cambio climático y la energía ocupan un lugar central en los debates actuales, los sistemas alimentarios son igualmente transformadores, movilizando nuestras sociedades,

moldeando nuestras metrópolis y dando forma a nuestras geografías de una manera aún más radical que cualquier otra fuente de energía. Esta propuesta plantea una comprensión más profunda de los sistemas alimentarios, no solo como fuentes de producción, distribución y consumo, sino como elementos que dan forma a nuestras ciudades y territorios, y de los cuales muchas veces no somos conscientes.

La investigación se inspira y toma como referencia las palabras de Carlo Ratti, curador de la Bienal de Arquitectura de Venecia 2025, quien sugiere que "Para hacer frente a un mundo en llamas, la arquitectura debe aprovechar toda la inteligencia que nos rodea". Esta reflexión deja abierta la puerta a la integración de múltiples inteligencias—naturales, artificiales y colectivas—como motores fundamentales para enfrentar los desafíos contemporáneos.

Finalmente, es interesante observar cómo la relación del ser humano con los entornos productivos y naturales ha sido una constante en nuestra sociedad a lo largo de la historia. Esta interacción surge de la necesidad intrínseca de adaptar, abstraer y transformar el territorio para satisfacer las necesidades humanas y garantizar su subsistencia. A lo largo del tiempo, la relación entre lo rural, lo productivo, lo artificial y lo natural ha sido moldeada por los desafíos y oportunidades de cada época.

Hoy, lo que fue relevante en el pasado, como el uso racional de los recursos y la integración armoniosa entre la naturaleza y la producción, se reinterpreta a través de tecnologías avanzadas, planteando nuevas formas de organización y convivencia. Esta evolución se enfrenta ahora a problemas globales como la crisis climática y la búsqueda de modelos sostenibles. La revisión de estos proyectos y teorías demuestra que el pensamiento arquitectónico y territorial sigue adaptándose, explorando constantemente la compleja relación entre lo natural y lo artificial en un esfuerzo por responder a los desafíos contemporáneos.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La Patagonia chilena, un territorio reconocido por su biodiversidad y vastos ecosistemas prístinos, enfrenta hoy una amenaza significativa debido a la expansión de actividades industriales, especialmente la salmonicultura. Con más de 100.000 km de línea costera, la Patagonia alberga una de las mayores zonas de interfaz marino-terrestre del mundo. Aunque más del 50 % de su superficie terrestre y un 41 % de su territorio marítimo están protegidos y designados como reserva natural, los ecosistemas marinos se ven seriamente afectados por la proyección de infraestructuras destinados a la producción industrial de salmón en áreas marinas protegidas, como la Reserva Kawésqar, Región de Magallanes. Esta actividad genera altos niveles de contaminación, el uso excesivo de antibióticos y altera de manera crítica los ecosistemas, comprometiendo la biodiversidad local y reduciendo la capacidad del territorio para mitigar los efectos del cambio climático. (Castilla et al., 2023)

El problema radica en las arquitecturas que soportan los sistemas alimentarios actuales y sus cadenas de producción, distribución y consumo, diseñadas bajo enfoques puramente artificiales y funcionalistas, impactando negativamente en la ecología, la ocupación del territorio y el uso de los recursos marítimos, además de ignorar el conocimiento las inteligencias culturales y ancestrales de las comunidades locales. Estas actividades están conduciendo a la degradación de un ecosistema clave, poniendo en riesgo no solo la conservación de la biodiversidad, sino también la capacidad de la Patagonia para mantener su equilibrio ecológico nivel global, ya que contribuyen a la provisión de agua dulce y alimentos, así como a la regulación climática del planeta (Díaz, 2018).

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cómo pueden los sistemas alimentarios arquitectónicos basados en granjas marinas de policultivo, integrando inteligencias artificiales, colectivas y naturales, contribuir a la producción regenerativa de los ecosistemas marinos de la Reserva Nacional Kawésqar?

- ¿Qué estrategias deben adoptar los sistemas alimentarios arquitectónicos para optimizar la producción alimentaria y reducir el impacto ambiental, garantizando su flexibilidad programática y sustentabilidad constructiva?

HIPÓTESIS

La implementación de sistemas alimentarios arquitectónicos basados en granjas marinas de policultivo, con intervenciones mínimas y la integración de inteligencias artificiales, colectivas y naturales, contribuirá a crear un paisaje cultural productivo y regenerativo en la Reserva Nacional Kawésqar. Esta estrategia permitirá mitigar los impactos negativos de la salmonicultura industrial y del cambio climático, optimizando la producción alimentaria y promoviendo la sostenibilidad ecológica del territorio.

OBJETIVO PRINCIPAL

Desarrollar una arquitectura alimentaria de policultivo marino basada en enclaves mínimos e infraestructuras flotantes modulares, integrando inteligencias natural, artificial y colectiva. Esta arquitectura deberá optimizar la producción alimentaria y regenerar el territorio de la Reserva Nacional Kawésqar, respondiendo a los desafíos de la salmonicultura industrial y la crisis climática mediante estrategias sustentables de diseño y construcción.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- **Identificar** los problemas de la crisis alimentaria y las presiones industriales que afectan los ecosistemas de la Reserva Nacional Kawésqar, mediante el mapeo de zonas de intervención específicas, considerando las Áreas Apropiadas para la Acuicultura (AAA) y las concesiones existentes

- **Analizar** las infraestructuras existentes y los componentes de los sistemas de cultivo marino, evaluando sus cadenas de producción, distribución y consumo, así como su impacto ambiental y social.

- **Reinterpretar** los modelos industriales de producción alimentaria, proponiendo nuevas arquitecturas de policultivo de algas y moluscos que promuevan la regeneración de los ecosistemas marinos.

- **Desarrollar** una tipología de sistema arquitectónico para áreas protegidas marinas en la Patagonia, integrando estrategias de eficiencia material, prefabricación, bioclimática y adaptabilidad para garantizar su viabilidad en entornos remotos y adversos.

- **Proyectar** una infraestructura que integre los procesos de producción, cosecha y distribución de cultivos regenerativos, promoviendo además la integración social y cultural mediante programas educativos para las comunidades locales.

METODOLOGÍA

- **Revisión Bibliográfica, Estadística y Análisis Documental:** Se revisará la literatura histórica, científica y técnica existente sobre los sistemas alimentarios de cultivo marino, la salmonicultura y los modelos de producción alternativos de policultivo, para identificar problemáticas, tendencias actuales y estrategias futuras. Paralelamente, se analizarán estadísticas relevantes sobre la producción industrial de la acuicultura y su impacto ambiental, a partir de bases de datos SERNAPESCA y estudios previos.

- **Estudio de Casos y Análisis de Sistemas de Producción Alimentaria:** Se investigarán los sistemas de producción alimentaria relacionados con la acuicultura en la Patagonia Chilena, comprendiendo sus lógicas, procesos y componentes. Esta etapa incluye el análisis de los métodos de producción, distribución y consumo utilizados en la salmonicultura y otros cultivos marinos, identificando las principales debilidades y oportunidades para la implementación de nuevos modelos alimentarios.

- **Diagnóstico Territorial y Selección de Localizaciones Específicas:** Se llevará a cabo un diagnóstico territorial en la Reserva Nacional Kawésqar para identificar zonas estratégicas apropiadas para la intervención. Se analizarán las Áreas Apropiadas para la Acuicultura (AAA) y las concesiones otorgadas para salmonicultura, con el objetivo de determinar localizaciones idóneas para desarrollar nuevos modelos alimentarios.

- **Desarrollo de Nuevos Modelos Alimentarios Productivos y Regenerativos:** Se investigarán y desarrollarán nuevos modelos alimentarios que no solo produzcan alimentos, sino que también tengan la capacidad de regenerar los ecosistemas marinos y mitigar los efectos del cambio climático. Estos modelos se basarán en el policultivo de algas y mariscos y buscarán establecer una intersección entre la artificialidad, la colectividad y el entorno natural.

- **Desarrollo de Tipologías de Sistemas Arquitectónicos Prefabricados y Modulares:** Se diseñarán tipologías arquitectónicas específicas para dar soporte a los nuevos sistemas de cultivo marino. Estas infraestructuras serán prefabricadas y modulares, adaptándose a las características del territorio y permitiendo la flexibilidad y movilidad necesarias en áreas remotas. El diseño considerará factores climáticos y de sostenibilidad, fomentando la eficiencia energética y la regeneración del ecosistema.

- **Análisis Climáticos y Simulaciones:** A través de estudios climáticos específicos y simulaciones digitales, se evaluará la viabilidad de las nuevas infraestructuras en el entorno marítimo patagónico.

- **Documento Visual y Producción Audiovisual:** Se desarrollará un documento visual que recoja la investigación, presentando gráficos, fotografías, mapas y dibujos de los sistemas alimentarios en la Patagonia. Este se complementará con una pieza audiovisual que documente los procesos productivos y el impacto de los nuevos modelos en los ecosistemas marinos, incluyendo entrevistas con actores clave e imágenes de paisajes e infraestructuras. Ambas herramientas servirán para analizar y comunicar visualmente el impacto de la producción alimentaria y las propuestas arquitectónicas en el territorio.

CAPÍTULO I: VISIONES DE LA PATAGONIA COMO PAISAJE CULTURAL PRODUCTIVO: PASADO, PRESENTE Y FUTURO

El objetivo de este capítulo es trazar la evolución del territorio patagónico desde la presencia de los primeros habitantes hasta las complejas transformaciones industriales que lo configuran en la actualidad. Para comprender la situación contemporánea de la Patagonia, especialmente desde una perspectiva arquitectónica y enfocada en su desarrollo productivo, es esencial analizar el contexto histórico del territorio marítimo, el cual ha sido escenario de múltiples visiones y proyectos. A lo largo de los siglos, la relación entre el ser humano y la Patagonia se ha forjado por su geografía, clima extremo y abundantes recursos naturales, generando una serie de intervenciones y transformaciones que han moldeado significativamente su paisaje.

El desarrollo industrial en la Patagonia comenzó con la introducción de la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) en el siglo XX y continuó con actividades relacionadas con la producción de alimentos, como la pesca industrial y la salmonicultura. Estas actividades, que se abordarán con mayor detalle en los capítulos siguientes, han dado lugar a infraestructuras que alteraron la ocupación y uso del territorio. Dichas transformaciones responden no solo a necesidades productivas, sino también a las dinámicas económicas y sociales que han influido en la configuración territorial de la región.

A través de este análisis, se busca entender el papel fundamental que la arquitectura y el objeto técnico han desempeñado en la evolución del territorio patagónico, adaptándose a las exigencias del entorno natural y a los cambios productivos, económicos y sociales. Además, este capítulo explora cómo, desde las primeras civilizaciones indígenas nómadas hasta la actualidad, la interacción con la naturaleza y la transformación del paisaje han sido claves en la construcción de la Patagonia como un paisaje cultural productivo. Este recorrido histórico sienta las bases para una reflexión más profunda sobre los desafíos y oportunidades que enfrenta la Patagonia en su búsqueda de un equilibrio entre desarrollo productivo y sostenibilidad.

PARTE I: TERRITORIO KAWÉSQAR

Los Kawésqar, un pueblo originario de la zona Austral de Chile, vivieron como nómadas hasta mediados del siglo XX, recorriendo en canoas los canales y costas de la Patagonia occidental, entre el golfo de Penas y el Estrecho de Magallanes. Su relación con el entorno no era solo una cuestión de supervivencia, sino también una manifestación cultural y simbólica profundamente conectada con las dinámicas naturales del territorio. Conocedores de sus costas, vientos y recursos marinos, los Kawésqar integraban estas características en un sistema productivo que equilibraba la explotación sostenible de los recursos con un respeto y vinculo inherente por su entorno.

El territorio ancestral Kawésqar, conocido como Kawésqar Wæs, está marcado por su compleja hidrología. El deshielo de los glaciares, las intensas precipitaciones y las poderosas corrientes crean un ecosistema diverso que incluye campos de hielo, bosques subantárticos, fiordos y canales. Este entorno, difícil y poco apto para la agricultura o la cría de animales debido a las bajas temperaturas y las condiciones climáticas extremas, hizo que los Kawésqar desarrollaran un estilo de vida nómada y marítimo.

Una técnica ancestral que refleja su relación con el entorno son los corrales de pesca, estructuras construidas con rocas cerca de la línea de playa que aprovechaban las mareas para atrapar peces como el jáucen. Estos corrales, con compuertas cubiertas por ramas, permitían recolectar peces de manera eficiente cuando la marea bajaba. No solo representan un ingenioso sistema productivo, sino también un legado arqueológico y cultural que subraya el entendimiento sostenible de los Kawésqar sobre los recursos marinos.

Junto con los corrales de pesca, los conchales –depósitos de conchas de moluscos– reflejan la ética de manejo responsable de los residuos de los Kawésqar. Esta práctica, basada en la idea de tomar solo lo necesario, muestra una comprensión profunda de la sostenibilidad a largo plazo: “Siempre dejaban al resto que venía, porque ellos son navegantes” y “Nunca sacaban comida de más o que se eche a perder”. Los conchales son testimonio de una lógica de conservación y respeto por los recursos naturales. (Friedlander et al. 2021)



Corrales de pesca Kawésqar Fuente: Memoria Chilena

La canoa, fabricada con corteza, era mucho más que un medio de transporte para los Kawésqar; era el eje de su vida nómada. Permitía a las familias desplazarse por los canales patagónicos, adaptándose constantemente a las condiciones cambiantes del entorno. Este estilo de vida se complementaba con las viviendas temporales, conocidas como at, que podían ser fácilmente desmanteladas y trasladadas, adecuándose a la movilidad de los Kawésqar y su relación fluida con el territorio. (Fuentes Flores, P.2020)

La subsistencia de los Kawésqar dependía principalmente de los recursos marinos, con una dieta carnívora que incluía carne de lobo marino, peces, mariscos, y en menor medida, carne de ballena, huemul, aves y huevos. Complementaban su alimentación con frutos silvestres, hongos y tallos de nalca, lo que demuestra su capacidad de aprovechar lo que el territorio ofrecía en cada estación del año.

La estacionalidad era un factor crucial en la gestión del territorio por parte de los Kawésqar. Se movían entre dos zonas principales: Jáutok, los canales interiores y fiordos del continente, caracterizados por costas abruptas y vegetación densa, y Málte, las costas exteriores cercanas al Pacífico, con playas de arena e islotes. Este conocimiento detallado del territorio les permitía moverse estratégicamente y ajustar sus métodos productivos según los recursos disponibles en cada estación y zona, manteniendo una relación de respeto con el entorno que aseguraba su sostenibilidad a largo plazo. (Friedlander et al. 2021)

Con la llegada de los colonos y la introducción de tecnologías occidentales, como las chalupas y los botes, esta relación equilibrada con el territorio se vio alterada. La adaptación forzada a nuevas formas de vida, producto de la interacción con estas tecnologías, modificó gradualmente el modo de vida productivo y nómada de los Kawésqar, afectando su conexión tradicional con el mar y el paisaje.



Kawésqar cazando un huemul. Fuente: Biblioteca Nacional de Chile, (2002)



Fotografía de grupo Kawésqar Fuente: Cristian Donoso (2023)

PARTE II. OBJETO TÉCNICO COMO AGENTE DE CAMBIO

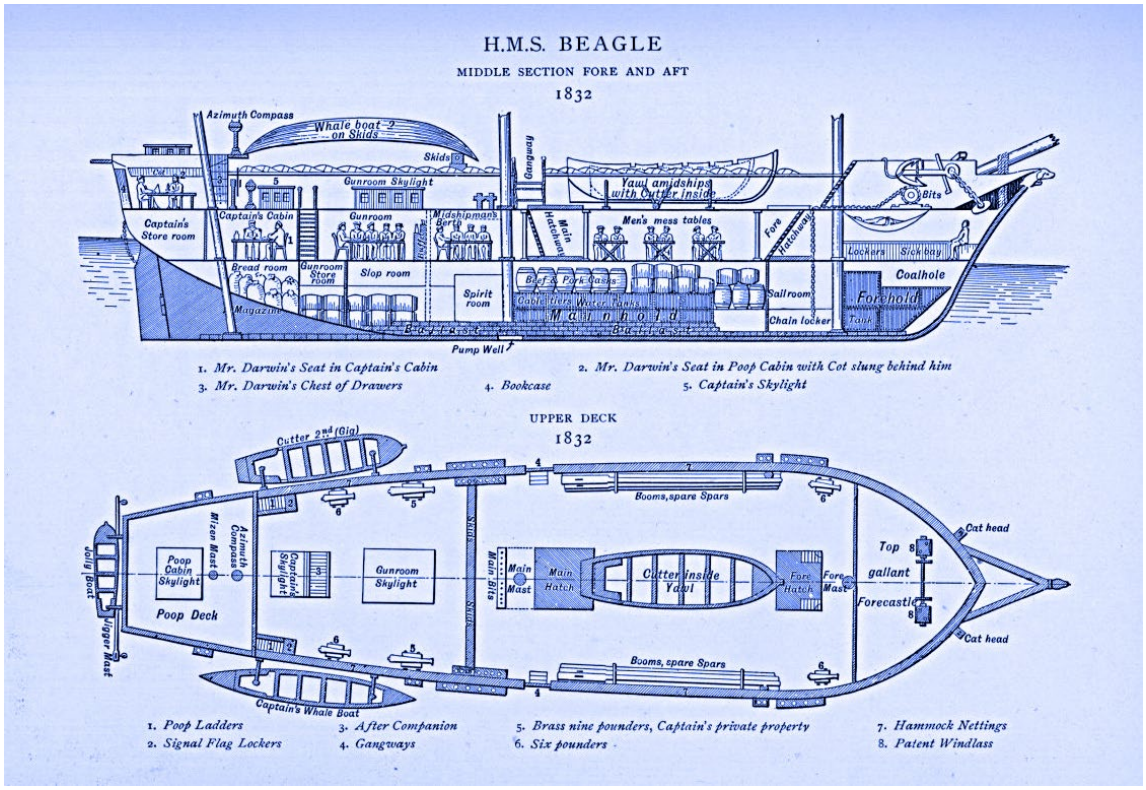
Los primeros encuentros entre navegantes occidentales y las culturas indígenas del sur de Chile datan del siglo XVI y han sido documentados en crónicas de viaje, así como en publicaciones de naturalistas y expediciones hidrográficas del siglo XIX. Entre 1833 y 1834, el bergantín H.M.S. Beagle emprendió un viaje crucial por el Estrecho de Magallanes, con el joven naturalista Charles Darwin a bordo. Esta expedición, liderada por el capitán Fitz-Roy permitió un contacto profundo con los habitantes de la región, incluidos los Kawésqar, y una inmersión significativa en el paisaje natural de la Patagonia.

Aunque estas expediciones científicas de la época, no se realizaron con fines productivos, marcaron un entendimiento profundo del paisaje natural y de las personas que lo habitaban, como los Kawésqar. Estas expediciones permitieron a los naturalistas y exploradores occidentales observar de primera mano las inteligencias ancestrales de los pueblos originarios en su relación simbiótica con el entorno. Además, ofrecieron un contraste entre las tecnologías y artificialidades europeas presentes en el Beagle —un barco tecnológicamente avanzado para su época— y las canoas artesanales de los Kawésqar, que, con pocos recursos, lograron una integración y subsistencia en el desafiante entorno natural patagónico.

Darwin tuvo la oportunidad de observar a los pueblos indígenas nómadas que navegaban en frágiles canoas, dejando una descripción que revela su impresión: “Sus habilidades, como el instinto en los animales, no mejoran con la experiencia... qué poco debe asemejarse la mente de uno de estos seres a la de un hombre educado" (Darwin, 1845/2009). Este testimonio no solo refleja la mentalidad científica de la época, sino también una visión occidental que, en cierto modo, deshumaniza la complejidad de las inteligencias culturales de los pueblos originarios.

El Beagle, más que un simple barco, funcionaba como un laboratorio flotante y artefacto de monitoreo. Darwin, desde esta plataforma, realizó un análisis sistémico del territorio patagónico, documentando su biodiversidad y geología. El filósofo francés Gilbert Simondon describe la interacción entre tecnología y naturaleza, señalando que los objetos técnicos, funcionan en simbiosis con su entorno, casi como organismos vivos.

"A su vez, técnico y natural, un medio que el ser técnico crea alrededor de sí mismo y que lo condiciona tanto como se ve condicionado por él" (Simondon, 1958).



Corte Longitudinal HMS Beagle. 1832 Fuente: Memoria Chilena

Durante su viaje, Darwin observó la biodiversidad del lugar, ofreciendo descripciones detalladas sobre el clima, la fauna marina y terrestre. En sus escritos, destacó la importancia de la diversidad natural y la interconexión de las especies dentro de un ecosistema, un concepto que hoy es fundamental para el estudio del cambio climático y la gestión de ecosistemas (Darwin, 1845/2009). Sin embargo, Darwin también se refirió a la Patagonia como un "desierto verde e inútil", una visión que sería reforzada más tarde por el geógrafo inglés Gilbert V. Butland en su obra The Human Geography of Southern Chile, publicada en 1957. En su estudio, describió el territorio del archipiélago patagónico como inhóspito, trazando una línea que delimitaba las zonas favorables y desfavorables para la vida humana, definiendo la Patagonia como un espacio de naturaleza incontrolable y, potencialmente, insustancial para satisfacer las necesidades humanas.

La idea contribuyó a la construcción de una comprensión de la Patagonia como un territorio marítimo imposible, con climas inhóspitos, visiones que aún tienen un profundo arraigo en el pensamiento regional y nacional, especialmente entre quienes desconocen los procesos productivos y culturales que han tenido lugar en este espacio. Esta desvalorización inicial del territorio consolidó una imagen que, a lo largo del siglo XX, influyó en cómo se concebía y planificaba la ocupación del territorio patagónico.

Sin embargo, en contraste con esta visión, comenzaron a surgir esfuerzos por comprender el potencial productivo del territorio, reconociendo sus recursos naturales como elementos esenciales para el desarrollo económico. Esto marca el puente entre las expediciones iniciales y las visiones europeas del paisaje patagónico, y la aparición de nuevas interpretaciones productivas que comenzaron a surgir a mediados del siglo XX, donde lo que antes era percibido como inhóspito y vacío, empezó a ser re-imaginado como un espacio de posibilidad productiva.

PARTE III. PATAGONIA PRÍSTINA: VACÍO Y PRIMERAS VISIONES PRODUCTIVAS

A mediados del siglo XX, mucho después de las expediciones de Darwin, la Patagonia prístina comenzó a atraer diversas interpretaciones y propuestas productivas. Su aislamiento geográfico y la percepción de un paisaje intocado despertaron el interés de arquitectos, planificadores y economistas que buscaban integrar este vasto territorio en la economía nacional. Este proceso, sin embargo, marcó una transición significativa: la Patagonia ya no se veía únicamente como un paisaje remoto e inexplorado, sino como un espacio con potencial productivo y estratégico para el país.

Un caso emblemático de este enfoque fue el proyecto de título de Emilio Duhart en 1940, cuando aún era estudiante de arquitectura. Eligió la bahía de San Quintín, en la boca sur del canal, como el sitio ideal para desarrollar una base pesquera autosostenible. Aunque el proyecto nunca se construyó, proponía un sistema que aprovechara los recursos marinos y forestales de la región, con una visión que integraba la industrialización de los recursos ictícolas como una vía para dinamizar la economía local y conectar la Patagonia con los mercados nacionales e internacionales (Duhart, ARQ no. 23, 1993).

La planificación territorial propuesta por Duhart reflejaba una lógica productiva clara. El proyecto se centraba en la explotación de los recursos naturales de la zona, con un sistema que incluía la recolección de recursos marinos por parte de los pescadores y su posterior procesamiento y comercialización. Al mismo tiempo, la tala de los bosques circundantes proporcionaría combustible para las calderas de la fábrica y materiales para la construcción, lo que impulsaría la expansión urbana a largo plazo. Para facilitar esta expansión, se planteaba un sistema de transporte mediante canoas que trasladarían troncos desde los cerros hacia los aserraderos, alineándose así con las políticas territoriales de la época, que buscaban integrar el sur de Chile hacia el Pacífico y estructurar el territorio al sur del golfo de Penas.

Aunque Duhart veía en este proyecto una forma de habitar y aprovechar el territorio patagónico, también reflejaba una crítica implícita a las políticas estatales. En su época, la Patagonia no se consideraba una zona estratégica para la explotación de recursos marinos y madereros, algo que Duhart proponía cambiar a través de su visión. Su proyecto se concibió como un prototipo viable que ofrecía una manera alternativa de poblar la Patagonia, transformando un paisaje extremo y desolado en un espacio habitable y económicamente activo.

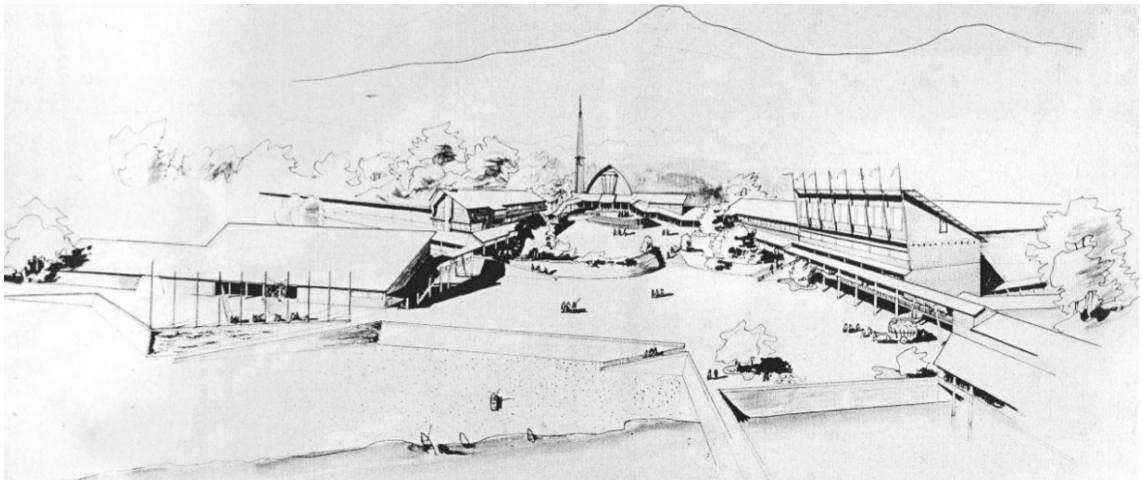


Imagen objetivo proyecto de título en la bahía de San Quintín Duhart, E. (1940). Fuente: Tesis de grado. ARQ, 23

En 1993, la revista ARQ dedicó un número a la arquitectura en madera, y en ese contexto se recuperó el proyecto de Duhart como un ejemplo pionero de sensibilidad hacia los recursos naturales de la región. Montserrat Palmer y Eugenio Garcés incluyeron una investigación que destacaba la importancia de la madera y la sustentabilidad en la arquitectura chilena, posicionando a la base pesquera de Duhart como un antecedente valioso para el debate contemporáneo sobre los sistemas constructivos apropiados para el país (Rossetti, 2023).

Lo que resulta relevante en el análisis de Duhart es su capacidad para proponer una nueva forma de interacción entre la arquitectura y el territorio. En su visión, lo prístino y lejano de la Patagonia ya no era un vacío, sino un espacio que podía ser habitado y transformado productivamente. Este cambio de enfoque también potenciado por el sistema capitalista de turno redefinió la relación entre el ser humano y uno de los últimos territorios vírgenes del planeta, introduciendo una noción de desarrollo que no solo buscaba la explotación de los recursos, sino también una integración de la arquitectura con el entorno.

Mientras que las interpretaciones iniciales de la Patagonia como un lugar inhóspito marcaron profundamente la percepción del territorio, también allanaron el camino para las primeras exploraciones de su potencial productivo. Esto creó una tensión entre la pristinidad del paisaje y su explotación, una dicotomía que sigue siendo central en el debate sobre la sostenibilidad y el uso de los recursos en la región.

PARTE IV. INDUSTRIALIZACION Y TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE

La industrialización en la Patagonia representó una nueva fase de intervención y transformación del territorio que contrastaba con las visiones productivas anteriores más vinculadas a la naturaleza y la autosostenibilidad. Si bien los primeros proyectos visionarios, como el de Emilio Duhart, exploraron formas de habitar el paisaje patagónico desde una perspectiva de integración con el entorno natural y aprovechamiento responsable de los recursos, la llegada de la industrialización trajo consigo un cambio más radical. Esta nueva fase estuvo marcada por la explotación intensiva de los recursos naturales, generando profundas alteraciones en el territorio, las formas de vida y las dinámicas productivas. Mientras que en la fase anterior los proyectos

buscaban establecer una relación armónica con el entorno, la industrialización impulsó una lógica extractiva que se enfocó en la explotación masiva de los recursos naturales, lo que dejó una huella en la Patagonia.

A mediados del siglo XIX, el proceso de industrialización en la Patagonia comenzó a redefinir el paisaje cultural y productivo de la región. Inicialmente, la introducción de la ganadería extensiva se convirtió en el pilar económico de la zona, seguida por la instalación de otras industrias como la forestal, minera y frigorífica. Este sistema productivo se desarrolló a lo largo del Estrecho de Magallanes y los canales patagónicos, facilitando la conexión y el intercambio comercial entre la región y el resto del mundo. La industrialización permitió la ocupación del territorio en un sentido más extractivo, modificando radicalmente la percepción y el uso del espacio.

La instalación de la ganadería en la región a finales del siglo XIX fue el punto de partida de una red de actividades económicas interrelacionadas. Esta actividad fomentó la creación de infraestructuras y sistemas de cabotaje marítimo, conectando las diferentes áreas productivas a través de los canales y el Estrecho de Magallanes. Este paisaje productivo inicial, marcado por la explotación de recursos naturales y su comercialización, sentó las bases para la industrialización más avanzada, que llegaría décadas después con la industria petrolera. El territorio patagónico pasó de ser un espacio percibido como prístino y deshabitado a convertirse en un nodo estratégico para la explotación económica a gran escala (Matus, 2022).

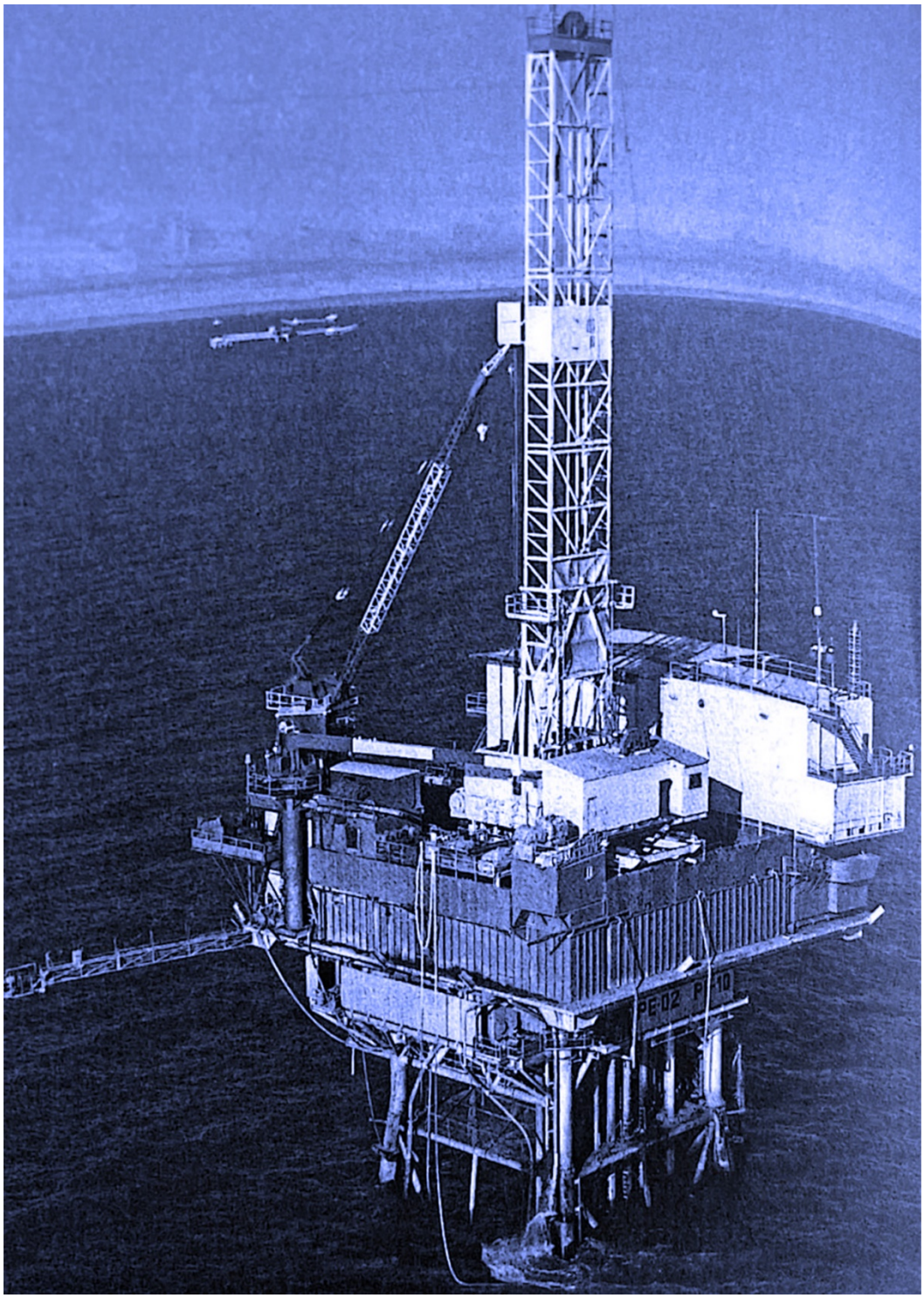
LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO

El descubrimiento de petróleo en la Isla Grande de Tierra del Fuego en 1945 marcó un punto de inflexión en la historia de la Patagonia. A partir de este momento, el paisaje patagónico se transformó en un espacio dominado por la infraestructura y los asentamientos dedicados a la extracción petrolera. Esta actividad, en conjunto con la explotación de otros recursos naturales, consolidó un modelo económico extractivo que tuvo profundas implicaciones en la configuración del territorio y en la vida de las comunidades locales.

El establecimiento de plataformas petrolíferas a partir de 1979, bajo el Proyecto Costa Afuera de ENAP (Empresa Nacional del Petróleo), dio inicio a una nueva fase de industrialización que dejó una marca visible en el paisaje patagónico. Estas plataformas, ubicadas en el Estrecho de Magallanes, no solo transformaron el entorno visual, sino que también impulsaron la creación de asentamientos y nuevas formas de ocupación del territorio. El petróleo se convirtió en el motor económico de la región, reorganizando las dinámicas productivas y las infraestructuras a lo largo de las costas y los canales patagónicos (ENAP, 1982).

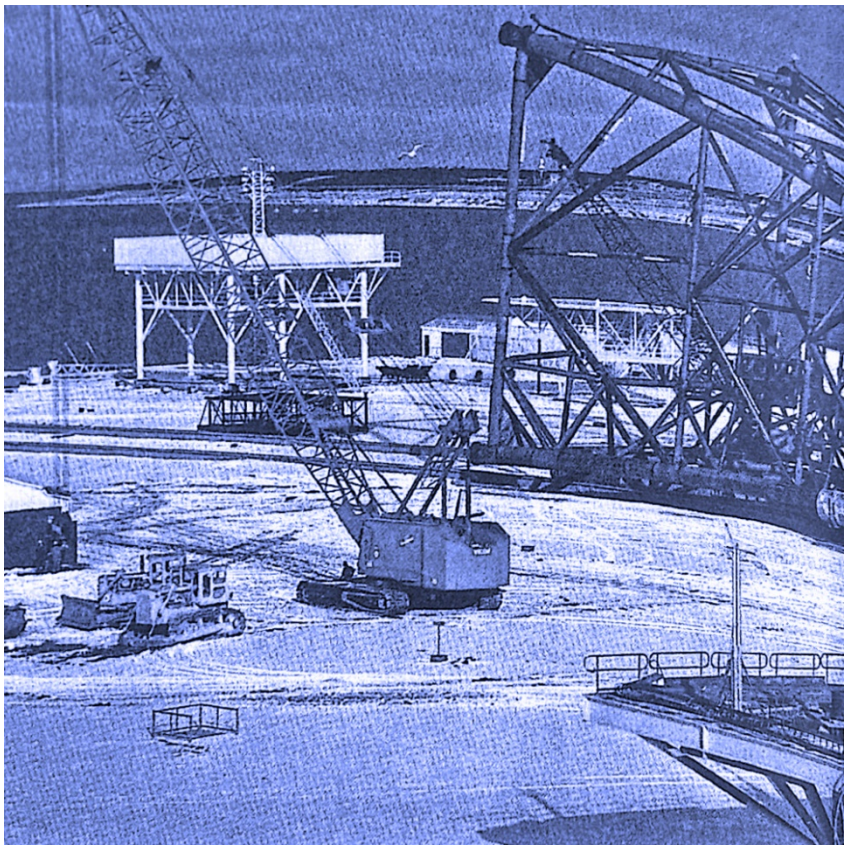
La ocupación del territorio con la industria petrolera trajo consigo un cambio radical en el paisaje y en la forma en que se percibía la región. Si bien la industrialización permitió la creación de empleos y el desarrollo económico, también modificó el territorio físico, a la vez que impactó profundamente en las dinámicas sociales y culturales de la región. Las plataformas petrolíferas, concebidas como enclaves productivos, fragmentaron el territorio y relegaron las prácticas tradicionales de las comunidades locales. Esta imposición de un modelo extractivo no solo afectó la relación de las personas con el entorno, sino que también marcó el inicio de una transformación irreversible del paisaje patagónico.

Tras el auge del petróleo en esta región, actualmente muchas de las instalaciones petrolera están en desuso o fuera de servicio, enfrentando un futuro incierto. La decadencia de la industria petrolera en la Patagonia está programando su desaparición en los próximos treinta años, lo que deja a las infraestructuras, como las Plataformas Costa Afuera, como testimonios de una era industrial que transformó profundamente el paisaje y sentó las bases para la expansión de modelos productivos basados en la explotación intensiva de los recursos marinos.



Vista Aérea Plataforma Proyecto Costa Afuera Fuente: ENAP. (1984) (Matus Carrasco & Cvitanić Díaz, 2022).

"En 1976 se encontraban en revisión los planos de fabricación para la primera plataforma de producción del proyecto Costa Afuera ... El complejo consideró tres naves con una superficie total de 6.500m2, para la prefabricación y manejo de los materiales para las obras, un taller de obras de 1500m2 para alojar los trabajos de mantenimiento; un patio de montaje iluminado, destinado al armado de las grandes piezas de las estructuras de las plataformas, un área de ensamble de cubiertas, para el armado de las cubiertas de producción; edificios de patios, consistentes en estructuras de apoyo al trabajo de montaje: patio de arenado y pinturas; una planta de revestimiento térmico; una planta de revestimiento de hormigón, para el recubrimiento de oleoductos submarinos; una planta de cemento, para el embarque de cemento en barcazas y su uso en las plataformas; un espigón de atraque; y laboratorios e instalaciones menores" (ENAP, 1982, p.8).



Patio de montaje Proyecto Costa Afuera Fuente: ENAP. (1984) (Matus Carrasco & Cvitanić Díaz, 2022).



Plataformas flotantes en proceso de construcción Fuente: ENAP. (1978) (Matus Carrasco & Cvitanić Díaz, 2022).

PARTE V. COMPRENSION DEL PAISAJE CONTEMPORÁNEO

En la actualidad, el concepto de paisaje ha superado su tradicional interpretación como un espacio puramente físico o visual, evolucionando hacia un constructo dinámico que integra procesos ecológicos, culturales y económicos de manera compleja. Esta visión contemporánea del paisaje reconoce que los territorios no solo se configuran por sus características geográficas y naturales, sino también por las interacciones humanas que constantemente los transforman y redefinen.

MARITORIO

“Extensión del territorio hacia el mar, abarcando tanto los espacios acuáticos como las dinámicas culturales y ecológicas asociadas a ellos. Este término surge como una analogía al territorio terrestre, reconociendo la importancia de las áreas marítimas no solo como recursos naturales, sino también como espacios habitables y culturalmente significativos. De este modo, el maritorio integra las relaciones entre comunidades costeras, su historia y el entorno marino, destacando la interdependencia entre el mar y la tierra” (García, Ther-Ríos, Skewes, Hidalgo, & Carabias, 2019).

Como se menciona en “Reflexiones sobre el concepto de maritorio”, el concepto de maritorio se construyó a través de la navegación por los canales australes, adaptándose a las particularidades del territorio. Las embarcaciones no solo permitían la navegación segura, sino que también servían como hogares móviles, espacios para la alimentación y la planificación de nuevos proyectos de vida. Esta forma de habitar el paisaje marino vista desde una perspectiva cultural e incluso ecológica pone de manifiesto cómo las comunidades locales desarrollaron una interrelación productiva y simbiótica con su entorno natural.

No obstante, las transformaciones que el paisaje productivo ha experimentado, impulsadas por sistemas funcionalistas y económicos que carecen de inteligencias colectivas y sociales, han llevado a la fragmentación del paisaje patagónico. La explotación intensiva de los recursos marinos, principalmente a través de los actuales sistemas alimentarios de la salmonicultura, ha alterado profundamente las dinámicas culturales y ecológicas de la región.

La desconexión entre los sistemas productivos actuales y las prácticas tradicionales que solían coexistir armónicamente con los ecosistemas plantea interrogantes sobre las formas en que habitamos y gestionamos el territorio hoy en día.

“El Maritorio es un concepto de área geográfica que conjuga: la comunicabilidad, la riqueza, la adversidad y las energías. Conociendo estos cuatro aspectos es que se pueden determinar áreas armónicas.” (Ivelic 2005: 1-2).



Retícula terrestre transita hacia el mar. Fotografía: Drago Bartulín 2004

A nivel legislativo, en 2022, la Convención Constitucional de Chile propuso reconocer el maritorio como una categoría jurídica con características sociales, culturales, medioambientales y económicas específicas. Este enfoque subraya la fluidez de los procesos socioambientales y reconoce la interdependencia entre los humanos y otras especies, extendiéndose desde la zona costera hasta los ecosistemas marinos, y considerando las relaciones entre las comunidades locales y el entorno oceánico (Radio Duna, 2022).

Como se mencionó, el maritorio no solo abarca bienes naturales abióticos y bióticos, como el aire, el agua, el clima, la flora y la fauna, sino también el patrimonio cultural inmaterial y ancestral que se entrelaza con los ecosistemas. En este sentido, su gestión implica tanto la preservación del entorno natural como el respeto y la valorización de las prácticas tradicionales que han coexistido con estos ecosistemas durante siglos (Álvarez et al., 2019). Sin embargo, para que este enfoque sea verdaderamente sostenible, es esencial que los modelos productivos incorporen una dimensión colectiva y natural que permita a las comunidades locales y ecosistemas no solo sobrevivir, sino también prosperar.

A nivel global, este concepto tiene resonancias en otros contextos insulares y archipelágicos. Por ejemplo, el término "aquapelago", (Hayward, 2012) describe "un ensamblaje de los espacios marinos y terrestres de un grupo de islas y sus aguas adyacentes", donde las sociedades utilizan y navegan los espacios acuáticos de manera interconectada con su ocupación de la tierra. Esta dinámica refleja una interrelación entre lo terrestre y lo marítimo que es fundamental para la identidad y el sentido de pertenencia de las comunidades insulares.

En este contexto, se presenta una oportunidad valiosa para que el concepto de maritorio contribuya a la discusión internacional sobre cómo enfrentar los desafíos contemporáneos, como el cambio climático, sin comprometer las tradiciones y características inherentes a los territorios específicos. El maritorio, entonces, se convierte en un marco a través del cual se puede replantear la relación entre lo productivo, lo cultural y lo ecológico, y cómo estas dimensiones pueden integrarse en un modelo de desarrollo que respete tanto el medio ambiente como las comunidades locales.

METABÓLICO. VISIONES ECOLOGICAS INTERNACIONALES

Imagine the planet as a big brownfield. Consider it less as a virgin resource (to protect) or a sensitive system (to shield), but rather as a big ball of oscillating waste (that keeps moving and circulat-ing), where everything— from the air of the atmosphere to the water of the oceans-has been used, abused, and reused; materials and fluids in different concentrations, whose varying distributions are in constant motion, powered by existing earth processes that are arrested, attenuated, and accelerated by methods of extraction and evolving technologies, adjusted, layered, and thickened by urban change. On this planetary surface, waste is the impetus for improved production, enhanced consumption, and intelligent exchange. Brown is the new green. Bélanger, P. (2016). Landscape as Infrastructure. Routledge.

Por otro lado, me parece interesante pensar en nuevos conceptos contemporáneos y confrontar ciertas ideas, como lo presenta Pierre Bélanger en Landscape as Infrastructure (2016), el “paisaje metabolico” ofrece una visión radicalmente diferente del sistema planetario y de las ecologías que lo componen. Bélanger invita a reconsiderar el planeta no como un recurso virgen o un sistema sensible que debe protegerse, sino como un vasto "brownfield", un espacio donde todo, desde el aire hasta los océanos, ha sido usado, abusado y reutilizado. En este escenario, los materiales y fluidos están en constante movimiento, impulsados por procesos naturales que son acelerados o modificados por las tecnologías humanas. Sugiriendo que los residuos ya no son desechos, sino catalizadores de producción y consumo más inteligentes, encapsulando esta idea en la frase: "el marrón es el nuevo verde". (Bélanger, 2016).

Este marco puede aplicarse directamente al contexto de la Patagonia y a los procesos de industrialización, en donde hasta el momento se ha tratado el paisaje como un recurso prístino a preservar, pero que, al ser reconsiderado bajo la óptica del paisaje metabólico, ofrece una oportunidad para integrar los subproductos artificiales de la industria en ciclos económicos, ecológicos y sociales. La implementación de una posible economía circular permitiría que los residuos generados por la industria se conviertan en recursos útiles, contribuyendo a la resiliencia y sostenibilidad del paisaje patagónico. Este enfoque metabólico desafía el paradigma extractivista

y propone una integración de las infraestructuras humanas en los ciclos naturales, con el objetivo de minimizar el impacto ecológico y social.

Asimismo, este concepto resuena con las ideas de Timothy Morton, quien en su obra Ecología Oscura (2014), desafía la dicotomía entre lo natural y lo artificial. Morton sostiene que la humanidad no es el centro de los sistemas ecológicos, sino simplemente un participante más en una vasta red interconectada, donde incluso los residuos y desechos son parte de los procesos perpetuos de cambio y transformación. Morton afirma que "el Antropoceno es el primer concepto plenamente antiantropocéntrico", lo que refleja una comprensión ecológica donde las infraestructuras humanas y la naturaleza coexisten en “bucles” autónomos, influenciando constantemente el entorno en el que operan (Morton, 2014).

En consonancia con esta perspectiva, William Sherman subraya que el diseño moderno de infraestructuras ha estado basado en un sistema unidireccional que proporcionaba un flujo predecible de recursos, sin tener en cuenta los procesos naturales y su variabilidad. Tal como menciona, "With the shift to a dynamic conception of form and a new engagement of time-based processes, design has repercussions at many scales. No work can be conceived independently of the human and natural processes that form its context" (Sherman, 2005). Esta dependencia en un sistema estable y centralizado, aunque proporcionó los cimientos para el progreso económico y cultural, también generó una falsa sensación de seguridad. Sherman advierte que esta estabilidad conduce a una creciente vulnerabilidad de las infraestructuras, que dependen de autoridades centralizadas cada vez más frágiles para su funcionamiento.

REFLEXIÓN

La evolución de la Patagonia como paisaje cultural productivo es el resultado de una compleja interacción entre la naturaleza y las actividades humanas a lo largo del tiempo. Desde las primeras civilizaciones nómadas, que desarrollaron un vínculo profundo y respetuoso con el entorno, hasta las transformaciones industriales más recientes, la relación del ser humano con este territorio ha sido marcada por constantes cambios y adaptaciones.

Este recorrido histórico muestra que las infraestructuras y arquitecturas productivas han jugado un papel crucial en la configuración de la Patagonia. La introducción de la Empresa Nacional del Petróleo en el siglo XX, seguida por el auge de actividades como la pesca industrial y la salmonicultura, trajo consigo la implementación de infraestructuras que alteraron significativamente los paisajes marítimos y terrestres. Estas intervenciones, aunque responden a las necesidades económicas y sociales de cada época, han tenido un impacto considerable en la ocupación y uso del territorio, evidenciando la importancia de la arquitectura como agente transformador.

No obstante, este análisis también revela la existencia de tensiones entre el desarrollo productivo y la conservación del territorio, un conflicto que se vuelve especialmente relevante en el contexto contemporáneo. La Patagonia se enfrenta hoy al desafío de encontrar un equilibrio entre la producción de alimentos y la preservación de su riqueza natural, una tarea que requiere repensar las formas en que se diseñan y se implementan las infraestructuras productivas.

Este capítulo sienta las bases para una reflexión más profunda en los siguientes apartados de esta investigación, donde se abordarán las problemáticas específicas de los sistemas alimentarios actuales y se explorarán modelos alternativos que integren la producción con la regeneración del territorio. El análisis de la arquitectura en el desarrollo de la Patagonia permitirá, así, proyectar nuevas visiones para un futuro donde la interacción con la naturaleza y la transformación del paisaje sean más equilibradas y sostenibles.

CAPÍTULO II: ACTUAL SISTEMA ALIMENTARIO DE CULTIVO MARINO

"Los canales son los valles de la Patagonia, única superficie plana. En ellos hoy se empieza a cultivar el mar. La acuicultura, al igual que la agricultura, transforma al hombre nómade en sedentario, lo arraiga a la tierra-mar para fundarla y cuidarla. Fundar es conjugar el ocio y el negocio y amor por la morada y el terruño" (Ivelic 2005: 21)

El sistema alimentario de la salmonicultura en la Patagonia chilena ha configurado un complejo entramado de infraestructuras, tecnologías y prácticas productivas que impactan significativamente el territorio y los ecosistemas marinos. Este capítulo se propone explorar estas infraestructuras, descomponiéndolas en sus elementos clave para comprender cómo operan y se relacionan con el entorno patagónico. Si bien el marco teórico ya expuso las problemáticas ambientales, sociales y económicas asociadas a este modelo productivo, aquí se ofrecerá primero un breve contexto general para luego centrarse en los componentes arquitectónicos, logísticos y tecnológicos que lo conforman, y su interacción con el territorio marítimo.

Los sistemas alimentarios, en general, engloban una amplia gama de actividades relacionadas con la producción, procesamiento, transporte y consumo de alimentos. Estos sistemas influyen de manera profunda en múltiples aspectos de la vida humana, desde la salud de nuestros cuerpos hasta el equilibrio ambiental, las economías locales y las culturas. Cuando funcionan de manera óptima, se integran armoniosamente con el territorio y contribuyen a una buena calidad de vida, conectando diferentes oficios y comunidades (Ahern, Thilsted, & Oenema, 2021).

Sin embargo, muchos sistemas alimentarios, incluido el de la salmonicultura, presentan vulnerabilidades y fragilidades que los hacen susceptibles al colapso. La falta de un examen exhaustivo en todas las etapas de su cadena de producción, distribución y consumo puede derivar en consecuencias que afectan no solo la salud y la economía, sino también la relación con el territorio y las culturas locales.

PARTE I: SALMONICULTURA EN LA PATAGONIA

La evolución industrial y la alteración de la compresión del territorio en la Patagonia chilena sentó las bases para la siguiente gran transformación del paisaje productivo: la salmonicultura. Siguiendo patrones similares a los modelos productivos previos, el sistema alimentario de la acuicultura, y en particular la salmonicultura, ha dado forma a nuevos sistemas productivos, infraestructuras y modos de ocupación, consolidando un modelo que prioriza la economía y el comercio internacional por encima de la sostenibilidad local.

En el marco teórico, hemos sistematizado datos que permiten identificar los procesos de evolución y desarrollo de la salmonicultura en la Patagonia chilena, con especial énfasis en áreas protegidas como la Reserva Nacional Kawésqar. Esta actividad se inició de forma experimental en el siglo XIX, con intentos de introducir especies exóticas como salmón, truchas, carpas y pejerreyes en aguas chilenas, principalmente con fines recreativos. Ya en 1885 se reportaba la llegada de huevos de salmón y trucha, y para 1905 se importaban huevos de salmón del Atlántico (*Salmo salar*) y trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Los objetivos originales y el desconocimiento de los impactos de introducir especies exóticas eran muy distintos de la realidad que se desarrolló posteriormente.

El auge real de la acuicultura se da a partir de la intervención estatal, que décadas después de esos primeros intentos estableció las condiciones iniciales para la expansión de la industria en el contexto empresarial, sentando las bases para la instauración de intereses industriales. Este proceso marca el acelerado proceso de reapropiación territorial de los espacios marítimos de la zona austral de Chile y el mar interior compuesto por archipiélagos, especialmente durante los últimos cincuenta años, donde los avances científicos en materia acuícola permitieron reinventar los procesos técnicos.

Durante este tiempo, la incorporación de conglomerados económicos y la red compleja de compraventa desarrollada entre ellos, particularmente al inicio del presente milenio, contribuyó a consolidar un nuevo concepto de acuicultura. Esto, a su vez, permeó las políticas públicas que,

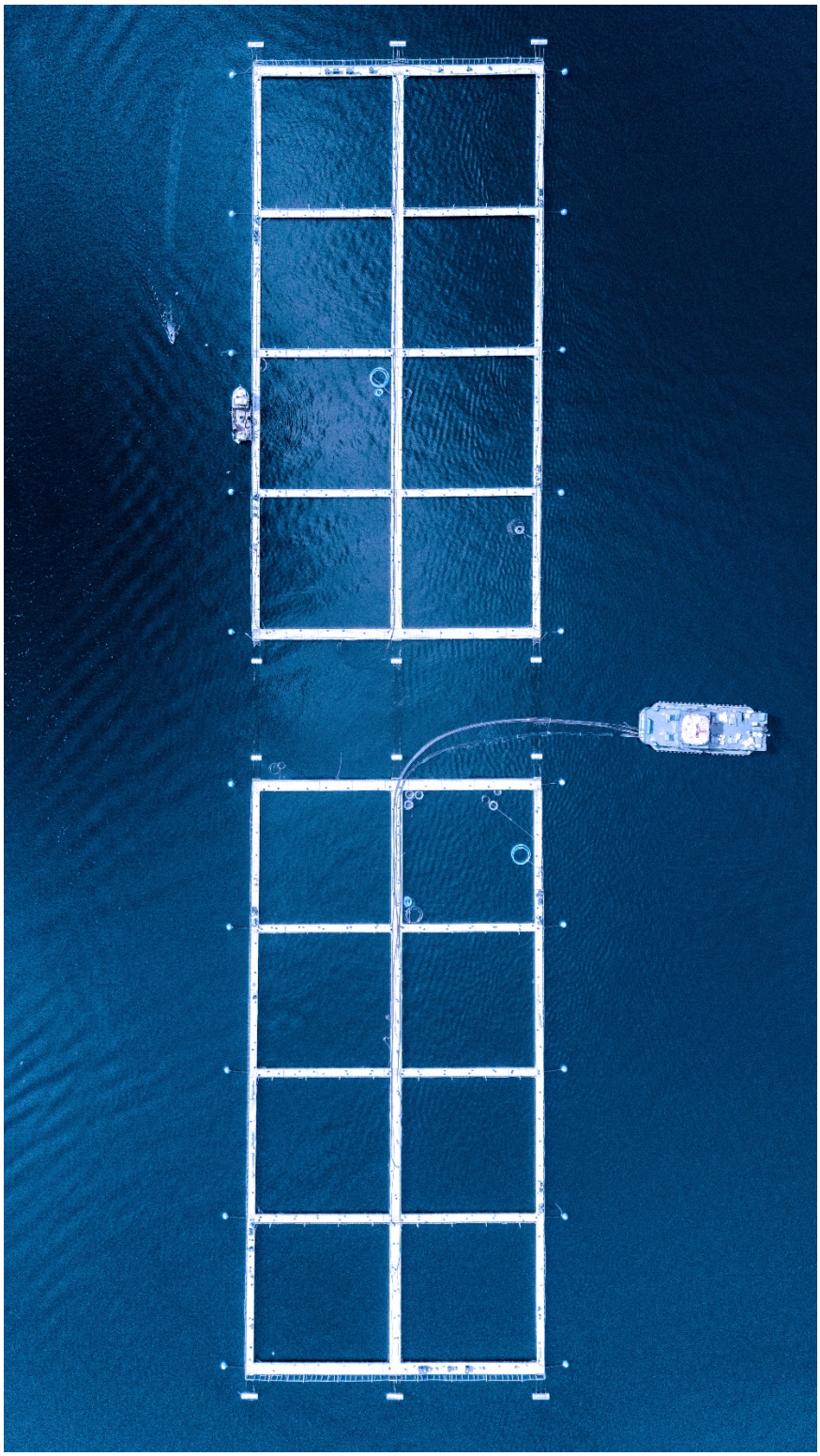
enfocadas en fomentar el crecimiento económico, beneficiaron directamente a la industria sin considerar adecuadamente los efectos ambientales.

Un hito significativo se produjo en 1969, cuando se formalizó un programa para introducir el salmón del Pacífico en Chile. Esto fue posible gracias a un acuerdo entre la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA), la Asociación de Pesca de Japón y la Agencia Nacional de Pesca de Chile. Esta colaboración incluyó la capacitación de profesionales y técnicos chilenos en Japón, y sentó las bases para el despegue de la industria del salmón en Chile, permitiendo desarrollar las capacidades tecnológicas y conocimientos necesarios para la producción local.

La fase industrial y comercial de la salmonicultura comenzó a mediados de la década de 1970, con la instalación de compañías japonesas y holandesas, además de las locales. Fue en este contexto que, en 1976, se creó el Servicio Nacional de Pesca (Sernapesca), la entidad estatal encargada de fiscalizar la producción acuícola. A mediados de los años 80, la industria se encontraba en expansión, con un aumento significativo en la presencia de empresas y la producción, convirtiéndose en una fuente importante de crecimiento económico y empleo, especialmente en las regiones del sur de Chile.

En ese periodo, la estrategia nacional para diversificar las exportaciones impulsó programas en diversos sectores como el frutícola, vinícola, silvicultura, pesca y acuicultura, posicionando a la salmonicultura como un pilar clave. Entre 1985 y 1991, la producción de salmón en Chile pasó de 1.200 toneladas a 60.000 toneladas, llegando en 2020 a su nivel más alto de producción equivalente a 1.043.144 toneladas. Las técnicas de alimentación y limpieza de desechos se perfeccionaron y dieron paso a nuevos procedimientos, adoptando mayores niveles de profesionalización y estándares internacionales.

Desde entonces, la acuicultura se ha consolidado en el territorio con un discurso complejo, basado en la superación del hambre, la generación de empleo y la incorporación de bienes y servicios en los territorios locales. La salmonicultura ha transformado los territorios, no solo desde el punto de vista económico, sino también en términos identitarios, culturales y urbanos.



Balsas jaulas conectadas a pontón de alimentación. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



Embarcaciones trasladando bolsas de alimento para salmón. Fotografía: Sebastián Carvajal. (2024)

En la actualidad, la salmonicultura se ha convertido en el eje central de la acuicultura chilena, enfocándose en el cultivo intensivo de especies como el salmón atlántico, la trucha arcoíris y el salmón coho. Este modelo de producción se basa en el monocultivo de una única especie, cuya alimentación requiere intervención antrópica, principalmente a través del suministro de dietas y la fertilización de las aguas. Este enfoque reduce la diversidad de los ecosistemas y los servicios ambientales que proporciona la biodiversidad, aumentando la vulnerabilidad de los cultivos ante plagas y enfermedades (He et al., 2019).

El acelerado desarrollo de la salmonicultura en las últimas décadas ha implicado la introducción de nuevas infraestructuras y componentes en el territorio, que dan soporte a toda la cadena de producción, distribución y consumo del sistema alimentario del salmón, aspectos que se explorarán en detalle en el apartado siguiente.

PARTE II: INFRAESTRUCTURAS Y COMPONENTES DE LA SALMONICULTURA

EN MAR ABIERTO

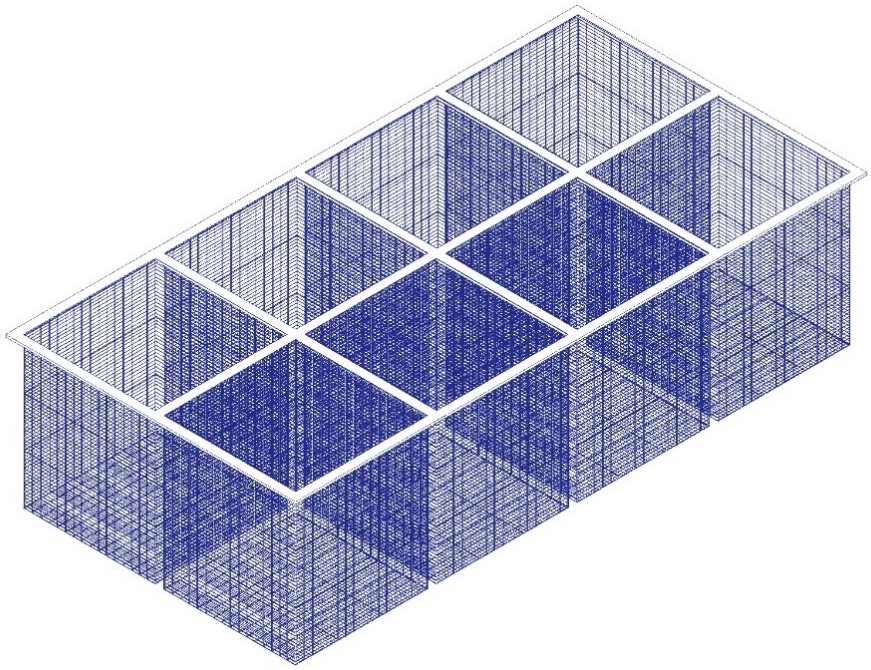
El sistema de infraestructura para la salmonicultura en la Patagonia chilena constituye uno de los mayores despliegues tecnológicos industriales de la región en los últimos años. Estos centros de cultivo en mar abierto, ubicados principalmente en fiordos y canales protegidos, aprovechan las condiciones oceanográficas y climáticas óptimas para la cría de salmón.

En esta sección, se examinan los componentes fundamentales de esta infraestructura, para comprender las lógicas operativas y su influencia en la configuración de sistemas alimentarios a gran escala.

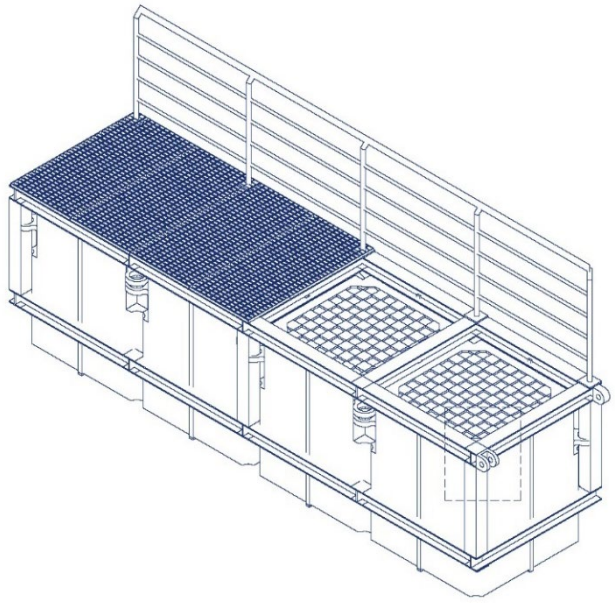
BALSAS JAULAS

Una balsa-jaula es una estructura rígida o semirrígida, se componen de módulos individuales que pueden ensamblarse para formar estructuras de diferentes dimensiones y capacidades. Esto facilita su expansión o modificación según las necesidades de producción y las características del sitio de cultivo. Estas balsas flotan en el agua y se mantienen firmemente ancladas al fondo marino mediante un sistema de fondeo. Suelen estar organizadas en dobles módulos o trenes y varían en geometría, predominando las estructuras cuadradas debido a sus ventajas en términos de uso, manejo, capacidad de mantenimiento y costos (Inostroza Rivas, M. R., 2008). Sin embargo, la elección del tipo de balsa-jaula depende de las condiciones territoriales, hidrológicas y climáticas, lo que requiere configuraciones y cálculos específicos para cada ubicación.

Las jaulas más comúnmente utilizadas en los inicios de la producción en la Patagonia tienen dimensiones de 40×40 metros, pero estos diseños han evolucionado en los últimos años. Actualmente, las empresas han optado por jaulas de 50×50 hasta 80×80 metros, diseñadas para soportar olas de más de 4 metros de altura y corrientes superiores a 2,5 nudos (ABC Salmonicultura, 2024). Además, este modelo de expansión ha sido en parte facilitado por la capacidad modular que tienen los pasillos que componen el perímetro de las balsas jaula.



Esquema balsas jaula de cultivo marino. Fuente: Elaboración Propia



Esquema pasillos flotantes modulares balsas-jaulas. Fuente: Elaboración Propia

PASILLOS Y FLOTADORES

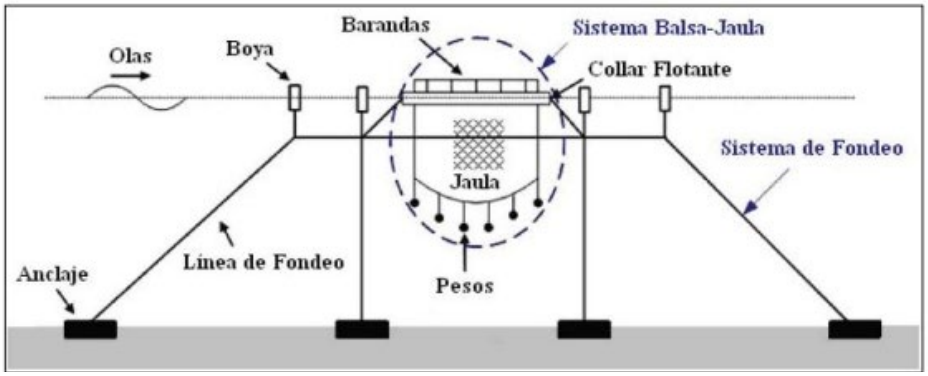
Son estructuras con rigidez variable, que cumplen dos funciones esenciales: proporcionar flotabilidad y estabilidad a la balsa. El sistema de flotación es relativamente sencillo; cada pasillo contiene flotadores de polietileno expandido (o "plumavit"), con un peso específico de 20 kg/m^3. Estos flotadores se colocan bajo la estructura en cantidades que dependen del tamaño de la balsa o del empuje necesario para mantenerla a flote (Inostroza Rivas, M. R., 2008).

RED

La red se sujeta a los elementos estructurales en la parte superior y se mantiene en su lugar con contrapesos en la zona inferior, lo que garantiza que mantenga su forma durante las operaciones. Las redes de malla fina que rodean las jaulas permiten la circulación del agua, previniendo la acumulación de desechos y asegurando la oxigenación de los peces. No obstante, esta apertura al entorno marino también permite que los desechos, como excrementos y alimentos no consumidos, se dispersen en el ecosistema circundante.

FONDEO

Para estabilizar las jaulas, se emplean complejos sistemas de amarre y anclaje al lecho marino. Estos sistemas incluyen cables y cadenas que aseguran las estructuras frente a las corrientes, vientos y marejadas. El fondeo mantiene la estructura flotante en su lugar y evita grandes desplazamientos mediante líneas de anclaje y elementos como boyas y anclas.



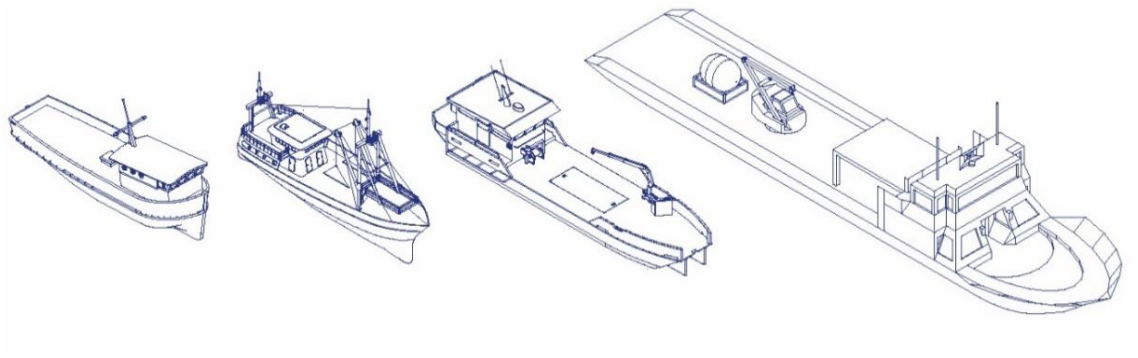
Esquema sistema balsa-jaula fondeo. Fuente: Huang (2006)



Imagen de balsas jaulas flotantes. Fuente: Inostroza Rivas (2008)

EMBARCACIONES

En la salmonicultura, las embarcaciones son elementos integrales del sistema de producción, operando como piezas clave para diferentes etapas del ciclo productivo. Estas van desde pequeñas naves de 7 a 25 metros de eslora hasta embarcaciones más grandes, que superan los 60 metros. Su diseño, capacidad y función están orientados a tareas específicas, formando una red de apoyo que garantiza la eficiencia operativa en los centros de cultivo.



Esquema tipologías de embarcaciones salmonicultura. Fuente: Elaboración Propia

Embarcaciones Menores (7-25 m de eslora):

- **Retiro de Mortalidad:** Retiran los peces muertos, una tarea diaria que evita la acumulación de desechos en las jaulas.
- **Abastecimiento de Insumos:** Transportan alimentos, materiales y personal, asegurando la continuidad de las operaciones.
- **Muestreo y Tratamientos:** Permiten el monitoreo sanitario y la aplicación de tratamientos farmacológicos, que puede implicar hasta 16 aplicaciones por ciclo productivo.

Embarcaciones Mayores (25-60+ m de eslora):

- **Distribución de Alimentos:** Transportan grandes volúmenes de alimento, adaptando su frecuencia de suministro según el crecimiento de los peces.

- **Siembra y Cosecha:** Efectúan labores críticas como la siembra y la cosecha, con operaciones que se extienden por semanas. Durante este procesoe, las embarcaciones pueden realizar operaciones diarias durante 2-3 meses.
- **Montaje y Retiro de Estructuras:** Equipadas para el despliegue y retiro de jaulas y redes, estas naves manejan complejas maniobras, movilizando estructuras que definen el espacio de cultivo, lo que se extiende por un periodo de tiempo que va aproximadamente desde 1 a 2 meses.

El uso de estas embarcaciones implica una alta actividad marítima, especialmente durante la siembra, cosecha y tratamientos sanitarios, lo que requiere una infraestructura portuaria adecuada. Por lo general, se estima que, durante un ciclo de cultivo, al menos 15 embarcaciones operan en un centro, generando una logística dinámica que involucra coordinación entre puertos, muelles, y los centros de cultivo. (Subpesca)



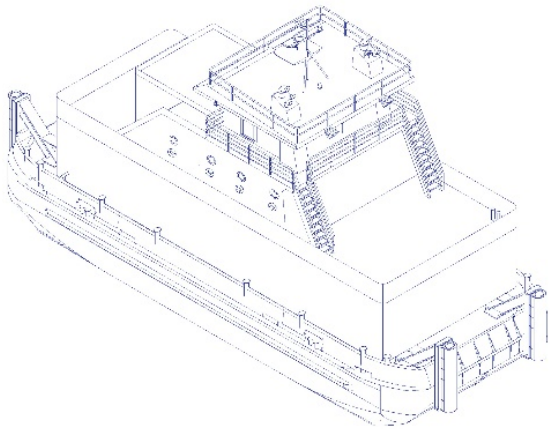
Pescador artesanal junto a embarcaciones prestadores de servicios. Fotografía: Marcos Zegers (2024)

TIPO ACTIVIDAD	TIPO EMBARCACIÓN	FRECUENCIA OPERACIÓN
Siembra	Wellboat	12-15 viajes por ciclo
Fondeo	Nave Mayor	30-60 días, armado de jaulas y Fondeo. Al menos 2 naves
Redes	Nave Mayor o Barcaza	Al menos 1 nave cada 3 ó 4 meses (instalación/retiro de redes)
Retiro de Respel	Nave Mayor o Barcaza	Cada 6 meses
Retiro de Ensilaje	Barcaza	1 nave, retiro mensual
Retiro de Residuos y Otros	Barcaza	1 nave, retiro quincenal o mensual
INFAs	Nave Menor	1 nave cada 2 meses
Traslado Personal	Nave Menor	Diario
Movimientos Internos Centro	Nave Menor	Diario
Movimientos Buceo y Mortalidad	Nave Menor	Diario
Cosecha	Wellboat	2-3 meses cosecha, frecuencia diaria
Monitoreos Ambientales	Nave Menor	2-3 días al mes
Certificación	Nave Menor	2-3 días al mes
Alimento	Nave Mayor	Cada 30 días (inicio) y semanal al final, dependiendo del tamaño de los peces y capacidad de las bodegas
Baños Antiparasitarios	Barcaza	Frecuencia relativa
Abastecimiento de Agua y Otros	Barcaza	1 nave quincenal
Abastecimiento de Combustible	Barcaza	1 nave quincenal
Mantenciones de Jaulas	Barcaza	Trimestre o semestral

Actividad, tipo y frecuencia de embarcaciones en relación a la salmonicultura. Fuente: SUBPESCA

PONTONES DE ALIMENTACIÓN

En estos centros de cultivos se hacen indispensables los pontones de alimentación. Estos artefactos navales están diseñados para cumplir dos funciones clave: almacenar y suministrar el alimento necesario para la engorda de los peces en las jaulas flotantes y proporcionar refugio al personal que realiza estas operaciones. Dado que las actividades de salmonicultura se llevan a cabo en lugares remotos y aislados, con condiciones climáticas extremas y alta pluviosidad, estos artefactos navales deben ser resistentes y autónomos.



Esquema tipología pontón de alimentación. Fuente: Elaboración Propia

Estos pontones son verdaderas "máquinas flotantes," operativas las 24 horas del día, los siete días de la semana, con rotación de personal. Están equipados con sistemas que generan la electricidad necesaria para todas sus funciones, incluyendo la alimentación automatizada de los peces, la desalinización del agua de mar, la gestión de lodos y la transmisión de datos y comunicaciones. El diseño y operación de los pontones deben equilibrar todos estos componentes, considerando factores críticos como el clima, las mareas, la flotabilidad, la humedad y las corrientes marinas para garantizar que puedan resistir las duras condiciones del mar y, al mismo tiempo, ofrecer seguridad y comodidad a los trabajadores a bordo. Este personal, que puede incluir hasta 12 personas en turnos rotativos, depende de la infraestructura del pontón durante largos periodos en entornos aislados. (Undurraga, 2008)

Con los avances tecnológicos y la expansión de la industria hacia zonas más australes, los diseños de los pontones han evolucionado, mejorando significativamente la habitabilidad. Hoy en día, muchos incluyen cocinas, baños, salas de estar e incluso gimnasios, transformándolos en viviendas flotantes capaces de operar en condiciones exigentes y aisladas.

Un ejemplo interesante de esta infraestructura es el pontón habitable desarrollado por el Astillero Sitecna y Camanchaca S.A. Según Undurraga (2008) este proyecto consta de tres partes principales:

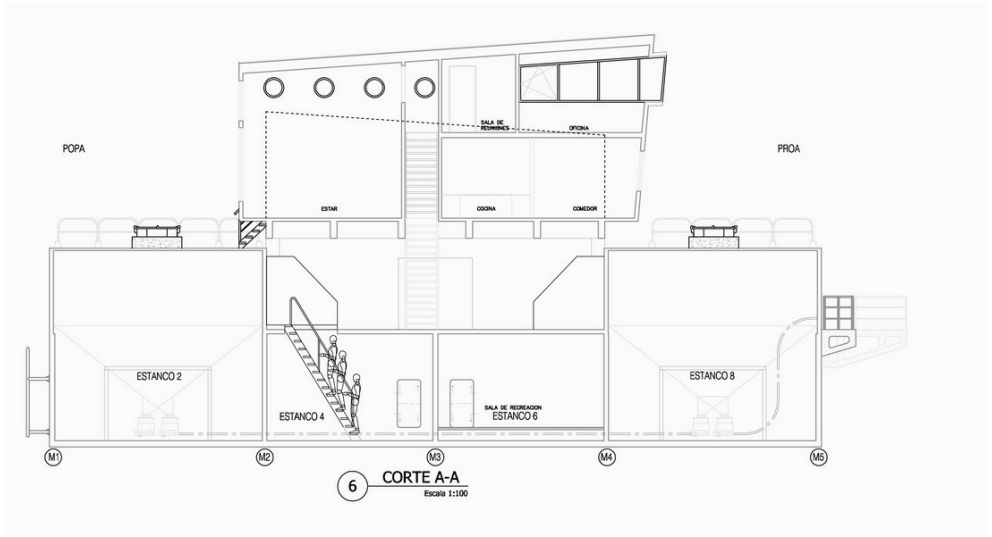
Casco: La base del pontón es una plataforma de concreto con compartimientos estancos que proporcionan la flotabilidad necesaria. Dentro del casco se encuentran cuatro silos con una capacidad total de 240 toneladas de alimento para peces. Además, cuenta con una sala de recreación y capacitación que incluye máquinas de ejercicio y un mini-cine. El casco alberga también diversas tecnologías asociadas, como sistemas de tratamiento de aguas sucias, sistemas de desalinización, sala de máquinas para motobombas, sistemas de generación eléctrica con respaldo, baterías, sensores de inundación y alarmas de humo, así como estanques de combustible y agua potable.

Cubierta Principal: Este espacio operativo, de 14×14 metros, funciona como un patio de servicios donde se realizan múltiples faenas. La cubierta incluye una sala de secado, bodega de alimento, sala de lavado, bodega de herramientas, baño, lavandería y sala de químicos.

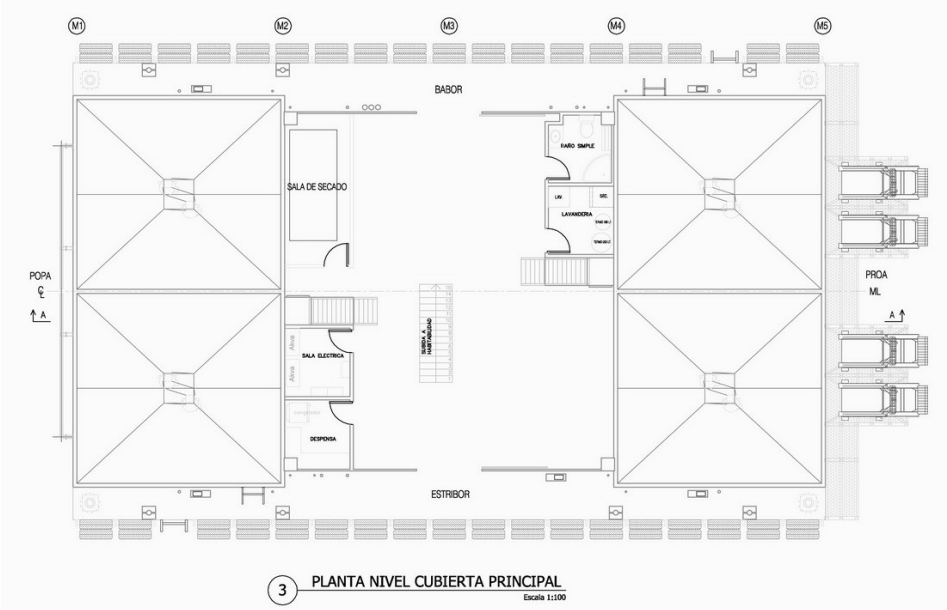
Habitabilidad: La habitabilidad está distribuida en los niveles tercero y cuarto del pontón, destinados a un máximo de 12 usuarios. La forma de la estructura se divide en un gran volumen central y dos volúmenes menores a los costados. El volumen central está orientado a las actividades públicas; mientras que el segundo nivel alberga una sala de reuniones y una sala de alimentación vidriada en tres de sus lados, orientada hacia las jaulas de cultivo. Este espacio funciona como el "puente de mando" del pontón, donde el personal controla la alimentación de los peces día y noche.



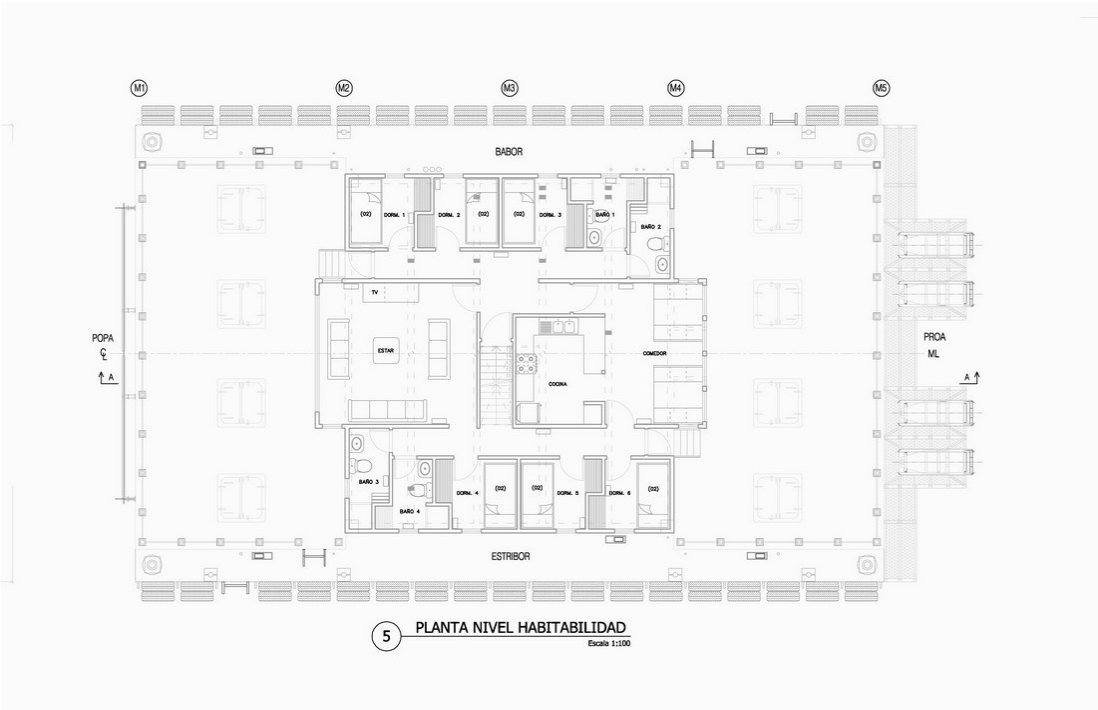
Pontón habitable, Astillero Sitecna y Camanchaca S.A. Fotografía: Francisca Valdés



Corte pontón habitable Astillero Sitecna y Camanchaca S.A. Fuente: Patricio Phillips y Débora Santa María



Planta nivel cubierta principal. Fuente: Patricio Phillips y Débora Santa María



Planta nivel habitabilidad. Fuente: Patricio Phillips y Débora Santa María



Astillero borde-mar reparación de pontones de alimentación. Fotografía: Sebastián Carvajal



Pontón de alimentación conectado a balsas jaulas en mar abierto. Fotografía: Sebastián Carvajal

PARTE III: AUTOMATIZACIÓN

La industria salmonera en Chile ha experimentado un significativo avance en la adopción de tecnologías innovadoras, centrándose en la automatización para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de sus operaciones. En los últimos años, muchas empresas han implementado sistemas de alimentación remotos y automatizados en sus centros de cultivo. La mayoría de estos centros, especialmente en la región de Los Lagos, están conectados a internet, permitiendo un monitoreo constante y en tiempo real de las condiciones de los cultivos, el comportamiento de los peces y la calidad del agua (ABC Salmonicultura, 2024).

La automatización ha traído mejoras considerables en la productividad y el control de los procesos productivos. La tecnología de Automatización Robótica de Procesos (RPA, por sus siglas en inglés) se está utilizando para automatizar tareas repetitivas y mejorar la eficiencia operativa. Esta tecnología permite que "*bots*" de software realicen tareas que tradicionalmente requerían intervención humana, interactuando con aplicaciones y sistemas de información para aumentar la eficiencia y reducir costos (Appel, 2023).

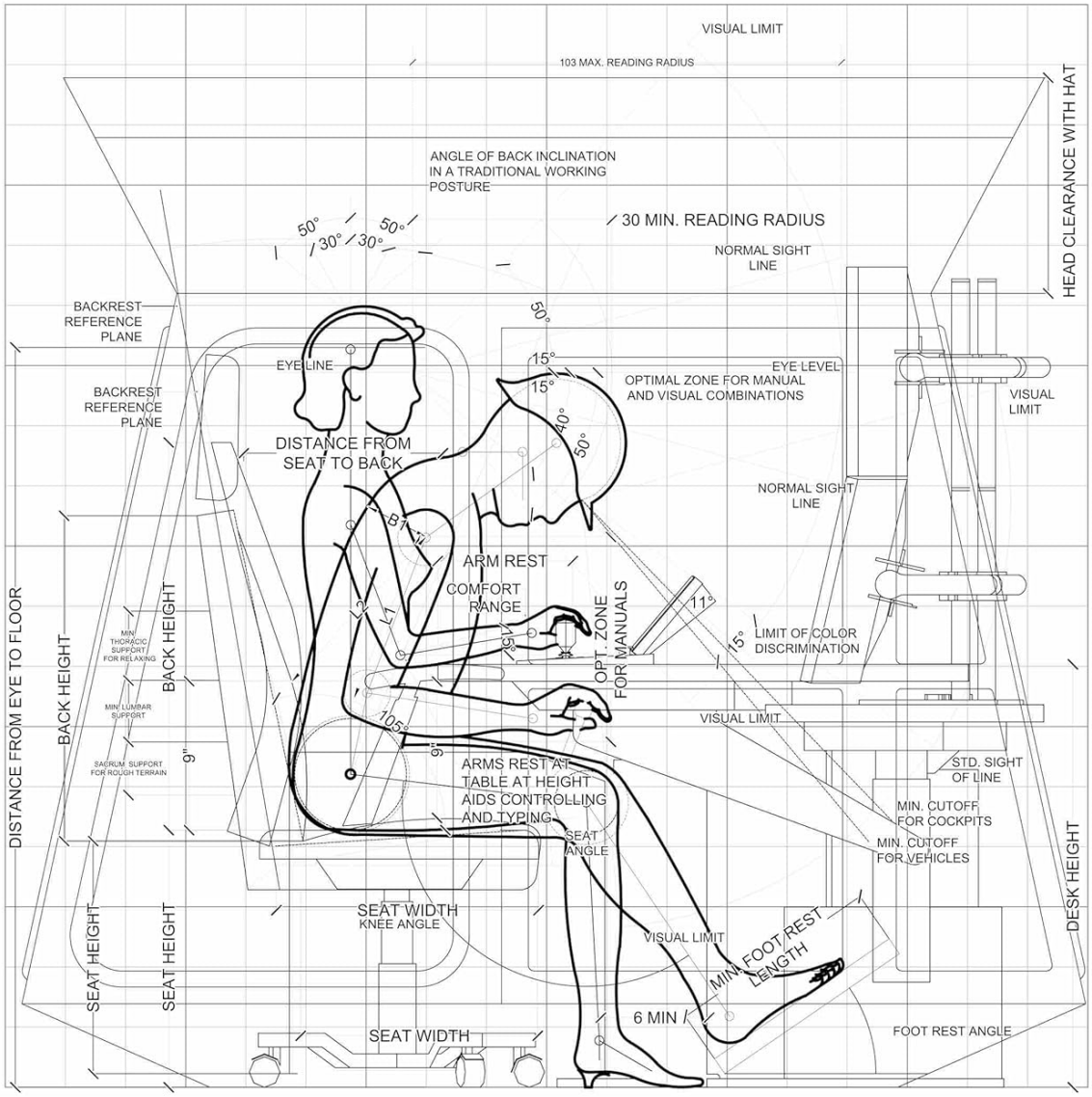
Entre las tecnologías actualmente en uso se encuentran sensores de alimentación, robots submarinos para la limpieza de redes, cámaras subacuáticas para monitorear la salud de los peces y sistemas de análisis de datos que optimizan la alimentación y el crecimiento de los salmones. Estos avances no solo buscan disminuir errores en la cría de salmones, sino que también reducen los costos asociados con el manejo manual, haciéndolo más rentable y eficiente.

Sin embargo, esta tendencia hacia la automatización también acarrea consecuencias significativas para las comunidades locales. La adopción de tecnologías avanzadas ha reducido drásticamente la necesidad de mano de obra local. Actividades que antes requerían la intervención humana, como la alimentación de los peces, ahora se realizan de manera automática o remota. Esto desconecta las operaciones de la industria de las habilidades y oficios tradicionales vinculados al mar.

La dependencia de la inteligencia artificial y las tecnologías automatizadas ha transformado la industria, alejándola de una actividad productiva que involucraba un conocimiento profundo del entorno natural y el uso de mano de obra local, hacia un modelo altamente tecnológico y centralizado. En este proceso, se ha dejado de lado la experiencia acumulada por generaciones de pescadores artesanales, quienes mantenían una relación directa con el territorio, como lo hacían originalmente los primeros habitantes Kawésqar.

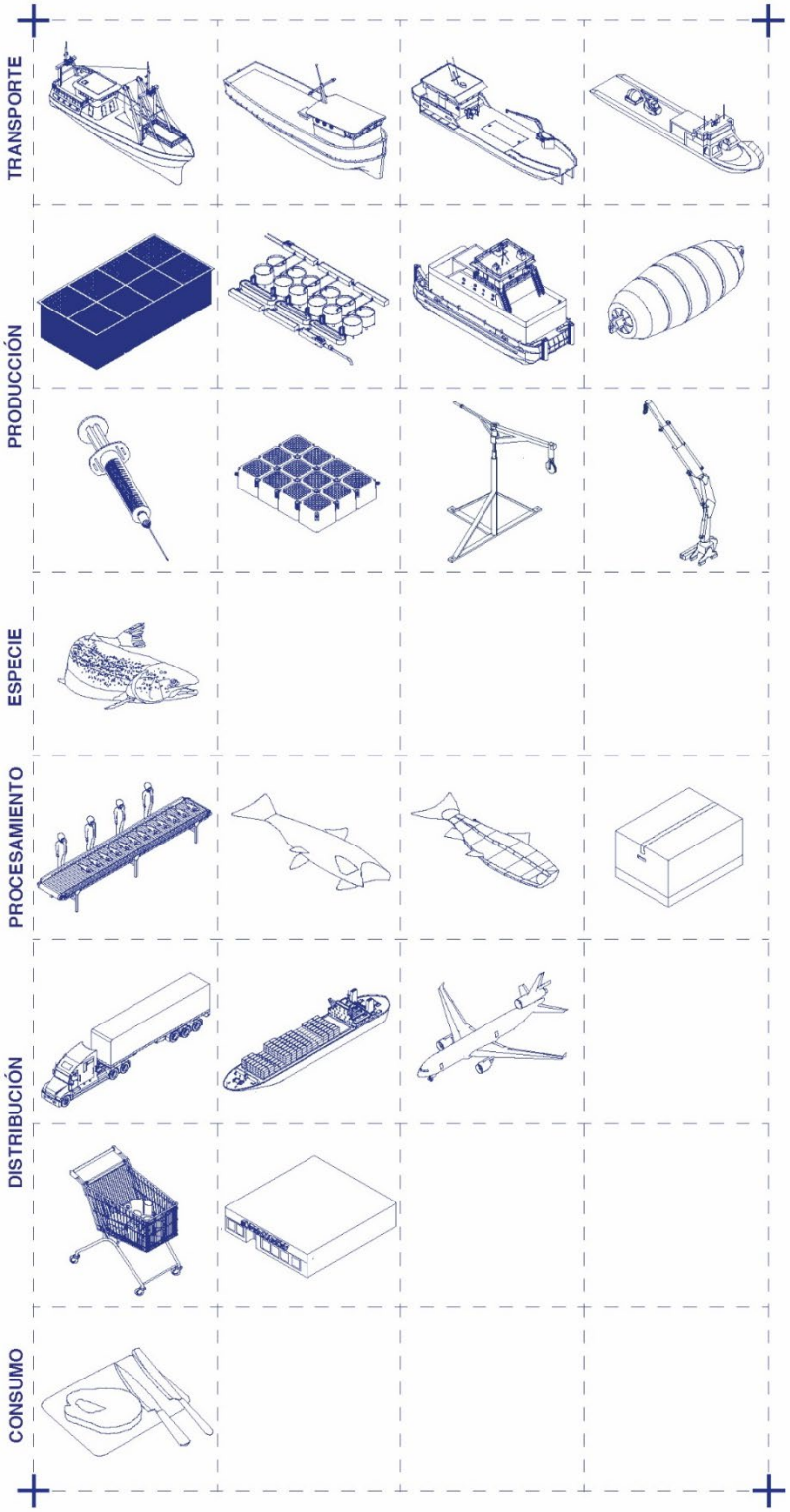
Estos conceptos se alinean con las investigaciones exploradas por Marina Otero Verzier en su investigación Automated Landscapes, donde analiza cómo la automatización redefine los paisajes productivos y la relación entre humanos y máquinas. En Work, Body, Leisure (2018), Otero Verzier destaca cómo la sustitución de la intervención humana por tecnologías automatizadas no solo cambia las prácticas laborales, sino también los modos de habitar y relacionarse con el entorno. De manera similar, la industria salmonera chilena se ha convertido en un paisaje automatizado, priorizando la eficiencia y el control remoto, mientras desplaza los oficios tradicionales de la pesca artesanal y altera el equilibrio social y cultural de las zonas costeras.

La automatización y la innovación tecnológica presentan un dilema, aunque son esenciales para optimizar la producción y satisfacer las demandas del mercado global, también implican el desplazamiento de métodos tradicionales y una disminución de la mano de obra local. Esto crea una desconexión entre la industria y las comunidades que históricamente han habitado y manejado estos territorios.



Operador de cabina de grúa vs operador de control remoto con sistema automatizado.

Recuperado de Work, Body, Leisure, Marina Otero Verzier. Fuente: Hatje Cantz, 2018.



Componentes salmonicultura en procesos de producción, distribución y consumo. Fuente: Elaboración Propia

PARTE IV: PROCESOS DE PRODUCCION, DISTRIBUCION Y CONSUMO DEL SALMON

Para comprender las complejidades del sistema alimentario actual basado en la salmonicultura, es esencial analizar los procesos que lo conforman, especialmente en la Reserva Kawésqar y sus alrededores en la Patagonia chilena. El proceso de cultivo del salmón replica las etapas naturales que un pez experimentaría, pero en un entorno controlado. Este ciclo, que dura aproximadamente tres años (Consejo del Salmón, 2024), se divide en las siguientes etapas fundamentales:

INCUBACIÓN

El ciclo se inicia con la obtención y cultivo de ovas del salmón hembra. Las ovas fecundadas se desarrollan en huevos y, tras un período de incubación de entre 30 y 50 días, nacen los alevines. Esta etapa, de gran delicadeza, se lleva a cabo en agua dulce dentro de pisciculturas ubicadas en zonas industriales terrestres.

DESARROLLO

Una vez que los alevines comienzan a nadar y alimentarse, pasa a la fase de crecimiento y desarrollo en agua dulce. Durante esta etapa, los peces atraviesan el proceso llamado esmoltificación, que implica una serie de cambios bioquímicos, fisiológicos, morfológicos y conductuales que los preparan para continuar su ciclo en agua salada. Esta fase dura entre 8 y 14 meses, dependiendo de la especie.

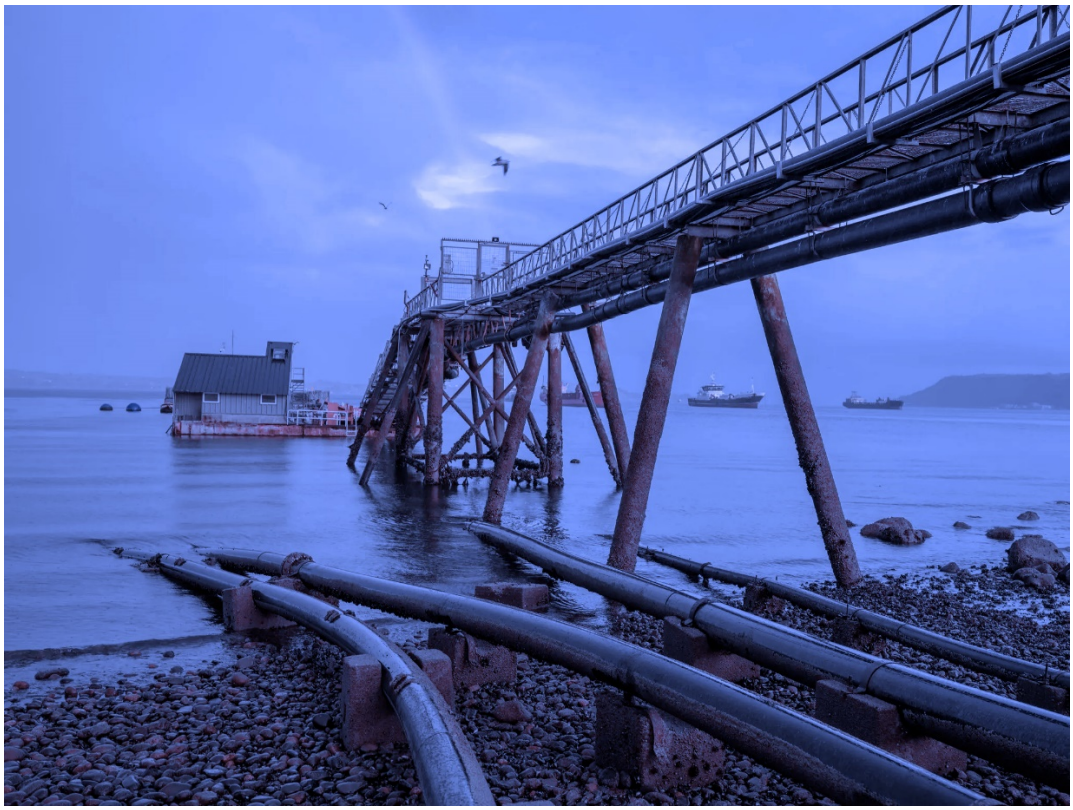
ENGORDA

Posteriormente, los salmones se trasladan a los centros de engorda en mar abierto, donde crecen hasta alcanzar el tamaño adecuado para la cosecha. En estas instalaciones, que consisten en jaulas de cultivo en el mar, se incorporan tecnologías cada vez más avanzadas. Actualmente, la alimentación se realiza de manera remota y automatizada, y se monitorean las condiciones del agua y el entorno. Incluso se utilizan robots submarinos para mantener las mallas protectoras en óptimo estado. Esta fase dura entre 9 y 18 meses, dependiendo de la región y la especie.

PROCESAMIENTO

Una vez que los salmones han alcanzado el peso deseado, se procede a la cosecha. Esta tarea se realiza mediante barcos de transporte llamados "wellboats," equipados para trasladar a los peces vivos en estanques de agua a bordo hacia las plantas de proceso. En algunas ocasiones, los peces son bombeados directamente desde las jaulas a las plantas de procesamiento en tierra. Posteriormente, son descargados en instalaciones cercanas para ser procesados.

El procesamiento incluye la matanza, evisceración, fileteado y empaque del pescado. Las plantas modernas emplean tecnología avanzada, como líneas automatizadas, sistemas de refrigeración y áreas de almacenamiento en frío, lo que garantiza la calidad del producto para su distribución. Aunque estas instalaciones suelen contar con sistemas de tratamiento de residuos, no siempre resultan efectivos, y parte de los desechos puede acabar en los cuerpos de agua cercanos.



Las mangueras succionadoras desde jaulas en el mar hasta las plantas de procesamiento en tierra.

Fotografía: Marcos Zegers (2024)

DISTRIBUCION Y COMERCIALIZACIÓN

La logística de la salmonicultura abarca desde la entrega de alevines y alimento a los centros de cultivo hasta la distribución del producto final a los mercados nacionales e internacionales.

Transporte de alevines y alimento: La fase de cultivo depende del suministro continuo de alevines y alimento especializado. Los alevines, criados en pisciculturas terrestres, son transportados a los centros de cultivo en camiones cisterna con sistemas de oxigenación que los mantienen vivos durante el trayecto. El alimento, compuesto principalmente de harina y aceite de pescado, se distribuye a través de barcos y camiones. Las infraestructuras portuarias, muelles y almacenes de acopio son estratégicos para mantener la operación continua de la salmonicultura.

Distribución del producto: Una vez procesado, el salmón se distribuye en diversas formas, ya sea fresco, congelado, ahumado, enlatado o en formato de paté. El transporte se realiza en camiones refrigerados hasta los puertos y aeropuertos para su exportación. La logística implica redes de frío, sistemas de embalaje y almacenamiento, conformando un complejo entramado que conecta los fiordos y costas de la Patagonia con los mercados locales e internacionales, como Estados Unidos, Japón y Brasil (Subpesca, 2024). Este proceso genera una significativa huella de carbono debido al transporte y a la necesidad de mantener la refrigeración constante.



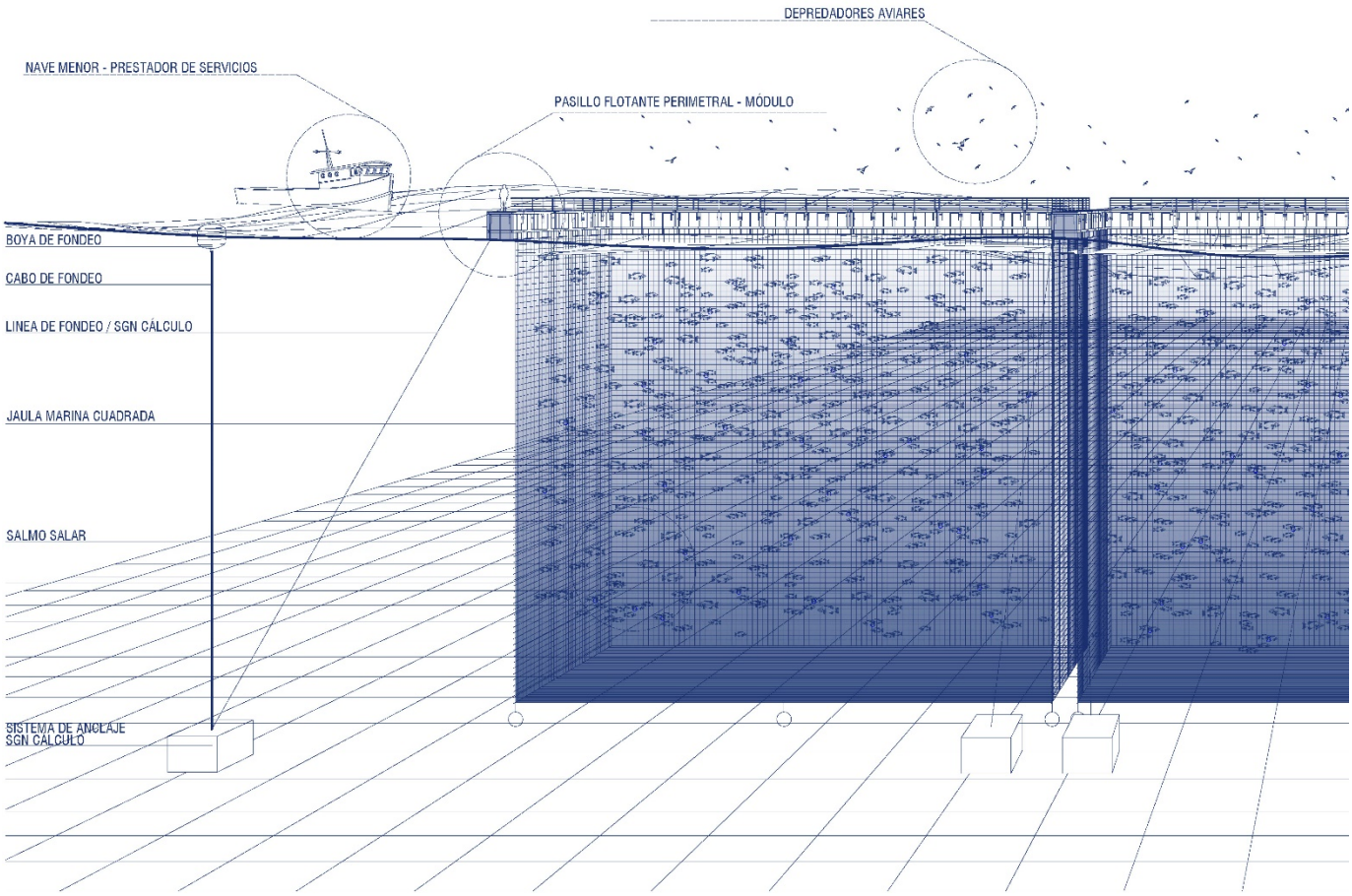
Anuncios de salmón en Patagonia Chilena. Fotografía: Marcos Zegers (2024)

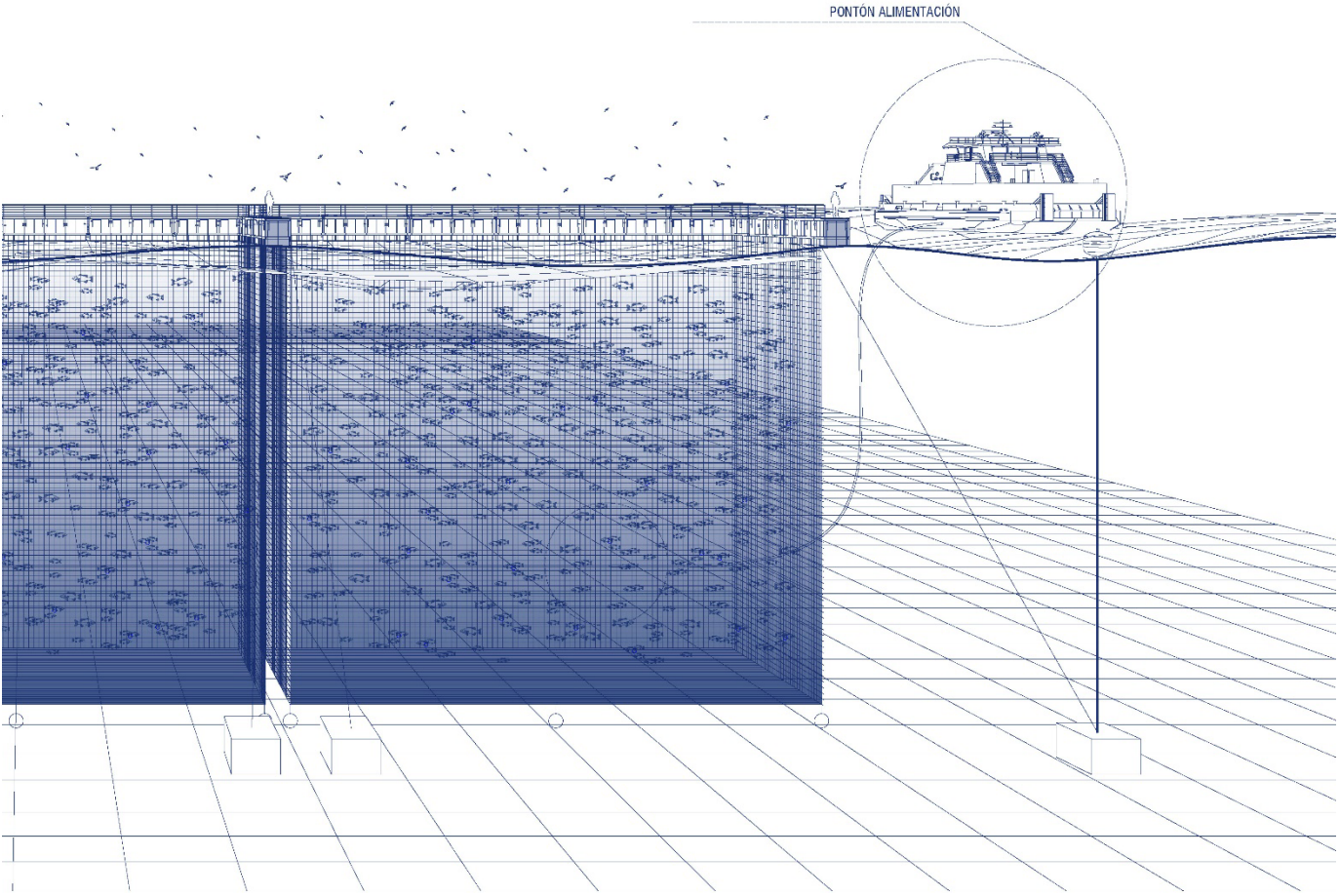
EN TU MESA

El salmón llega al mundo por vía aérea o marítima para ser consumido en el menor tiempo posible por personas en diferentes países. Aunque es un alimento rico en proteínas, omega-3, vitaminas y bajo en calorías, también ha sido expuesto a productos químicos, como antiparasitarios, antibióticos y antifúngicos, que pueden tener efectos negativos en la salud humana (Urbina et al., 2019).

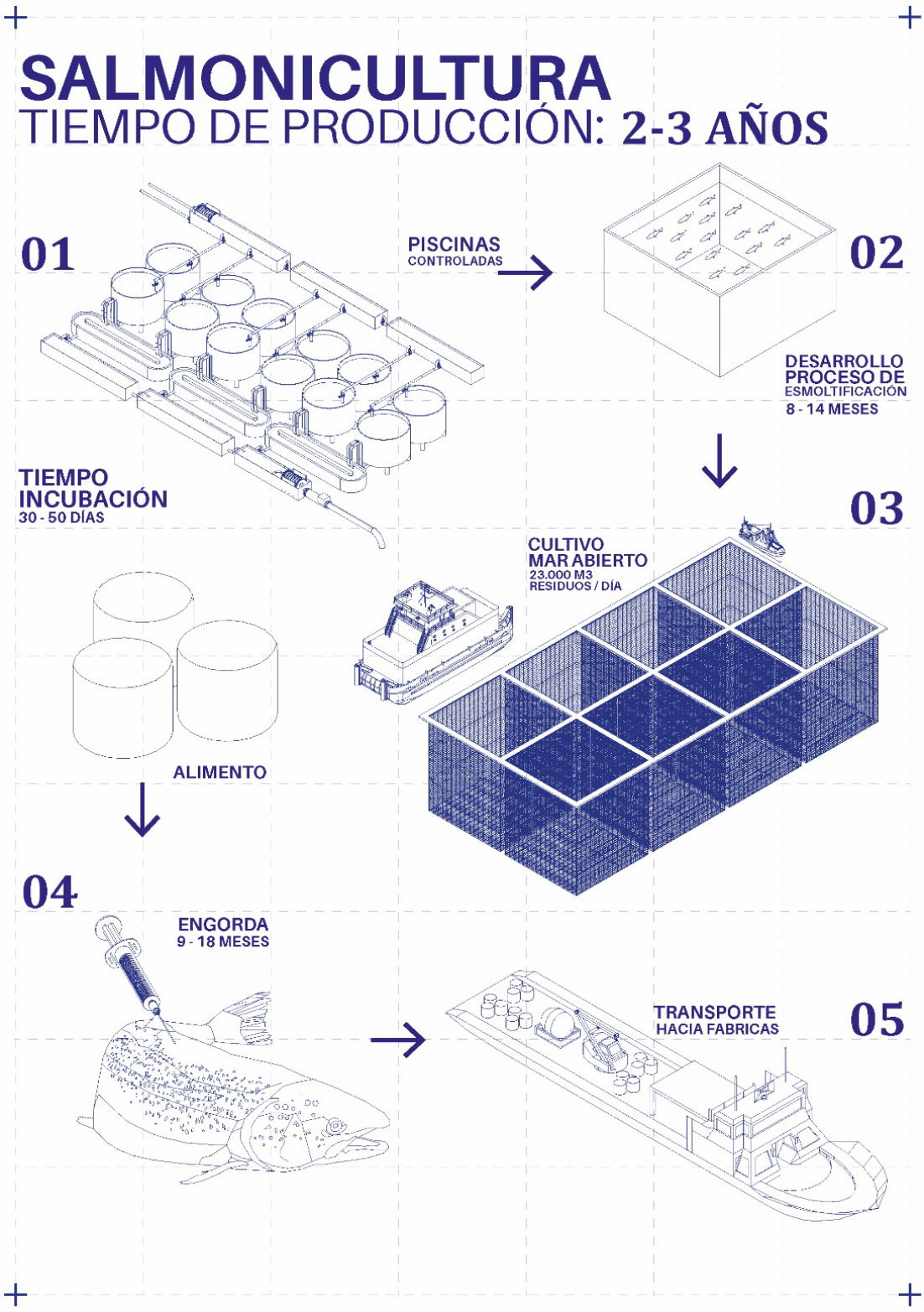


Salmón en un puesto del mercado turístico de Angelmó en Puerto Montt. Fotografía: Marcos Zegers (2024)

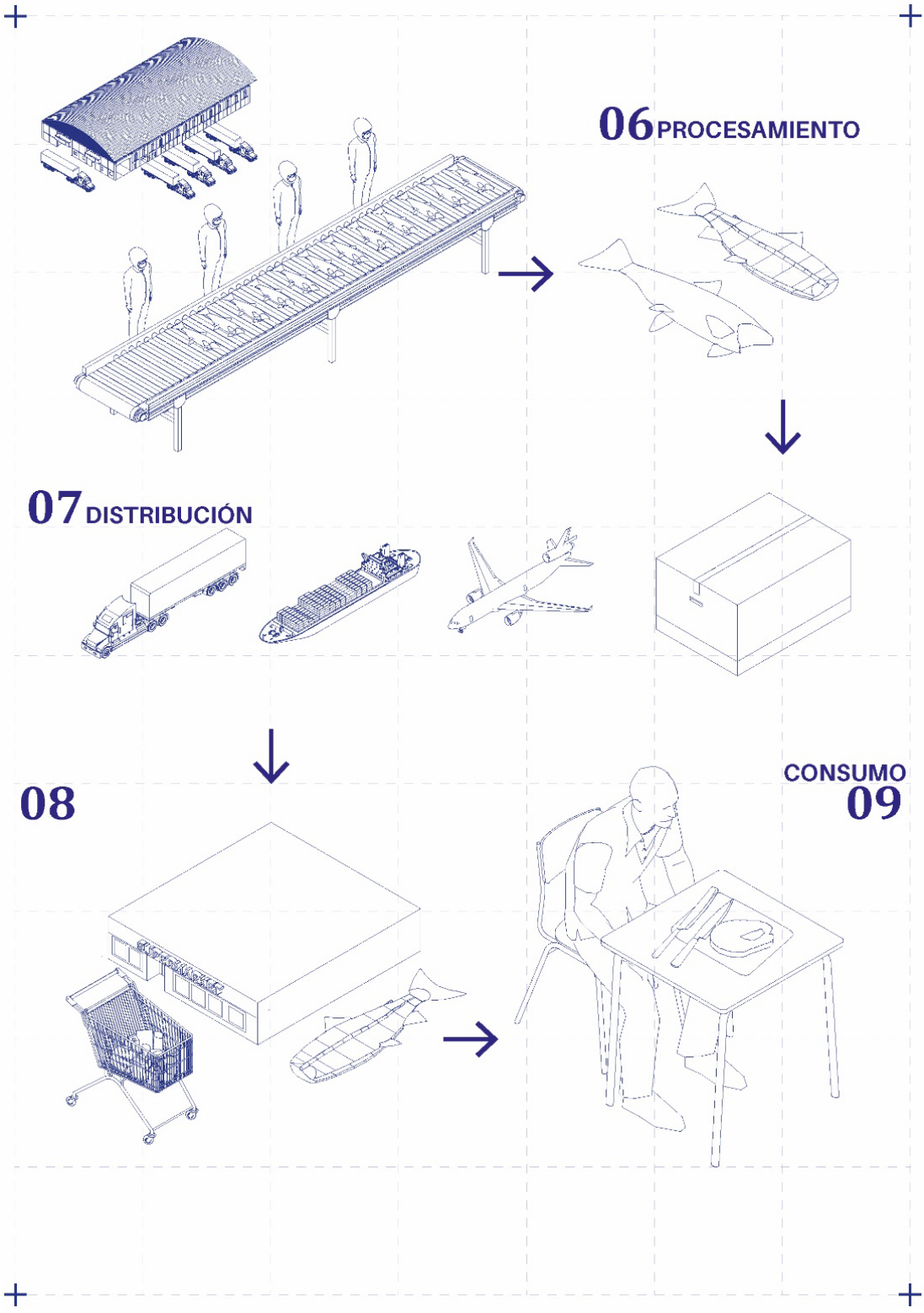

DEPREDADORES AVIARES
NAVE MENOR - PRESTADOR DE SERVICIOS
PASILLO FLOTANTE PERIMETRAL - MÓDULO
BOYA DE FONDEO
CABO DE FONDEO
LINEA DE FONDEO / SGN CÁLCULO
JAULA MARINA CUADRADA
SALMO SALAR
SISTEMA DE ANCLAJE
SGN CALCULO



Corte esquemático balsas-jaulas salmonicultura. Fuente: Elaboración Propia



Producción, distribución y consumo de salmonicultura. Fuente: Elaboración Propia



Producción, distribución y consumo de salmonicultura. Fuente: Elaboración Propia

SALMÓN (COCIDO)	CANTIDAD POR 100 GRAMOS
Calorías	178
Grasas Totales	8 g
Ácidos Grasos Naturales	1.9 g
Colesterol	63 mg
Sodio	52 mg
Potasio	460 mg
Carbohidratos	0 g
Fibra Alimentaria	0 g
Proteínas	24 g

Valor nutricional salmón Fuente: Elaboración Propia en base a datos de U.S. Department of Agriculture

CAPÍTULO III: NUEVOS MODELOS DE CULTIVO MARINO REGENERATIVO

"You never change things by fighting the existing reality. To change something, build a new model that makes the existing model obsolete." - R. Buckminster Fuller

Este capítulo explora los modelos emergentes de cultivo marino que ofrecen alternativas más sostenibles a la salmonicultura tradicional en la Patagonia chilena. Frente a los desafíos ambientales, sociales y económicos que plantean los actuales sistemas alimentarios de cultivo marino intensivo, se propone repensar los modelos a través de sistemas que favorezcan la regeneración de los ecosistemas y el desarrollo de las comunidades costeras. En este contexto, los cultivos extensivos de macroalgas y moluscos, que se alimentan directamente del entorno, surgen como opciones prometedoras. Estos modelos, implementados en la zona austral de Chile y enriquecidos por propuestas internacionales como la agricultura oceánica 3D de GreenWave, buscan desafiar la lógica extractivista de la acuicultura tradicional.

El análisis en este capítulo se centrará en descomponer estas nuevas prácticas productivas, examinando en detalle sus infraestructuras y componentes para comprender sus procesos operativos y su interacción con el entorno. A través de este enfoque, se identificarán las potencialidades y las barreras críticas de estos modelos, proporcionando una visión más profunda sobre su capacidad para impulsar un cambio de paradigma en la futura producción marina.

PARTE I: MODELOS NACIONALES DE CULTIVO MARINO A PEQUEÑA ESCALA

En Chile, la acuicultura a pequeña escala (APE) ha tomado protagonismo como una estrategia para diversificar la economía de las comunidades costeras. Dentro de este marco, el cultivo de macroalgas y moluscos como parte de sistemas de co-cultivo se ha estudiado extensamente, resaltando su potencial para mitigar problemas ambientales y fomentar la regeneración de ecosistemas locales. Investigadores del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) han identificado que los co-cultivos de macroalgas y moluscos bivalvos pueden aportar beneficios significativos al medio ambiente marino. Por ejemplo, en zonas afectadas por eutrofización —altos niveles de nutrientes producidos por actividades humanas— los bivalvos contribuyen a reducir la carga

orgánica y controlar la abundancia de microalgas mediante la filtración, mientras que las macroalgas capturan y consumen nutrientes inorgánicos. Además, estas macroalgas pueden funcionar como agentes biorremediadores en ambientes contaminados por metales pesados, generando un entorno más saludable para la vida marina.

BENEFICIOS DE LOS POLICULTIVOS

En el contexto del cambio climático, la interacción entre las macroalgas y los bivalvos se vuelve fundamental. Las macroalgas, durante la fotosíntesis, consumen CO2, aumentando el pH del agua, lo cual facilita la calcificación en los bivalvos y, en consecuencia, su crecimiento. A su vez, los bivalvos excretan nutrientes y CO2 necesarios para el crecimiento de las macroalgas, creando un sistema biológicamente acoplado y beneficioso.

Este tipo de acuicultura también contribuye a la formación de hábitats emergentes. Los bivalvos y macroalgas que se desprenden durante el cultivo caen al fondo marino, promoviendo la diversidad y abundancia de especies, muchas de ellas con importancia ecológica y económica. Estos hábitats pueden ser manejados y explotados por las comunidades locales, enriqueciendo los ecosistemas y proporcionando recursos adicionales.

GRANJEROS MARINOS

Dentro del contexto de acuicultura regenerativa de menor escala, resulta relevante destacar el caso de estudio de un grupo de “Granjeros Marinos” de Chiloé. Estos productores han implementado un modelo innovador al contar con su propio hatchery (infraestructura especializada en la cría y producción de organismos acuáticos en sus primeras etapas de vida) de menor escala en el interior de un galpón de trabajo multifuncional.

Los granjeros marinos de Chiloé son los únicos en la zona austral que producen sus propias larvas, permitiéndoles llevar un control completo de su proceso productivo. Las larvas cultivadas en su hatchery son luego trasladadas al mar para ser cultivadas directamente frente a sus instalaciones. A pesar de operar a una escala más reducida, cuentan con toda la infraestructura necesaria para un hatchery eficiente y funcional.

Además de sus instalaciones en tierra, este grupo posee tres concesiones de menor escala, que en conjunto suman ocho hectáreas productivas. Estas concesiones destacan por su enfoque en el policultivo, una práctica poco común en la zona austral, donde predominan los monocultivos. Este policultivo incluye una amplia variedad de especies de moluscos y algas, tales como:

- **Moluscos**: Cholga, chorito, choro, ostión de Chiloé, ostión del norte, ostión del sur, ostión patagónico, ostra chilena y ostra del Pacífico o japonesa.
- **Algas:** Chascón o huiro negro, cochayuyo, luche, luga negra o crespa, luga roja y pelillo.

En contraste con otras concesiones de menor o mayor escala, que suelen enfocarse en el monocultivo de una sola especie, esta iniciativa de pescadores artesanales comprueba el modelo de los policultivos regenerativos como modelos sostenibles.



Infraestructura en tierra y concesiones otorgadas para policultivo (polígonos en el mar). Fuente: Elaboración propia con base en información disponible en el Visualizador de Mapas SUBPESCA

GARCIA CAMPOS, JUSTO LORENZO

GARCIA CAMPOS, JUSTO LORENZO	
TITULAR	GARCIA CAMPOS, JUSTO LORENZO
N_PERT	97105043
N_CODIGOCE	102658
ESPECIES	CHOLGA, CHORITO, CHORO, OSTION DE CHILOE, OSTION DEL NORTE, OSTION DEL SUR, OSTION PATAGONICO, OSTRA CHILENA, OSTRA DEL PACIFICO O JAPONESA
TOPONIMIO	BAHÍA HUEIHUE, AL NORTE DE PUNTA CONCURA
T_ESTADOTR	CONCESION OTORGADA
T_GRUPOESP	MOLUSCOS
SUPERFICIE	5
AGRUPCONCE	
COMUNA	ANCUD
REGION	REGIÓN DE LOS LAGOS
CARTAGEOGR	SHOA-7210
Datum	WGS-84
Huso	18 SUR
COORDENADA	S 41°53´57.9400, W 73°30´32.2200 S 41°53´52.4200, W 73°30´27.6800 S 41°53´55.3100, W 73°30´20.4600 S 41°54´2.9400, W 73°30´21.2200
N_RESOLSSP	253
F_RESOLSSP	31-01-2002
N_RESOLSSF	416
F_RESOLSSF	20-02-2002
TIPOPORC	AGUAY FONDO
ESTADO_UOT	CONCESIÓN OTORGADA

GARCIA CAMPOS, JUSTO LORENZO

GARCIA CAMPOS, JUSTO LORENZO	
TITULAR	GARCIA CAMPOS, JUSTO LORENZO
N_PERT	900000813
N_CODIGOCE	101700
ESPECIES	CHASCON O HUIRO NEGRO, COCHAYUYO, LUCHE, LUGA NEGRA O CRESPA, LUGA-ROJA, PELILLO
TOPONIMIO	BAHÍA HUEIHUE
T_ESTADOTR	CONCESION OTORGADA
T_GRUPOESP	ALGAS
SUPERFICIE	0,22
AGRUPCONCE	
COMUNA	ANCUD
REGION	REGIÓN DE LOS LAGOS
CARTAGEOGR	SHOA-7210
Datum	WGS-84
Huso	18 SUR
COORDENADA	S 41°53´44.4400, W 73°30´52.3700 S 41°53´42.3300, W 73°30´49.0800 S 41°53´43.1100, W 73°30´48.7800 S 41°53´45.2200, W 73°30´52.0800
N_RESOLSSP	425
F_RESOLSSP	12-04-1991
N_RESOLSSF	905
F_RESOLSSF	11-05-1995
TIPOPORC	PLAYA
ESTADO_UOT	CONCESIÓN OTORGADA

Fichas técnicas concesiones otorgadas de algas y moluscos. Fuente: Elaboración propia con base en información disponible en el Visualizador de Mapas SUBPESCA

LÍMITES Y ENFOQUE TÉCNICO

Sin embargo, se destaca que el impacto positivo de estos cultivos se limita a operaciones de menor escala y a especies que no requieren alimentación artificial. Los factores críticos, como la selección del sitio y la calidad del material reproductivo, deben ser cuidadosamente considerados. El diseño y la implementación de infraestructuras adecuadas, como áreas de trabajo, plataformas flotantes, líneas long-line para el cultivo de macroalgas y contenedores de agua, son esenciales para el éxito de estos modelos.



Granjeros marinos en policultivo regenerativo. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

PARTE II: MODELO HUIRO REGENERATIVO

El "Huiro Regenerativo" es un proyecto local en la Patagonia chilena que busca una colaboración sostenible entre la industria acuícola y las comunidades costeras. Este modelo fomenta la utilización de concesiones acuícolas compartidas y provee capacitación a pescadores y comunidades indígenas para desarrollar cultivos de algas marinas, especialmente de Macrocystis pyrifera (huiro). La iniciativa se basa en la transferencia de conocimientos técnicos y la integración de saberes locales, promoviendo la regeneración de los ecosistemas marinos.

El enfoque se alinea con el concepto de "concesiones regenerativas," que implica el uso sostenible de espacios marinos para actividades económicas y su devolución en una condición mejorada. El proyecto se plantea tres objetivos: implementar sistemas de cultivo de huiro, impulsar la regeneración ambiental y económica, y transferir conocimientos para la gestión autónoma de las áreas de cultivo.

PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN Y CAPACITACIÓN

La metodología del "Huiro Regenerativo" incluye la capacitación activa de comunidades costeras, enseñando técnicas de cultivo y transfiriendo tecnologías que permiten un manejo eficiente y sostenible. El modelo comunitario no solo desarrolla cultivos en áreas de manejo, sino que también fomenta la creación de un sistema de gobernanza compartida para garantizar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo.

ACTUALES ETAPAS DEL PROYECTO

- **Primeras Cosechas:** Los prototipos de cultivo han permitido realizar cosechas exitosas, validando el proceso y demostrando su potencial productivo.

- **Estandarización de Cultivos**: Se están estandarizando los procesos de cultivo y las metodologías para medir la absorción de carbono y nitrógeno por parte de las algas, con el objetivo de participar en el mercado de bonos de carbono azules.

- **Desarrollo del Semillero de Algas:** Se está creando un semillero utilizando materiales reutilizados, como boyas y cabos provenientes de la salmonicultura, para optimizar la etapa inicial del cultivo y mejorar la rentabilidad.



Cosecha de huiro sobre plataforma flotante. Fuente: Huiro Regenerativo (2024)

PARTE III: MODELO INTERNACIONAL GRANJAS 3D

Este modelo de policultivo integra la producción simultánea de especies como algas, mejillones, vieiras y ostras, mediante una infraestructura de cuerdas con un sistema long-line y andamios submarinos. Las granjas 3D están diseñadas como un sistema de cultivo vertical en capas, anclado al lecho marino con boyas flotantes. Las líneas madre principales, hechas de cuerdas resistentes y cables que pueden alcanzar varios kilómetros, soportan una serie de líneas secundarias para cada especie en sus respectivos dispositivos. Esta disposición tridimensional maximiza el uso del espacio y la productividad en una superficie limitada.

Cada nivel de la granja cumple una función específica: en las capas superiores se cultivan algas, mientras que los colectores de moluscos se colocan en las capas inferiores. Los materiales, como cuerdas de polipropileno y redes sintéticas, se eligen por su durabilidad en las condiciones oceánicas, asegurando una vida útil prolongada. Este diseño de cultivo permite producir hasta 10 toneladas de algas y 250,000 moluscos por acre (0.4 hectáreas) al año, sin la necesidad de fertilizantes, antibióticos o residuos contaminantes (Smith, 2020). Una granja típica bajo este modelo requiere alrededor de 20 acres (8 hectáreas) y un bote, con una inversión inicial entre USD 20,000 y 50,000. Además, estas granjas pueden secuestrar 9,000 kg de dióxido de carbono y 300 kg de nitrógeno anualmente, contribuyendo a la regeneración de los ecosistemas y a la mitigación del cambio climático.



Cosecha de algas desde granjas 3D a través de barco con sistema de polea. Fuente: GreenWave

PRODUCCIÓN EN EL MAR

La instalación de estas granjas comienza con un estudio del lugar y las concesiones estatales apropiadas para la acuicultura, determinando la ubicación óptima. Una vez seleccionado el sitio, se colocan los sistemas de anclaje en el lecho marino para estabilizar las estructuras flotantes, seguidas por las líneas madre y los componentes verticales de cultivo. En la fase de producción, las granjas funcionan autónomamente, aprovechando los nutrientes naturales en el agua marina.

Se utilizan herramientas manuales y equipos técnicos, como embarcaciones menores equipadas con tensores, espigadoras y kits de medición, para ajustar las cuerdas y monitorear el crecimiento de los cultivos. Las estructuras de cultivo cuentan con boyas de flotación, redes de sujeción y cables que deben revisarse y ajustarse regularmente para mantener una productividad óptima.

MONITOREO Y TECNOLOGÍA DE SENSORES

El monitoreo continuo mediante tecnología de sensores es fundamental en la agricultura oceánica 3D. GreenWave emplea boyas inteligentes que miden variables como la temperatura del agua, la altura de las olas, el viento y las corrientes. Esta recopilación de datos permite un enfoque de "agricultura predictiva", optimizando las operaciones y reduciendo riesgos. Por ejemplo, si se detectan cambios en la temperatura o salinidad que puedan afectar el cultivo, los agricultores pueden ajustar las operaciones para evitar pérdidas (GreenWave, s.f.).

DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO

El modelo de GreenWave abarca toda la cadena de valor, desde la cosecha hasta la distribución. La producción se centra en un enfoque local, donde las algas y moluscos se procesan en caletas cercanas, aplicando la filosofía de "kilómetro cero" para reducir la huella de carbono. Las granjas 3D se integran no solo en mercados regionales de alimentos frescos, sino también en sectores como suplementos nutricionales y fertilizantes naturales.

GreenWave colabora con procesadores y compradores de la industria alimentaria para optimizar la distribución, permitiendo que estos productos ingresen a mercados más amplios. El cultivo

multiespecífico ofrece versatilidad, facilitando a los agricultores ajustarse a las demandas de distintos sectores y asegurar ingresos estables. La capacidad de procesamiento local agrega valor y contribuye al desarrollo económico de las comunidades, fortaleciendo la cadena de suministro y fomentando el consumo sostenible.

METODOLOGÍA DE TRABAJO DIARIO

El trabajo en las granjas de GreenWave integra técnicas manuales con tecnología moderna para garantizar un cultivo sostenible. Los agricultores parten diariamente desde las caletas de pescadores locales. Para las labores de cosecha, utilizan embarcaciones de mayor tamaño, mientras que para la siembra y mantenimiento emplean esquifes —pequeñas embarcaciones maniobrables— equipadas con herramientas específicas.

Al llegar al sitio de cultivo, inspeccionan las boyas y cuerdas, ajustándolas mediante tensores y espigadoras para asegurar la estabilidad de la estructura y la salud de los cultivos. Las algas se organizan en filas con espacios entre ellas que facilitan el desplazamiento de las embarcaciones. Estas disposiciones siguen un mapa detallado que registra las fechas de siembra, el origen de las semillas y las condiciones ambientales.

El monitoreo ambiental es una parte esencial del proceso. Se miden la temperatura del agua, el peso y la longitud de las hojas, y se toman muestras para analizar los niveles de nutrientes. También se examinan los puntos de anclaje de las algas, fundamentales para resistir condiciones climáticas adversas. Finalmente, durante la recolección de muestras, se seleccionan esporas para su regeneración en laboratorios y hatcheries, asegurando la continuidad del cultivo.

PARTE IV: INFRAESTRUCTURAS Y COMPONENTES DE LOS CULTIVOS REGENERATIVOS

En esta sección se analizarán las infraestructuras y componentes que sustentan los modelos de policultivo regenerativos de producción de algas y moluscos, con un enfoque particular en las infraestructuras de borde mar. Los hatcheries productivos son una parte esencial de estos sistemas, funcionando como centros de producción de semillas y esporofitos que luego se trasladan a cultivos marinos en sistemas "long-line". Estas infraestructuras permiten una mayor mecanización en la siembra y cosecha, facilitando la creación de ecosistemas verticales densificados y mejorando la adaptabilidad y eficiencia de los procesos.

EN BORDE MAR

HATCHERY

Un hatchery es una infraestructura en tierra dedicada a la producción controlada de semillas de moluscos y esporofitos de algas, diseñada para mantener condiciones ambientales precisas y sostenibles. Estas instalaciones son esenciales para asegurar una producción constante y de alta calidad sin depender de los ciclos naturales de estacionalidad, en donde las condiciones ambientales son reguladas con precisión para favorecer el crecimiento y desarrollo, lo que permite replicar ciclos naturales de manera artificial y sostenida. Tanto las ovas de moluscos como las esporas de algas como el huiro (*Macrocystis pyrifera*) se desarrollan en ambientes controlados hasta alcanzar una etapa adecuada para su traslado a los sistemas de cultivo marino. Los hatcheries pueden operar a diferentes escalas, desde centros de investigación y apoyo local hasta instalaciones comerciales de gran capacidad.

Los hatcheries se enfocan en dos áreas principales: la producción de juveniles y esporofitos y los servicios de acuicultura e investigación. Estas instalaciones no solo garantizan el suministro de material biológico de calidad, sino que también contribuyen al desarrollo tecnológico, la sostenibilidad de las especies cultivadas, apoyo a comunidades costeras y la regeneración de los ecosistemas marinos.



Hatchery de gran escala conectado a mar abierto Centro I-Mar. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

Para este apartado de la investigación se visitaron tres casos de estudio: Fundación Chinquihue, el Centro I-Mar – Metri, y el IFOP, instituciones comprometidas con el desarrollo sustentable del sector acuícola en la zona austral de Chile, lo cual permitió comprender lo siguiente:

COMPONENTES Y PROGRAMAS DE UN HATCHERY

SALA DE LARVAS Y REPRODUCCIÓN – PISCINAS DE CRECIMIENTO

La sala de larvas y reproducción es una de las áreas más importantes de un hatchery, ya que aquí se lleva a cabo el desarrollo inicial de moluscos y algas en un ambiente cuidadosamente controlado. Las piscinas de crecimiento alojan a las larvas de moluscos y a los esporofitos de algas durante sus etapas más vulnerables. Estas piscinas varían en capacidad, desde 100 hasta 5,000 litros, dependiendo de los objetivos de producción y de la escala del hatchery.

El éxito en esta etapa depende de la implementación de sistemas de recirculación de agua, que garantizan una renovación constante y previenen el estancamiento. Se requiere un sistema de filtrado mecánico y biológico que elimine partículas sólidas y mantenga niveles adecuados de

nutrientes y compuestos como el nitrógeno. Además, se utilizan blowers para asegurar una oxigenación óptima, fundamental para el desarrollo saludable de las larvas y esporofitos.

El control de temperatura es otro requisito crítico, ajustado mediante calentadores o enfriadores para mantener el agua en un rango entre 10 y 16 °C. Estas condiciones son esenciales para imitar los entornos naturales y favorecer el crecimiento de los organismos. La combinación de estos elementos permite que las larvas y esporofitos alcancen una etapa adecuada para su traslado a los sistemas de engorde en el mar.

Requerimientos específicos:

- Piscinas de crecimiento: Estanques con capacidades de 100 a 5,000 litros.
- Sistema de recirculación de agua para garantizar una renovación constante.
- Filtros mecánicos y biológicos para eliminar partículas y compuestos nocivos.
- Sistemas de aireación con blowers para mantener niveles óptimos de oxígeno.
- Control de temperatura entre 10-16 °C mediante calentadores o enfriadores.



Sala piscinas-estanques de crecimiento IFOP. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



Sala piscinas-estanques de crecimiento Fundación Chinquihue. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



Sala piscinas-estanques de crecimiento Fundación Chinquihue. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

INVERNADEROS

Los invernaderos desempeñan un papel crucial en el desarrollo intermedio de los esporofitos de algas, proporcionando un ambiente controlado que simula las condiciones de primavera y verano en donde estas especies aumentan sus niveles reproductivos. Esta infraestructura permite optimizar el uso de energía al mantener una temperatura estable en su interior, lo cual es fundamental para estimular la producción de esporas reproductivas a la vez que posterior a la cosecha facilita el secado de las algas.

Los invernaderos están construidos con cubiertas de plástico o policarbonato transparente, que permiten el ingreso de luz solar y contribuyen a la retención de calor dentro del espacio reduciendo el consumo energético. Además, cuentan con sistemas de ventilación que regulan la humedad y evitan el sobrecalentamiento, garantizando un equilibrio óptimo entre temperatura y humedad.

Requerimientos específicos:

- Cubiertas transparentes de plástico o policarbonato para permitir el paso de luz solar.
- Control térmico para mantener temperaturas estables y ahorrar energía.
- Sistemas de ventilación para regular la humedad y evitar el sobrecalentamiento.
- Bancos y soportes para sostener tanques o cuerdas con especies.

SALAS DE AMBIENTE CONTROLADO

Las salas de ambiente controlado son esenciales para las etapas críticas de reproducción, incubación y cría de moluscos y esporofitos de algas. Estas salas permiten un control preciso de las variables ambientales, asegurando condiciones óptimas para el desarrollo de los organismos. A diferencia de los invernaderos, estas salas son completamente herméticas, evitando la interferencia de factores externos y permitiendo una manipulación total de las condiciones internas.

La temperatura se regula de manera constante entre 10 y 16 °C, mientras que la iluminación se programa en ciclos específicos de luz y oscuridad para replicar los ritmos naturales y favorecer el desarrollo biológico. Además, se emplean sistemas de filtrado y esterilización del agua mediante luz ultravioleta (UV) o tratamiento con ozono para evitar contaminaciones.

Las salas están equipadas con mesas de trabajo, tanques de cultivo y equipos de monitoreo que permiten manipular muestras y ajustar parámetros en tiempo real. Este nivel de control es crucial para garantizar altas tasas de fertilización y supervivencia, asegurando la calidad del material biológico que será trasladado al mar.

Requerimientos específicos:

- Hermeticidad para evitar la entrada de factores externos.
- Control de temperatura estable entre 10-16 °C.
- Iluminación programable con ciclos de luz y oscuridad.
- Sistemas de filtrado y esterilización del agua (UV u ozono).
- Equipamiento especializado como tanques de cultivo y mesas de trabajo



Sala hermética-ambiente controlado para la producción de microalgas IFOP. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



Sistemas de proliferación de algas y esterilización del agua (UV u ozono) IFOP. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



Sistemas de proliferación de microalgas en bidones de agua F.Chinquihue. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

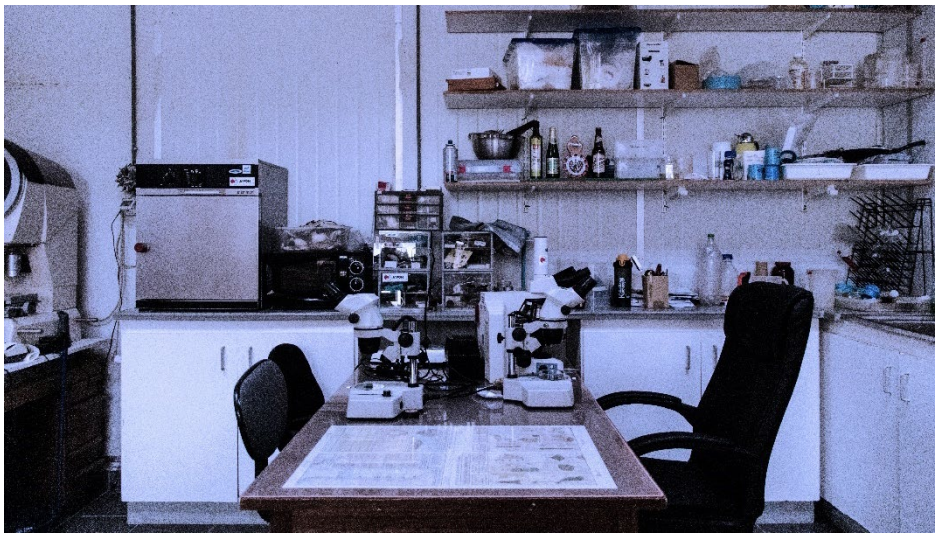
SALA DE MUESTRAS Y LABORATORIO DE ANÁLISIS

El laboratorio de análisis es una parte fundamental del hatchery, destinado a garantizar la calidad del agua y el material biológico producido. Aquí se llevan a cabo estudios detallados para asegurar que las larvas y esporofitos se desarrollen en condiciones óptimas y libres de contaminantes.

Se utilizan microscopios y lupas para observar larvas, esporas y otros microorganismos con precisión. Además, se emplean equipos para medir parámetros como pH, oxígeno disuelto, salinidad y temperatura del agua. También se realizan análisis microbiológicos para detectar posibles patógenos que puedan afectar el cultivo. El laboratorio cuenta con áreas dedicadas al almacenamiento de muestras y registros, facilitando un seguimiento detallado y documentado de los procesos.

Requerimientos específicos:

- Microscopios y lupas para observaciones detalladas.
- Equipos de medición de pH, oxígeno disuelto, salinidad y temperatura.
- Área de análisis microbiológico para detectar contaminantes o patógenos.
- Espacio de almacenamiento para muestras y registros.



Laboratorio y zona toma de muestras Fundación Chinquihue. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

SALA DE PISCINAS PARA INVESTIGACIÓN

En algunos hatcheries, como el Centro I-Mar – Metri, se dispone de instalaciones especializadas para simulaciones experimentales. Centro I-Mar – Metri cuentan con una zona específica poder general simulaciones de resistencia de las especies a situaciones como el cambio climático, generando diversos experimentos para comprender como estas algas o moluscos se pueden comportar en diferentes zonas del planeta como la antártica. Si bien no todos los hatcheries cuentan con este nivel de investigación, me parece importante mencionarlo debido a el potencial que tienen estas infraestructuras frente al cambio global y la utilización de los sistemas de cultivo regenerativos como respuesta a ello. Realizar estudios sobre la resistencia de especies a condiciones extremas, como los efectos del cambio climático.

Requerimientos específicos:

- Piscinas experimentales con sistemas de control ambiental.
- Capacidad para replicar condiciones de diversas zonas, incluyendo regiones polares como la Antártica.



Estanques de agua con Macrocystis pyrifera (huiro) Centro I-Mar. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

SALA DE MÁQUINAS

La sala de máquinas es el corazón técnico del hatchery, donde se concentran los sistemas de soporte necesarios para mantener las condiciones óptimas en todas las etapas de producción. Aquí se encuentran instaladas las bombas de agua, sistemas de filtrado y desinfección, que garantizan el suministro y tratamiento continuo del agua utilizada en las distintas áreas del hatchery.

Esta sala está equipada con bombas de recirculación que aseguran un flujo constante de agua y aire a través de los estanques y piscinas. Se emplean filtros mecánicos y biológicos para eliminar partículas sólidas y mantener el equilibrio químico del agua, evitando acumulación de compuestos dañinos como amoníaco y nitratos. Además, se utilizan sistemas de desinfección UV o de ozono para garantizar que el agua esté libre de bacterias y otros microorganismos patógenos.

Requerimientos específicos:

- Bombas de agua para el suministro y recirculación.
- Filtros mecánicos y biológicos para tratar el agua.
- Sistemas de desinfección UV o por ozono para mantener la pureza del agua.



Instalación bomba de agua hatchery Fundacion Chinquihue. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

SALA DE LAVADO

La sala de lavado es un espacio diseñado específicamente para la limpieza y desinfección de las herramientas, equipos y materiales utilizados en las distintas etapas del hatchery. La correcta limpieza de estos elementos es fundamental para prevenir contaminaciones cruzadas y asegurar la salud de los organismos cultivados.

Este espacio cuenta con superficies resistentes al agua y sistemas de drenaje eficientes que permiten la evacuación rápida de los residuos líquidos. Se dispone de suministro constante de agua, para facilitar el lavado y desinfección de utensilios, redes, mallas y recipientes utilizados en los procesos de cultivo.

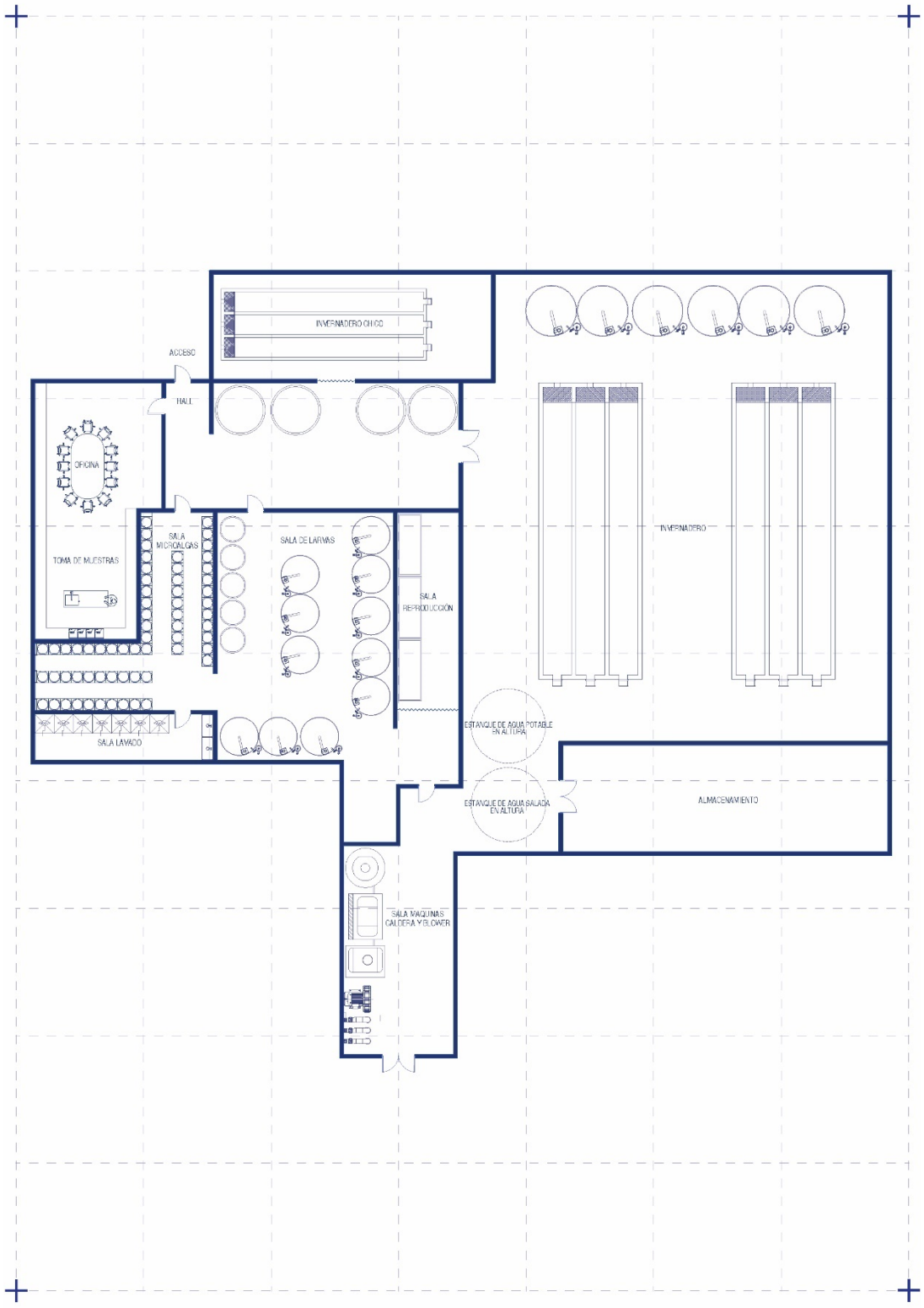
ÁREAS DE ALMACENAMIENTO

Las áreas de almacenamiento son espacios esenciales dentro del hatchery para guardar insumos, materiales y equipos necesarios para las operaciones diarias. Estas áreas están diseñadas para asegurar una organización eficiente y el mantenimiento adecuado de los recursos utilizados en la producción de moluscos y algas.

Se cuentan con zonas específicas para almacenar alimentos, nutrientes, herramientas de laboratorio, redes, mallas y otros implementos necesarios. Además, existen áreas refrigeradas para conservar esporofilas, ovas y muestras biológicas, asegurando que estos materiales se mantengan en óptimas condiciones hasta su uso.

Requerimientos específicos:

- Espacios para alimentos, nutrientes y equipos de laboratorio.
- Zona herramientas
- Áreas refrigeradas para conservar esporofilas y muestras biológicas.



Planta esquemática Fundación Chinquihue. Fuente: Elaboración Propia en base a visita e imagen plano de evacuación

AREA DE TRABAJO ABIERTA

En las infraestructuras en tierra no solo se alberga el hatchery, sino que también se requiere de un espacio o planta de trabajo productiva para el procesamiento de la siembra y cosecha de moluscos y algas. Esta área, muchas veces contenida por una especie de “galpón” integra diversos programas en una planta compacta y semiabierta, lo que optimiza el espacio y las operaciones productivas las cuales varían según la temporada o el tipo de especie cultivada.

En el interior del espacio se encuentran áreas bien definidas que permiten realizar distintas etapas del proceso de cultivo. Cuentan con:

1. **Piscinas de pre-cultivo:** Espacios destinados al crecimiento inicial de las larvas y esporofitos de algas en condiciones controladas.

2. **Zona de piscinas reproductivas:** Obtención de larvas de moluscos y esporas de algas.

3. **Mesón de trabajo amplio:** Un área central para el procesamiento, selección y empaque de los productos cosechados, facilitando las labores diarias y garantizando una distribución eficiente a restaurantes locales.



Galpón de trabajo “granjeros marinos”. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



Galpón de trabajo “granjeros marinos” – zona piscinas. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



Área de trabajo “granjeros marinos” – zona mesón de selección. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

OPORTUNIDADES DE LOS HATCHERIES COMO ARQUITECTURAS ALIMENTARIAS REGENERATIVAS

Los hatcheries representan una infraestructura esencial en la acuicultura regenerativa, ya que permiten garantizar un suministro constante y sostenible de material biológico para el cultivo marino. Estas instalaciones son capaces de simular condiciones ambientales de manera artificial, evitando la dependencia de los ciclos estacionales naturales y asegurando una producción continua y eficiente. Su importancia radica en su capacidad de abordar diversos desafíos ambientales, económicos y sociales mediante la sostenibilidad, la producción comercial, la investigación y el apoyo a las comunidades locales.

SOSTENIBILIDAD Y CONSERVACIÓN

Los hatcheries contribuyen significativamente a la repoblación de especies marinas sobreexplotadas o en riesgo, como moluscos y macroalgas, ayudando a regenerar ecosistemas marinos y mantener el equilibrio ecológico. La producción controlada en estas instalaciones permite reducir la presión sobre las poblaciones naturales, facilitando una gestión más sostenible de los recursos marinos. Además, al promover el cultivo de especies como el huiro (Macrocystis pyrifera) y diversos moluscos, se fomenta la restauración de bosques submarinos y hábitats costeros, que son esenciales para la biodiversidad y la mitigación del cambio climático.

PRODUCCIÓN COMERCIAL

Desde una perspectiva económica, los hatcheries son fundamentales para optimizar la producción comercial de moluscos y macroalgas. Al proveer semillas y esporofitos de alta calidad, se garantiza una cadena productiva eficiente y constante, lo que beneficia a las unidades acuícolas y a las comunidades costeras dependientes de estas actividades. La capacidad de ofrecer una producción continua y controlada reduce los riesgos asociados a las fluctuaciones naturales y permite una rentabilidad sostenida, impulsando el desarrollo económico local y fortaleciendo las economías regionales.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Los hatcheries funcionan como centros estratégicos de investigación y desarrollo, donde se exploran y aplican nuevas técnicas de reproducción, cría y manejo de especies marinas. Estos espacios permiten realizar estudios detallados sobre las condiciones óptimas para el crecimiento de moluscos y algas, así como investigar los efectos del cambio climático y otros factores ambientales. La innovación tecnológica que surge de estos centros contribuye a mejorar las prácticas acuícolas, reducir su impacto ambiental y desarrollar soluciones sostenibles que pueden aplicarse a nivel global. La investigación llevada a cabo en los hatcheries también fomenta la colaboración interdisciplinaria entre biólogos marinos, ecologistas y arquitectos, facilitando enfoques más integrales para la acuicultura regenerativa.

EDUCACIÓN Y APOYO A LAS COMUNIDADES

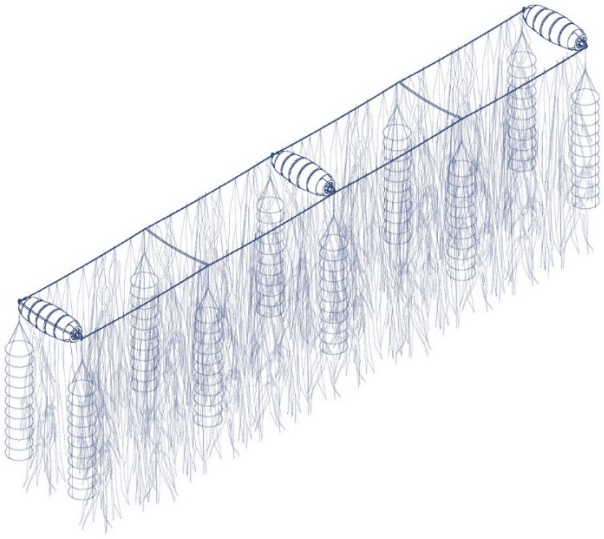
Una de las grandes oportunidades de los hatcheries es su potencial como centros educativos y de capacitación. Muchas personas desconocen los procesos detrás de las arquitecturas alimentarias y las complejidades de la producción de alimentos marinos. Los hatcheries pueden abrir sus puertas a un público diverso, ofreciendo programas educativos que expliquen estos procesos y conciencien sobre la importancia de los sistemas alimentarios sostenibles.

Además, estas instalaciones pueden servir como plataformas de apoyo y capacitación para las comunidades pesqueras locales. A través de programas desarrollados en conjunto con profesionales del área, los hatcheries pueden enseñar a los pescadores artesanales técnicas de cultivo de moluscos y algas, brindándoles nuevas oportunidades de sustento económico. Esta colaboración fomenta la creación de redes de apoyo comunitario, promoviendo una gestión compartida y sostenible de los recursos marinos y fortaleciendo las capacidades locales para implementar prácticas de acuicultura regenerativa.

EN MAR ABIERTO

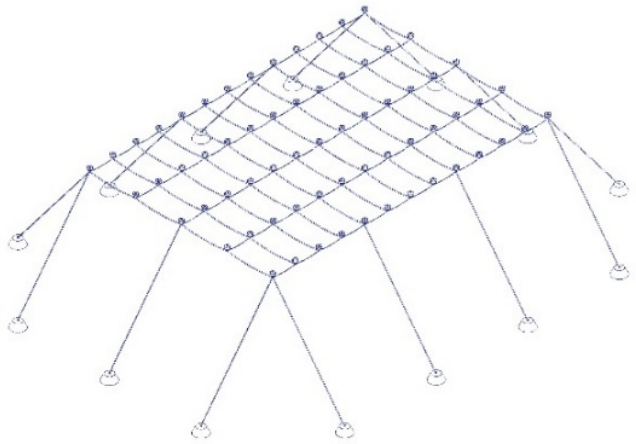
LONG-LINE

El sistema long-line se caracteriza por su adaptabilidad al entorno marino y bajo costo de inversión, además de estar elaborada con materiales locales, como cuerdas y boyas plásticas, conectadas con prácticas tradicionales de pesca artesanal. Consiste en una línea madre, de polipropileno, polietileno o nylon, con un diámetro de 12 a 16 mm y una longitud que puede variar de 100 metros en cultivos de menor escala hasta varios kilómetros en operaciones comerciales, en ella las especies se cultivan separadas a intervalos de 50 cm, lo que permite un control preciso del cultivo y facilita las inspecciones periódicas.



Esquema cultivo long-line doble con algas y contenedores de moluscos semisumergido. Fuente: Elaboración Propia

Esta línea madre se mantiene flotante mediante boyas, flotadores de tubos metálicos, barriles vacíos o poliestireno expandido, y se ancla con bloques de concreto en los extremos hacia el fondo marino. Las dimensiones y el tipo de fondeo se determinan según las condiciones ambientales del sitio de cultivo, como la fuerza del viento y el tipo de suelo. Generalmente, se construyen fondeos de concreto, utilizando un molde de madera de 1 metro de largo por 0.8 metros de ancho.



Esquema de fondeos en red de cultivo. Fuente: Elaboración Propia

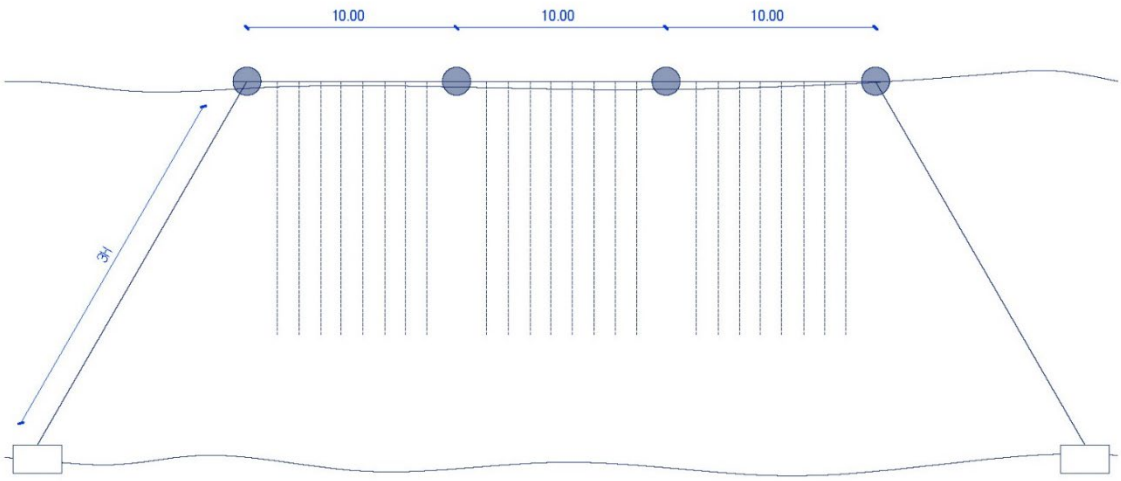
Actualmente en Chile algunos centros de cultivo utilizan long-line dobles, estos se caracterizan por tener dos líneas madres que comparten los dos fondeos y los flotadores, los cuales separan ambas líneas. La ventaja de este sistema es que se emplea menos material y ocupa menos espacio que el long-line simple, pero a la vez aumenta la productividad. Por ejemplo, si estimamos un long-line de 100 m de longitud y el rendimiento de una cuerda de 40 Kg, en condiciones normales la producción estimada de un long-line es de aproximadamente 8 toneladas por año. (IFOP)



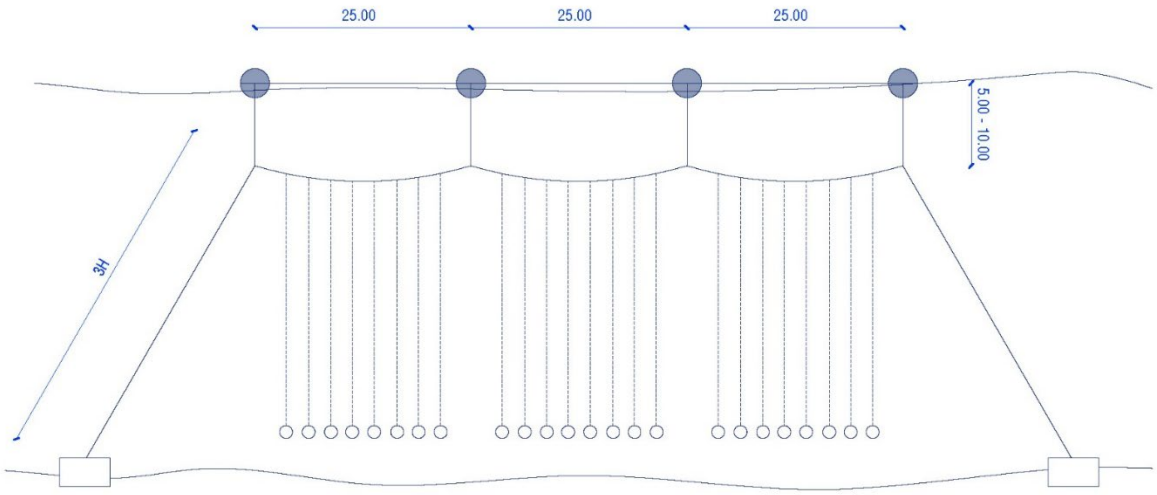
Vista desde bote hacia cultivos marinos en long-line. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



Sistema de cultivo longline doble semisumergido. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



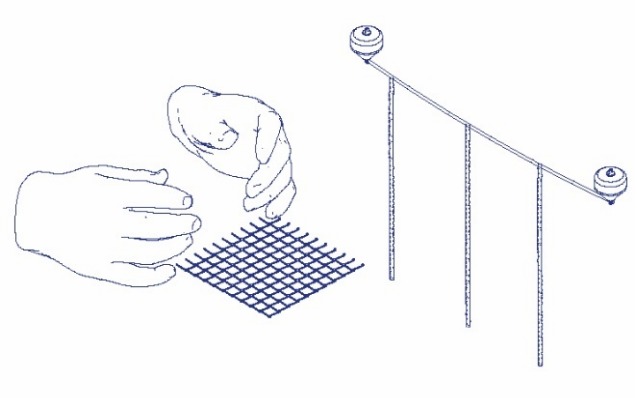
Corte esquemático long-line cultivo semisumergido. Fuente: Elaboración Propia



Corte esquemático long-line cultivo suspendido. Fuente: Elaboración Propia

COLECTORES

Los colectores son elementos diseñados para la captación de semillas de moluscos, consistiendo en tiras de red de pesca reutilizadas. Sus dimensiones y materiales se adaptan a las condiciones del sitio, pero generalmente son de 20 - 25 cm de ancho y 8 m aproximadamente de largo y en su parte inferior se le adiciona un peso para mantener la verticalidad del colector. Los colectores se instalan en las balsas o "long-lines," separados cada 15 a 20 cm entre ellos, esto puede variar dependiendo de la velocidad de las corrientes existentes en el lugar del cultivo, para evitar enredos y garantizar un crecimiento adecuado de los moluscos.



Esquema elaboración de colectores con red de pesca reutilizada. Fuente: Elaboración Propia

CONTENEDORES

Los contenedores son estructuras esenciales para mantener ejemplares de cultivo en suspensión dentro de la columna de agua, optimizando el desarrollo de especies marinas. Su diseño permite aprovechar las corrientes y la calidad del agua para garantizar un crecimiento eficiente y controlado. Están construidos con materiales porosos y resistentes, como mallas plásticas o polímeros reforzados, que permiten un flujo constante de agua a través de ellos. Esto facilita el acceso continuo a nutrientes y oxígeno, elementos fundamentales para el proceso de alimentación y crecimiento de los organismos marinos. Además, su diseño evita la acumulación de desechos y reduce el riesgo de enfermedades al asegurar una renovación constante del agua.

Existen distintos tipos de contenedores que se utilizan según las necesidades del cultivo y el tamaño de los ejemplares. Los más comunes son el Pearl-Net y el Lantern-Net o Linterna de Cultivo:

Pearl-Net: Un dispositivo piramidal con base cuadrada, cubierto con una red plástica ajustable según el tamaño del ejemplar. Cuenta con un cierre para la siembra y cosecha, ideal para semillas.

Lantern-Net: Dispositivo cilíndrico con múltiples niveles, cada uno recubierto por una red plástica ajustable. Cada nivel posee cierres individuales, permitiendo la siembra y cosecha. Es adecuado para el engorde de ostras, ostiones y mejillones.

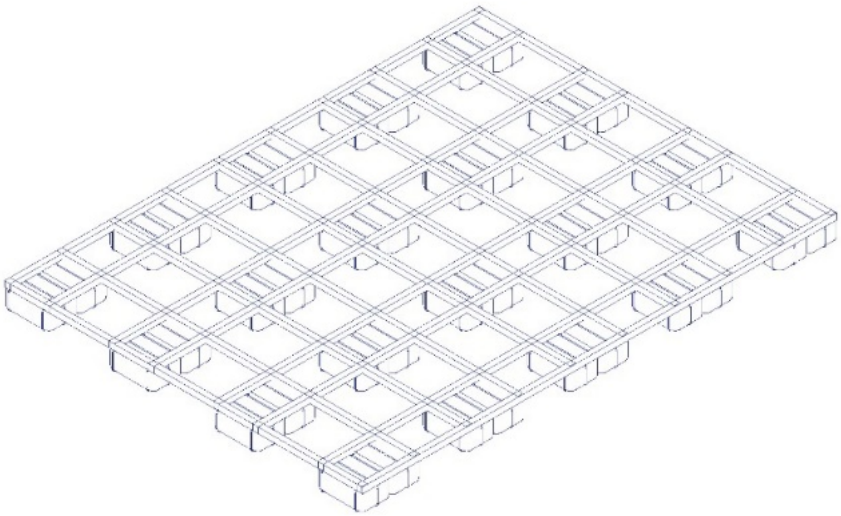


Contenedores de cultivo marino previo a etapa de mar. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

PLATAFORMAS FLOTANTES

Las plataformas flotantes son componentes esenciales en los sistemas de policultivo marino. Están diseñadas para satisfacer las necesidades de producción, las especies cultivadas y las condiciones climáticas específicas de cada ubicación. Estas estructuras poseen una arquitectura adaptable que facilita su expansión o modificación según los requerimientos operativos, garantizando su utilidad a largo plazo. Su diseño incorpora materiales flotantes, como polietileno en las secciones inferiores, lo que proporciona estabilidad y resistencia frente a las corrientes marinas.

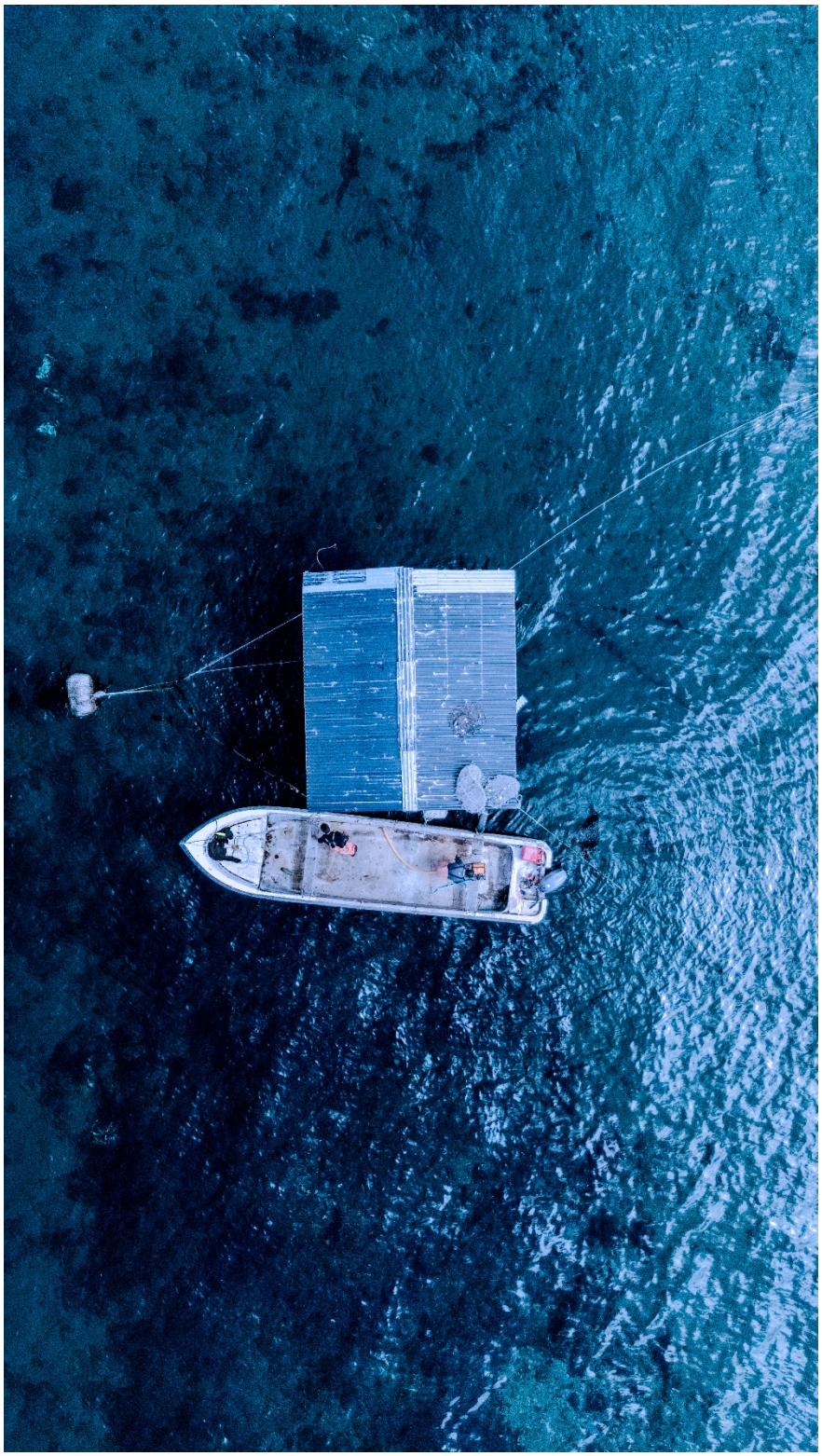
Las principales actividades en estas plataformas incluyen la cosecha y el mantenimiento de cultivos, permitiendo manipular sistemas suspendidos como los longlines, donde crecen algas y moluscos. La flexibilidad de su estructura evita la necesidad de un diseño rígido, lo que permite ajustarlas a distintas etapas del proceso productivo, desde la instalación de cultivos hasta su recolección. A nivel constructivo, estas plataformas presentan desafíos y oportunidades, los cuales se abordarán en el siguiente capítulo.



Esquema sistema de flotación en plataformas. Fuente: Elaboración Propia



Vista drone planta - plataforma flotante industrial. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



Vista drone planta - plataforma “casa” flotante. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

EMBARCACIONES

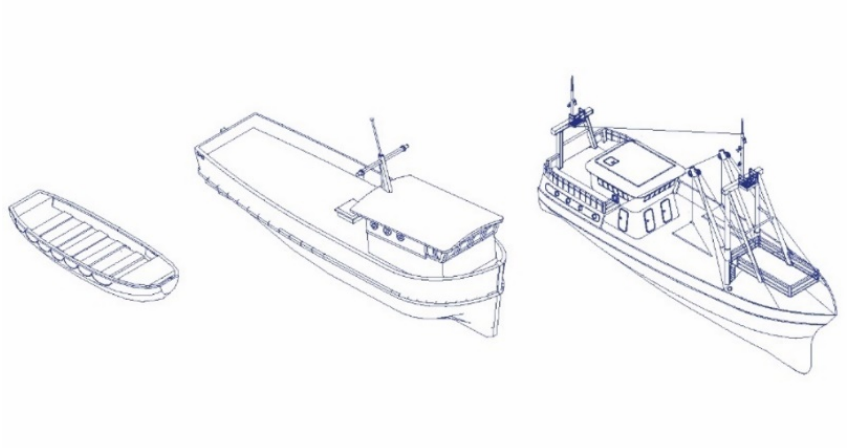
Las embarcaciones artesanales son componentes esenciales del sistema productivo, apoyando tanto la infraestructura marina como las operaciones cotidianas. Debido a la escala de estos cultivos, se requieren embarcaciones de eslora máxima de 18 metros y con bodegas de hasta 80 metros cúbicos. Esto a diferencia de los otros modelos intensivos como la salmonicultura, limita el impacto ambiental y evita el aumento del esfuerzo pesquero, manteniendo la operación sostenible.

De acuerdo con la Ley 21.408, estas embarcaciones deben estar equipadas con áreas destinadas al refugio de la tripulación, tales como cocina, camarotes, baños y zonas de descanso, garantizando la seguridad y navegabilidad durante las operaciones, pudiendo cumplir con los requerimientos para integrarse como elemento de trabajo dentro de los sistemas de cultivo.



Embarcaciones al costado de cultivos marinos. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

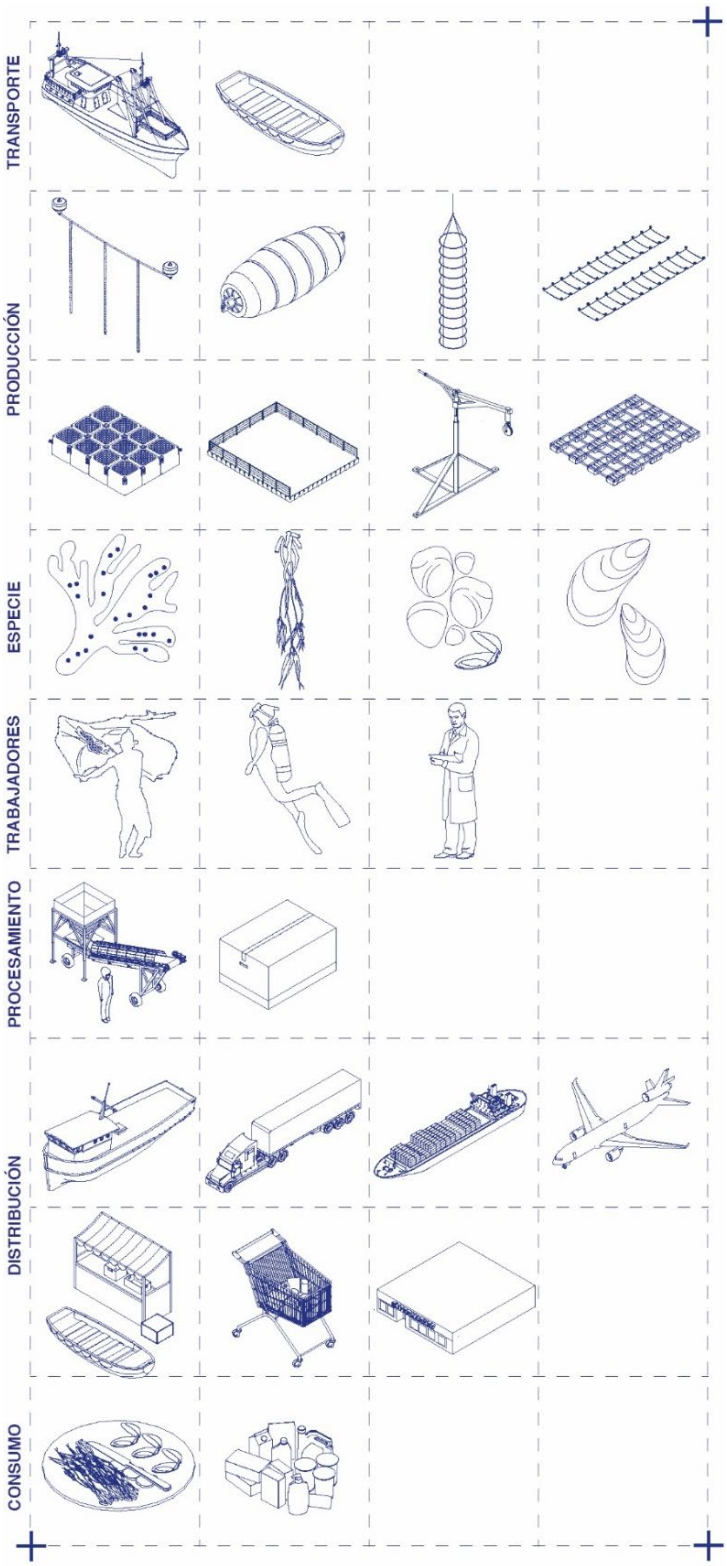
Estas embarcaciones de menor escala son fundamentales en todas las etapas del ciclo productivo, participando en la instalación, traslado, mantenimiento y reparación de los sistemas de cultivo, así como en el ingreso y siembra de ejemplares e insumos. Además, realizan la cosecha y procesamiento de los ejemplares, toman muestras para controles sanitarios, y llevan a cabo monitoreos ambientales. Junto con encargarse del abastecimiento de agua, combustibles y alimentos, y del traslado de personal entre los sitios de cultivo.



Esquema tipologías de embarcaciones para modelo granjas policultivo. Fuente: Elaboración Propia



Barcos escala menor prestadores de servicios a cultivos escala industrial. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



Componentes cultivo regenerativo en procesos de producción, distribución y consumo. Fuente: Elaboración Propia

PARTE V: PROCESOS DE CULTIVO MARINO REGENERATIVO DE ALGAS Y MOLUSCOS

El cultivo marino regenerativo de algas y moluscos representa una oportunidad sostenible para producir alimentos y, al mismo tiempo, contribuir a la regeneración de los ecosistemas marinos. Este proceso integra tecnologías y técnicas de manejo que combinan el cultivo de huiro (Macrocystis pyrifera) macroalga de gran envergadura que puede alcanzar alturas superiores a los 70 metros, utilizado como fertilizante, fuente de alginatos, alimento agrícola y, más recientemente, como alimento humano. Y moluscos como mejillones, ostras y erizos. Ambos productos se desarrollan en sistemas de cultivo dentro de la columna de agua, sin elementos químicos externos y a la vez se utiliza la misma infraestructura para la producción de ambas especies, como los ya mencionados long-line, plataformas flotantes y contenedores especializados.

Los cultivos marinos se desarrollan en dos etapas principales: Proceso en tierra en laboratorios-hatchery y posteriormente la etapa en mar en los cultivos suspendidos. Cada una de estas fases requiere condiciones y procesos específicos para asegurar el crecimiento óptimo y la calidad de los productores generados.

ETAPAS INICIALES: LABORATORIO Y HATCHERY

El proceso comienza con la recolección de esporas de huiro y captación de semillas de moluscos. En el caso del huiro, las esporofilas fértiles se recolectan y se transportan a un laboratorio para inducir la liberación de esporas, que luego se fijan a cabos de polipropileno. Para los moluscos, las larvas se captan naturalmente con colectores (redes de pesca reutilizadas) los cuales son arrojados al mar para que se adhieran a ellas las larvas o también estas se producen en hatcheries, donde se simulan condiciones óptimas de temperatura, salinidad y nutrientes para asegurar un desarrollo controlado.

En esta etapa, se cuidan factores críticos como la temperatura del agua (10-16 °C) y la iluminación controlada para garantizar el crecimiento inicial de los esporofitos de huiro y la fijación de las larvas de moluscos. Por ende, es necesario en general de un espacio cerrado para poder generar estas condiciones de manera artificial.

ENCORDADO Y PREPARACIÓN PARA EL MAR

Una vez que los esporofitos de huiro han alcanzado una longitud adecuada (alrededor de 8 cm), se realiza el encordado en cuerdas de 3-4 mm de diámetro con una densidad de aproximadamente 10 esporofitos por metro. Para los moluscos, se seleccionan las semillas por tamaño y se traspasan a cuerdas de crecimiento siendo enrollados en ella para asegurar su sujeción.



Esquema encordado sobre línea long-line para ser cultivado en mar abierto Fuente: Saavedra, S (2019)



Proceso de cultivo huiro (*Macrocystis pyrifera*) desde semillas a encordado. Fuente: Saavedra, S (2019)



Moluscos en cuerdas de crecimiento. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

ETAPA EN EL MAR

En la etapa en el mar, tanto el huiro como los moluscos se cultivan utilizando las estructuras previamente descritas, como los sistemas long-line y contenedores tipo lantern-net. Estas configuraciones, que pueden extenderse hasta 100 metros de longitud, permiten que los cultivos se mantengan suspendidos en la columna de agua, garantizando una exposición óptima a la luz solar y facilitando el acceso constante a los nutrientes esenciales para su desarrollo. La disposición flotante y vertical de estos sistemas favorece una circulación adecuada del agua, promoviendo un crecimiento más saludable de las especies cultivadas y logrando una integración eficiente con el ecosistema marino circundante.

La información que se presenta a continuación sobre los procesos en etapa de mar se fundamenta en estudios realizados por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP, 2000) y por Saavedra, S., Henríquez, L., Leal, P., Galleguillos, F., Cook, S., y Cárcamo, F. (2019)

SIEMBRA

Huiro (*Macrocystis pyrifera*)

- **Temporada Ideal:** Finales de otoño e invierno (abril a agosto).
- **Motivación:** Las temperaturas más frías favorecen el desarrollo inicial de los esporofitos y reducen el riesgo de proliferación de organismos invasores.
- **Proceso:** Las plántulas se fijan a las cuerdas y se trasladan al mar. Se debe monitorear su desarrollo para evitar acumulación de otros organismos que puedan afectar su crecimiento.

Moluscos

- **Temporada Ideal:** Primavera y verano (octubre a febrero).
- **Motivación:** Durante estos meses, las larvas de moluscos están disponibles en mayor cantidad en el medio natural, facilitando la captación de semillas para su fijación en cuerdas.
- **Proceso:** Las larvas se fijan en colectores o cuerdas de cultivo suspendidas, asegurando una distribución adecuada para evitar altas densidades.

MANTENIMIENTO Y MONITOREO

Durante el proceso en el mar, se lleva a cabo un monitoreo constante de factores como:

- **Temperatura y salinidad del agua**
- **Calidad del agua y nutrientes disponibles**
- **Estado de las líneas y eliminación de organismos no deseados**

El mantenimiento incluye la limpieza periódica de las cuerdas y contenedores para evitar la competencia con otras especies y optimizar el crecimiento de los cultivos.

COSECHA

Huiro (*Macrocystis pyrifera*)

- **Temporada Ideal:** Primavera y verano (septiembre a marzo).

- **Motivación:** Durante estos meses, el huiro alcanza su máximo crecimiento y biomasa debido a la mayor luminosidad y al aumento de nutrientes aportados por las surgencias costeras.

- **Proceso:** Se cortan las macroalgas cuando alcanzan su tamaño óptimo, que suele ser entre 14 y 80 kg por metro lineal de cuerda de cultivo.

Moluscos

- **Temporada Ideal:** Otoño e invierno (marzo a agosto).

Motivación: Las temperaturas más bajas durante esta época favorecen una carne de mejor • calidad y reducen la presencia de parásitos y patógenos.

- **Proceso:** Las cuerdas se extraen de los sistemas de cultivo mediante métodos manuales, semi-mecanizados o mecanizados, dependiendo de la escala de producción. Se realiza el raleo durante el proceso para evitar altas densidades y asegurar el crecimiento uniforme.

PROCESO DE SELECCIÓN Y LIMPIEZA

Tras la cosecha, tanto el huiro como los moluscos pasan por un proceso riguroso de selección, limpieza en piscinas de enjuague y preparación para garantizar su calidad y cumplir con los estándares exigidos para su comercialización.

En el caso del huiro, se seleccionan cuidadosamente las algas según su tamaño, grosor y aspecto visual, eliminando aquellas que presenten daños, contaminación o acumulación de otros organismos adheridos. Luego, se lavan en piscinas de enjuague con agua de mar limpia para remover restos de arena, organismos superficiales y otras impurezas. Este proceso asegura que el huiro mantenga sus propiedades y esté listo para el siguiente paso de secado o conservación.

Para los moluscos, el proceso de selección implica clasificar los ejemplares según su tamaño y calidad de la carne, descartando aquellos que estén dañados o enfermos. A continuación, los

moluscos se sumergen en piscinas de enjuague con agua de mar purificada para eliminar barro, arena y otros contaminantes externos. Esta limpieza es esencial para garantizar la pureza del producto. Posteriormente, se lleva a cabo una depuración controlada, donde los moluscos permanecen en piscinas con agua filtrada y oxigenada durante 24 a 48 horas para expulsar impurezas internas y asegurar que estén listos para el consumo humano.

ESCALA LOCAL

En Chile, la distribución de productos marinos a escala local se realiza principalmente mediante embarcaciones artesanales de tamaño medio. Las cosechas de moluscos y algas son transportadas directamente desde los centros de cultivo hasta muelles y caletas locales, donde se entregan y venden como productos frescos. Estas caletas desempeñan un papel fundamental en la logística, permitiendo un manejo eficiente que asegura la conservación de la calidad del producto.

La población chilena tiene una tradición de consumo de mariscos, como mejillones, almejas y ostras, que forman parte de su dieta cotidiana. Sin embargo, a pesar del alto valor nutricional de las algas, como el huiro (Macrocystis pyrifera), su consumo aún no se ha masificado. La falta de información sobre sus beneficios ha limitado su incorporación en la alimentación diaria, siendo el cochayuyo una de las pocas especies ampliamente consumidas en el país. Fomentar campañas de educación y promoción puede ayudar a diversificar el consumo local y revalorizar estos recursos marinos.

ESCALA NACIONAL E INTERNACIONAL

En una escala mayor, los moluscos destinados a los mercados nacionales e internacionales son empacados en bolsas de nylon y transportados en embarcaciones hacia plantas de depuración o fábricas procesadoras. En estas instalaciones, cada operario manipula aproximadamente 200 kg de moluscos por jornada de 8 horas. La mecanización es mínima para evitar daños en las conchas y prolongar la vida útil del producto durante el transporte. En épocas de calor, se utilizan camiones

refrigerados para mantener la frescura hasta su destino final. Los moluscos más pequeños son enviados a fábricas enlatadoras para su procesamiento y comercialización. (IFOP.2000)

A nivel industrial, el mejillón chileno es el molusco más destacado, con una producción concentrada en la zona austral del país. En 2021, la producción superó las 425.000 toneladas, posicionando a Chile como el segundo mayor productor mundial y el principal exportador. En 2023, se exportaron 98.000 toneladas, generando ingresos por 271 millones de dólares. Los principales mercados de exportación incluyen España, Rusia, Estados Unidos, Francia, Italia, Tailandia y Reino Unido, que concentran más del 65% de los envíos (Sernapesca, 2023).

Por su parte, las macroalgas como el huiro se someten a procesos de secado en fábricas especializadas antes de su exportación. Estas algas son comercializadas en diferentes formas y tienen aplicaciones en diversas industrias:

- **Cuidado personal y cosmética:** Utilizado en productos faciales y corporales por sus propiedades hidratantes y antioxidantes.
- **Fertilizantes agrícolas:** Empleado como fertilizante natural para mejorar el suelo y aportar nutrientes esenciales.
- **Fuente de alginatos:** Extraídos del huiro para ser usados como espesantes y estabilizantes en las industrias alimentaria, farmacéutica y textil.
- **Alimento agrícola y humano:** Incorporado en la alimentación animal y en gastronomía internacional como ingrediente en sopas, ensaladas y productos procesados.

PARTE VI: POTENCIALIDADES Y BARRERAS CRÍTICAS DE LOS NUEVOS MODELOS DE CULTIVO

Los nuevos modelos de cultivo marino regenerativo, ofrecen beneficios alineados con los objetivos de sostenibilidad marina. Ecológicamente, estas prácticas promueven la restauración de ecosistemas, aumentan la biodiversidad y contribuyen a la captura de CO_2, crucial en la lucha contra el cambio climático. Al integrar algas y moluscos en sistemas multiespecífico de policultivo,

se pueden aprovechar sus propiedades como biofiltros naturales, mejorando la calidad del agua y regenerando hábitats degradados. Además, estos cultivos ocupan menores áreas de intervención gracias a su alta densidad vertical.

Económicamente, estos modelos ofrecen alternativas sostenibles a las prácticas extractivistas tradicionales, permitiendo a las comunidades costeras diversificar sus actividades y generar nuevas fuentes de ingresos. La creciente demanda internacional de productos como algas y moluscos crea oportunidades de mercado que incentivan prácticas respetuosas con el medio ambiente. La implementación de estos modelos empodera a los pescadores artesanales, facilitando su participación en la economía azul y fortaleciendo la gobernanza local de los recursos marinos. (FAO. n.d)

Sin embargo, estos modelos enfrentan barreras importantes. Social y culturalmente, la falta de familiaridad con las algas y moluscos como alimentos limita su aceptación en el mercado interno. Aunque esta tendencia está cambiando, el consumo mundial de alimentos acuáticos pasó de 28 millones de toneladas en 1961 a 158 millones en 2019 (FAO. n.d), reflejando una mayor demanda global.

Desde un enfoque logístico y económico, las comunidades locales carecen de información y recursos para implementar estas prácticas. La burocracia en la obtención de permisos y la falta de infraestructura de procesamiento dificultan su aplicación, especialmente en regiones remotas como la Patagonia. Además, la competencia con la pesca industrializada, que opera a gran escala y con frecuencia incurre en sobreproducción, complica la comercialización de productos sostenibles.

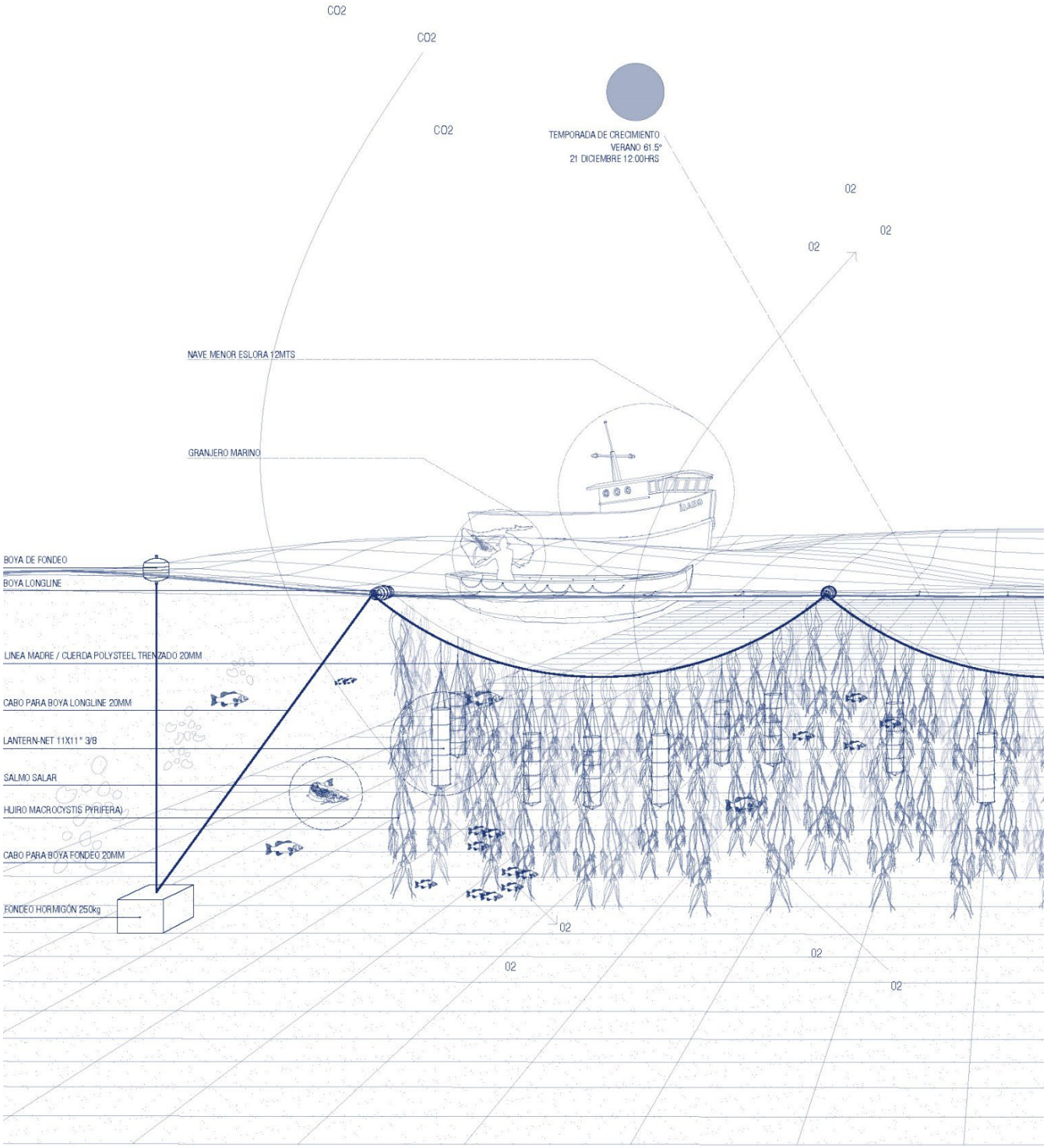
Por último, factores climáticos y medioambientales, como la variabilidad de la temperatura del mar y la acidificación oceánica, afectan la viabilidad de estos cultivos. Superar estas barreras requiere un sólido apoyo estatal mediante políticas públicas que impulsen estos modelos regenerativos. Asimismo, es fundamental fomentar alianzas con el sector privado que reconozcan el conocimiento local y promuevan colaboraciones con las comunidades costeras, integrando sus saberes y proporcionando un soporte económico sostenible.

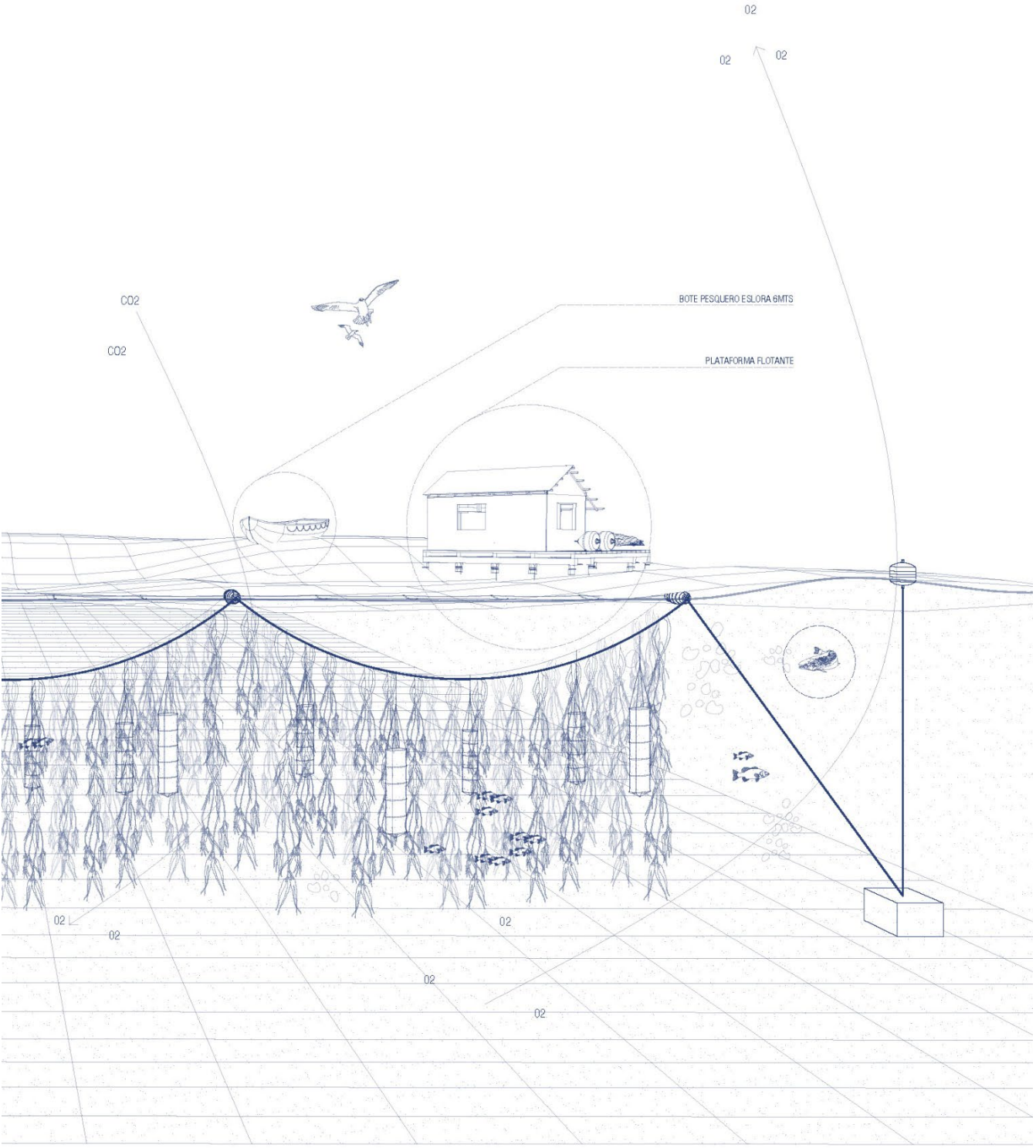
ALGA COMESTIBLE	CANTIDAD POR 100 GRAMOS
Calorías	306
Grasas Totales	0.3 g
Ácidos Grasos Saturados	0.1 g
Colesterol	0 mg
Sodio	102 mg
Potasio	1.125 mg
Carbohidratos	81 g
Fibra Alimentaria	8 g
Azúcares	3 g
Proteínas	6 g

Valor nutricional alga comestible Fuente: Elaboración Propia en base a datos de U.S. Department of Agriculture

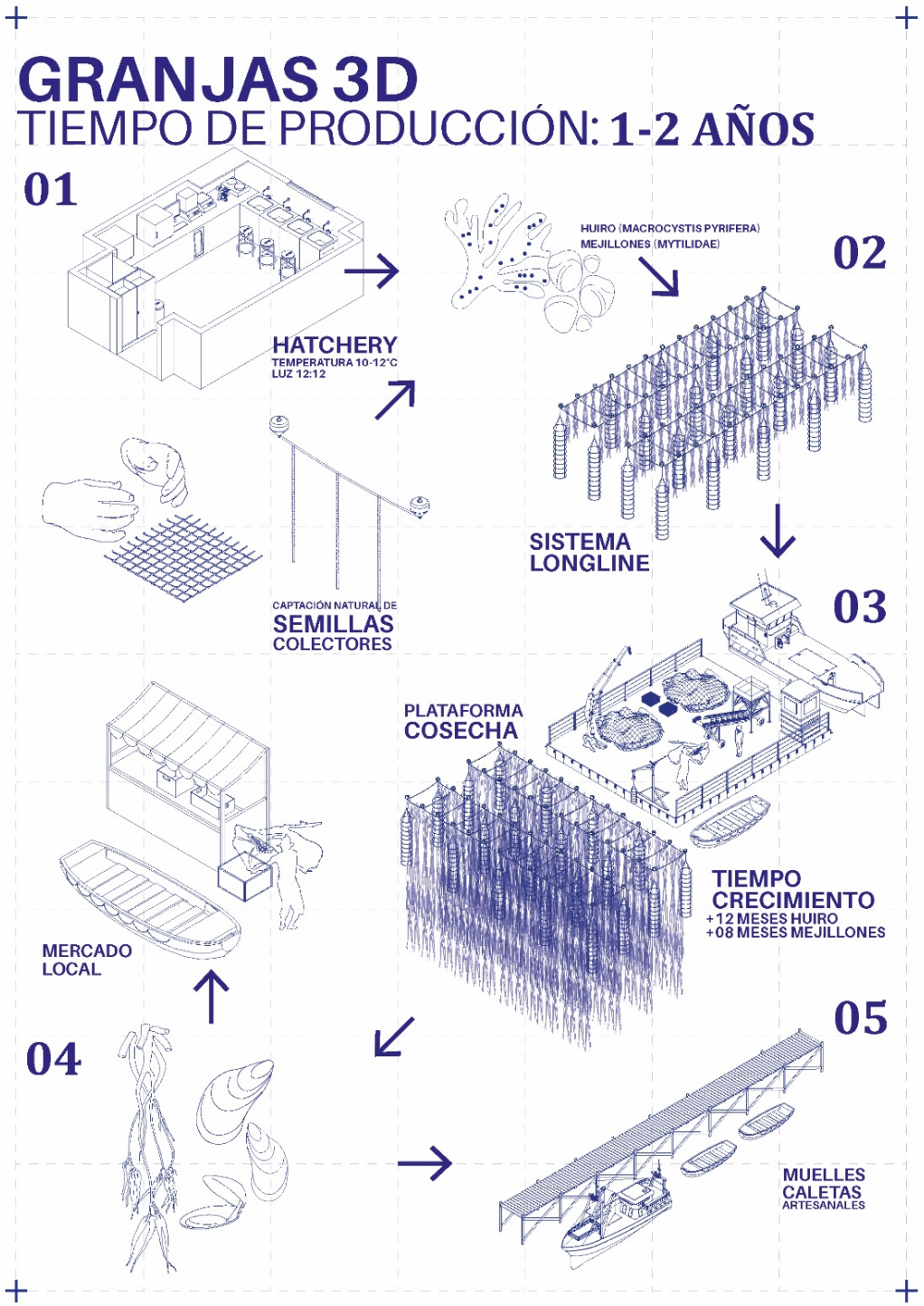
MEJILLONES COCIDOS	CANTIDAD POR 100 GRAMOS
Calorías	172
Grasas Totales	4.5 g
Ácidos Grasos Saturados	0.9 g
Colesterol	56 mg
Sodio	369 mg
Potasio	268 mg
Carbohidratos	7 g
Fibra Alimentaria	0 g
Proteínas	24 g

Valor nutricional mejillones Fuente: Elaboración Propia en base a datos de U.S. Department of Agriculture

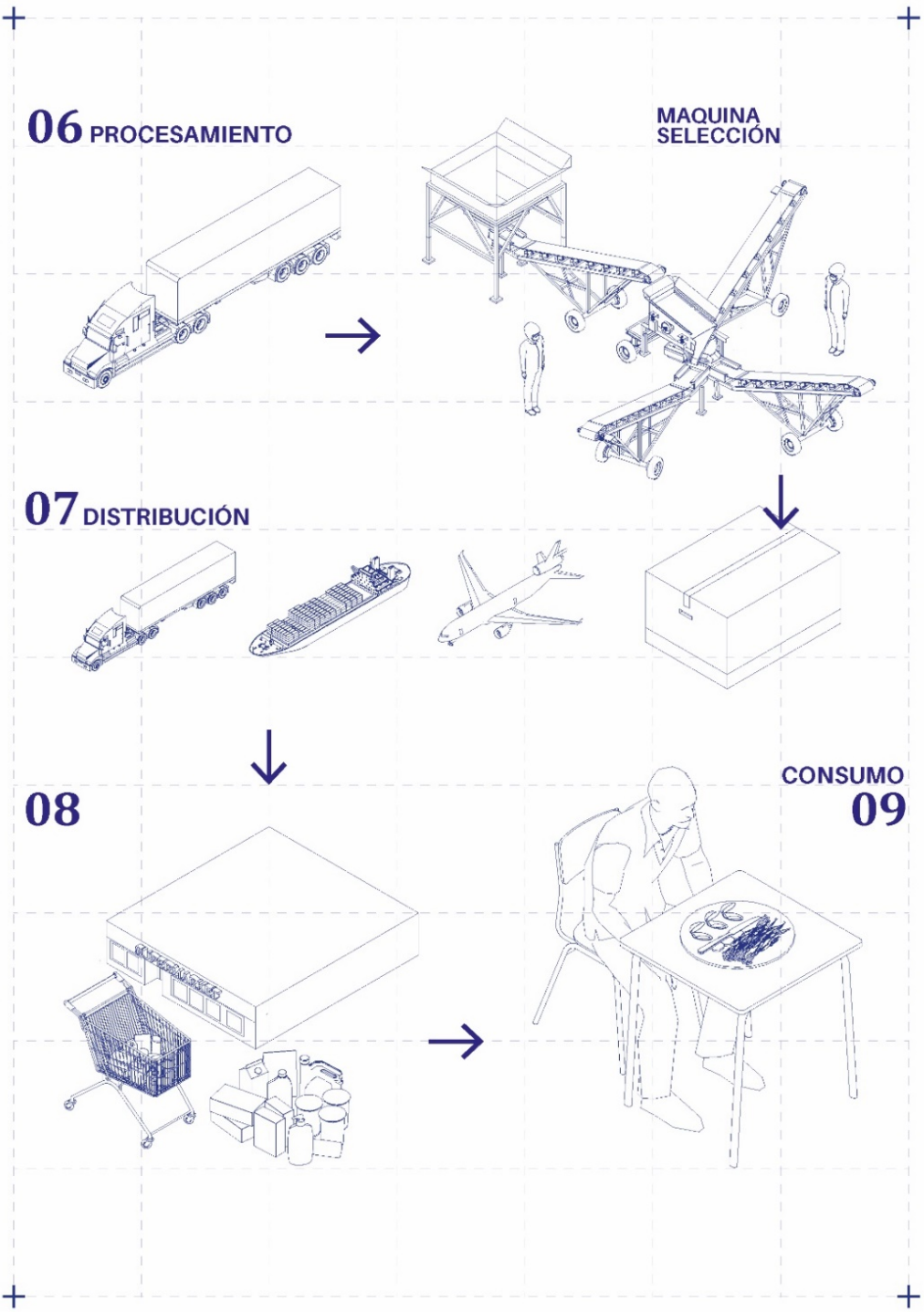

CO2
CO2
CO2
TEMPORADA DE CRECIMIENTO
VERANO 61.5°
21 DICIEMBRE 12:00HRS
02
02
02
NAVE MENOR ESLORA 12MTS
GRANJERO MARINO
BOYA DE FONDEO
BOYA LONGLINE
LINEA MADRE / CUERDA POLYSTEEL TRENZADO 20MM
CABO PARA BOYA LONGLINE 20MM
LANTERN-NET 11X11 " 3/8
SALMO SALAR
HUIRO MACROCYSTIS PYRIFERA)
CABO PARA BOYA FONDEO 20MM
FONDEO HORMIGÓN 250kg
02
02
02
02



Corte esquemático cultivo marino regenerativo algas y moluscos. Fuente: Elaboración Propia



Producción, distribución y consumo de modelo Granjas 3D. Fuente: Elaboración Propia



Producción, distribución y consumo de modelo Granjas 3D. Fuente: Elaboración Propia

El mejor edificio del futuro, por ejemplo, interactuará dinámicamente con el clima para poder atender mejor las necesidades de los usuarios. Más cercano a los robots que a los templos, estas apariciones camaleónicas con sus superficies cambiantes nos fuerzan a repensar de nuevo el arte de la arquitectura. La Arquitectura ya no será cuestión de masa y volumen, sino estructuras ligeras cuyas capas superpuestas y transparentes crearán formas que harán que la arquitectura se desmaterialice. Hasta la fecha (he incluido la primera Modernidad), los conceptos se han fundado en un orden lineal, estático, jerárquico y mecánico. Hoy sabemos que el proyecto basado en el razonamiento lineal debe ser superado por una arquitectura abierta de sistemas solapados. Este enfoque sistemático nos permite apreciar el mundo como un todo indivisible; como en otros campos, la arquitectura se aproxima a una mirada ecológica holística del planeta y de nuestras acciones hacia él (...) los edificios, la ciudad y sus ciudadanos serán un organismo inseparable, cobijados por un entramado (framework) siempre cambiante y perfectamente ajustado (...) el hombre, el cobijo, la comida, el trabajo y el ocio estarán conectados y serán interdependientes para conseguir una simbiosis ecológica (...) La globalización del poder político, del comercio y de la tecnología está ocurriendo ahora, podemos desistir y ensimismarnos esperando encontrar apoyo en la nostalgia, o afrontarlo e intentar resolver esta crisis social, técnica y aún más importante, cultural. Este cambio revolucionario requiere como parte de un nuevo entendimiento global, una respuesta arquitectónica radical.

Rogers, R. (1991). The future. En W. Wilkinson, Supersheds: The architecture of long-span large-volume buildings. Extraído de Domínguez, I. (2020). Paisajes industrializados: Circularidades entre la industria contemporánea y el territorio. ETSAM

CAPÍTULO IV: SISTEMAS ARQUITECTÓNICOS FLOTANTES Y PRODUCTIVOS

El desarrollo de nuevos modelos de cultivo marino, articulados con sistemas arquitectónicos flotantes para el policultivo, plantea la oportunidad de reconciliar la producción alimentaria con la regeneración del paisaje marítimo. En el contexto del territorio chileno, caracterizado por condiciones geográficas remotas, climatología adversa y la necesidad de integrar tanto la dimensión cultural como la ecológica, resulta crucial concebir infraestructuras arquitectónicas capaces de responder a estas demandas. Estas infraestructuras deben, por un lado, contemplar la optimización funcional y estructural-material, y por otro, asumir estrategias programáticas-proyectuales y territoriales flexibles que permitan la adaptación a largo plazo.

PARTE I: MOVIMIENTO METABOLISTA Y ARQUITECTURA MODULAR

Para abordar esta complejidad, es pertinente remitirnos a los planteamientos del movimiento metabolista en la arquitectura, quienes, durante el siglo XX, exploraron modelos altamente funcionalistas con una multiplicidad programática y una clara inclinación hacia la modularidad. El uso de módulos programáticos y el concepto de planta libre (también estudiado por el movimiento moderno con anterioridad) en sus proyectos servía de base para generar entornos urbanos productivos, flexibles y susceptibles de expansión progresiva.

Un caso relevante es el de la Agricultural City (1960), propuesta por Kisho Kurokawa. Este proyecto, ya mencionado en el marco teórico, enfatizaba la relación entre las ciudades y la producción agrícola, proponiendo un plan maestro que integraba la lógica productiva en la estructura urbana. Proyectando una retícula inspirada en el cardo y decumanus romano, generaba una organización modular que facilitaba el crecimiento planificado. Este sistema se sustentaba en la elevación de las infraestructuras técnicas —como vías de circulación, redes de agua y electricidad, y monorraíles de trabajo— a 4 metros sobre el nivel del suelo. Con ello, el terreno agrícola quedaba liberado para su gestión y administración, permitiendo una eficiente relación entre los espacios productivos y los sistemas de servicios.

Paralelamente, las áreas de mayor permanencia, ligadas a la vivienda y otros programas urbanos, adoptaban la forma de estructuras elevadas con núcleos centrales de servicios (baños, cocinas, lavabos, etc.). De este modo, la circulación y el intercambio de unidades o “equipos arquitectónicos” se volvía más eficiente, generando un entorno urbano flexible y adaptable a las cambiantes necesidades de la población y a la variabilidad de los ciclos productivos.

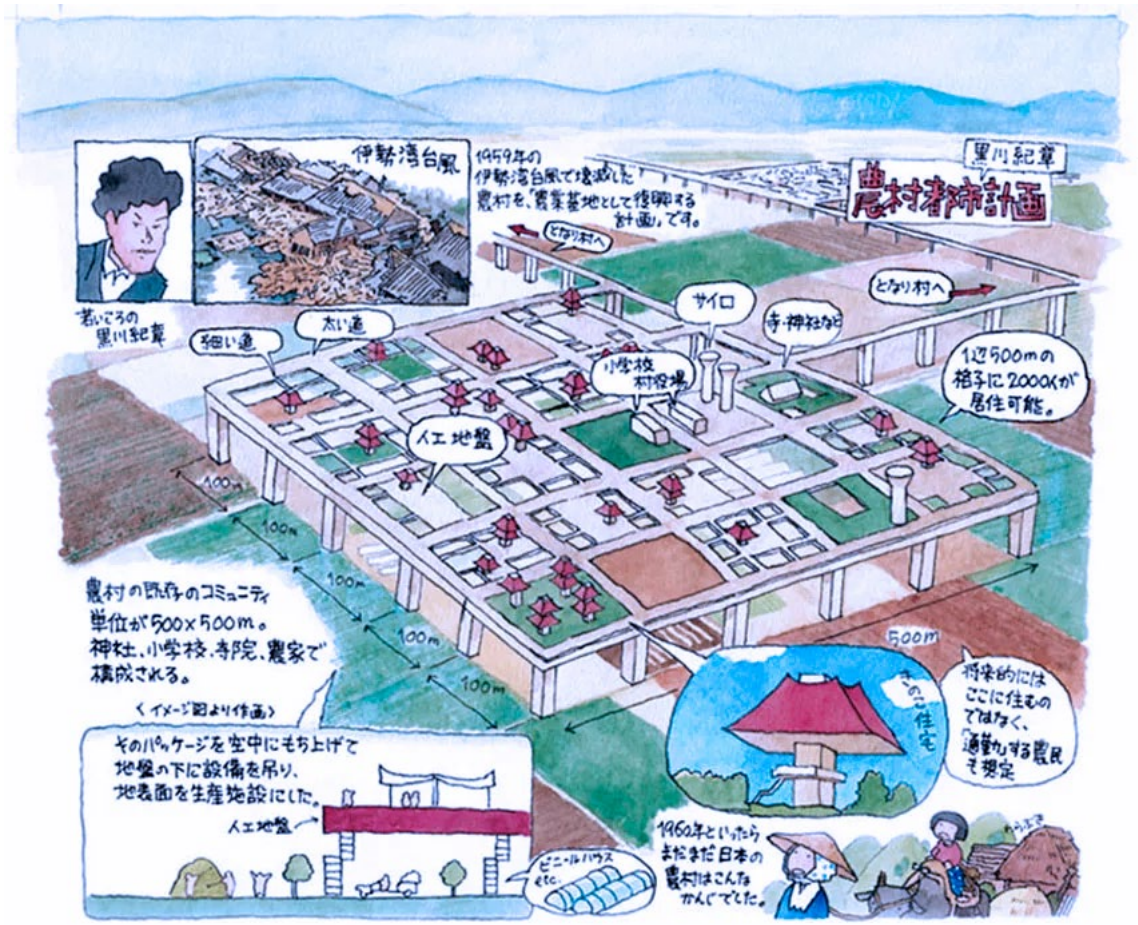
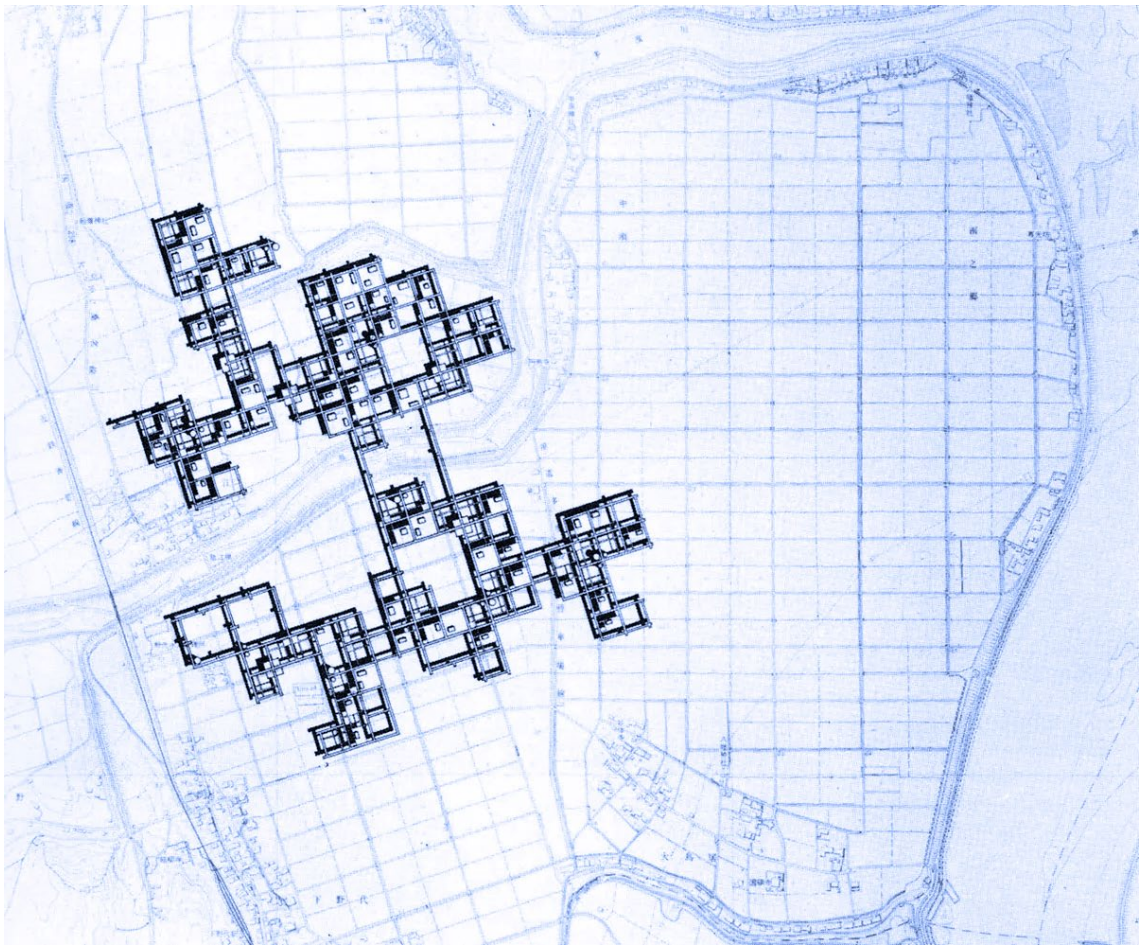
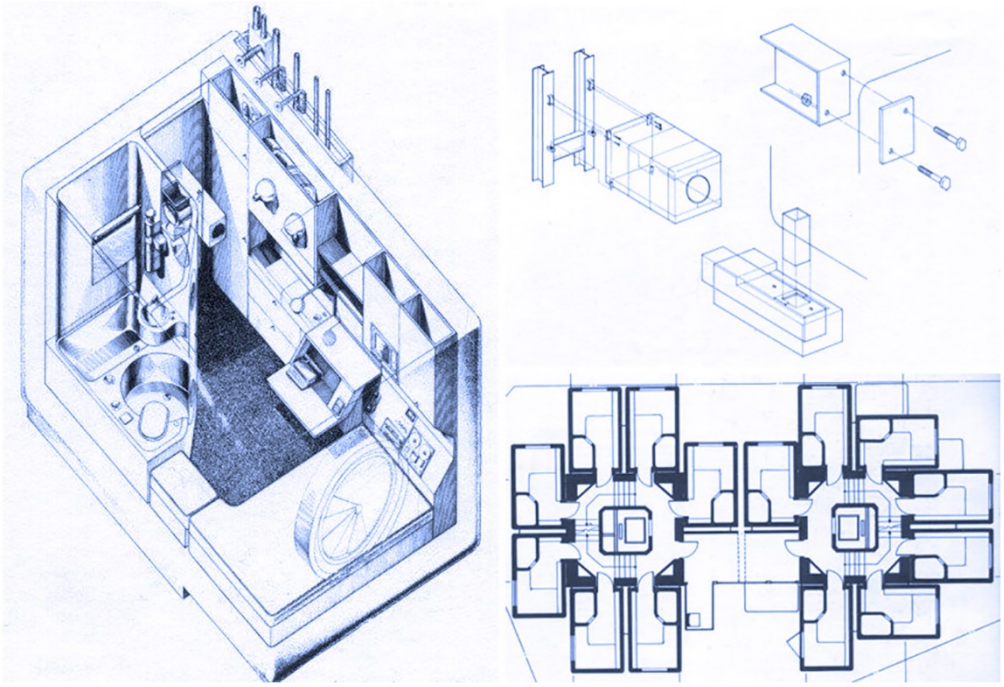


Imagen esquemática plan para "Agricultural City" (1960) Fuente: Kisho Kurokawa



Planta emplazamiento "Agricultural City" (1960) Fuente: Kisho Kurokawa

Esta lógica modular se materializó con mayor contundencia en proyectos como la Nakagin Capsule Tower (1972), también de Kurokawa. Este edificio prototípico de la arquitectura metabolista introdujo el concepto de cápsulas habitables unidas a un núcleo estructural de hormigón mediante apenas cuatro tornillos de alta tensión. La posibilidad de reemplazar, actualizar o intercambiar estas cápsulas, cada una de aproximadamente 4,0 x 2,5 metros, respondía a la necesidad de una arquitectura adaptable y reciclable. Este principio de flexibilidad se alinea con la idea de temporalidad con obsolescencia programada y renovación continua, rasgos que Kurokawa identificó en la historia de las ciudades japonesas tradicionales, construidas con materiales naturales y sujetas a ciclos de reconstrucción.



Esquemas y planimetría Nakagin Capsule Tower (1972) Fuente: Kisho Kurokawa

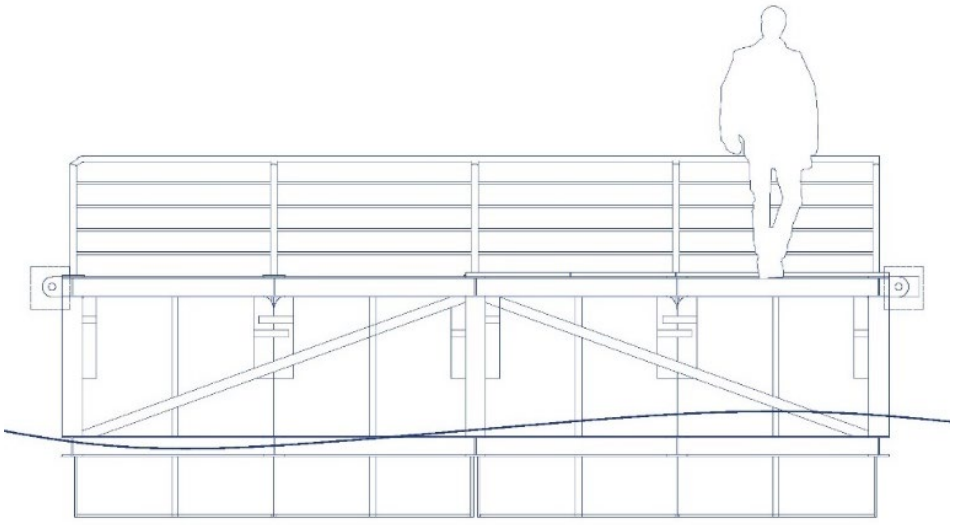
PARTE II: ACTUALES SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MODULARES DE CULTIVO MARINO

Los principios de modularidad, adaptabilidad y expansión progresiva propuestos por el movimiento metabolista encuentran una resonancia directa en el panorama actual de las arquitecturas alimentarias marinas. Este enfoque se materializa en las balsas jaulas utilizadas en la salmonicultura y en las plataformas flotantes presentes en diversos contextos costeros. Estas estructuras representan soluciones constructivas que han sido optimizadas para operar en entornos dinámicos y desafiantes, demostrando una alta eficiencia y flexibilidad.

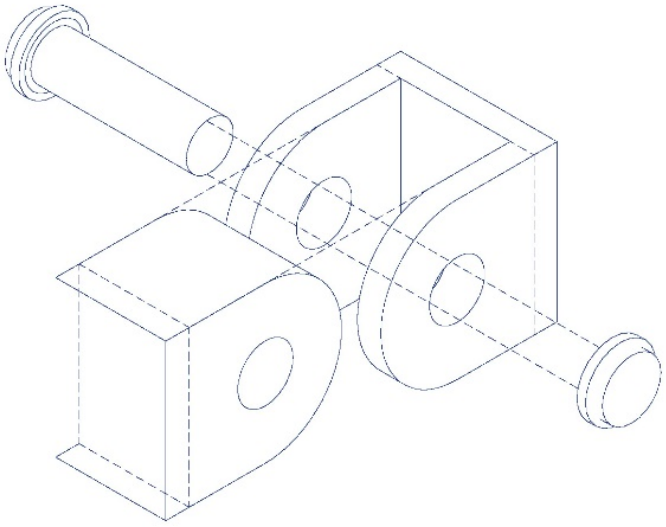
MODELO BALSAS JAULAS MODULARES

Las balsas jaulas utilizadas en la industria salmonera representan una solución ejemplar de ingeniería modular y desmontable, adaptada a las condiciones del entorno marino. Estas estructuras están diseñadas para ser ensambladas y desarmadas con rapidez, lo que permite una gran movilidad y adaptabilidad. Debido a esta característica, las balsas pueden ser reubicadas con facilidad según los cambios en las condiciones del mar y los ciclos productivos.

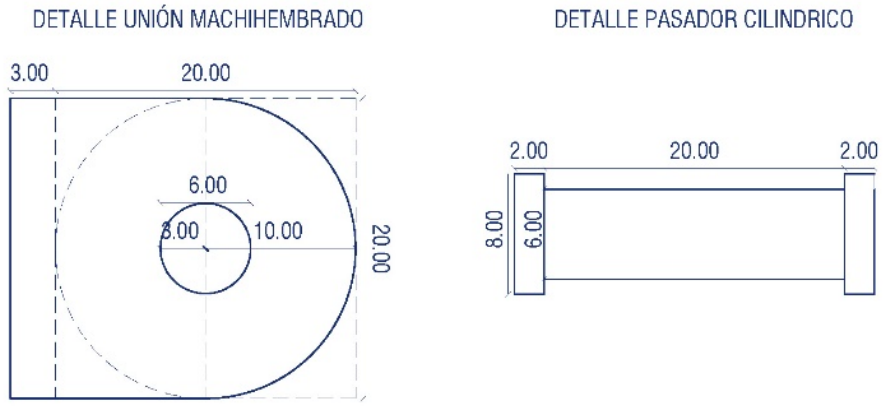
Una de las claves de estas balsas jaulas radica en el detalle de sus pasillos flotantes y uniones articuladas, que ofrecen una resistencia mecánica excepcional frente a las corrientes marinas, el oleaje y las variaciones de marea. Estas características garantizan una alta estabilidad estructural durante las operaciones en aguas abiertas, incluso en condiciones adversas. La flexibilidad de las uniones, conocidas como “machihembradas rotuladas”, permite crear sistemas semirrígidos capaces de soportar las fuerzas dinámicas del océano. Esta innovación facilita un ensamblaje rápido, seguro y eficiente, lo que es esencial para el montaje y desmontaje frecuente de las estructuras, adaptándose a las necesidades específicas de cada ciclo de producción.



Elevación lateral pasillos salmonicultura. Fuente: Elaboración Propia



Esquema detalle unión rotulada machihembrado – pasillos salmonicultura. Fuente: Elaboración Propia



Esquema detalle unión rotulada machihembrado – dimensiones. Fuente: Elaboración Propia

Además, estas balsas jaulas cuentan con una configuración modular que facilita su ampliación y reconfiguración. Los pasillos modulares pueden conectarse o desconectarse de manera eficiente, permitiendo ajustes en el tamaño y la distribución de las plataformas según los requerimientos operativos. Esta versatilidad estructural no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también facilita el mantenimiento y la reposición de componentes específicos sin necesidad de desmontar toda la estructura.

MODELO PLATAFORMAS MARINAS MODULARES

Paralelamente, las plataformas marinas, tanto industriales como artesanales, igualmente representan un modelo modular de gran valor por sus sistemas constructivos flexibles y lógicas operativas adaptables. Estas infraestructuras flotantes permiten establecer sistemas interconectados en el agua, ajustándose a las necesidades específicas de cada estación de trabajo y a los cambios estacionales en las actividades productivas. Su diseño modular facilita que distintos componentes se articulen para formar redes de producción y operación que pueden ampliarse o reconfigurarse según los requerimientos del entorno y del proceso de cultivo.

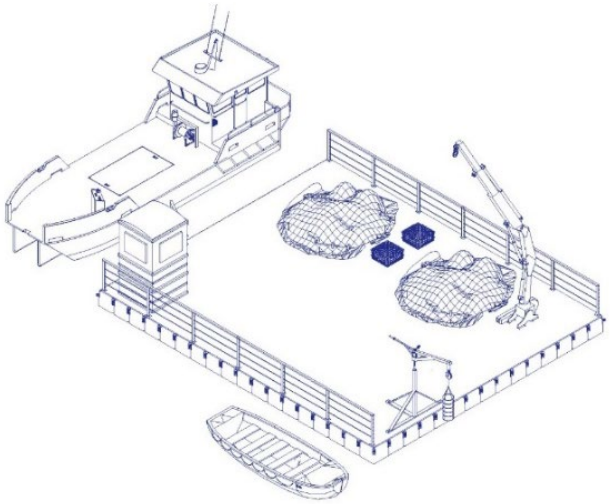
TIPOLOGÍAS DE PLATAFORMAS FLOTANTES

Para comprender los sistemas constructivos y las dinámicas de funcionamiento de estas infraestructuras, es fundamental clasificar las plataformas flotantes en dos categorías principales: plataformas industriales y plataformas de pescadores artesanales. Cada una presenta características técnicas, desafíos y potencialidades particulares que influyen en su desempeño y aplicabilidad en contextos específicos.

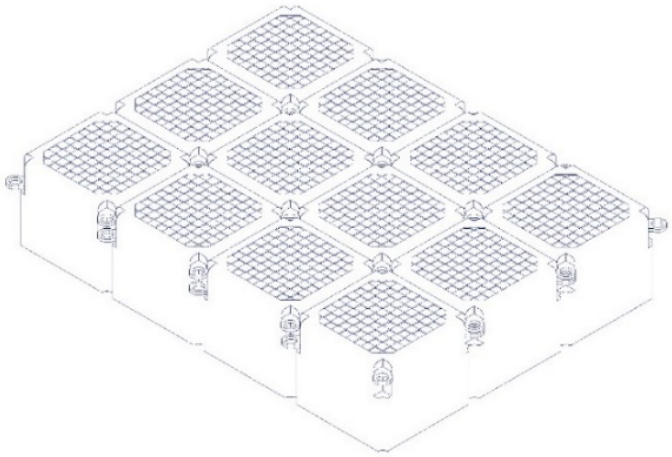
PLATAFORMAS INDUSTRIALES

Las plataformas industriales están diseñadas para el cultivo marino a gran escala, como el de mejillones u ostras. Estas estructuras se caracterizan por su capacidad de soportar procesos productivos complejos, integrando sistemas constructivos y operativos que han sido probados en entornos marinos exigentes.

Desde el punto de vista constructivo, estas plataformas se sustentan en un sistema de flotación que garantiza su estabilidad y operatividad. Los flotadores de gran volumen, generalmente fabricados con polietileno de alta densidad (HDPE), son resistentes a la corrosión salina, a los impactos mecánicos y al desgaste, lo que asegura una flotabilidad eficiente y prolonga la vida útil de la estructura. Estos flotadores están estratégicamente distribuidos bajo la plataforma para equilibrar las cargas estáticas y dinámicas derivadas de la maquinaria, el peso del cultivo y la presencia de operarios.



Esquema tipología plataforma flotante industrial. Fuente: Elaboración Propia



Esquemas flotadores de poliestireno expandido Fuente: Elaboración Propia

Las plataformas industriales también cuentan con una estructura complementaria metálica, construida con componentes de acero tratados para resistir la corrosión marina. Estos elementos incluyen soportes, barandillas y mecanismos hidráulicos que contribuyen a mantener la funcionalidad y seguridad de la plataforma en condiciones adversas.

Desafíos Principales:

- **Contaminación ambiental:** Riesgo de acumulación de desechos plásticos y metálicos que pueden afectar los ecosistemas marinos.
- **Condiciones laborales precarias:** Falta de regulaciones que aseguren estándares de seguridad y confort para los operarios.
- **Infraestructuras obsoletas:** Diseños que no incorporan medidas para mitigar el impacto ambiental o prolongar la vida útil de las plataformas.

Aspectos Positivos y Elementos Rescatables:

- **Sistemas de flotación eficientes:** Flotadores de HDPE que garantizan estabilidad y resistencia al desgaste.
- **Estructura metálica complementaria:** Componentes de acero que aportan durabilidad y soporte estructural.
- **Infraestructura funcional básica**: Equipamientos como baños, grúas hidráulicas y sistemas de almacenamiento de agua potable que facilitan las operaciones diarias.
- **Lógica operativa consolidada:** Procesos de trabajo bien establecidos que permiten una transición eficiente hacia mejoras estructurales.
- **Versatilidad en el manejo:** Superficies adaptables para realizar distintas etapas del cultivo, desde la instalación hasta la recolección.

.



Plataformas flotantes industriales. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)



Plataformas flotantes industriales. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

PLATAFORMAS PESCADORES ARTESANALES

Por otro lado, las plataformas de pescadores artesanales presentan una concepción más híbrida, donde se combinan las actividades productivas con aspectos de la vida cotidiana. Estas estructuras funcionan como extensiones del hogar en el mar, sirviendo no solo como estaciones de trabajo, sino también como espacios para el descanso, la preparación de alimentos y el almacenamiento de herramientas. Esta lógica operativa responde a una visión sociocultural del maritorio, donde la infraestructura está estrechamente vinculada a las tradiciones y formas de vida de las comunidades locales.

Desde el punto de vista constructivo, estas plataformas suelen estar hechas con materiales reutilizados y técnicas artesanales. Aunque esta práctica refleja una adaptación ingeniosa a los recursos disponibles, también presenta desafíos en términos de durabilidad y seguridad estructural. La falta de normativas y de mantenimiento adecuado expone a estas plataformas al deterioro rápido debido a las condiciones climáticas y al desgaste por el uso continuo.



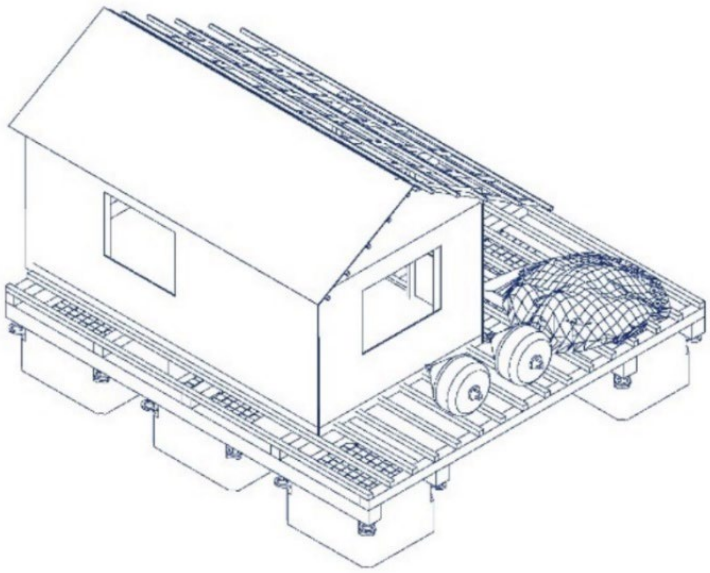
Plataforma “vivienda” flotante y pescador artesanal en mar abierto. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

Desafíos Principales:

- **Infraestructura precaria:** Materiales reutilizados que carecen de durabilidad frente a las condiciones marinas.
- **Falta de regulación:** Ausencia de normativas que aseguren estándares mínimos de seguridad y confort.
- **Mantenimiento deficiente:** Carencia de planes sistemáticos de mantenimiento, lo que acelera el deterioro estructural.

Aspectos Positivos y Elementos Rescatables:

- **Modelo híbrido de producción y vida:** Combina actividades laborales con funciones domésticas y sociales.
- **Adaptabilidad cultural:** Refleja las prácticas tradicionales y el conocimiento local de los pescadores artesanales.
- **Flexibilidad funcional:** Espacios versátiles que se ajustan a diversas tareas productivas y cotidianas.



Esquema tipología plataforma “vivienda” flotante. Fuente: Elaboración Propia

Este enfoque constructivo abre un espacio para reconsiderar estos elementos ya existentes en el territorio Patagónico como las balsas y sus uniones articuladas, junto con las plataformas flotantes podrían ser aprovechadas en nuevas infraestructuras de cultivo marino orientadas a un modelo de policultivo regenerativo. La implementación de estos principios estructurales en plataformas marinas permite generar sistemas flexibles y adaptables, que pueden ajustarse a diferentes tipos de cultivos y procesos productivos.

Sin embargo, cuando pensamos en la proyección de nuevos modelos en un territorio frágil y más aún en el contexto de los desafíos globales contemporáneos, estos enfoques deben ser repensados bajo la perspectiva de la sustentabilidad, una noción que se ha convertido en un imperativo transversal en todos los frentes del diseño arquitectónico. Esta sustentabilidad puede abordarse desde múltiples dimensiones, aunque en los últimos años el dialogo ha sido cargado hacia la energía, se plantea poner énfasis especialmente en términos constructivos.

PARTE III: LA PRIMERA SUSTENTABILIDAD ES LA CONSTRUCCIÓN

La industria de la construcción y la arquitectura desempeñan un papel central en la crisis climática actual, siendo responsables de una porción significativa de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2). A nivel global, se estima que el sector de la construcción y los edificios contribuye con el 37% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. La construcción de edificios es responsable de aproximadamente la mitad del CO_2 emitido a la atmósfera a lo largo de su ciclo de vida, desde su edificación hasta su operación y demolición. Dentro de esta problemática, los materiales utilizados tienen un impacto considerable: la producción de cemento libera una tonelada de CO_2 por cada tonelada producida, mientras que la fabricación de acero puede emitir entre 1,5 y 3 toneladas de CO_2 por cada tonelada producida en hornos convencionales. (Ossio, 2023)

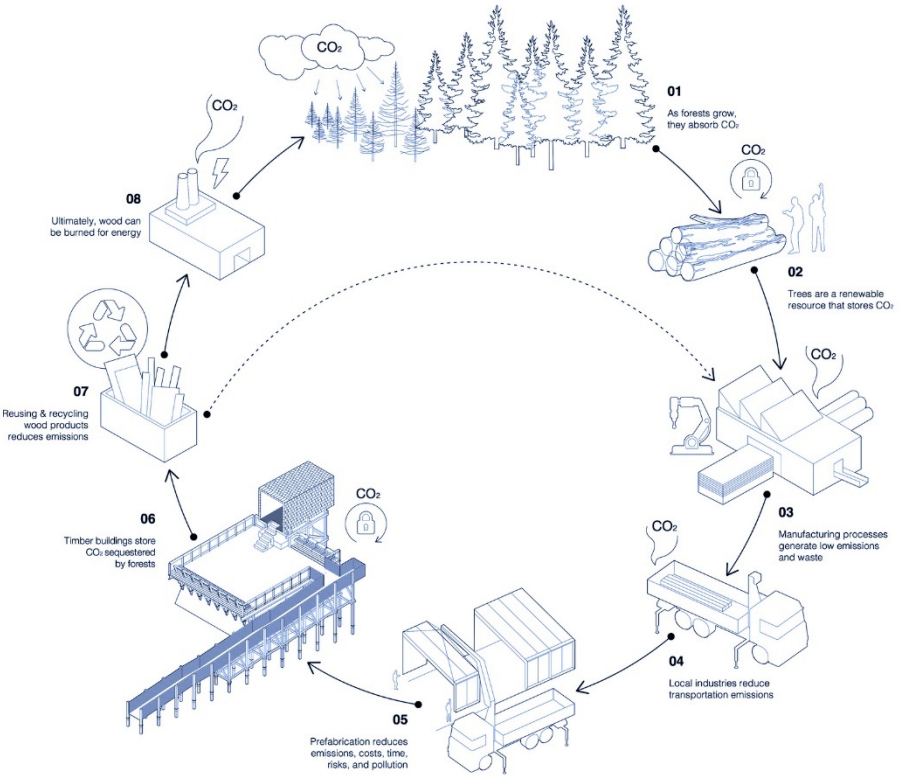
Además de su contribución a las emisiones globales, la construcción es uno de los mayores generadores de residuos sólidos, representando hasta el 35% de los residuos globales. En Chile, la industria de la construcción produce anualmente alrededor de 7,2 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD) (Ossio, 2023). Aunque esta cifra pueda parecer

modesta en comparación con los 1.130 millones de toneladas generadas en China o los 600 millones de toneladas en Estados Unidos, el problema radica en la eficiencia relativa. Si se mide la cantidad de residuos generados por unidad constructiva, Chile produce el doble de residuos por metro cuadrado construido en comparación con países desarrollados (Ossio, 2023). Esta situación no solo implica una crisis ambiental, sino también un desafío considerable para la productividad del sector, ya que finalmente, ese residuo que botamos es un material que compramos para luego ser botado como residuo.

Entre las razones que explican esta alta generación de residuos se encuentran el uso de soluciones constructivas rápidas y de bajo costo, que deben ser reemplazadas con frecuencia debido a su baja durabilidad, así como la falta de obligatoriedad en el reciclaje de materiales en las obras de construcción. Además, la diversidad de residuos generados, que incluye tierras, piedras, hormigón, pavimentos asfálticos, ladrillos, cristal, plásticos, yesos, ferrallas y maderas, dificulta su gestión eficiente.

Para reducir las emisiones de CO_2 en la construcción, es fundamental implementar estrategias que promuevan un enfoque sostenible en todas las fases del proceso constructivo. Una solución clave es priorizar el uso de materiales ecológicos como la madera, que no solo es renovable, sino que también retiene CO_2 durante su ciclo de vida. Asimismo, se debe fomentar la reutilización de materiales provenientes de edificaciones existentes o considerar una rehabilitación estructural antes de optar por una obra nueva. Mejorar el rendimiento energético de los edificios es otra estrategia esencial, ya que reduce las emisiones operativas a lo largo del tiempo. Finalmente, el uso de herramientas científicas para medir el impacto ambiental de las obras permitirá tomar decisiones informadas que optimicen los procesos constructivos y minimicen su huella ecológica.

Integrar estas estrategias de ahorro energético y gestión eficiente de materiales contribuirá a mitigar el impacto ambiental de la industria de la construcción, promoviendo un sector más sostenible y alineado con los desafíos globales actuales.



Esquema economía circular en arquitecturas en madera. Fuente: Manuel Bouzas (2023)

PARTE IV: MADERA EN SISTEMAS ARQUITECTÓNICOS FLOTANTES

En el contexto de un modelo alimentario regenerativo que busca absorber CO_2, la elección de la madera como material constructivo representa una decisión estratégica y sostenible. La madera no solo es un material renovable con una huella de carbono significativamente menor en comparación con otros materiales industriales, sino que además ofrece una oportunidad para fortalecer una industria sostenible y superar los mitos y prejuicios sobre su relación con el agua y los entornos marinos.

Contrario a la creencia de que la madera no es adecuada para lugares con alta humedad, la historia demuestra lo contrario. Desde tiempos ancestrales, las embarcaciones tradicionales chilotas y las canoas de los Kawésqar han utilizado la madera con éxito en el mar. Además, en España, las tradicionales bateas de cultivo de mejillones se construyen exclusivamente con estructuras de

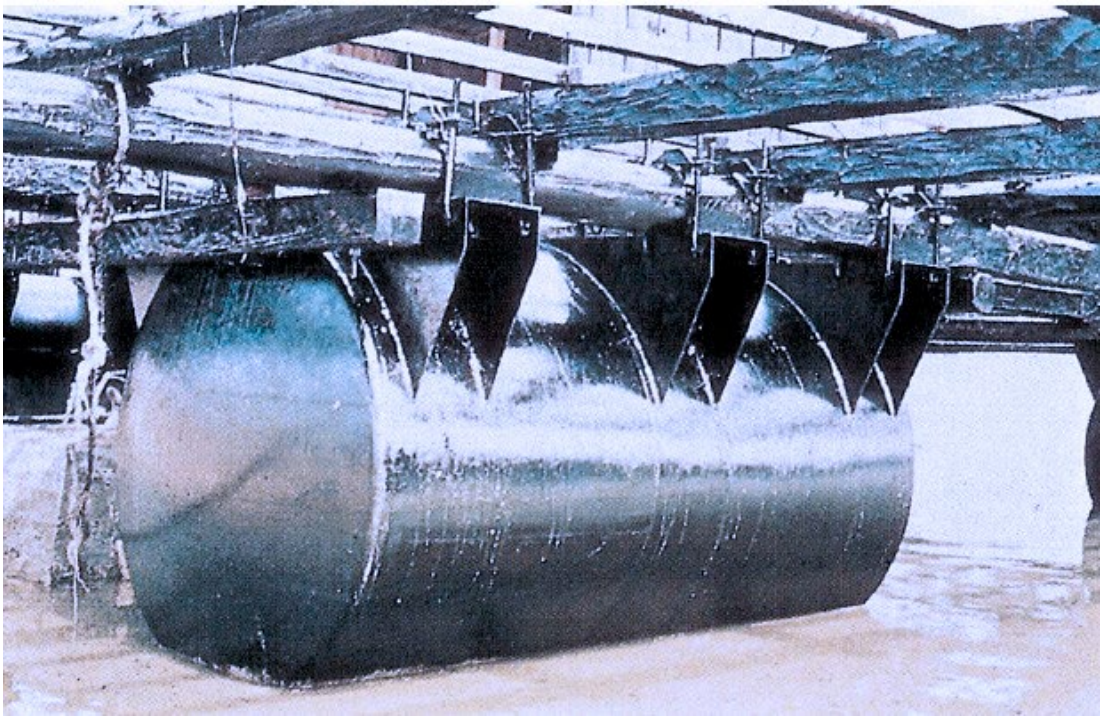
vigas de madera, generando emparrillados que aportan la rigidez necesaria para soportar las condiciones del entorno marino. En estos casos, la madera ha mostrado una notable resistencia y durabilidad cuando está sumergida de forma constante. La razón detrás de este comportamiento es que el contacto prolongado con el agua sella los poros de la madera, y el salitre impide la proliferación de hongos y bacterias que podrían causar su putrefacción.

Sin embargo, cuando se trata de las partes de la estructura que quedan expuestas a las inclemencias del clima, es necesario implementar recubrimientos adicionales o membranas protectoras que funcionen como barrera.

El modelo constructivo de las bateas de cultivo marino está conformado por una plataforma estructurada con un entramado de vigas de madera de eucalipto, un material apreciado por su elasticidad, resistencia a la humedad y capacidad para amortiguar el movimiento de las olas. Esta flexibilidad evita, en gran medida, el desprendimiento de los mejillones de las cuerdas de cultivo, lo que optimiza la producción y reduce pérdidas. Los flotadores de fibra de vidrio, fijados a la plataforma, garantizan la estabilidad necesaria para que la batea se mantenga a flote, mientras cadenas de acero la anclan al fondo marino, evitando su desplazamiento.



Bateas cultivo de mejillones Fuente: OESA (2017)



Unión de las vigas maestras a los flotadores Fuente: OESA (2017).

DESAFIOS Y OPORTUNIDADES DE LAS INFRAESTRUCTURAS EN MADERA FLOTANTES

No obstante, a pesar de las ventajas de este sistema, existen desafíos importantes que deben abordarse. Uno de los problemas más comunes es la degradación de la madera natural causada por el ambiente marino y el desgaste constante. Para prolongar la vida útil de las estructuras, actualmente se aplican tratamientos de protección como alquitrán natural, aceite de pescado, aceites vegetales o, más recientemente, patentes y pinturas navales. Estas soluciones ayudan a sellar la madera y protegerla contra la humedad y la salinidad.

- **Oportunidad:** Es necesario explorar tratamientos industriales para la madera, como termo tratamientos, sellado a nivel molecular y el uso de materiales protectores ecológicos, que contribuyan a prolongar su durabilidad y minimicen el impacto ambiental.



Protección de la madera. Fuente: OESA (2017).



Unión de las vigas sobre las maestras. Fuente: OESA (2017)

Además, las vigas que conforman la estructura son de gran longitud, alcanzando entre 20 y 27 metros, lo que dificulta obtenerlas de una sola pieza debido a las limitaciones del tamaño de los árboles disponibles. Para solventar esta situación, es común unir dos medias vigas por sus extremos más delgados. Sin embargo, aun con ello existe un desafío en el transporte de vigas de esta longitud, lo cual presenta dificultades en el acceso a lugares remotos, costos elevados y desafíos logísticos considerables.

- **Oportunidad:** Es necesario desarrollar nuevos diseños estructurales o emplear materiales alternativos que faciliten su manipulación y ensamblaje. Además, los métodos de unión tradicionales, como las cabillas y puntas de acero galvanizado, son vulnerables a la corrosión bajo tensión en ambientes marinos, por lo que se requiere rediseñar estos sistemas utilizando materiales más resistentes y duraderos.

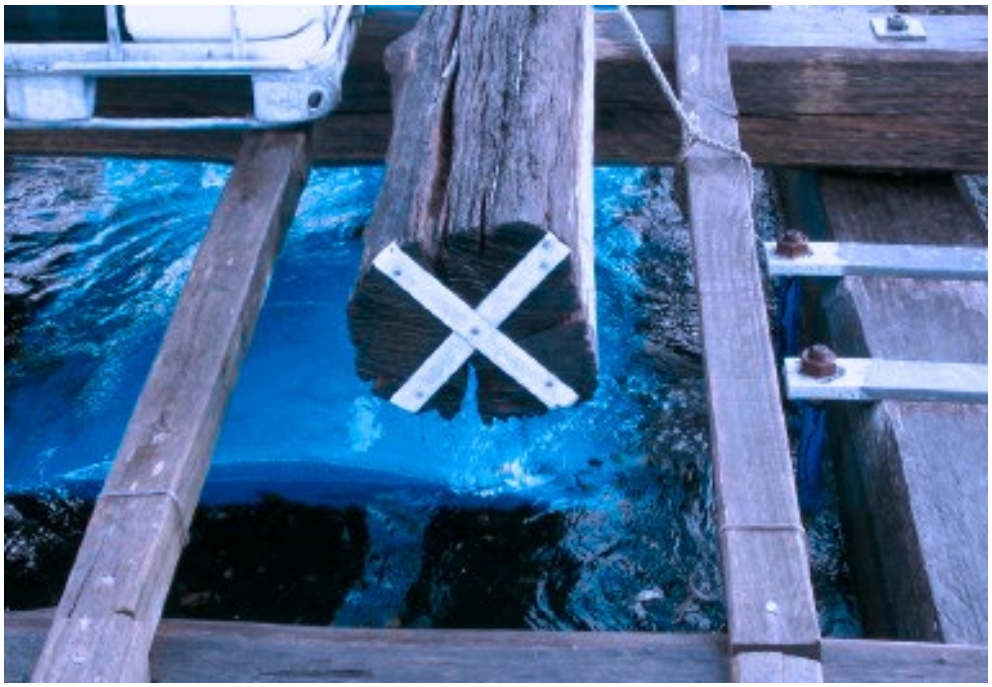


Transporte de vigas. Fuente: OESA (2017)

Junto con ello, el mantenimiento de estas plataformas continúa realizándose de manera artesanal y sin una metodología estandarizada, dependiendo únicamente del criterio individual de cada propietario. Esta falta de sistematización resulta en intervenciones reactivas y poco eficientes, lo que incrementa el riesgo de fallos estructurales, acelera el deterioro de los materiales y reduce

significativamente la vida útil de las plataformas. Además, esta situación puede derivar en paradas operativas no planificadas, afectando la continuidad de las actividades productivas y generando costos adicionales.

- **Oportunidad:** Esta situación plantea la posibilidad de establecer procesos de mantenimiento más sistemáticos y basados en principios científicos, que incorporen estrategias de reutilización de materiales y una planificación estructurada de la vida útil de los módulos. La implementación de una sustitución programada de piezas defectuosas no solo optimiza el uso eficiente de los recursos, sino que también reduce la generación de residuos y promueve una economía circular dentro de la industria.



Viga de madera reparada por grieta. Fuente: OESA (2017)

PARTE V: HACIA UN MODELO DE ARQUITECTURAS ALIMENTARIAS FLOTANTES

El desarrollo de arquitecturas alimentarias flotantes en madera en el contexto chileno representa una oportunidad única para integrar la producción acuícola sostenible con una visión regenerativa del territorio marítimo. La implementación de estas infraestructuras debe considerar una gestión colectiva que contemple la producción de madera certificada, el fomento de prácticas de silvicultura responsable y el uso de energía renovable. Esta estrategia no solo contribuye a una producción alimentaria eficiente y sustentable, sino que también establece una economía circular que vincula extracción, fabricación y construcción, algo fundamental para proteger zonas de alto valor ecológico y cultural como la Reserva Nacional Kawésqar.

En este contexto, el uso de maderas locales como el ciprés ofrece un gran potencial debido a sus propiedades naturales de resistencia en entornos marinos. Históricamente ha sido utilizada en la fabricación de embarcaciones y se destaca por su capacidad para soportar movimientos constantes, choques, oleaje, humedad y salinidad lo convierte en un material idóneo para plataformas flotantes. Aunque actualmente no existe una industria consolidada que trabaje con ciprés a gran escala en Chile, esta limitación presenta una oportunidad de desarrollo económico y de diversificación industrial para las regiones del sur del país. La creación de una industria dedicada a la transformación sostenible del ciprés no solo impulsaría el empleo local, sino que también fortalecería la economía regional y promovería el uso eficiente de los recursos naturales cercanos.

Por otro lado, la madera de pino laminada, con una industria nacional más desarrollada y empresas consolidadas como Arauco y CMPC, se presenta como una alternativa viable para infraestructuras flotantes. La producción de madera laminada HILAM por parte de Arauco y los productos impregnados de ambas compañías cumplen con estándares de calidad y durabilidad. Mediante procesos como el termo tratamiento, la madera de pino mejora su resistencia a la humedad, los hongos y los cambios de temperatura, lo que la hace adecuada para entornos marinos. Además, aplicar tratamientos específicos, como impregnación con sales hidrosolubles, resinas epóxicas o

acetilación, permite extender su vida útil y proteger las estructuras contra agentes bióticos y condiciones extremas.

La implementación de un modelo basado en recursos de kilómetro cero es una estrategia clave para minimizar las emisiones derivadas del transporte y fomentar la fabricación local. Este enfoque reduce el carbono incorporado en las infraestructuras y refuerza una arquitectura baja en carbono que contribuye a la resiliencia climática del territorio. La combinación de tecnologías actuales con materiales biológicos también impulsa el desarrollo socioeconómico de las comunidades rurales, creando oportunidades de empleo y fortaleciendo las economías locales.



Imagen objetivo. Anteproyecto “Maquinas alimentarias de cultivo marino regenerativo”. Fuente: Elaboración Propia



Plataforma “vivienda” flotante. Fotografía: Sebastián Carvajal (2024)

CONCLUSIÓN

Uno de los errores más críticos del ser humano ha sido asumir que los ecosistemas marinos poseen una capacidad infinita para soportar el impacto de las actividades industriales. En la Patagonia chilena, y particularmente en áreas protegidas como la Reserva Nacional Kawésqar, esta visión ha provocado una degradación progresiva de sus frágiles paisajes marinos. La expansión de sistemas alimentarios industriales, como la salmonicultura, no solo ha fragmentado el territorio y afectado su biodiversidad, sino que también ha comprometido su capacidad de regulación climática y debilitado los vínculos culturales de las comunidades costeras con su entorno natural.

Este estudio resalta que los modelos de policultivo de algas y moluscos poseen un gran potencial para restaurar el equilibrio ecológico al absorber carbono, filtrar el agua y fortalecer la resiliencia del ecosistema. Además, estos sistemas pueden crear un paisaje cultural productivo, involucrando a las comunidades locales en prácticas sostenibles y resilientes, rescatando y reinterpretando elementos de los sistemas de cultivo marino existentes.

La investigación valida que implementar arquitecturas alimentarias basadas en granjas marinas de policultivo, con la integración de inteligencias artificiales, colectivas y naturales, constituye una alternativa regenerativa y sostenible. Mediante el desarrollo de infraestructuras con enclaves mínimos y flotantes modulares, se propone una producción alimentaria que responde a los desafíos territoriales específicos de la Reserva Nacional Kawésqar, mitigando los impactos negativos de la salmonicultura industrial y del cambio climático. Estas infraestructuras no solo optimizan la producción alimentaria, sino que también contribuyen activamente a regenerar los ecosistemas marinos degradados.

Asimismo, el estudio evidencia que la proyección de los sistemas alimentarios arquitectónicos debe abordarse a diferentes escalas: desde el mapeo detallado de zonas de intervención específicas —considerando las Áreas Apropiadas para la Acuicultura (AAA) y las concesiones existentes— hasta la proyección de sistemas arquitectónicos que abarquen procesos de producción, cosecha y distribución de cultivos regenerativos a través de una flexibilidad

programática y sustentabilidad constructiva, permitiendo su implementación en entornos remotos, asegurando eficiencia material, prefabricación y adaptación bioclimática.

El éxito de estas estrategias requiere superar barreras logísticas, sociales y culturales mediante políticas públicas que fomenten la investigación, el desarrollo tecnológico y la colaboración entre comunidades locales, científicos, diseñadores y actores privados. Solo una visión integrada y colaborativa permitirá convertir estos sistemas alimentarios arquitectónicos en una herramienta efectiva para la regeneración ecológica y el fortalecimiento cultural del territorio.

Finalmente, esta investigación propone una sinergia esencial entre la producción alimentaria marina y la preservación ecológica. Reconocer el valor intrínseco del territorio, aplicar enfoques regenerativos y diseñar arquitecturas que espeten y divulguen los ciclos naturales vinculados a la producción de alimentos de origen marino permitirá transformar la comprensión del territorio patagónico. Asegurando una seguridad alimentaria futura, resiliencia ecológica, el bienestar de las comunidades locales y el legado cultural y natural de la Reserva Nacional Kawésqar para las generaciones futuras.

BIBLIOGRAFIA

- ABC Salmonicultura. (2024). ABC Salmonicultura. Recuperado de https://abc-salmonicultura.cl/
- Ahern, M., Thilsted, S. H., & Oenema, S. (2021). El papel de los alimentos acuáticos en unas dietas saludables sostenibles. ONU-Nutrición.
- Álvarez, R., Ther-Ríos, F., Skewes, J. C., Hidalgo, C., Carabias, D., & García, C. (2019). Reflexiones sobre el concepto de maritorio y su relevancia para los estudios de Chiloé contemporáneo. Revista Austral de Ciencias Sociales. Recuperado de http://revistas.uach.cl/index.php/racs/article/view/5676/6781
- Appel, L. (2023). Cómo la automatización está transformando la industria del salmón en Chile. Salmonexpert. Recuperado de https://www.salmonexpert.cl/atentus-automatizacion-software/como-la-automatizacion-esta-transformando-la-industria-del-salmon-en-chile
- Arancibia Jeraldo, L. (2019). Sector pesquero: Datos de la región de Magallanes (período 2013-2018). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.
- Bélanger, P. (2016). Landscape as Infrastructure. Routledge.
- Berger, A. (2008). Designing the reclaimed landscape.
- Brunel, J. Á. (2017). Retrospectiva: Emilio Duhart como estudiante. ArchDaily en Español. Recuperado el 3 de octubre de 2024, de https://www.archdaily.cl/cl/868485/retrospectiva-emilio-duhart-como-estudiante
- Buschmann, A. H., Cabello, F., Young, K., Carvajal, J., Varela, D. A., & Henríquez, L. (2009). Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems.
- Buschmann, A. H., Muñoz, J. L. P. (2019). Challenges for future salmonid farming. En J.
- Cochran, H. Bokuniewicz, & L. P. Yager (Eds.), Encyclopedia of Ocean Sciences.

- Buschmann, A. H., Riquelme, V. A., Hernández-González, M. C., Varela, D., Jiménez, J. E., Henríquez, L. A., Vergara, P. A., Guíñez, R., & Filún, L. (2006). A review of the impacts of salmon farming on marine coastal ecosystems in the southeast Pacific.

- Castilla, J. C., Armesto, J. J., Martínez-Harms, M. J., & Tecklin, D. (Eds.). (2023). Conservation in Chilean Patagonia: Assessing the state of knowledge, opportunities, and challenges. Pontificia Universidad Católica de Chile.

- Cilian, D. (2010). La fábrica como arquitectura (Trad. Esp.). Barcelona: Fd. Reverte.

- Congreso Futuro. (2023). Sitio web oficial del Congreso Futuro. Recuperado de https://congresofuturo.cl/

- Consejo del Salmón. (2024). Consejo del Salmón. Recuperado de https://www.consejodelsalmon.cl/

- Crona, B. I., Wassénius, E., Jonell, M., Koehn, J. Z., Short, R., Tigchelaar, M., Daw, T. M., et al. (2023). Four ways blue foods can help achieve food system ambitions across nations. Nature, 616, 104–112.

- Darwin, C. (1859). On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life.

- Díaz, S. (2018). Assessing nature's contributions to people. Science, 359(6373), 270-272.

- Domínguez, I. (2020). Paisajes industrializados: Circularidades entre la industria contemporánea y el territorio. ETSAM.

- Duhart, E. (1940). Tesis de grado. ARQ, 23.

- Ellen MacArthur Foundation. (2021). Cultivo oceánico regenerativo: GreenWave. Recuperado de https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/ejemplos-circulares/cultivo-oceanico-regenerativo

- Escuela de Arquitectura Universidad Católica de Valparaíso. (1971). Maritorios de los Archipiélagos de la Patagonia Occidental. Recuperado de https://wiki.ead.pucv.cl/images/a/a9/OFI_1971_Maritorios.pdf

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). PESA Centroamérica. Recuperado de https://www.fao.org/in-action/pesa-centroamerica/es/

- Foodscapes. (2024). Foodscapes Compendium. Recuperado de https://foodscapescompendium.es/

- Friedlander, A., Ballesteros, E., Aguila, N., Caro, R., Caro, L., Carocca, C., et al. (2021). Kawésqar: Conocimiento tradicional, biodiversidad y recomendaciones de conservación. Informe de la expedición National Geographic Pristine Seas y los pueblos Kawésqar y Yagán.

- Fundación Superación Pobreza (FSP). (2016). Crisis en el habitar insular: Representaciones, significados y sentimientos de los habitantes del mar interior de Chiloé. Estudio regional Los Lagos.

- Fuentes Flores, P. (2020). Guía de Diseño Arquitectónico Infraestructura Pública Étnico XII Región - KAWÉSQAR. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.

- Graziano da Silva, J., Jales, M., Rapallo, R., Díaz-Bonilla, E., Girardi, G., del Grossi, M., Luiselli, C., Sotomayor, O., et al. (2021). Sistemas alimentarios en América Latina y el Caribe - Desafíos en un escenario pospandemia. FAO y CIDES. https://doi.org/10.4060/cb5441es

- GreenWave. (s.f.). Smart Farming: Testing Cutting Edge Sensor Tech on the GreenWave Farm. Recuperado de https://www.greenwave.org/blog-who-farms-matters/smart-farming-testing-cutting-edge-sensor-tech-on-the-greenwave-farm

- Grupo ERSIL y SITECNA. (2021). Compendio Ecosistema de Innovación en la industria de la salmonicultura chilena. Revista Salmonexpert. Recuperado de www.clubinnovacionacuicola.cl/documentos

- Häussermann, V., Försterra, G., Melzer, R. R., & Meyer, R. (2013). Gradual changes of benthic biodiversity in Comau Fjord, Chilean Patagonia - lateral observations over a decade of taxonomic research.

- Inostroza, L. (2015). El mito de pristinidad y los usos efectivos del territorio de la Región de Magallanes, Patagonia chilena: forestal, minería y acuicultura. Estudios Geográficos, 76(278), 141-175.

- Inostroza, L., Zasada, I., & König, H. J. (2016). Last of the wild revisited: assessing spatial patterns of human impact on landscapes in southern Patagonia, Chile. Regional Environmental Change, 16(7), 2071-2085.

- Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). (2000). Curso cultivo de choritos en la zona sur de Chile: Innovaciones en la tecnología de cultivo de chorito (Mytilus chilensis). IFOP.

- Inostroza Rivas, M. R. (2008). Proyecto de sistema de fondeo para centros de cultivos de salmones [Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile]. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Naval.

- Ley N° 19.300. (1994). Ley de Bases Generales del Medio Ambiente. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667

- Martínez, I., & Paredes, C. (2020). ¿Conservado o cultivando? Régimen jurídico del desarrollo de la salmonicultura en áreas protegidas. Fundación Terram.

- Matus Carrasco, D., & Cvitanić Díaz, B. (2022). Industrialización, hábitat colectivo y borde costero durante el siglo XX. Stoq Editorial.

- Montaner, J. (2008). Sistemas Arquitectónicos Contemporáneos.

- Morton, T. (2010). The Ecological Thought. Harvard University Press.

- Morton, T. (2018). Ecología oscura: Sobre la coexistencia futura. Ediciones Paidós.
- Nabarro, D. (2019). The Food Systems Dialogues: Emerging Themes 2018–19. V4: 11 December 2019. Recuperado de https://foodsystemsdialogues.org/wp-content/uploads/2020/04/191218_Red-Thread-themes-synthesis.pdf
- Naciones Unidas para Chile. (2022). Sistemas alimentarios frente a la actual crisis climática: Desafíos y recomendaciones del Sistema de Naciones Unidas para Chile.
- Organización de las Naciones Unidas. (n.d.). Food Systems Summit Dialogues. Recuperado de https://www.un.org/en/food-systems-summit/dialogues
- Ossio, G. (2023, octubre 3). Los residuos de construcción y demolición en Chile: Un reto camino a la construcción sostenible. iConstrucción. Recuperado de https://www.iconstruccion.cl
- Otero Verzier, M. (2018). Work, Body, Leisure. Hatje Cantz.
- Otero Verzier, M. (2019). Automated Landscapes. Het Nieuwe Instituut.
- Otero Verzier, M. (2024). El paisaje y el archivo [Charla]. Universidad Diego Portales.
- Rabassa, J. (2010). El cambio climático global en la Patagonia desde el viaje de Charles Darwin hasta nuestros días.
- Radio Duna. (2022, enero 17). ¿Qué es maritorio y por qué podría estar dentro de la Constitución? Radio Duna. Recuperado de https://www.duna.cl/noticias/2022/01/17/que-es-maritorio-y-por-que-podria-estar-dentro-de-la-constitucion/
- Rogers, R. (1991). The future. En W. Wilkinson, Supersheds: The architecture of long-span large-volume buildings.
- Rossetti, F. (2023). Una frontera permanente: Historia cultural del paisaje de Aysén, Patagonia chilena 1902-2017. Ediciones ARQ.

• Rosenfield, K. (2015, octubre 22). 3D Ocean Farm Creator Wins 2015 Buckminster Fuller Challenge. ArchDaily. Recuperado de https://www.archdaily.com/775870/3d-ocean-farm-creator-wins-2015-buckminster-fuller-challenge

• Saavedra, S., Henríquez, L., Leal, P., Galleguillos, F., Cook, S., & Cárcamo, F. (2019). Cultivo de macroalgas: Diversificación de la acuicultura de pequeña escala en Chile. Instituto de Fomento Pesquero.

• Saffie, N. (2023). Huiro regenerativo: Cultivar algas para un desarrollo sustentable. Centro de Innovación UC. Recuperado de https://www.uc.cl/noticias/huiro-regenerativo-cultivar-algas-para-un-desarrollo-sustentable/

• Saloma, M. (2015). Paisaje productivo. Borde de articulación urbano-natural.

• SERNAPESCA. (2024). Anuarios estadísticos de pesca y acuicultura. Recuperado de http://www.sernapesca.cl/informes/estadisticas

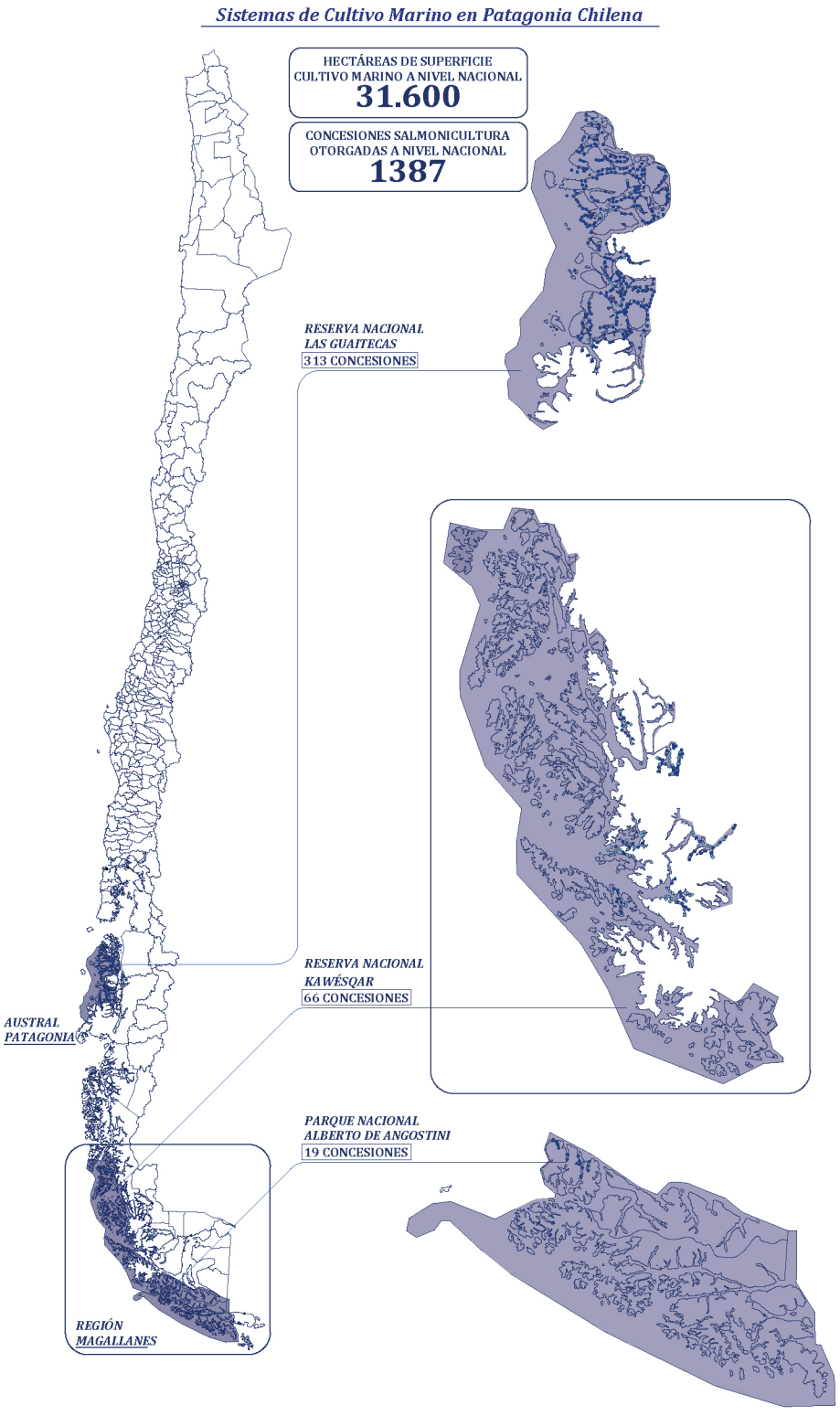
• Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. (2023). Informe sobre uso de antimicrobianos en la salmonicultura nacional: Año 2021. Recuperado de https://www.sernapesca.cl/app/uploads/2023/11/informe_sobre_uso_de_antimicrobianos_en_la_salmonicultura_nacional_ano_2021.pdf

• Schwartz, J. (2024, agosto 13). Chile's salmon farms are suffocating one of Patagonia's most pristine bays. The New York Times. Recuperado de https://www.nytimes.com/2024/08/13/science/chile-salmon-farms-patagonia.html

• Simondon, G. (1958). El modo de existencia de los objetos técnicos. Prometeo Libros.

Smith, B. (2013). Vertical ocean farming - the least deadliest catch [Video]. TEDxBermuda. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=j8ViaskDSeI&t=339s

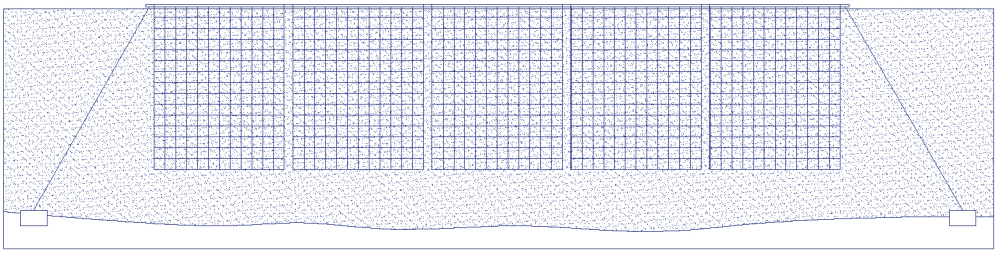
- Smith, B. (2020). La solución del océano [Video]. Provisiones Patagonia. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=r10omaIHhK0
- Strang, G. L. (1996). Infrastructure as landscape.
- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. (s.f.). Geoportal de Acuicultura. Recuperado de https://geoportal.subpesca.cl/portal/apps/sites/#/geoportal/pages/acuicultura
- Topalovic, M. (2023). Agronica: Agrarian Urbanism. Recuperado de https://topalovic.arch.ethz.ch/Courses/Student-Projects/FS23-Agronica-Agrarian-Urbanism
- U.S. Department of Agriculture. (n.d.). Global Agricultural Trade System (GATS). Foreign Agricultural Service. Recuperado de https://apps.fas.usda.gov/gats/default.aspx
- United Nations. (2016). Sustainable Development Goals. Recuperado de https://www.un.org/sustainabledevelopment
- United Nations. (n.d.). El océano: Nuestro mayor aliado en la lucha contra el cambio climático. Recuperado de https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/ocean
- Urbina, M. A., Cumillaf, J. P., Paschke, K., & Gebauer, P. (2019). Effects of pharmaceuticals used to treat salmon lice on non-target species: Evidence from a systematic review.
- WWF Chile. (2022). Interacciones y efectos de principales actividades industriales en áreas marinas protegidas de la Patagonia chilena. Valdivia, Chile: WWF Chile.
- William Sherman. (2005). "Fields in Flux". En C. J. Burns & A. Kahn (Eds.), Site Matters: Design Concepts, Histories, and Strategies. Routledge.


Sistemas de Cultivo Marino en Patagonia Chilena
HECTÁREAS DE SUPERFICIE CULTIVO MARINO A NIVEL NACIONAL
31.600
CONCESIONES SALMONICULTURA OTORGADAS A NIVEL NACIONAL
1387
RESERVA NACIONAL LAS GUAITECAS
313 CONCESIONES
RESERVA NACIONAL KAWÉSQAR
66 CONCESIONES
PARQUE NACIONAL ALBERTO DE ANGOSTINI
19 CONCESIONES
AUSTRAL PATAGONIA
REGIÓN MAGALLANES

MODELO ACTUAL - SALMONICULTURA

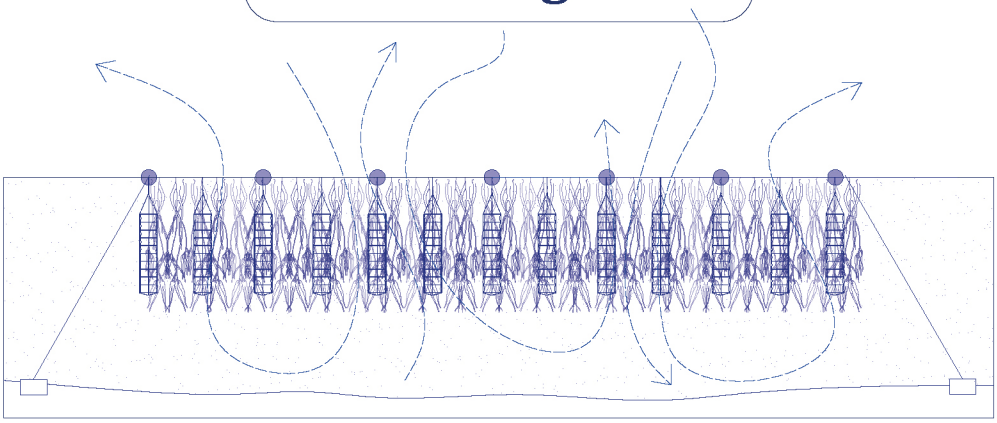
CONCESIONES OTORGADAS
ÁREAS PROTEGIDAS
416

RESIDUOS X DÍA
23.000 m_3

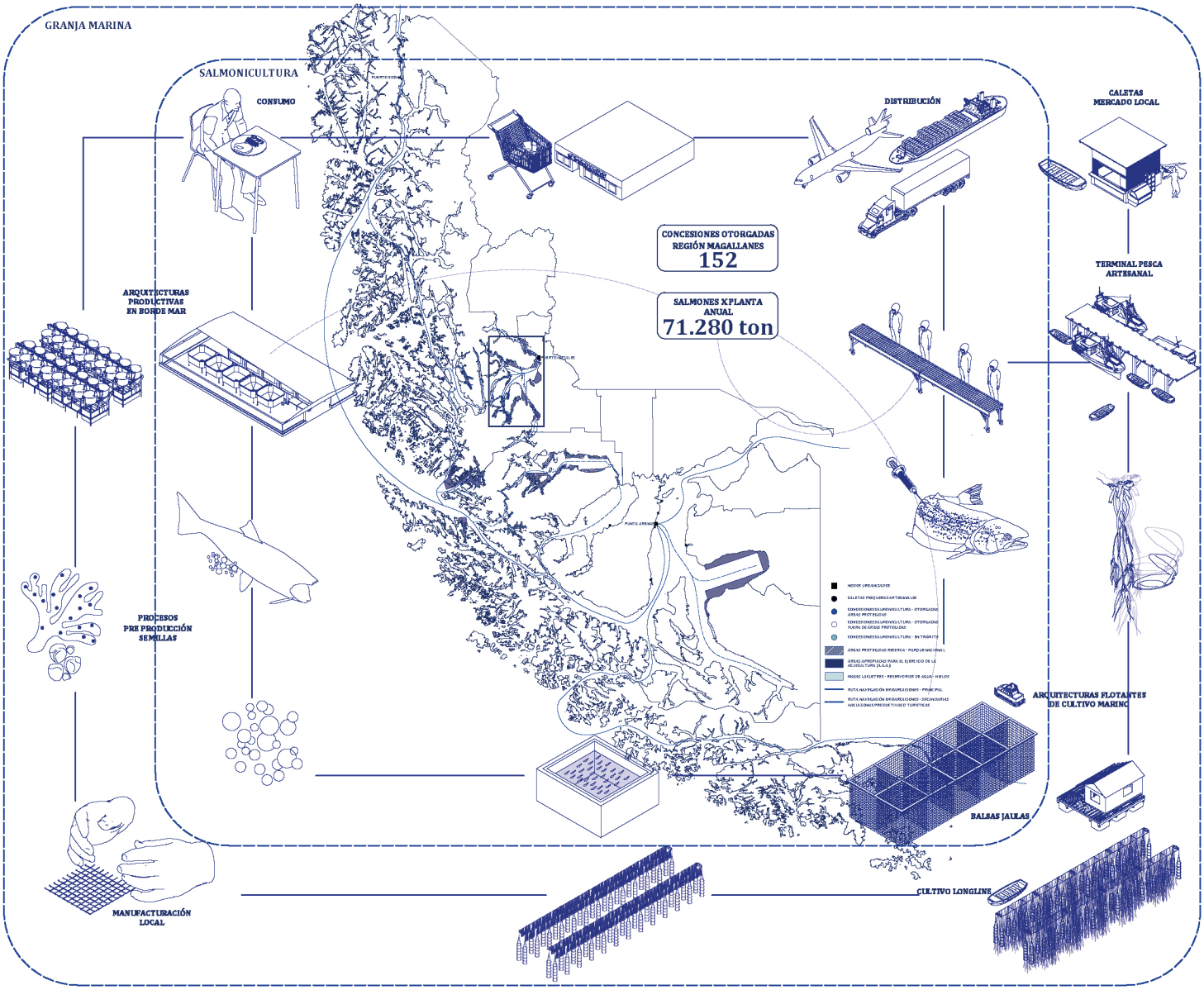


NUEVOS MODELOS - GRANJA MARINA REGENERATIVA
0% CONTAMINACIÓN

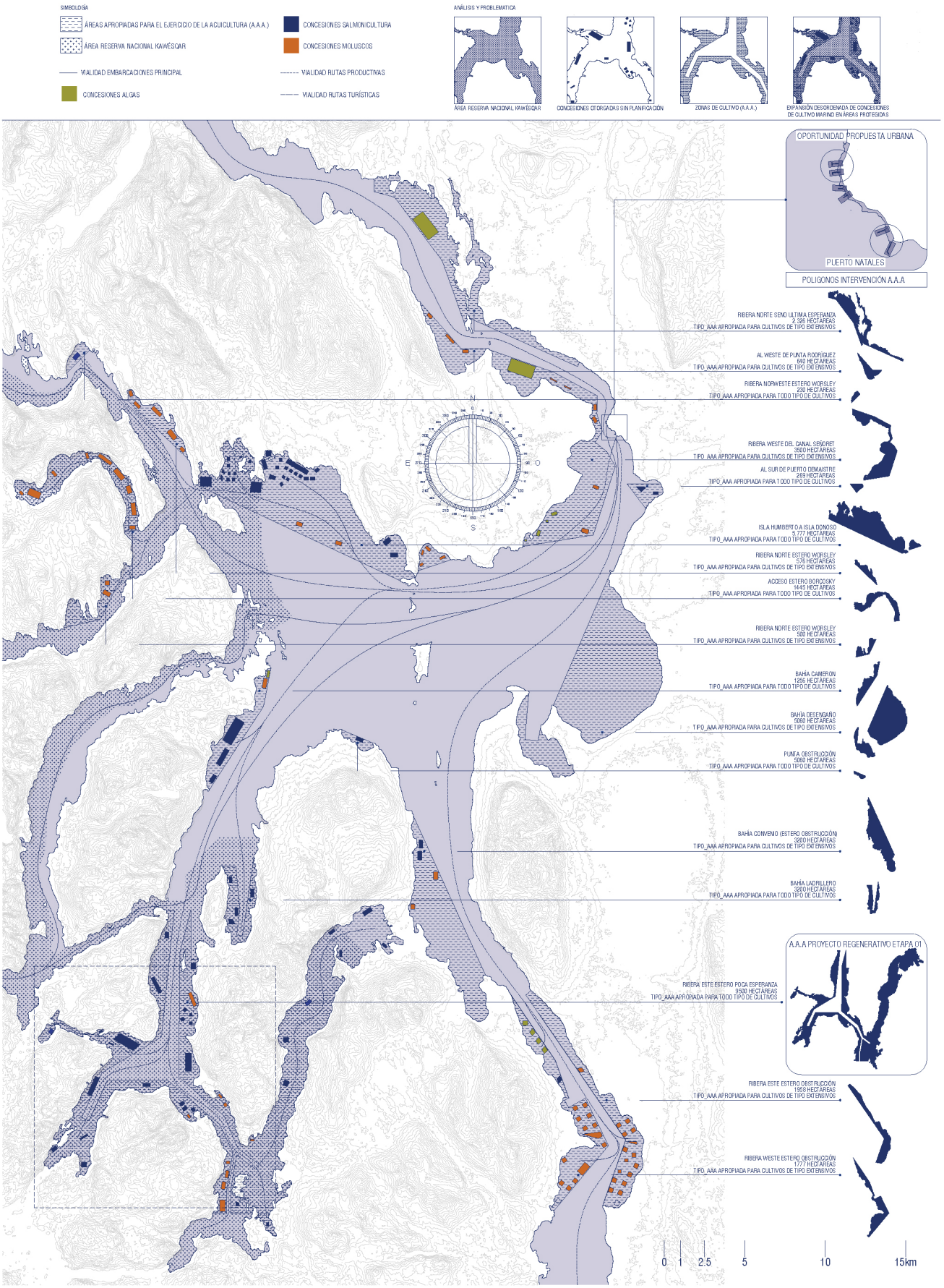
REGENERACIÓN AL DÍA X HECTÁREA
1.125 kg C02
37.5 kg N



SISTEMAS DE ARQUITECTURAS ALIMENTARIAS



Concesiones Cultivos Marinos - Reserva Nacional Kawésqar



Maquinas Alimentarias de Cultivo Marino Regenerativo

Proyecto Urbano / Industria y Borde Costero

Propuesta Plan Nacional / Sistema Alimentario Policultivo Regenerativo

2019

Los Diálogos de los Sistemas Alimentarios (The Food System Dialogues, FSD) ONU

2024

Creación movimiento "Salvemos Patagonia" para combatir las salmoneras en la Patagonia Chilena

2025

Impulso de políticas públicas que fortalecen la gestión territorial en el maritorio, promoviendo la implementación de concesiones de policultivo como norma general.

2026

Salida de las salmoneras de áreas protegidas sin posibilidad de relocalización

2027 / Inicio Proyecto Maquinas Alimentarias de Cultivo Marino Regenerativo

Reutilización de infraestructuras de flotación de la salmonicultura para fines de cultivo regenerativo, optimizando recursos y minimizando el impacto de nuevas instalaciones.

2028

Inicio de la producción de sistemas de cultivo regenerativo en áreas protegidas de la Reserva Kawésqar, con la implementación inicial de cultivos de algas y bivalvos.

2030

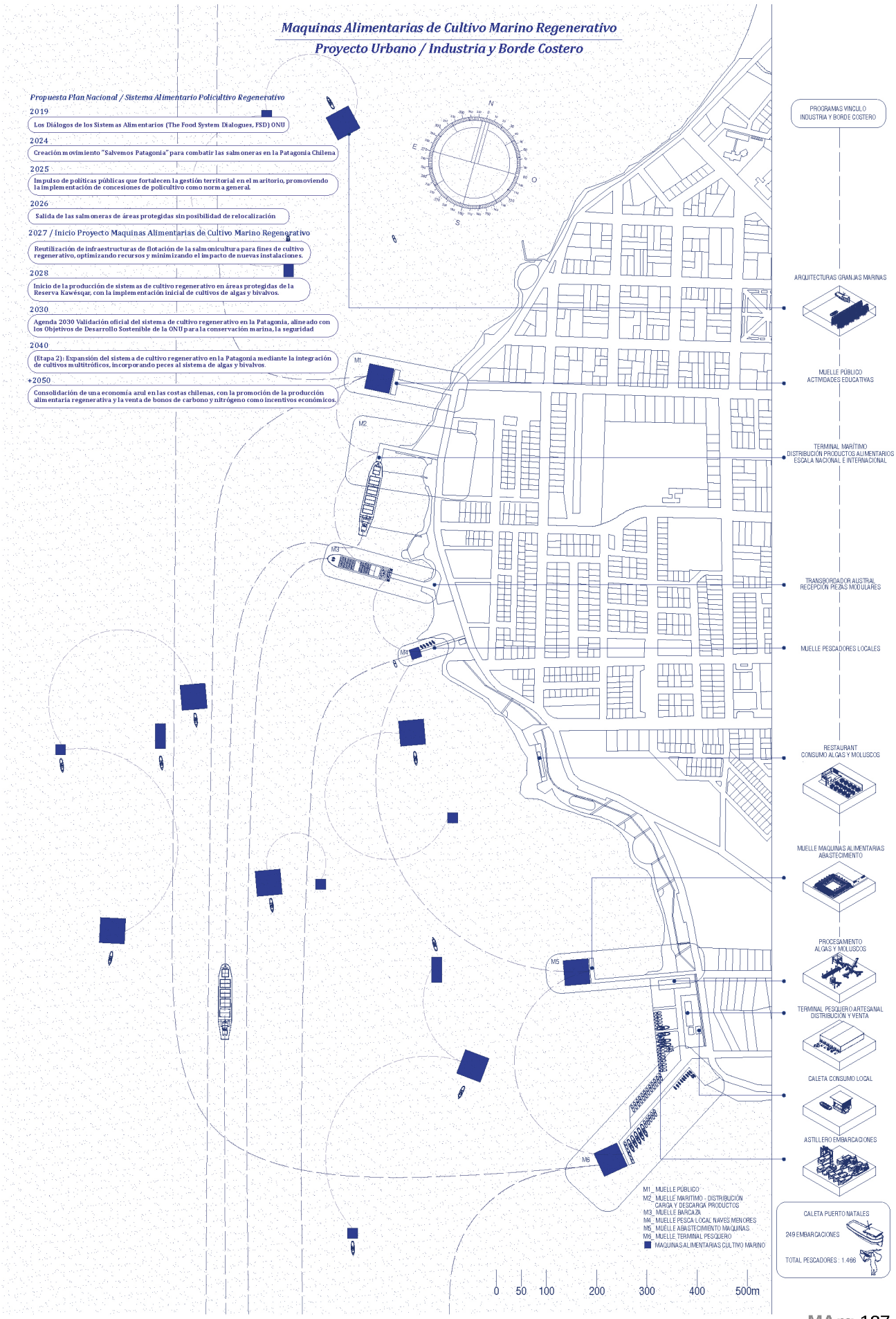
Agenda 2030 Validación oficial del sistema de cultivo regenerativo en la Patagonia, alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU para la conservación marina, la seguridad

2040

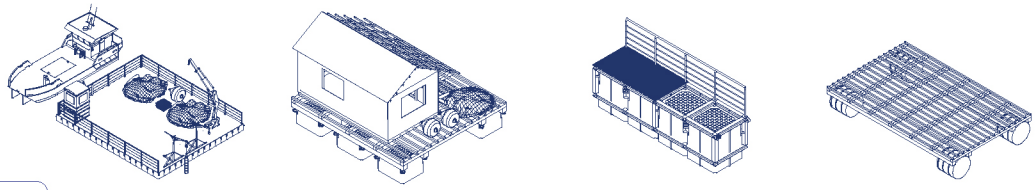
(Etapa 2): Expansión del sistema de cultivo regenerativo en la Patagonia mediante la integración de cultivos multitróficos, incorporando peces al sistema de algas y bivalvos.

+2050

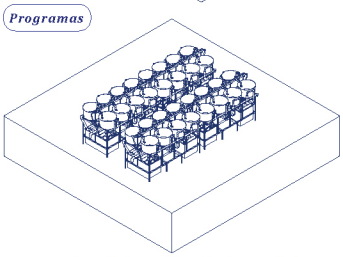
Consolidación de una economía azul en las costas chilenas, con la promoción de la producción alimentaria regenerativa y la venta de bonos de carbono y nitrógeno como incentivos económicos.



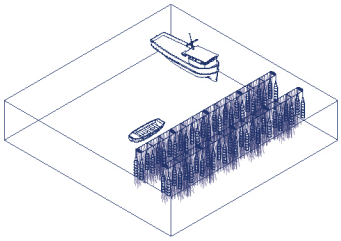
Tipologías Arquitecturas Marinas



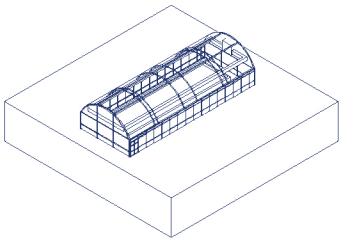
Programas



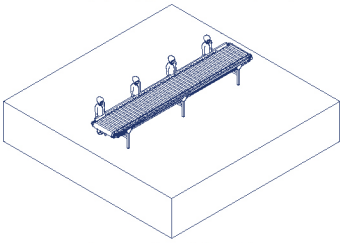
Hatchery (cría y producción de especies)



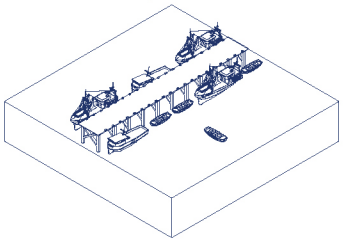
Granjas Marinas



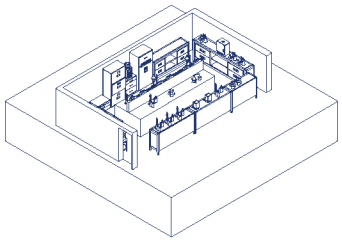
Invernadero



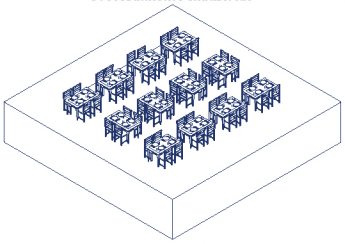
Procesamiento Industrial



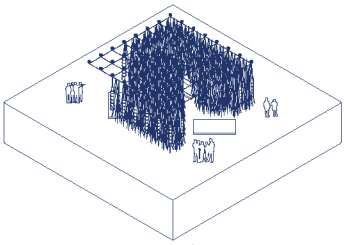
Distribución



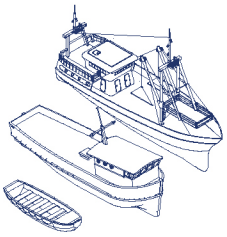
Laboratorio Investigación



Gastronomía

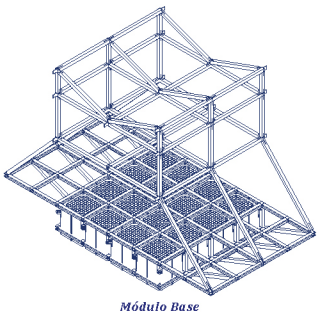


Interactivo

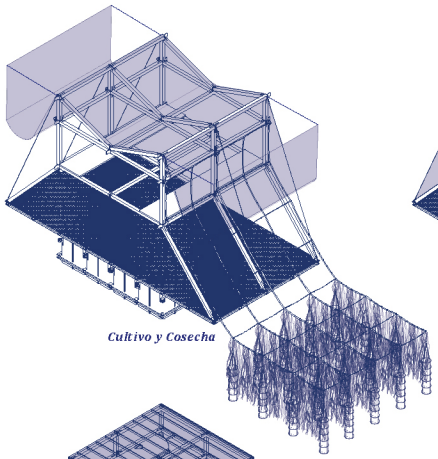


Tipologías Embarcaciones

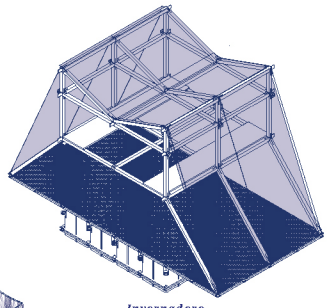
Tipologías Módulos



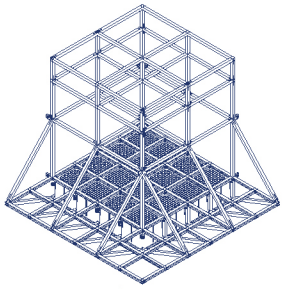
Módulo Base



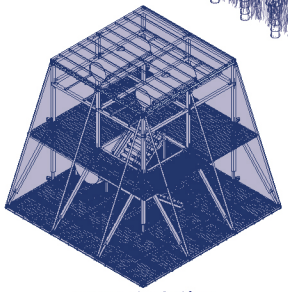
Cultivo y Cosecha



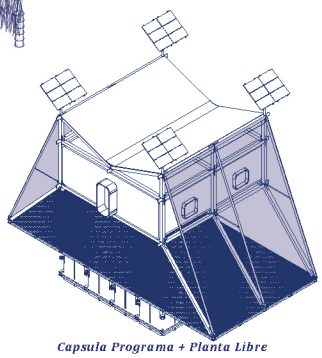
Invernadero



Módulo Codo

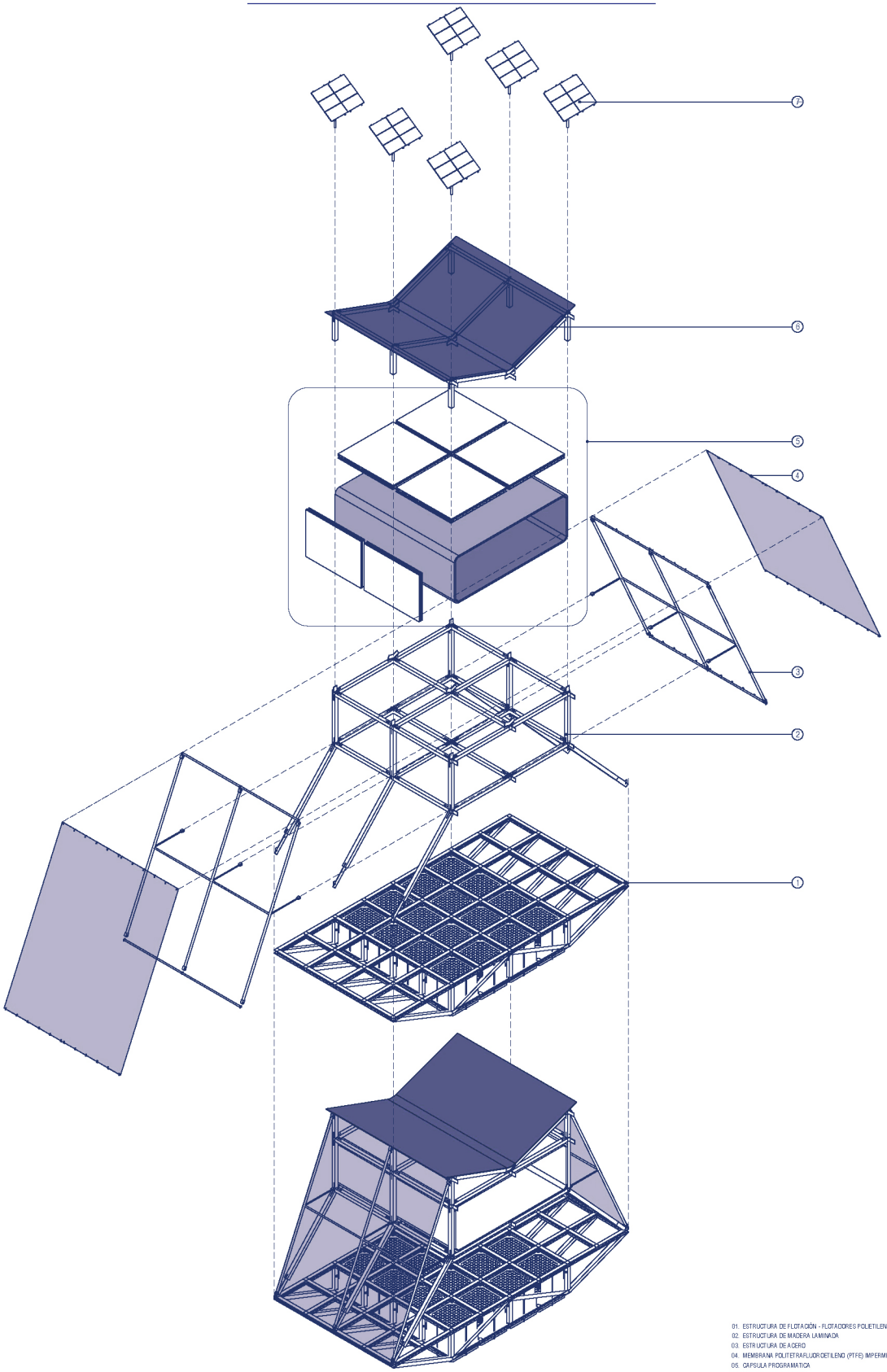


Aguas + Circulaciónes

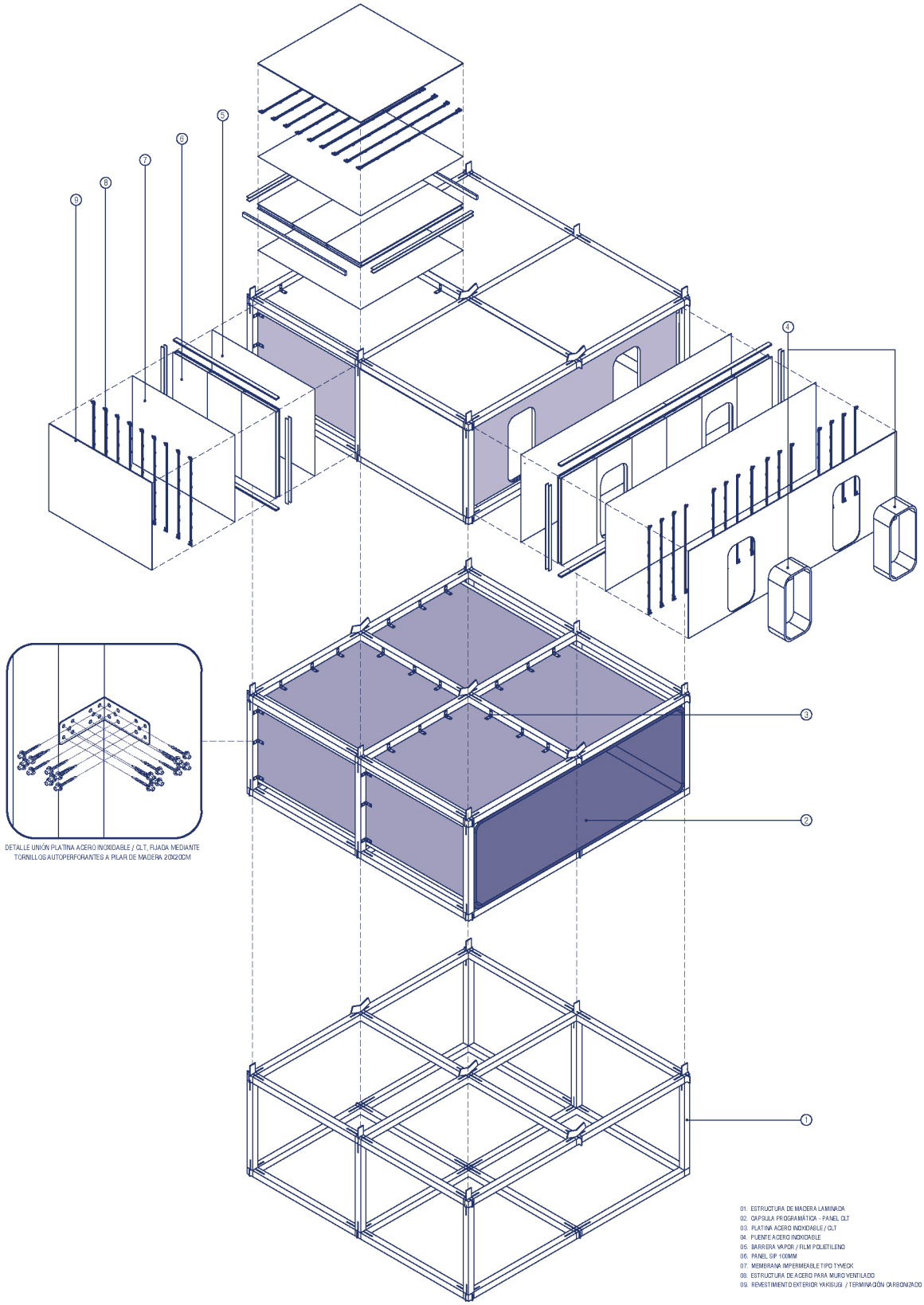


Capsula Programa + Planta Libre

Módulo Base

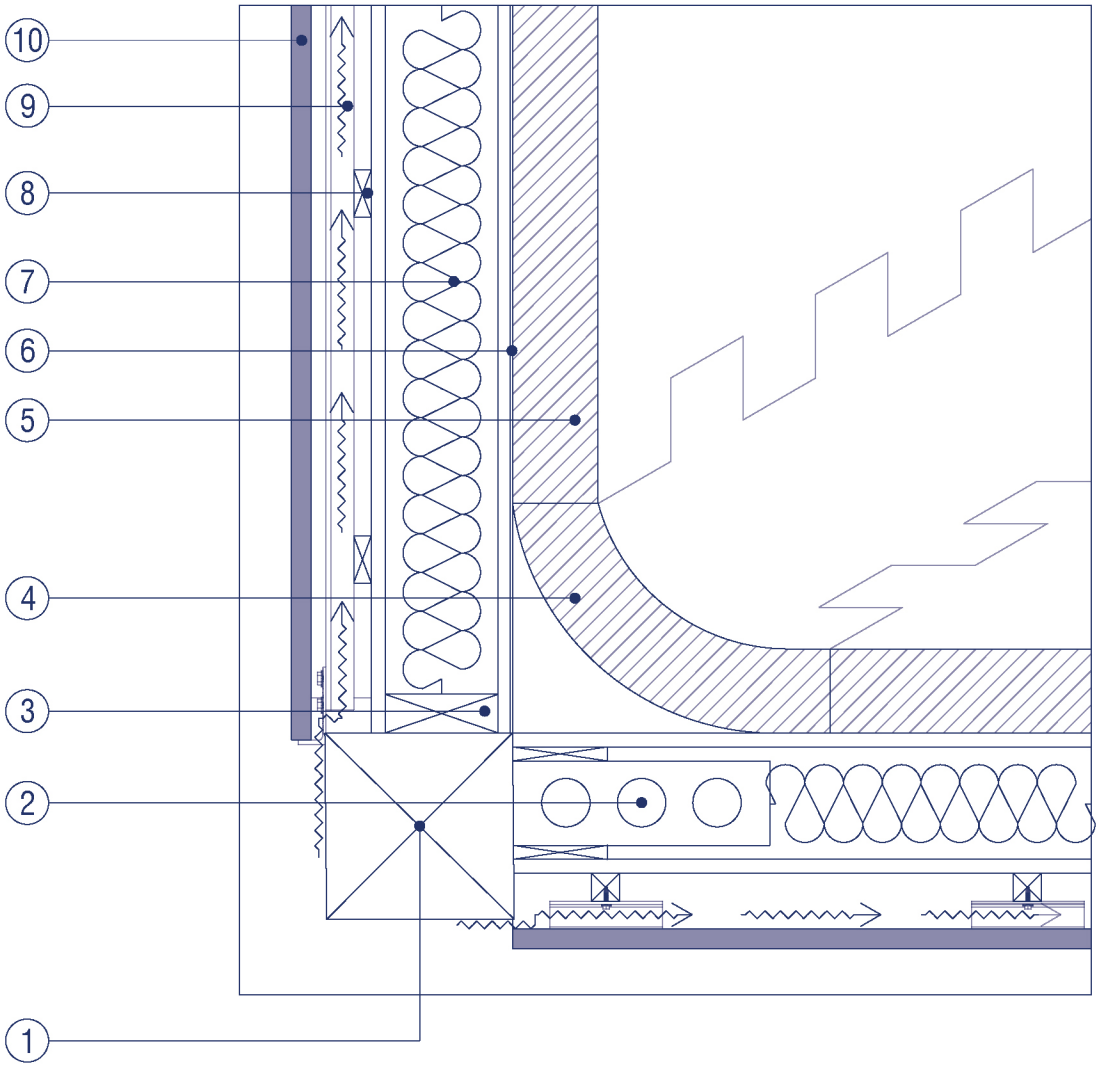


01. ESTRUCTURA DE FLOTACIÓN - FLOTADORES POLIETILENO ALTA DENSIDAD
02. ESTRUCTURA DE MADERA LAMINADA
03. ESTRUCTURA DE ACERO
04. MEMBRANA POLITETRAFLUOROETILENO (PTFE) IMPERMEABLE TRANSPARENTE
05. CAPSULA PROGRAMATICA
06. ESTRUCTURA CUBIERTA
07. ENERGÍA - PANEL SOLAR

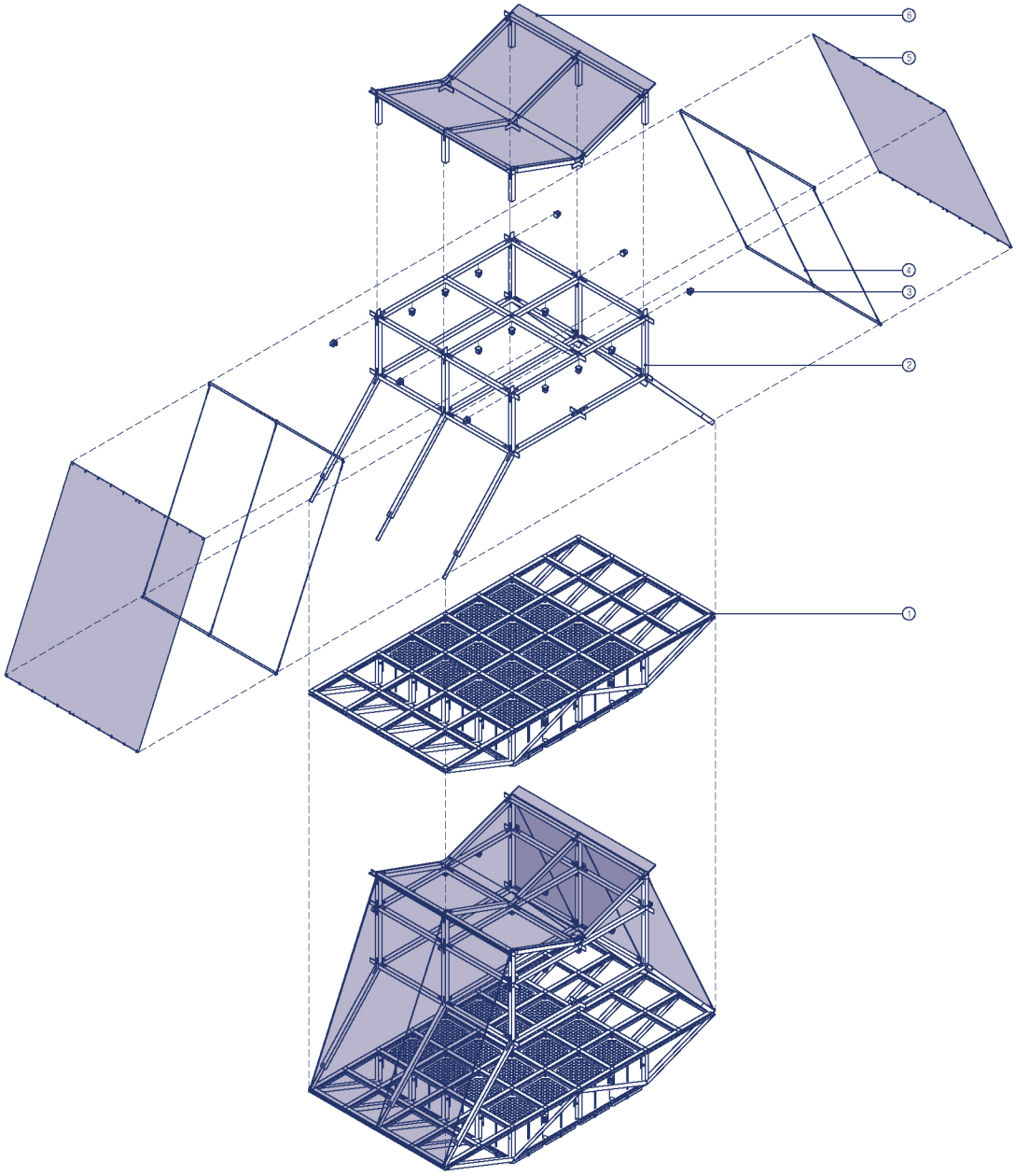


DETALLE UNIÓN PLATINA ACERO INOXIDABLE / CLT, FIJADA MEDIANTE TORNILLOS AUTOPERFORANTES A PILAR DE MADERA 20X20CM

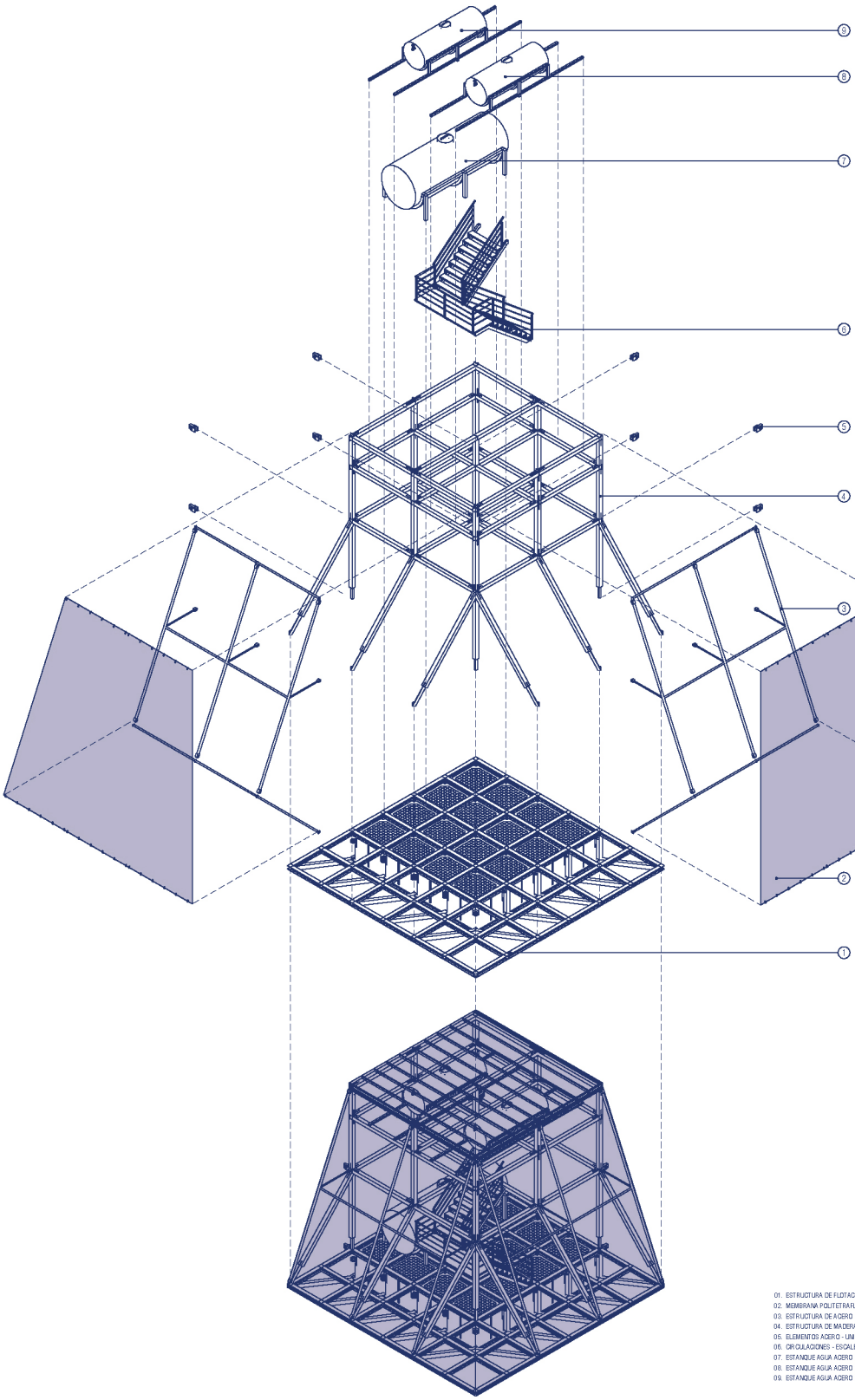
01. ESTRUCTURA DE MADERA LAMINADA
02. CAPSULA PROGRAMÁTICA - PANEL CLT
03. PLATINA ACERO INOXIDABLE / CLT
04. PUENTE ACERO INOXIDABLE
05. BARRERA VAPOR / FILM POLIETILENO
06. PANEL SIP 100MM
07. MEMBRANA IMPERMEABLE TIPO TYVEQX
08. ESTRUCTURA DE ACERO PARA MURO VENTILADO
09. REVESTIMIENTO EXTERIOR YAKISUGI / TERMINACIÓN CARBONIZADO



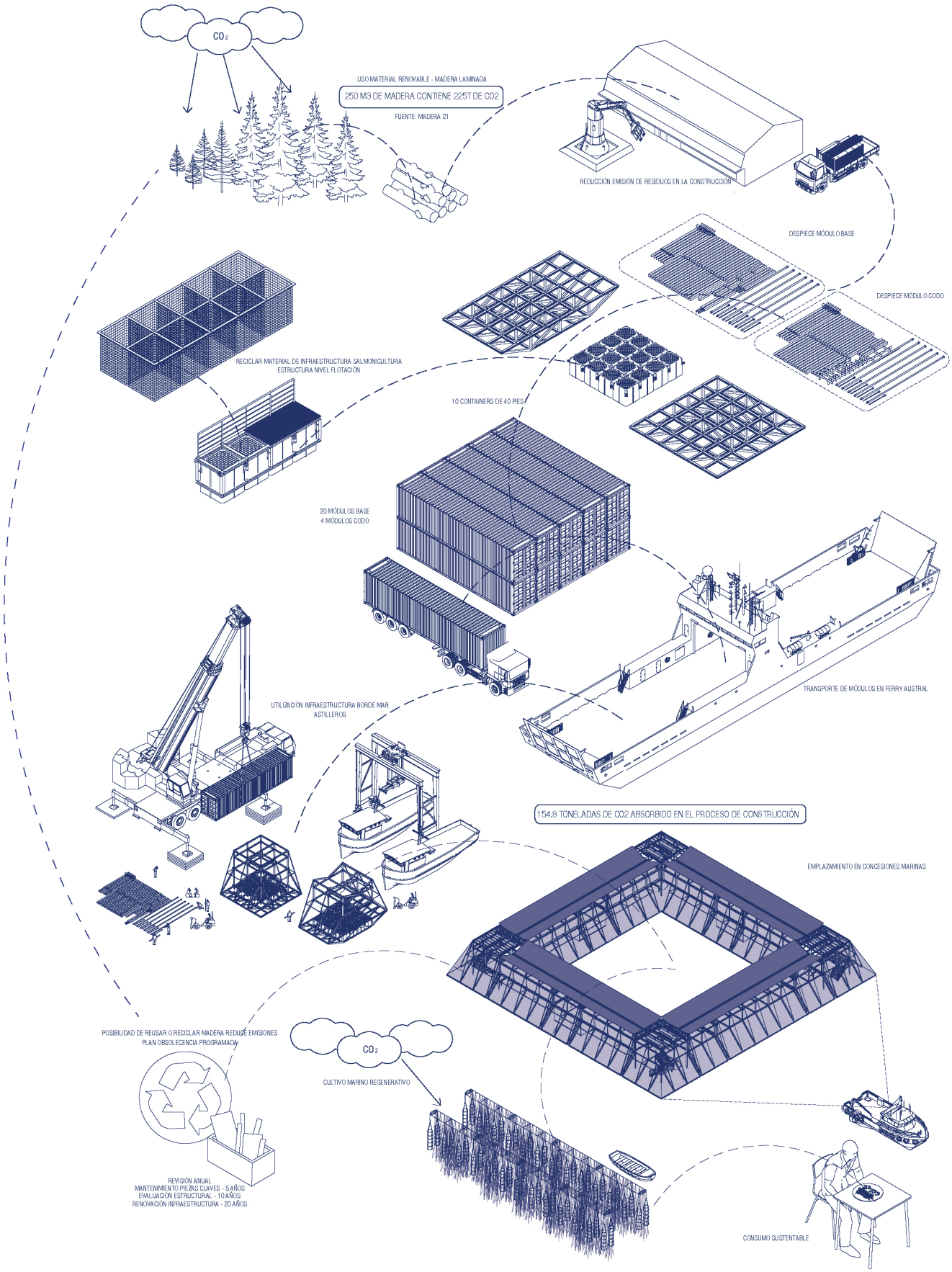
01. VIGA SECCIÓN 20X20 CM, MADERA LAMINADA ENCOLADA ESTRUCTURAL / S/CÁLCULO
02. PASE PARA ELÉCTRICA
03. SOLERA INFERIOR PANEL SIP
04. UNION ESQUINERA MACHIHEMBRADO PANEL CLT
05. PANEL CLT PINO RADIATA E=100MM
06. BARRERA VAPOR / FILM POLIETILENO
07. PANEL SIP 150MM
08. RASTREL VERTICAL PINO 2X3"
09. CAVIDAD INTERIOR / MURO VENTILADO
10. REVESTIMIENTO EXTERIOR YAKISUGI / TERMINACIÓN CARBONIZADO

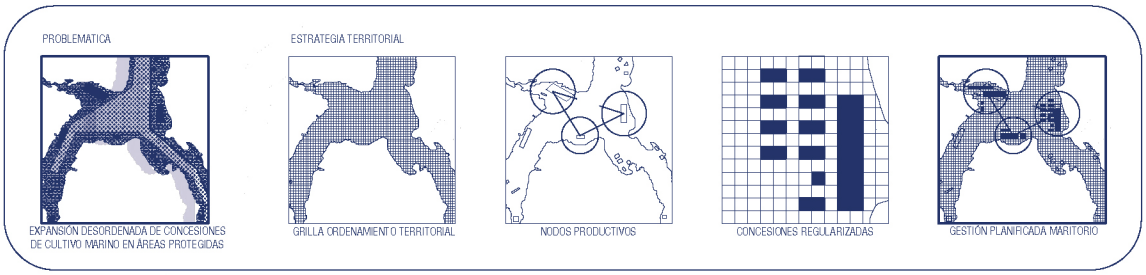


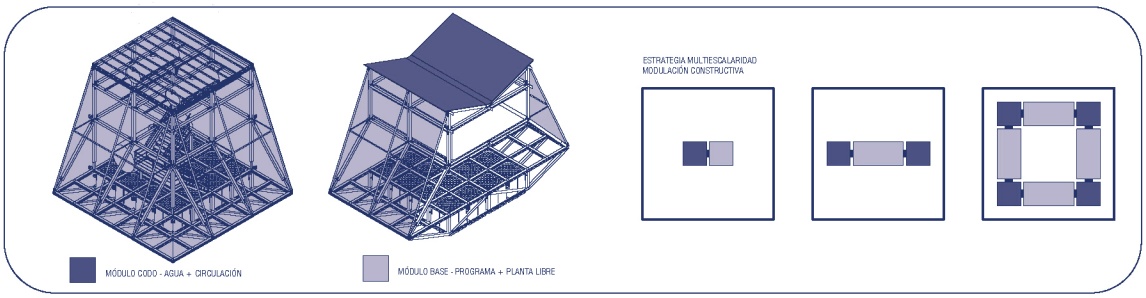
01. ESTRUCTURA DE FLOTACIÓN - FLOTADORES POLIETILENO ALTA DENSIDAD
02. ESTRUCTURA DE MADERA LAMINADA
03. ELEMENTOS DE ACERO - SISTEMA DE POLEAS
04. TENSORES Y ESTRUCTURA DE ACERO
05. MEMBRANA POLITETRAFLUOROETILENO (PTFE) IMPERMEABLE TRANSPARENTE
06. ESTRUCTURA CUBIERTA - POLICARBONATO TRANSPARENTE



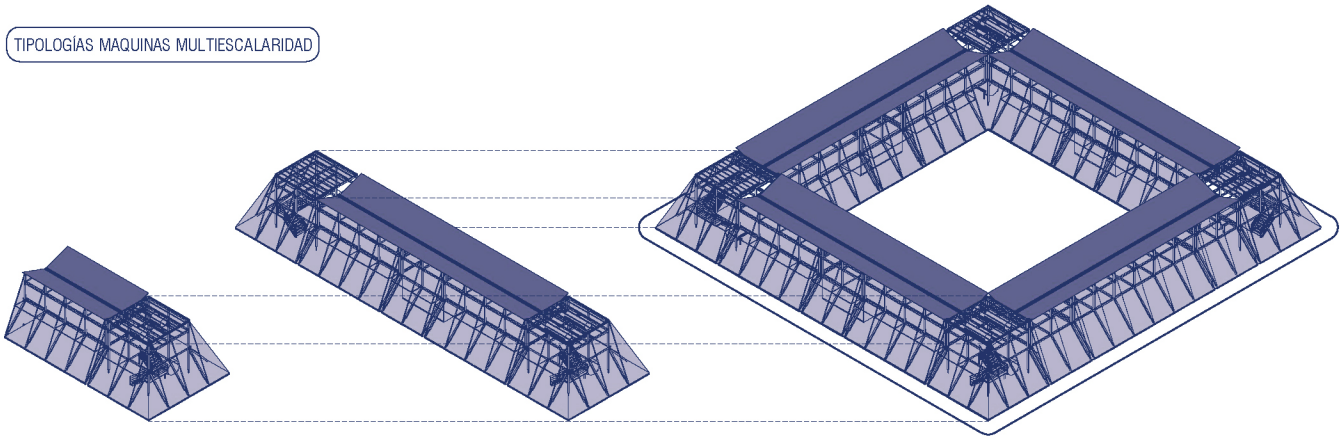
01. ESTRUCTURA DE FLOTACIÓN - FLOTADORES POLIETILENO ALTA DENSIDAD
02. MEMBRANA POLITETRAFLUOROETILENO (PTFE) IMPERMEABLE TRANSPARENTE
03. ESTRUCTURA DE ACERO
04. ESTRUCTURA DE MADERA LAMINADA
05. ELEMENTOS ACERO - UNIÓN ROTULADA
06. CIRCULACIONES - ESCALERA
07. ESTANQUE AGUA ACERO INOXIDABLE HORIZONTAL 20.000LT / AGUA LLUVIA
08. ESTANQUE AGUA ACERO INOXIDABLE HORIZONTAL 5000LT / AGUA POTABLE
09. ESTANQUE AGUA ACERO INOXIDABLE HORIZONTAL 5000LT / AGUA SALADA


CO_2
USO MATERIAL RENOVABLE - MADERA LAMINADA
250 M3 DE MADERA CONTIENE 225T DE CO2
FUENTE: MADERA 21
REDUCCIÓN EMISIÓN DE RESIDUOS EN LA CONSTRUCCIÓN
DESPIECE MÓDULO BASE
DESPIECE MÓDULO CODO
RECICLAR MATERIAL DE INFRAESTRUCTURA SALMONICULTURA
ESTRUCTURA NIVEL FLOTACIÓN
10 CONTAINERS DE 40 PIES
20 MÓDULOS BASE
4 MÓDULOS CODO
TRANSPORTE DE MÓDULOS EN FERRY AUSTRAL
UTILIZACIÓN INFRAESTRUCTURA BORDE MAR
ASTILLEROS
154,8 TONELADAS DE CO2 ABSORBIDO EN EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN
EMPLAZAMIENTO EN CONCESIONES MARINAS
POSIBILIDAD DE REUSAR O RECICLAR MADERA REDUCE EMISIONES
PLAN OBSOLECENCIA PROGRAMADA
CO_2
CULTIVO MARINO REGENERATIVO
REVISIÓN ANUAL
MANTENIMIENTO PIEZAS CLAVES - 5 AÑOS
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL - 10 AÑOS
RENOVACIÓN INFRAESTRUCTURA - 20 AÑOS
CONSUMO SUSTENTABLE





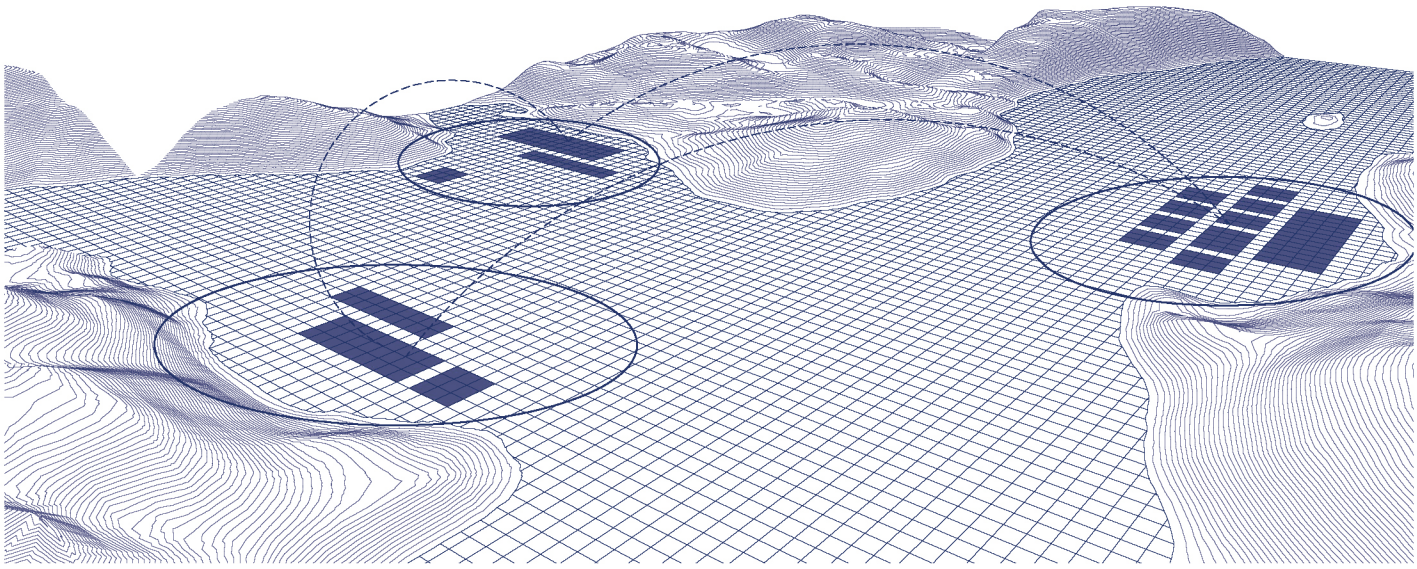
TIPOLOGÍAS MAQUINAS MULTIESCALARIDAD

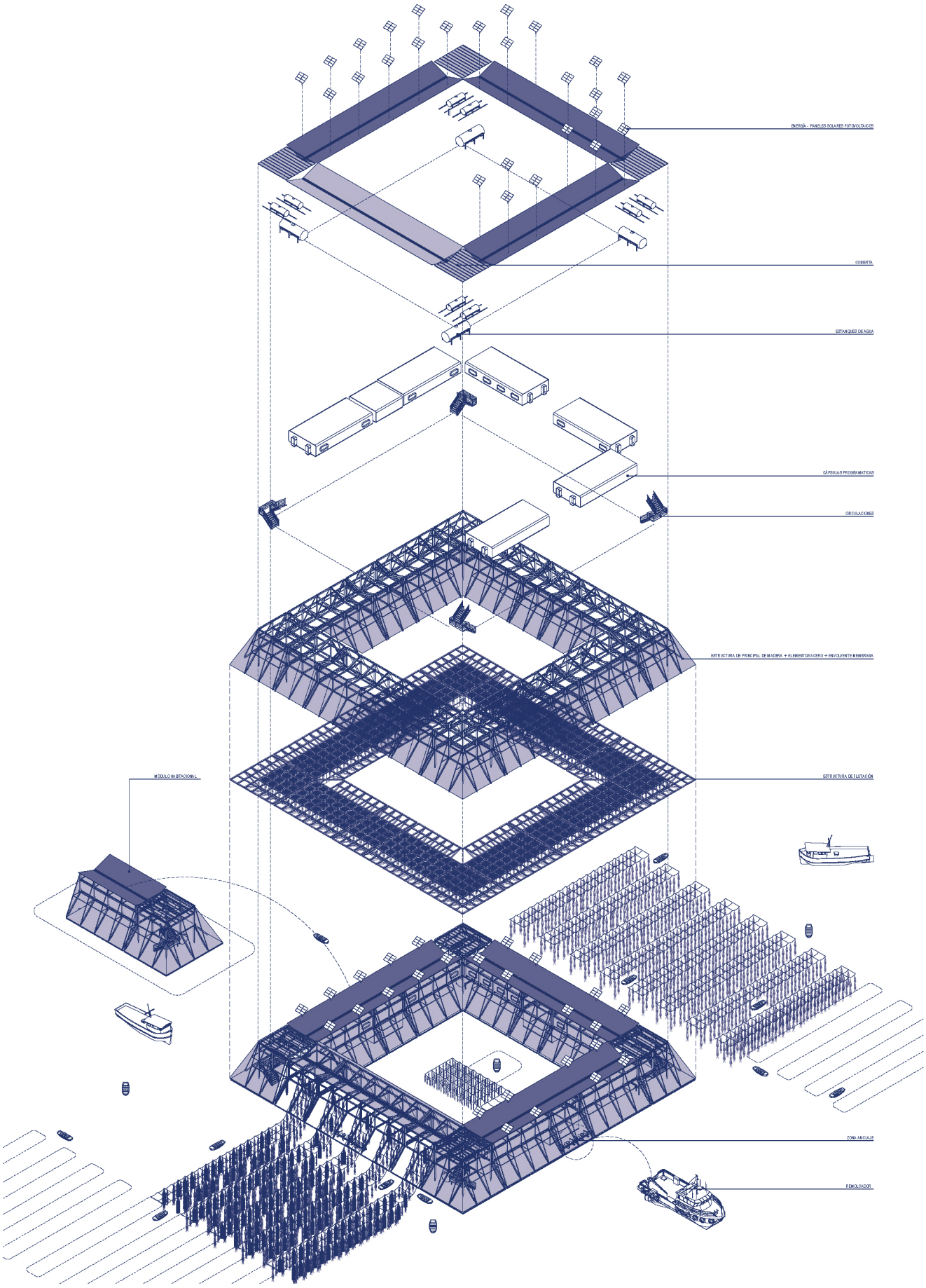


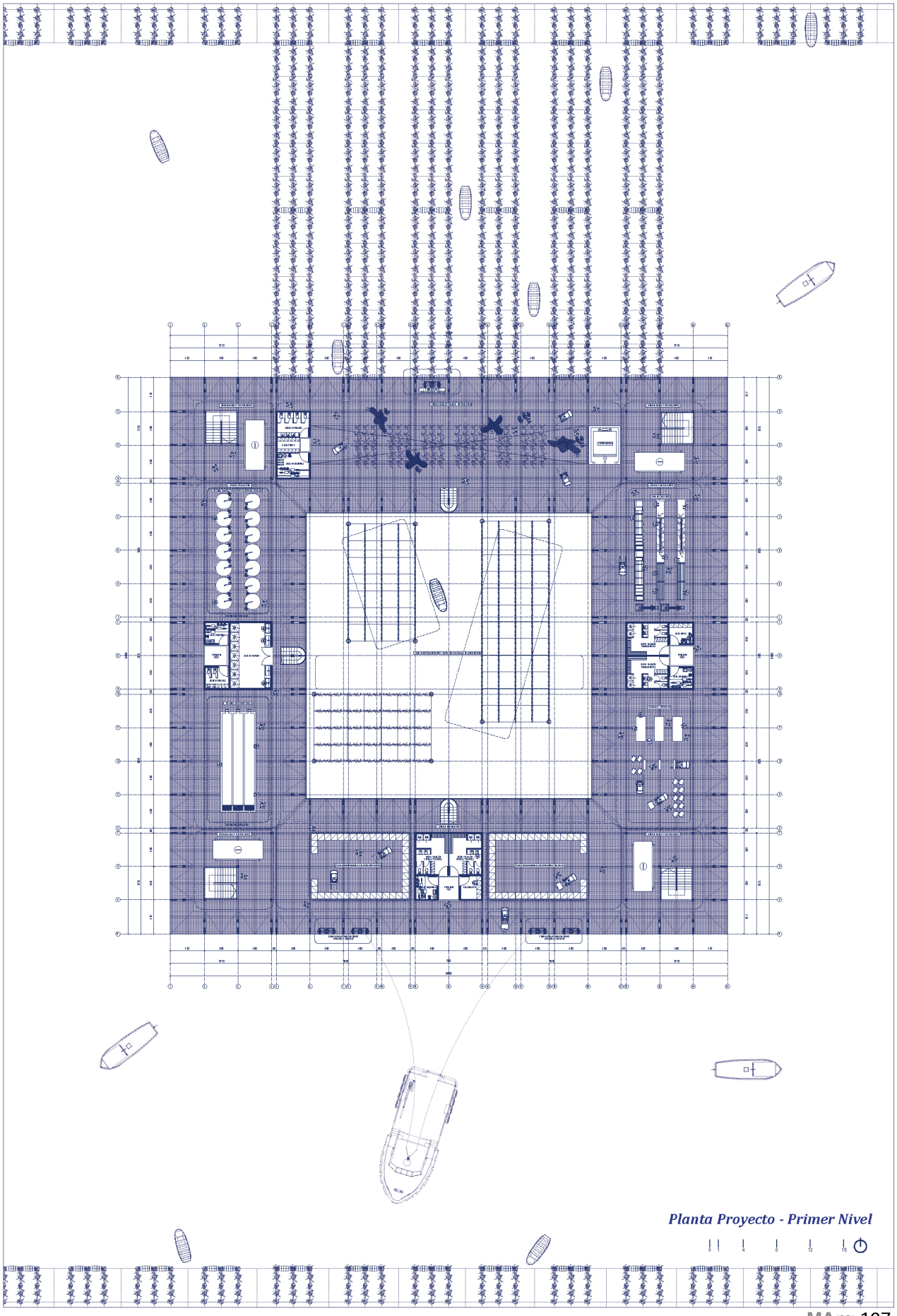
MAQUINA +5 - 10 HECTÁREAS

MAQUINA +10 - 20 HECTÁREAS

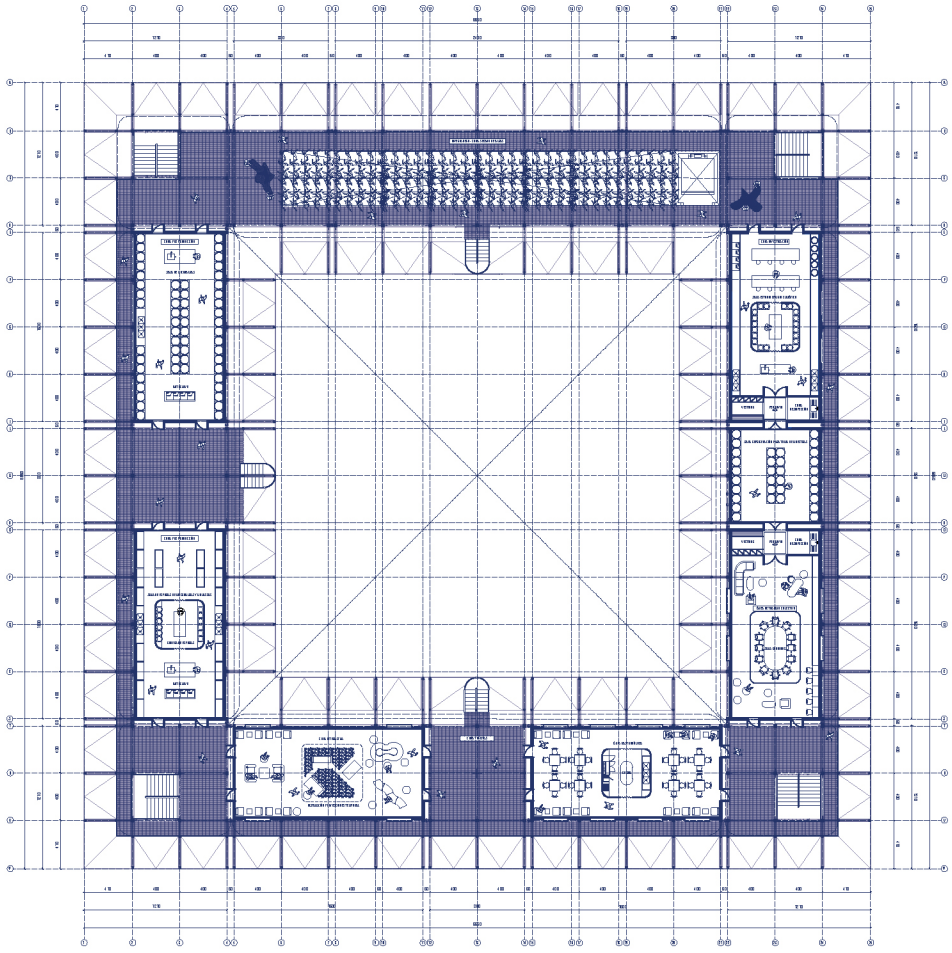
MAQUINA +30 - 50 HECTÁREAS




ENERGÍA - PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS
CUBIERTA
ESTANQUES DE AGUA
CÁPSULAS PROGRAMÁTICAS
CIRCULACIONES
ESTRUCTURA DE PRINCIPAL DE MADERA + ELEMENTOS ACERO + ENVOLVENTE MEMBRANA
ESTRUCTURA DE FLOTACIÓN
MÓDULO HABITACIONAL
ZONA ANCLAJE
REMOLCADOR

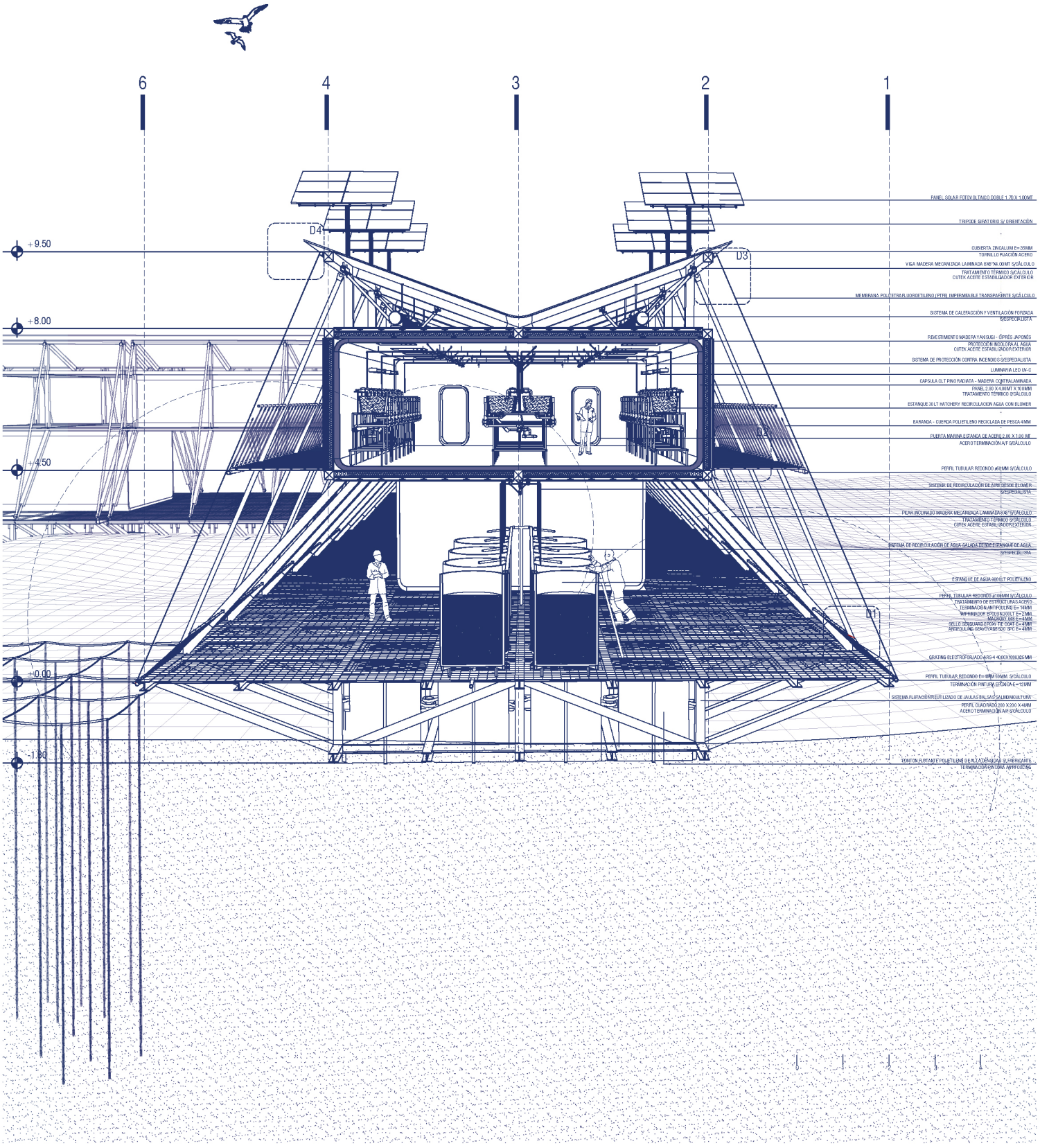


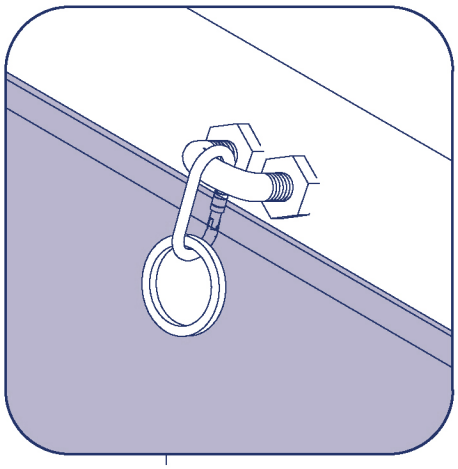
Planta Proyecto - Primer Nivel



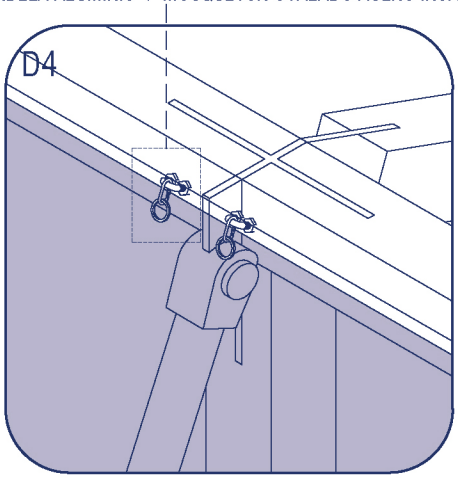
Planta Proyecto - Segundo Nivel

Corte Zona Producción

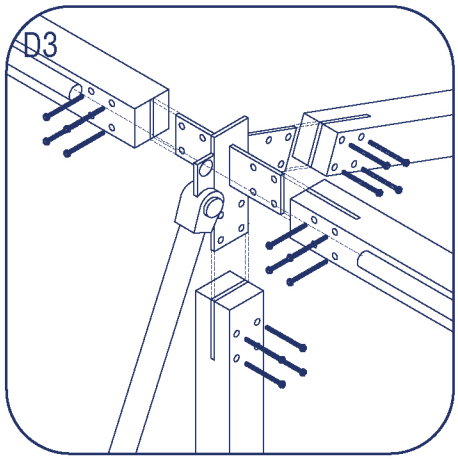




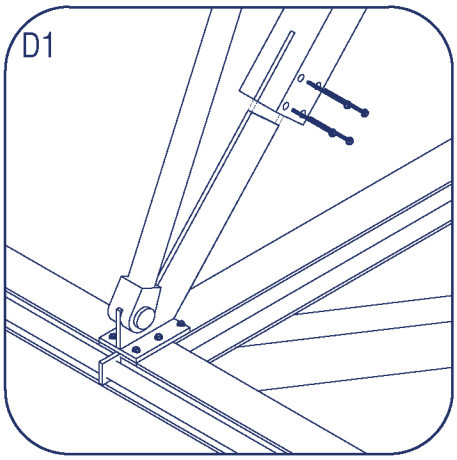
DETALLE PIEZA ANCLAJE MEBRANA
ARENDELA ALUMINIO + MOSQUETON OVALADO ACERO INOXIDABLE



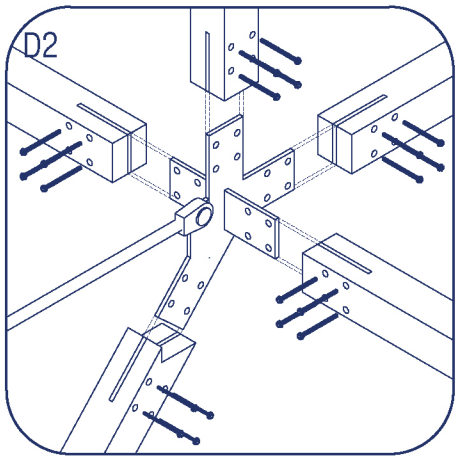
DETALLE PIEZA ANCLAJE
MEMBRANA POLITETRAFLUOROETILENO (PTFE)



DETALLE UNIÓN PERFIL TUBULAR REDONDO ø100MM
A ESTRUCTURA DE MADERA 8X8"

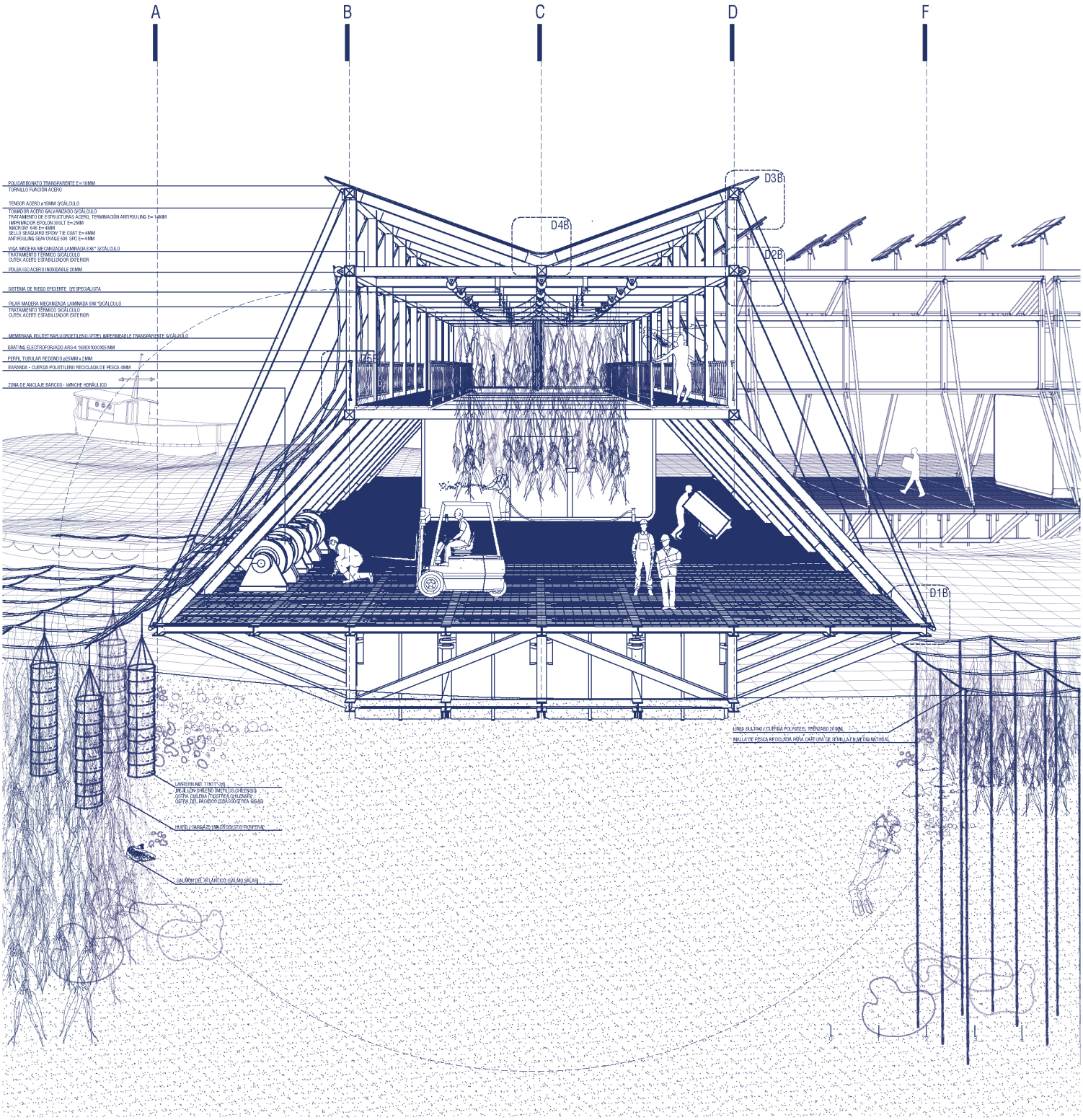


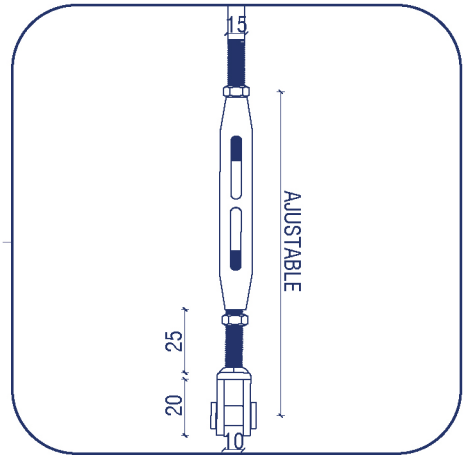
DETALLE UNIÓN PERFIL TUBULAR REDONDO ø100MM
A ESTRUCTURA ACERO NIVEL SUELO / FLOTACIÓN



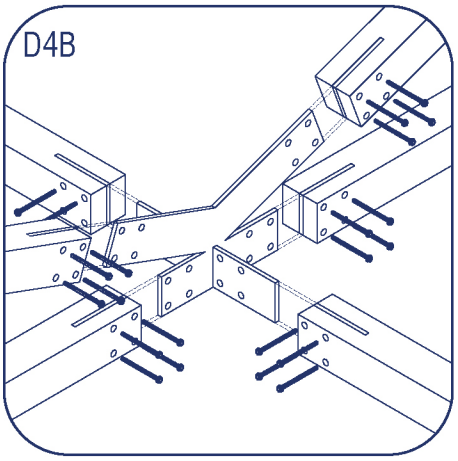
DETALLE UNIÓN POLEA ACERO INOXIDABLE
A ESTRUCTURA DE MADERA 8X8"

Corte Zona Invernadero

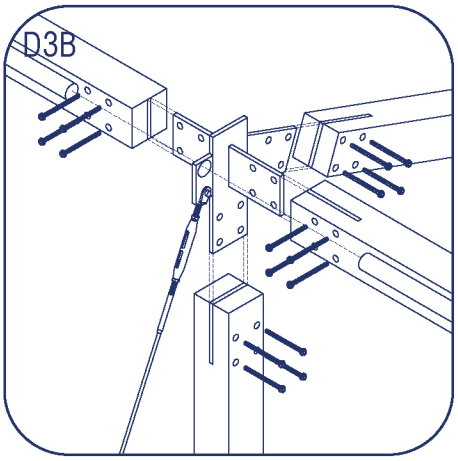




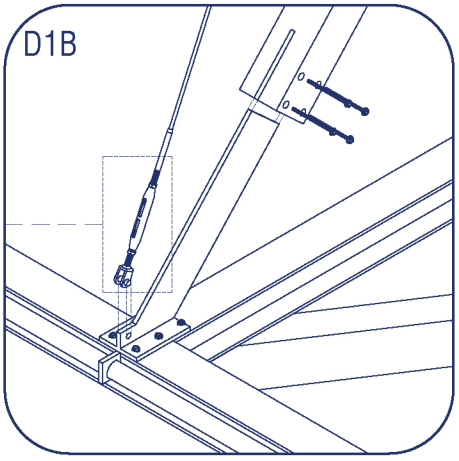
DETALLE TENSOR ACERO INOXIDABLE ø15MM



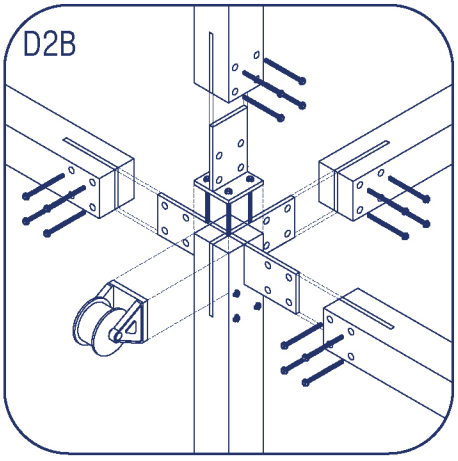
DETALLE UNIÓN CUBIERTA
ESTRUCTURA DE MADERA 8X8"



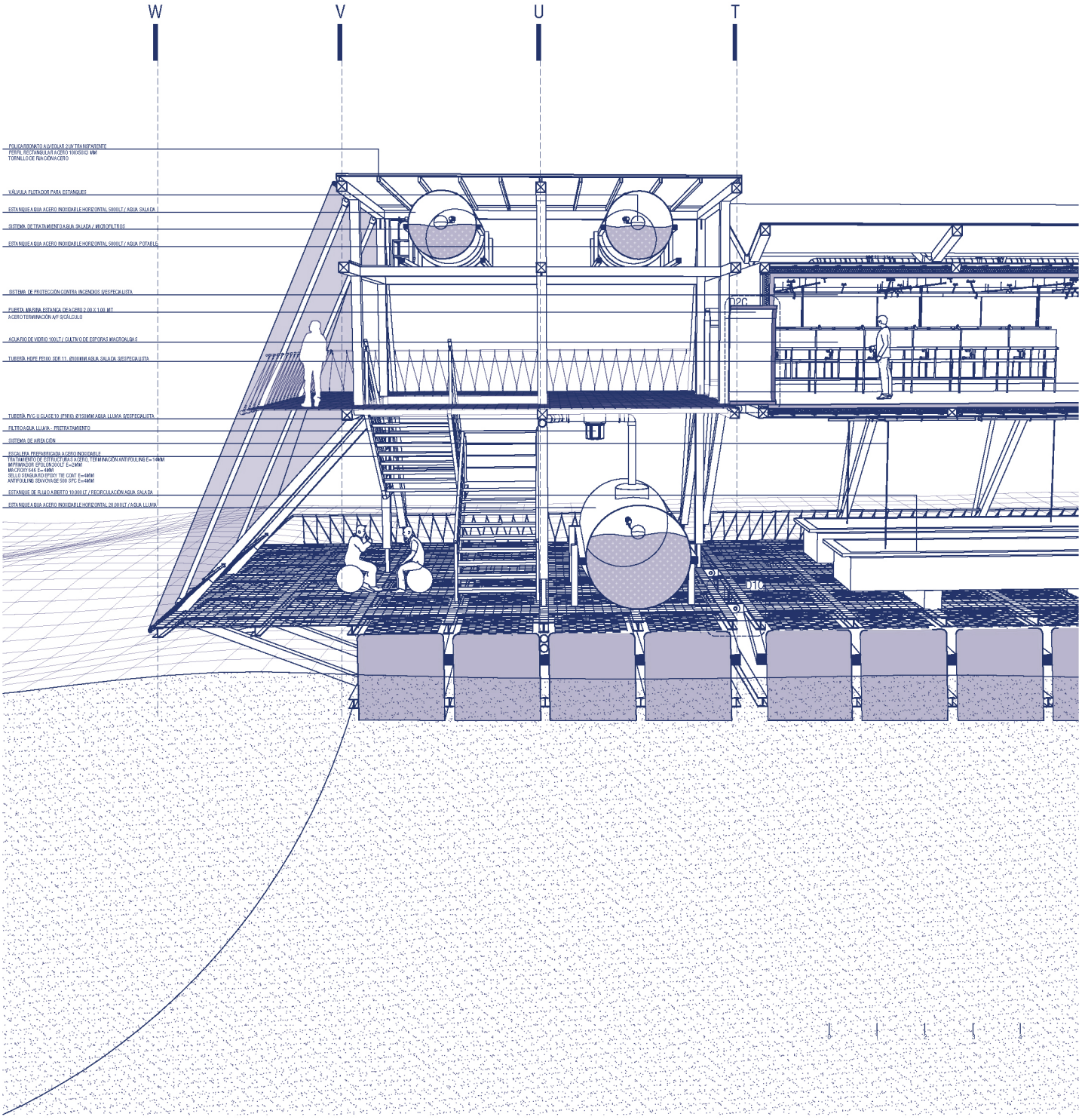
DETALLE UNIÓN TENSOR ACERO ø15MM
A ESTRUCTURA DE MADERA 8X8"

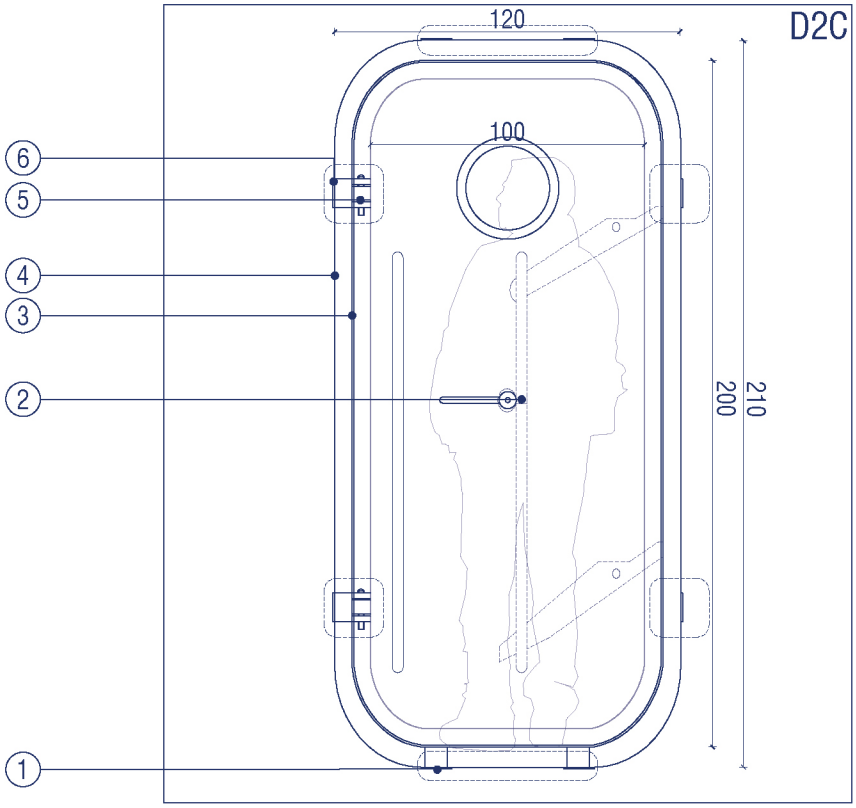


DETALLE UNIÓN TENSOR ACERO ø15MM
A ESTRUCTURA ACERO NIVEL SUELO / FLOTACIÓN

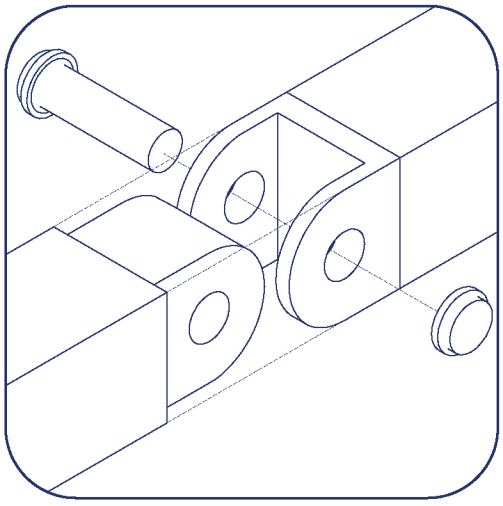


DETALLE UNIÓN POLEA ACERO INOXIDABLE
A ESTRUCTURA DE MADERA 8X8"


W
V
U
T
POLICARBONATO ALVEOLAR 21M TRANSPARENTE
PERFIL RECTANGULAR ACERO 100X50X3 MM
TORNILLO DE RACORDA ACERO
VÁLVULA FLOTADOR PARA ESTANQUES
ESTANQUE AGUA ACERO INOXIDABLE HORIZONTAL 500MLT / AGUA SALADA
SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUA SALADA / MICROFILTROS
ESTANQUE AGUA ACERO INOXIDABLE HORIZONTAL 500MLT / AGUA POTABLE
SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS S/ESPECIALISTA
PUERTA MAMPARA ESTANCA DE ACERO 2.00 X 1.00 MT.
ACERO TERMINACIÓN A/F S/CALCULO
ACUARIO DE VIDRIO 100LT / CULTIVO DE ESPORAS MACROALGAS
TUBERÍA HDPE PE100, SDR 11, Ø100MM AGUA SALADA S/ESPECIALISTA
TUBERÍA PVC U CLASE 10 (PN10) Ø150MM AGUA LLUVIA S/ESPECIALISTA
FILTRO AGUA LLUVIA - PRETRATAMIENTO
SISTEMA DE AIREACIÓN
ESCALERA PREFABRICADA ACERO INOXIDABLE
TRATAMIENTO DE ESTRUCTURA S/ ACERO, TERMINACIÓN ANTIFOULING E=.14MM
IMPRIMACIÓN EPOLON 2K/17 E=.2MM
MACROPOXY 646 E=.4MM
SELLO SIKAGUARD EPOXY TIE CONT E=.4MM
ANTIFOULING SEAVOX GE 500 SPC E=.4MM
ESTANQUE DE FLUJO ABIERTO 10.000 LT / RECIRCULACIÓN AGUA SALADA
ESTANQUE AGUA ACERO INOXIDABLE HORIZONTAL 20.000 LT / AGUA LLUVIA
DPC
DTC



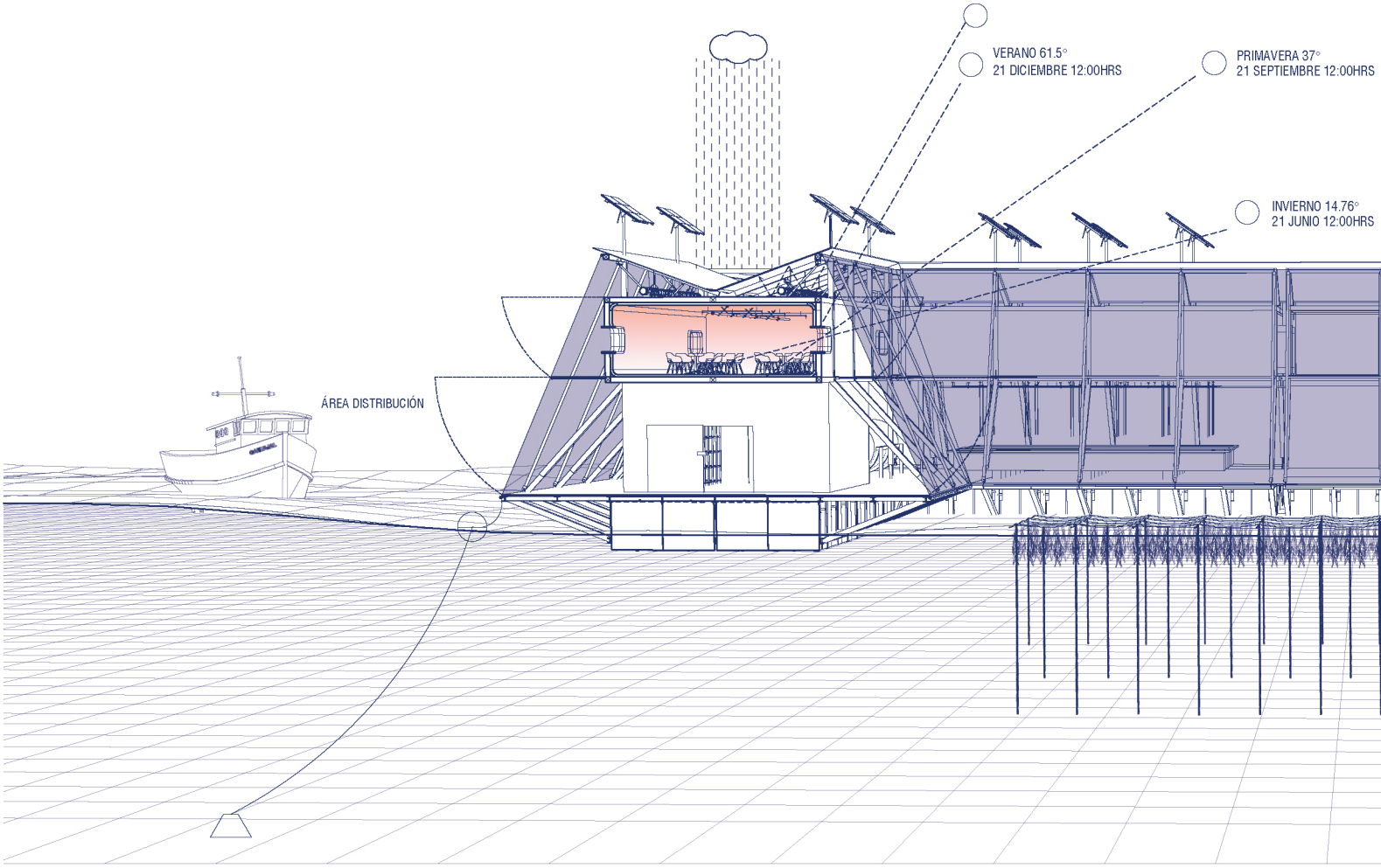
01. PLETINA INFERIOR 50MM E=5MM
02. SISTEMA DE CIERRE DOBLE / BLOQUEO ESTANCO - MANIVELA ACERO INOXIDABLE
03. REVESTIMIENTO INTERIOR PUENTE / ACERO INOXIDABLE AISI 316
04. REVESTIMIENTO EXTERIOR PUENTE / TRATAMIENTO DE ESTRUCTURAS ACERO / RAL 9004
05. BISAGRA ESTANCA DE ACERO INOXIDABLE AISI 316 CON COJINETE ANTIFRICCIÓN
06. PLETINA LATERAL 50MM E=5MM

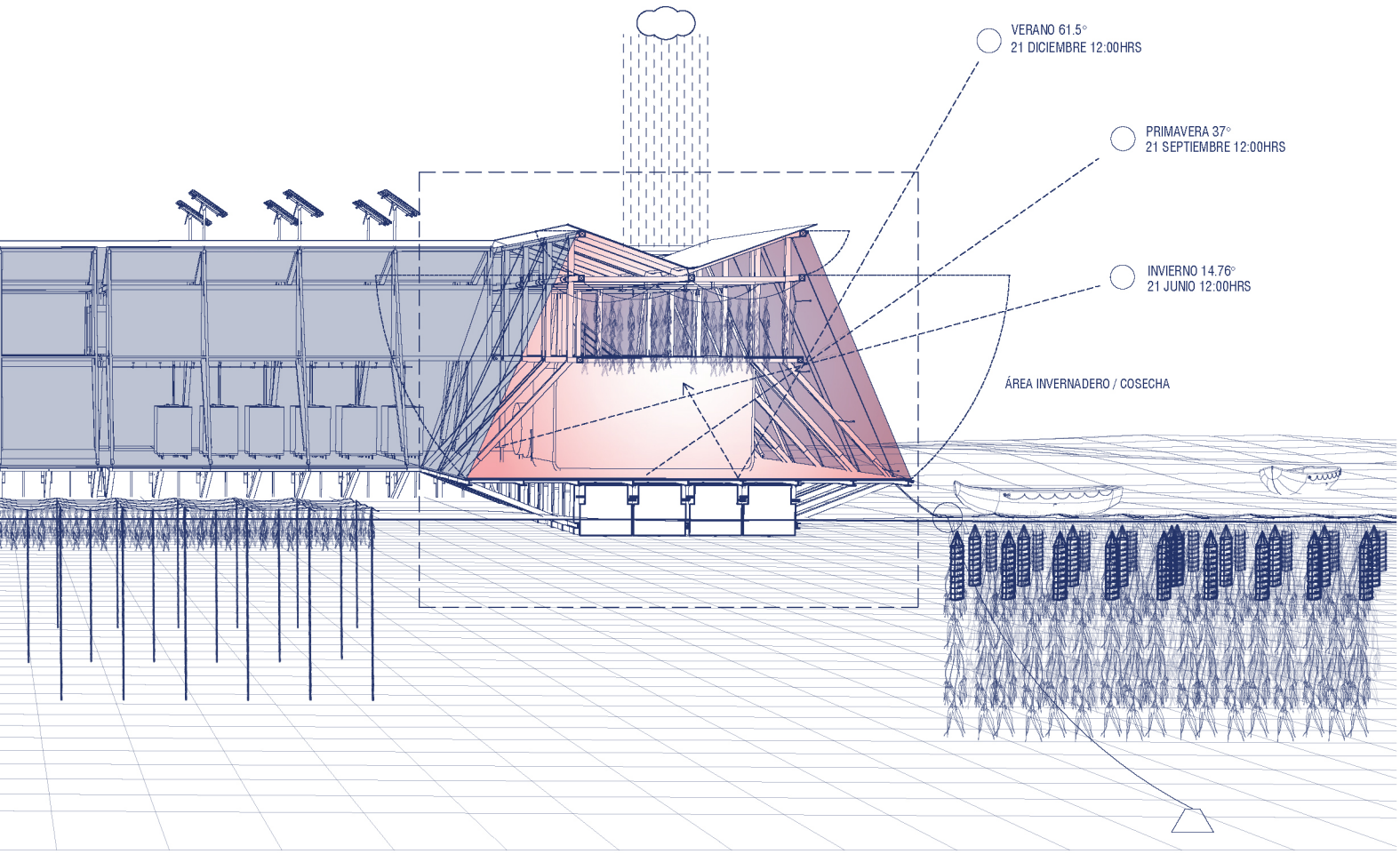


DETALLE UNIÓN MACHIHEMBRADO ACERO ROTULADA
TRATAMIENTO DE ESTRUCTURAS ACERO
TERMINACIÓN ANTIFOULING E=14MM
IMPRIMADOR EPOLON 300LT E=2MM
MACROXY 646 E=4MM
SELLO SEAGUARD EPOXY TIE COAT E=4MM
ANTIFOULING SEAVOYAGE 500 SPC E=4MM

Mes	Area de recolección (m2)	Precipitaciones (mm)	Coeficiente de escorrentía	Factor de seguridad	Total agua recolectada (litros)
Enero	320	118	0,9	0,85	28.886
Febrero	320	99	0,9	0,85	24.235
Marzo	320	114	0,9	0,85	27.907
Abril	320	124	0,9	0,85	30.355
Mayo	320	93	0,9	0,85	22.766
Junio	320	79	0,9	0,85	19.339
Julio	320	79	0,9	0,85	19.339
Agosto	320	83	0,9	0,85	20.318
Septiembre	320	76	0,9	0,85	18.605
Octubre	320	97	0,9	0,85	23.746
Noviembre	320	118	0,9	0,85	28.886
Diciembre	320	122	0,9	0,85	29.866
Recolección Total al año (litros)	-	-	-	-	**294.250**
Recolección Promedio Mensual (litros)	-	-	-	-	**24,520.83** (Estaque estimado de 20000L)

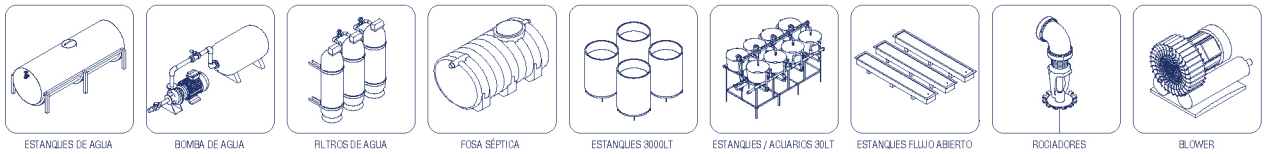
Demanda	Uso Diario (L)	Uso Mensual (L)	Fuente Requerida	Uso Agua Lluvia (Mensual, L)	Uso Agua Potable (Mensual, L)
Total Agua Disponible	3333.3	100.000	-	80.000 **(4 estanques 20.000L)**	20.000 **(4 estanques 5000L)**
WC Inodoros	150	4500	Agua Lluvia Tratada	4500	0
Duchas	250	7500	Agua Potable	0	7500
Sala Lavado	375	11.250	Agua Lluvia Tratada	11.250	0
Llaves Lavaplatos	1500	45.000	Agua Lluvia Tratada	45.000	0
Llaves Lavamanos (Uso Industrial Agua Lluvia)	400	12.000	Agua Lluvia Tratada	12.000	0
Beber-Cocinar	200	6000	Agua Potable	0	6000
Riego Eficiente	53.28	1598	Agua Lluvia Tratada	1598.4	0
			Total Restante para Reservas	5651	6500

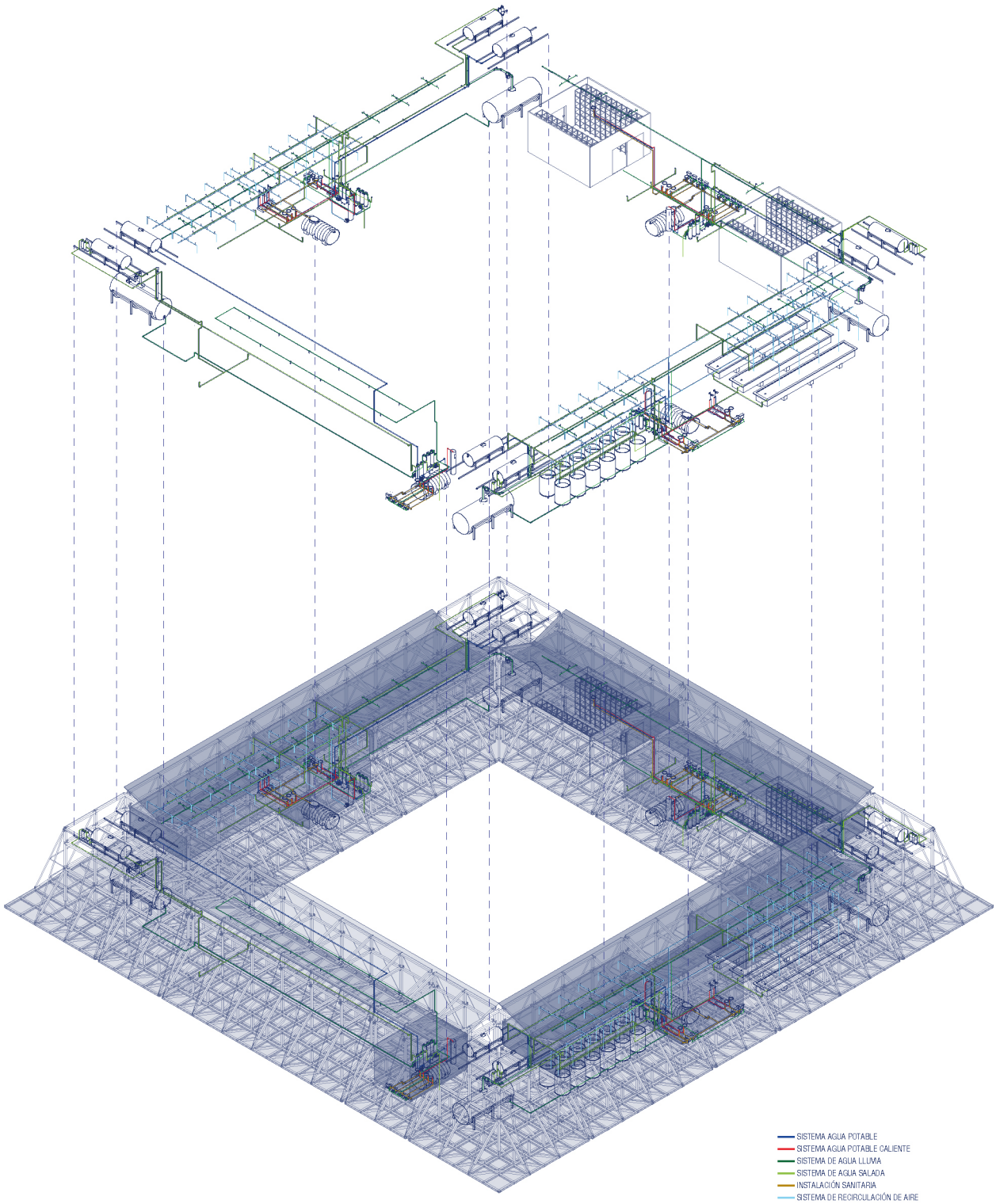

VERANO 61.5°
21 DICIEMBRE 12:00HRS
PRIMAVERA 37°
21 SEPTIEMBRE 12:00HRS
INVIERNO 14.76°
21 JUNIO 12:00HRS
ÁREA DISTRIBUCIÓN



Corte Regenerativo - Bioclimático

0 1 4 8 12 16


ESTANQUES DE AGUA
BOMBA DE AGUA
FILTROS DE AGUA
FOSA SÉPTICA
ESTANQUES 3000LT
ESTANQUES / ACUARIOS 30LT
ESTANQUES FLUJO ABIERTO
ROCIADORES
BLOWER


SISTEMA AGUA POTABLE
SISTEMA AGUA POTABLE CALIENTE
SISTEMA DE AGUA LLUVIA
SISTEMA DE AGUA SALADA
INSTALACIÓN SANITARIA
SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AIRE





Tesis presentada a la Facultad de Arquitectura y Arte de la Universidad del Desarrollo para optar al título profesional de Arquitecto(a) con mención en Diseño Sustentable, y al grado de Magister en Arquitectura con mención en Diseño y Construcción Sustentable