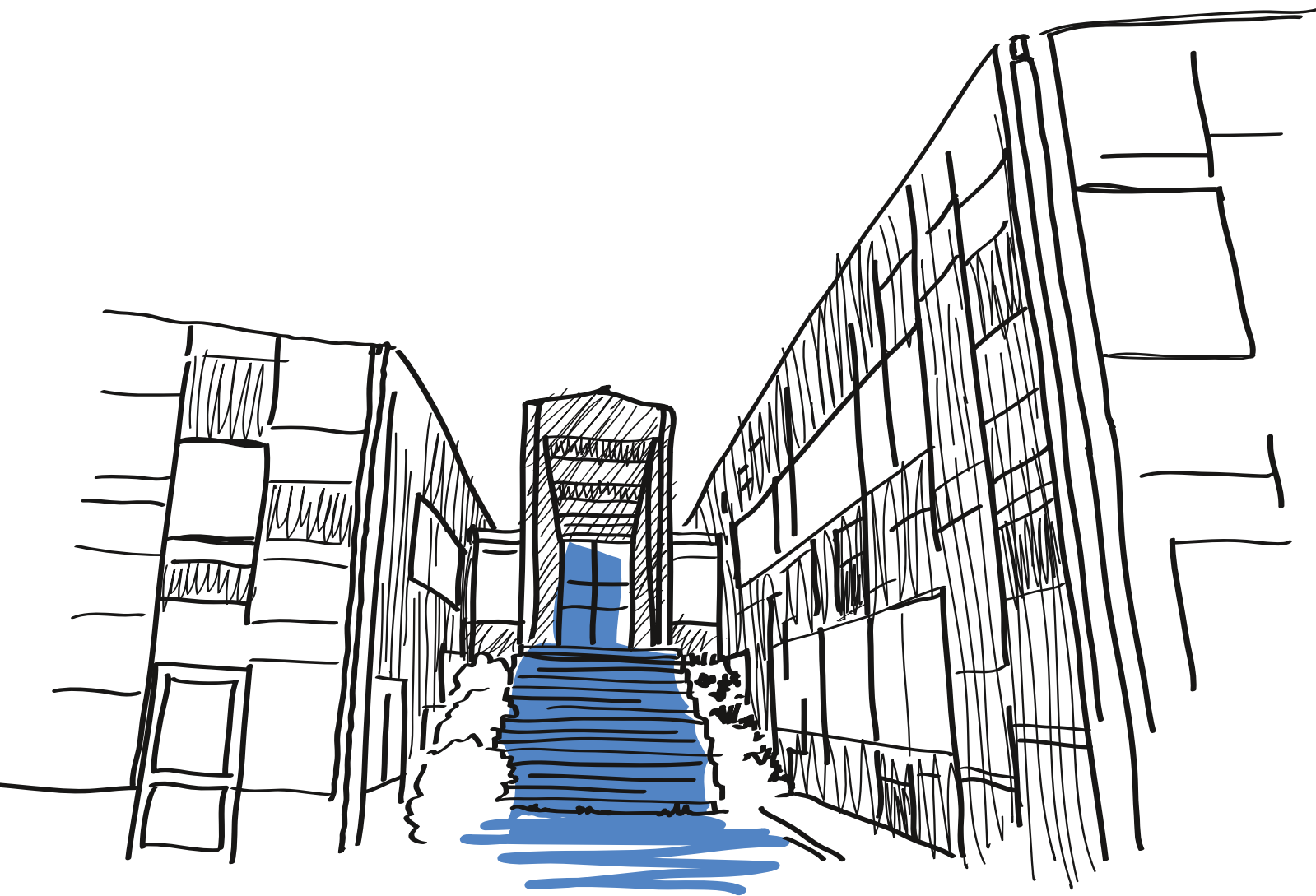


X.

Abriendo
caminos en
Ciencias del
Mar en Chile



10.1. Abriendo caminos: Nuevas líneas de investigación

SERGIO A. NAVARRETE

A finales de los años 70 y principios de los 80, las ciencias del mar y oceanográficas florecían en Chile a través de diversas instituciones del país. Se contaba con varias carreras de pregrado en biología marina, oceanografía y otras áreas afines, y se había conformado la Sociedad Chilena de Ciencias del Mar. Los estudios en ecología de ecosistemas marinos costeros en Chile habían avanzado desde lo netamente descriptivo y cualitativo, con fuerte énfasis taxonómico y clasificatorio, a una ciencia mucho más cuantitativa y propositiva que buscaba explicaciones a los patrones ecológicos y no solo su documentación.

El trabajo de los fundadores de las Ciencias del Mar en Chile, Parmenio Yáñez Andrade, Patricio Sánchez Reyes, Nibaldo Bahamonde Navarro, José Stuardo Barría, por nombrar algunos, formados en general en carreras alejadas de las ciencias del mar, había sido heredado por una generación mayoritariamente entrenada en ciencias oceanográficas y ecológicas en universidades extranjeras de alto nivel y en los programas nacionales de posgrado pioneros en ciencias del mar en Chile. La oceanografía de gran escala se comenzaba a desarrollar, primariamente en la Universidad de Concepción. En la Universidad Austral de Chile (UACH), los profesores Carlos Moreno, Eduardo Jaramillo y Fernando Jara realizaban observaciones ecológicas cuantitativas en la zona intermareal rocosa de Mehuín y sus alrededores, así como en playas de arena. No solo se limitaban a describir, sino que también cuantificaban y daban explicaciones a patrones locales y biogeográficos en comunidades marinas costeras. Al mismo tiempo, los profesores del ámbito marino de la Pontificia Universidad Católica (UC), Sánchez, Castilla, Schmide, Santelices, concentrados todos en un

departamento de la Facultad de Ciencias Biológicas, lideraban los estudios de ecosistemas marinos costeros y atraían a estudiantes de todo el país a uno de los programas de doctorado más prestigiosos y pioneros en ciencias ecológicas en Chile, el Doctorado en Ciencias Biológicas con mención en Ecología de la UC.

En esta comunidad científica, cuando se comenzaban a dar los primeros pasos hacia una ecología experimental y recién se hipotetizaba sobre el impacto que podría tener el ser humano en ecosistemas costeros, surge la Estación Costera de Investigaciones Marinas de Las Cruces (ECIM). Tal como relata el propio profesor Juan Carlos Castilla en su ensayo sobre la historia de un sueño, la creación de ECIM catapultó el trabajo de profesores y estudiantes UC, brindando las facilidades necesarias para el desarrollo de tesis doctorales y, por sobre todo, permitiendo el estudio de un sistema marino costero de una manera que, hasta entonces en Chile, había sido simplemente imposible. En sus inicios, ECIM permitió desarrollar y consolidar tres grandes ámbitos de investigación que hasta entonces eran apenas incipientes y que hoy en día están fuertemente desarrollados en todo el país.

El primer ámbito fue la consolidación de la ecología marina experimental como herramienta central en el estudio sobre el rol de interacciones ecológicas en la estructura, diversidad y dinámica de comunidades marinas. Si bien los profesores Castilla, Santelices y Cancino en la UC ya habían utilizado aproximaciones experimentales de terreno para el estudio de patrones e impactos ecológicos y los profesores Moreno, Jara y Jaramillo en la UACH habían investigado de manera semiexperimental el impacto de herbívoros en el intermareal rocoso, la constitución de ECIM dio un decisivo impulso a este tipo de estudios en el país. Indudable-

mente, la posibilidad de acceder a roqueros de manera frecuente, gracias a las instalaciones de alojamiento en ECIM, de mantener animales o macroalgas en agua de mar circulante, y de poder fabricar y adaptar rápidamente implementos necesarios para desarrollar experimentos, facilitó tremendamente el trabajo de los ecólogos. Los largos viajes a los sitios de estudio desde los campus en el interior de la ciudad de Santiago, especialmente en esa época sin carreteras expeditas, representaban una barrera para poder probar sistemas experimentales antes de replicarlos o realizar observaciones de comportamiento, especialmente observaciones nocturnas. Las Cruces en ese entonces estaba a poco más de dos horas y media de Santiago. Pero lo más significativo no fueron las instalaciones físicas de ECIM, sino la comunidad de profesores y estudiantes que generaron un conocimiento colectivo en técnicas de instalación de experimentos en zonas altamente expuestas al oleaje, en diseño experimental y estadística, y en conocimiento biológico y ecológico que brindó el entablado para estos estudios.

El segundo ámbito de investigación catapultado por la creación de ECIM, llevando a sus investigadores a un nivel de liderazgo internacional, fue la demostración de la profundidad del efecto del ser humano en ecosistemas marinos costeros. Hoy en día, en que aprendemos desde el colegio y podemos constatar día a día los tremendos impactos que estamos teniendo en todos los ecosistemas del planeta, parece trivial haber demostrado, mediante un experimento de reserva marina o zona de exclusión (*no take*) no replicado, que el ser humano ha transformado todos los ecosistemas marinos costeros. Pero hace 40 años no hablábamos del Antropoceno ni siquiera en la universidad. En el mes de mayo hablábamos, durante un par de días, del mar como una fuente inagotable de recursos y el futuro de Chile. Luego pasábamos el resto del mes en las efemérides navales. El concepto del mar con capacidad *buffer* casi inagotable, que nadie hoy en día se atrevería a enunciar, contrastaba con la noción que un grupo de investigadores en la UC se estaba formando de los

ecosistemas costeros impactados por el ser humano. El profesor Castilla relata cómo las observaciones en Chile central fueron forjando esta noción y la desesperada carrera por contar con un lugar en donde se pudiera investigar este impacto de manera experimental. Lo que siguió al cierre del perímetro de ECIM, el que excluyó a fines de 1982 a pescadores, mariscadores y turistas de unos 700-1.000 m de costa, ha sido plasmado en cientos de publicaciones y es resumido en la sección “Abriendo caminos en Ciencias del Mar en Chile”.

El tercer ámbito del quehacer en investigación que fue gatillado por la creación misma de ECIM está relacionado con el intento de proveer una solución, siquiera parcial, al problema de explotación desregulada e insostenible de “recursos”, i.e., poblaciones de organismos bentónicos, invertebrados y algas, que enfrentaba el país. La demostración del impacto humano en la reserva de ECIM también demostró de manera experimental el potencial de recuperación de estas poblaciones si se dejaban “descansar” de la explotación por cortos periodos de tiempo. En la siguiente sección se resume cómo estas observaciones en la reserva de ECIM, y otras desarrolladas en conjunto con pescadores de varias caletas, materializaron el concepto de comanejo y la creación de las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) en la Ley General de Pesca y Acuicultura promulgada en el año 1991.

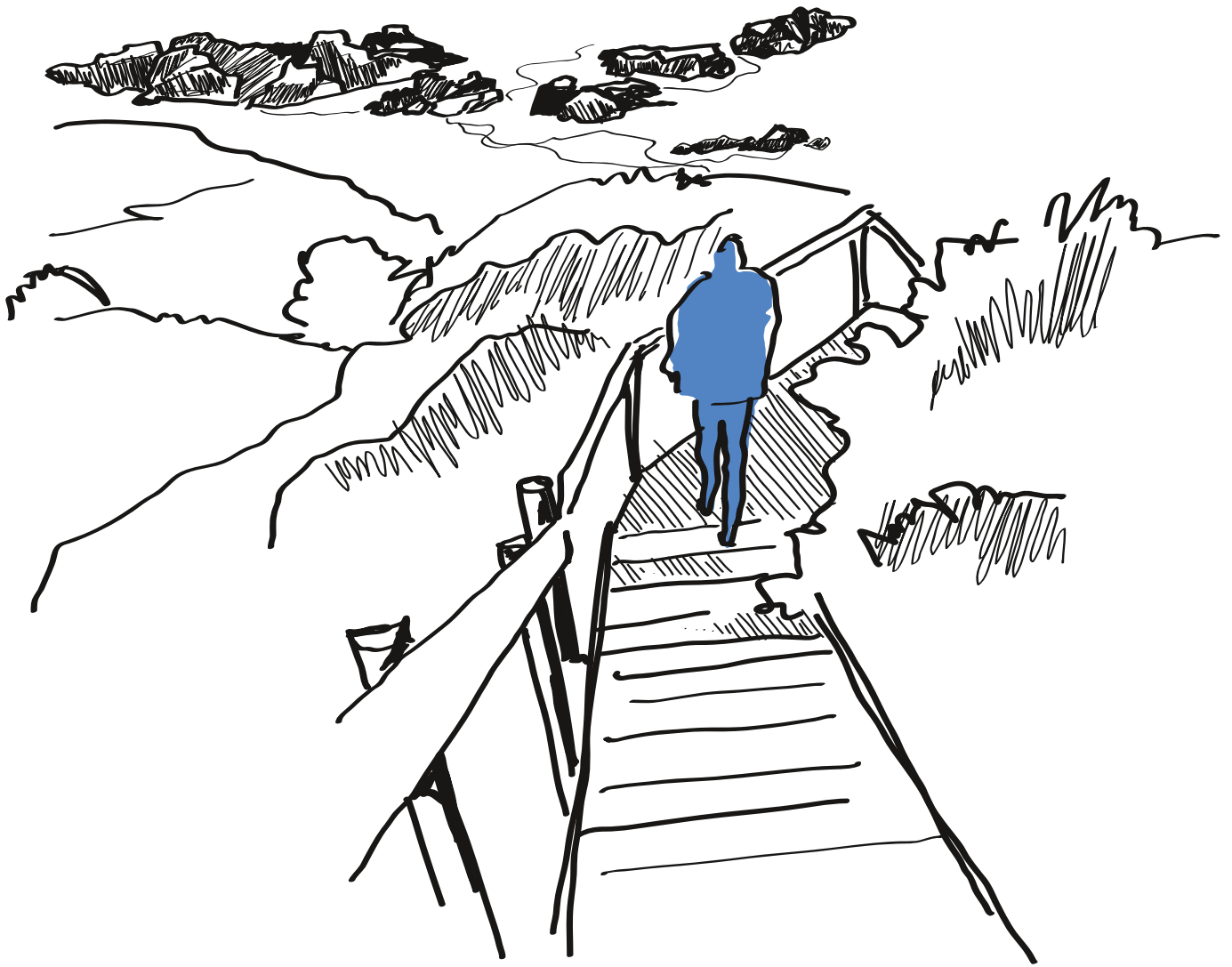
Estos tres ámbitos de investigación se han diversificado y fortalecido en todo el país con la llegada de muchos investigadores e investigadoras de alto nivel a varias universidades chilenas, y continúan estando en el corazón del ámbito marino en la UC y especialmente en ECIM. Si bien el foco de investigación y en muchos casos las técnicas utilizadas han evolucionado y se han sofisticado, las grandes preguntas permanecen: ¿Cuál es el rol de las interacciones ecológicas en la mantención y persistencia de la biodiversidad y sus funciones? ¿Cuáles son los alcances y las ramificaciones del impacto de las pesquerías sobre los ecosistemas costeros? ¿Cómo y con qué instrumentos y conocimiento podemos manejar

la explotación de recursos por parte de pesquerías de una manera sustentable? ECIM ha sido una fuente de inspiración para muchas personas, no solo en Chile sino también en otros países, y su trabajo ha dejado un legado duradero en la comunidad científica marina.

La contribución de ECIM a la consolidación de las ciencias del mar modernas en Chile no se detuvo con su fundación y etapa temprana, sino que, al contrario, continuó desarrollándose a medida que la Estación se consolidaba como un centro de nivel mundial en temas marinos costeros. La investigación desarrollada en ECIM generó varias líneas inéditas en el país y Latinoamérica, las cuales hoy en día son pilares de investigación en la UC y en muchas otras universidades. En esta sección, se han identificado las grandes áreas de investigación que han sido lideradas por investigadores de ECIM, individualmente o en grupos colaborativos, y que hoy en día están bien establecidas en Chile. Cada sección provee un contexto histórico a los estudios ecológicos, socioecológicos y oceanográfico-costeros, a su inserción en el contexto mundial y, de manera breve, al estado actual del

conocimiento en esos ámbitos. Aunque se ha evitado una revisión exhaustiva de estos temas, cada sección examina el rol de las y los investigadores de ECIM en impulsar estas áreas, dando el crédito correspondiente a estudiantes y colegas que participaron en estos estudios y con quienes se han establecido fuertes lazos de colaboración. Ciertamente, una de las transformaciones en el quehacer científico en todo el mundo ha sido el paso de investigación individual a investigación en grupos de trabajo colaborativos.

El conocimiento científico no solo avanza en temáticas disciplinarias particulares, sino que se diversifica y se complejiza a través de la integración del conocimiento entre ámbitos de investigación. ECIM es un ejemplo de este proceso y de cómo hemos avanzado desde el abordaje de problemas disciplinarios a una ciencia centrada en las grandes preguntas y problemas que enfrenta la humanidad. Estas preguntas no son abordables desde una sola disciplina, sino que son inherentemente de naturaleza interdisciplinaria y requieren la colaboración entre grupos de trabajo con experiencia, herramientas y visiones variadas.



10.2. Impacto humano en comunidades litorales intermareales de Chile

JUAN CARLOS CASTILLA

Introducción

El capítulo describe y discute información publicada, durante los últimos 50-60 años, preferentemente para Chile, sobre los avances en la línea de investigación sobre impactos humanos en comunidades litorales bentónicas rocosas del intermareal. Ello, principalmente para la costa central del país, con ejemplos acotados para el norte de Chile. La narración se basa en observaciones, descripciones, monitorizaciones y manipulaciones experimentales sobre estructuras y dinámicas comunitarias, cadenas tróficas, competidores, depredadores bentónicos clave y el rol de los seres humanos en sitios contrastantes con y sin impactos humanos. La descripción comprende un periodo temprano de la década de 1950, uno intermedio (década de 1970) y otro tardío (década de 1980-hoy). En este último periodo destaco los legados de nuestra línea de investigación en impactos humanos en comunidades litorales, resaltando el trabajo experimental realizado en ECIM. El capítulo no aborda interacciones bióticas humanas en comunidades costeras relacionadas con peces marinos.

Muy a mi pesar, no se nombran a decenas de colaboradores en el desarrollo de la línea, sino que, a grupos específicos, con quienes he publicado durante los pasados 40 años, hasta consolidarla.

Contexto: Comunidades intermareales de sustratos rocosos en Chile y la conexión con Tasmania

No hay mejor contexto histórico para referirse a las comunidades intermareales de sustratos rocosos de Chile que el trabajo pionero realizado en la década de 1950 por el profesor Eric R. Guiler. En 1955, Guiler, un investigador de Tasmania conocedor

de las zonaciones de sistemas rocosos intermareales, apoyado por la Fundación Rockefeller y la Royal Society of Tasmania, realizó una estadía de investigación en la Estación de Biología Marina de la Universidad de Chile, Montemar. En 1959 publicó, en *Proceedings of the Royal Society of Tasmania*, un trabajo sobre zonaciones de bandas bióticas intermareales para Chile central. Si bien el sitio principal de trabajo fue el roquerío de Montemar, además trabajó en Laguna Verde, Curamilla y Concón. Ese año también publicó, en la misma revista, un trabajo sobre comunidades intermareales de Antofagasta. En mi entender, la de Montemar es la primera publicación para Chile sobre la identificación de conglomerados de especies, zonaciones y causales físicas de ellas, y contiene observaciones y discusiones pioneras sobre dichos sistemas. La primera vez que tuve conocimiento de la existencia de estos dos trabajos fue en 1975 a través de Bob Paine. En 2008, cuando se cumplieron 50 años de las dos publicaciones, rendí un homenaje al profesor Guiler en la *Revista de Biología Marina, Montemar* (Castilla, 2008).

Las décadas de 1940 y 1950 eran los tiempos de descripciones de las comunidades intermareales y sus zonaciones, y las publicaciones de T. A. Stephenson y A. Stephenson eran una guía que seguir. Las causas de formaciones de bandas bióticas (mayoritariamente organismos sésiles) estaban focalizadas en factores físicos, como temperatura, exposición, alturas de las mareas, desecación y otras fuentes de estrés físico. No había espacio (quizás conciencia) de la significación de las interacciones bióticas en las estructuras y dinámicas de estas comunidades, tales como depredación, competencia y facilitación. Tampoco se consideraba el impacto del ser humano en estas descripciones. Sin embargo, Guiler en su publicación sobre Montemar hace aportes que están directamente relacionados con

el título de este capítulo. Como un ejemplo: en su trabajo de Chile central Guiler describe con acuciosidad las bandas bióticas de zonación en Montemar y además de sitios cercanos, con distintos grados de impactos humanos dados por la accesibilidad a los roqueríos. En el caso del alga parda co-chayuyo, *Durvillaea antarctica*, que forma una banda biótica en el infralitoral, destaca que es una especie extensivamente extraída por pescadores y recolectores. Discute y hace comparaciones entre lo que observa para abundancia del alga en los roqueríos de Montemar (abiertos a la extracción y visita de turistas) versus sitios menos impactados por humanos, como Punta Curaumilla, donde destaca las altísimas abundancias de *Durvillaea*. Dice: “The only factor which offers any explanation of this peculiarity in the distribution of *Durvillaea* is the effect of human interference. As noted above, *Durvillaea* is in considerable demand for food ...”. “I consider that this is so, especially in view of the fact that *Durvillaea* significantly is more common in inaccessible places. The continual harvesting of *Durvillaea* has cleared the shore for population by *Lessonia* which, although not as ideally suited for the exposed coast Infralittoral Fringe as is *Durvillaea*, is, nevertheless, able to survive there quite well in the absence of competition from the larger weed”.

En base a sus observaciones, Guiler sugiere que: a) las causas de las diferencias de abundancia de *Durvillaea* entre franjas bióticas de sitios expuestos a la extracción y aquellos más inaccesibles sería la depredación humana; b) existiría una competencia entre *Durvillaea* y *Lessonia*, en favor de *Durvillaea*. Esto último fue puesto a prueba y descartado por Santelices *et al.*, en 1980. La sugerencia (hipótesis) de Guiler sobre los posibles efectos ecológicos, en bandas intermareales, causados por la extracción humana de recursos ¡es pionera y clamaba por ponerse experimentalmente a prueba!

Algunas singularidades bióticas del litoral rocoso de Chile

A lo largo de la extensa costa de Chile existen varias singularidades bióticas, con especies únicas o con rangos de dis-

tribución geográfica circunscritos a Chile y Perú, algunas hasta Ecuador, y ecológicamente relacionadas con estructuras y dinámicas comunitarias. Por ejemplo, depredadores invertebrados carnívoros u omnívoros únicos a estas costas y de importancia ecológica incluyen: el loco, *Concholepas concholepas*; pequeñas jaibas depredadoras *Acanthocyclus gayi* y *A. hassleri*; y el sol de mar, *Heliaster helianthus*. También un pez, el pejesapo, *Syciases sanguineus* (Castilla, 1981, Castilla y Paine, 1987). Existen herbívoros muy conspicuos, *Fissurella* spp., un grupo de lapas congénéricas con elevada radiación filogenética y en general de gran tamaño; el chitón o apretador, *Acanthopleura echinata*; y el erizo rojo comestible, *Loxechinus albus*. Así también, hay filtradores sésiles, como el chorito maico *Perumytilus purpuratus*, el piure de Antofagasta, *Pyura praeputialis* y productores primarios, como *Lessonia nigrescens* y *Durvillaea antarctica*. Estas especies, con excepción de las jaibas y el sol de mar, son tradicionalmente de consumo humano (*P. purpuratus* en medida menor) y algunas de ellas icónicas y comercialmente muy importantes en términos de exportaciones, como el loco y erizo.

La singularidad del impacto humano en Chile

Habiendo sintetizado algunas de las particularidades de los sistemas litorales de Chile; aunque obviamente con diferencias geográficas, oceanográficas y bióticas entre ellos; la singularidad del impacto humano en dichas comunidades es una constante. Los extractores de orilla (mariscadores/as y algueros/as; *food-gatherers*) y los buzos a resuello, o con equipos tipo hooka (buceo con compresor), están presentes en todos estos sistemas y existe una presión de extracción (pesca) de especies bentónicas muy elevada. Asimismo, desde hace miles de años en el norte de Chile existe el pueblo chango, especializado en la extracción de recursos litorales. En el sur, está el pueblo araucano, *Williche*, que también tiene tradiciones milenarias como extractor de recursos litorales. Y más al sur, nuestros pueblos de los canales y fiordos, aunque ahora muy disminuidos, eran y son nómades del mar



INSTALACIÓN DE CERCO PARA LIMITAR ZONA DE EXCLUSIÓN del ser humano en la reserva marina de ECIM.



RECOLECTORAS TRADICIONALES DE LUGA LUGA, *Mazzaella laminarioides* en la zona de Matanzas.

RECOLECTOR DE HUIRO NEGRO, *Lessonia spicata* desde la zona intermareal, una actividad que se ha intensificado en la última década.

TRANSFORMACIÓN DE LA COMUNIDAD INTERMAREAL QUE SIGUIÓ A LA EXCLUSIÓN DEL SER HUMANO EN LA RESERVA DE ECIM.

La protección de las especies explotadas produjo el aumento en las poblaciones de locos, depredadores carnívoros que redujeron la abundancia del competidor dominante, los choritos, que prácticamente desaparecieron de la zona media.



y excelsos recolectores marinos. A ello se suman los miles y miles de extractores/mariscadores/pescadores marinos costeros modernos. Todo esto hace que Chile exhiba, muy probablemente, uno de los litorales y sublitorales someros templados del mundo más impactados por el ser humano. Un caso similar ocurre en Sudáfrica, en relación con las tradiciones de extracciones de recursos litorales por sus pueblos nativos. Durante las décadas de 1970 y 1980, reuniones y seminarios binacionales con el profesor George Branch, Universidad de Cape Town, cristalizaron en 1989 con la publicación del libro *Rocky shores: Exploitation in Chile and South Africa*.

Oportunidades experimentales de poner a prueba la hipótesis sobre el rol del impacto humano en comunidades intermareales

En mi entender, en Chile han existido solamente dos oportunidades de contar con sitios costeros con exclusión humana (no extracción) con suficientes resguardos y monitorizaciones de largo plazo: la

Reserva Costera (concesión) de Mehuín, Valdivia, de la Universidad Austral de Chile, que funcionó entre 1978 y 1999, y la Reserva Costera (Área Marina Costera Protegida) de Las Cruces, ECIM, que ha funcionado desde 1982 a la fecha. En Mehuín, entre 1982 y 2001, el profesor Carlos Moreno (UACH) y su grupo publicaron una docena o más de trabajos científicos sobre el ser humano como un depredador sobre especies de algas e invertebrados intermareales, como *Fissurella* spp. y el loco y las consecuencias ecológicas de la exclusión humana en dichos sistemas, usando para ello tanto la Reserva de Mehuín como áreas litorales con extracciones por mariscadores y algueros.

En ECIM, entre 1980 y 1982, “antes” del macroexperimento de exclusión humana, se realizaron estudios intermareales y se levantaron datos sobre densidades poblacionales y tamaños de varias especies, incluyendo las que eran y siguen siendo extraídas por mariscadores de orilla, (i.e., loco, lapas, erizo, chitones, cochayuyo). También se realizaron observaciones sobre aspectos de estructura de las comunidades intermareales, como por ejemplo cobertura de competidores dominantes, como el chorito maico (*P. purpuratus*)



y algunas macroalgas, como *Mazzaella* (=Iridaea) *laminarioides* y *D. antarctica*.

Puesto que uno de los propósitos centrales del establecimiento de ECIM fue la evaluación experimental (dentro de ECIM versus afuera) de los impactos humanos debido a la extracción de recursos, estos datos referenciales de la situación pre-reserva han sido muy importantes como contraste con el “después”. Inicialmente, un equipo de increíbles colaboradores estuvo presente en los estudios de terreno del “antes”, así como en los 4- 8 años “después” del cierre de la reserva, entre otros: Chita Guisado, Sandra Contreras, Ana Farias, Doris Oliva, René Durán, Rodrigo Bustamante, Ernesto Ortiz, Antonieta Jerardino y Verónica Ortiz. La primera publicación que presentó los resultados obtenidos luego de la exclusión del ser humano en la reserva de Las Cruces fue la de Castilla y Durán, en la prestigiosa revista *Oikos*, en 1985. Allí se mostraron dos resultados inesperados: i) la muy rápida (entre 2-4 años) recuperación de las poblaciones intermareales de locos; ii) los dramáticos efectos ecológicos de este depredador clave en la reducción de la cobertura del competidor dominante de la zona intermareal, el chorito *P.*

purpuratus. Fue como abrir una caja de pandora: los extractores (mariscadores) como depredadores “super-clave”, incidiendo en una especie “clave” y recurso pesquero (el loco), desencadenado efectos ecológicos directos e indirectos del tipo cascadas tróficas (Castilla, 1999; Power et al., 1996). Ello abrió la ruta de una serie de artículos sobre impactos humanos en el intermareal rocoso. A modo de ejemplos: Con Doris Oliva (Oliva et al., 1986) exploramos las interacciones ecológicas en ECIM de la falta de impacto humano sobre herbívoros fisurélidos (lapas), que son especies ramoneadoras (consumidores de nivel trófico inferior). Mostramos que estas especies también aumentaron en tamaño en la reserva marina y que esto resultó en importantes efectos sobre la cobertura del alga *M. laminarioides*. Con René Durán y colaboradores (Durán et al., 1987) cuantificamos la presión de extracción que ejercían los mariscadores en áreas litorales abiertas a la pesca. También examinamos los efectos directos del ser humano sobre productores primarios. El modelo fue el cochayuyo, *D. antarctica*, y en 2007 junto a un grupo de colaboradores publicamos un estudio de 20 años de observaciones (monitorizaciones), donde mostramos lentas tasas de recuperación de las poblaciones de esta alga al interior de ECIM, las que por cierto estaban prácticamente ausentes antes de establecerse la exclusión del ser humano. Sugerimos allí la existencia de un fenómeno de derrame (“spillover”) desde las poblaciones al interior de ECIM hacia áreas contiguas con acceso a los mariscadores. Estos resultados, sin duda, nos recuerdan a Guiler y sus observaciones pioneras. Mas recientemente, Loot y colaboradores demostraron que la reserva ECIM afectaba positivamente el tamaño y frecuencia de observación de pejesapos *Sicyases sanguineus*, especie que también es explotada por mariscadores.

En general, el establecimiento de la reserva de ECIM permitió observar incrementos rápidos en densidades y biomásas de algunas especies como el loco y disminuciones de coberturas de competidores dominantes, como el chorito maico, *P. purpuratus*. En otras especies los cambios ocurrieron con mayor lentitud, como la recuperación del cochayuyo, *Durvillaea*.

Y otros cambios fueron aún más lentos e inesperados, como el notorio incremento poblacional de la gaviota *Larus dominicanus*, que muestra densidades superiores al interior de ECIM en comparación con sitios aledaños. Se observaron mayores abundancias de aves descansando en los roqueríos, pero también, después de 15-17 años de la exclusión del ser humano, las gaviotas comenzaron a anidar al interior de la reserva de ECIM, y no lo hacen, hasta hoy, en ninguno de los sitios cercanos afuera de la reserva. La relevancia de este último resultado es la demostración que el impacto del ser humano en sistemas litorales es mucho más amplio y profundo que el ejercido directamente por la extracción de recursos. La sola presencia del ser humano en el litoral (roqueríos) es causal de modificaciones ecológicas. En 2010 Navarrete y colaboradores resumieron algunas de las enseñanzas, modificaciones y dinámicas ecológicas ocurridas en ECIM a lo largo de ca. 25 años del cierre efectivo de la reserva.

Adicionalmente, a partir de 1998 en la Bahía de Antofagasta he trabajado en un sistema intermareal rocoso único, con otro increíble equipo de colaboradores, entre otros: Patricio Manríquez, Marcela Clarke, Verónica Ortiz, Alejandro Delgado, Cristián Pacheco, Ricardo Guíñez, Andrés Caro, Jorge Alvarado, Malva Uribe, Manuel Varas y María E. Jara. Hemos documentado más de dos décadas de observaciones, experimentos de terreno y laboratorio, y los efectos ecológicos de la extracción desde el intermareal, por mariscadores y veraneantes, del piure de Antofagasta, *Pyura praeputialis*; que es exclusivo de esta bahía. Este piure es una especie invasora originaria de Australia (Castilla *et al.*, 2004) y extremadamente competitiva; a tal nivel, que en las franjas intermareales media y media baja ha desplazado al competidor dominante nativo, el chorito *P. purpuratus*; modificando así completamente la ecología de esta zona al interior de la bahía. En los pasados 6-8 años, en sitios muy expuestos a la extracción humana, reportamos una constante y significativa disminución de las coberturas de piures y se ha publicado evidencia empírica de que la causa de tales reducciones ha sido la excesiva presión de extracción por mariscadores (Manríquez *et al.*, 2016). Inter-

santemente, como resultado de este macroexperimento, se observa el retorno al intermareal rocoso de abundantes mantos del chorito maico; tal como se había predicho a partir de experimentos replicados a pequeña escala; confluyendo ahora en una dinámica poblacional y comunitaria totalmente distinta a la del piure y muy probablemente similar (si no idéntica) a la que existía al interior de la bahía previo a la invasión del piure.

Estos estudios y experimentos de largo plazo, tanto en ECIM como en Antofagasta, sobre interacciones ecológicas super-clave del ser humano, que se traducen en importantes modificaciones comunitarias y poblacionales sustanciales y muy aparentes, son muy singulares en la literatura ecológica, y que se han convertido en casos icónicos en publicaciones científicas y en libros de ecología.

Entre otras, la gran trascendencia de esta línea de investigación, sobre la integración de los efectos ecológicos claves causados por actividades humanas en sistemas costeros, es que ellos son absolutamente necesarios de ser evaluados, si se desea conocer adecuadamente la estructura, dinámica y resiliencia de los sistemas bajo estudio, y así comenzar a cerrar el abismo que separa las ciencias naturales de las sociales. Esta línea, junto a otras asociadas, en conservación y manejo de recursos bentónicos, forma parte del advenimiento de un nuevo paradigma, donde el conocimiento socio-ecológico, el manejo adaptativo, con la incorporación de los actores (pescadores) y herramientas como el co-manejo, se están transformando en piedras angulares para la sustentabilidad de recursos costeros. Estas investigaciones han convertido a Chile es un líder mundial en este cambio paradigmático, pero aún hay mucho camino por recorrer.

A modo de cierre

La línea de investigación sobre impactos humanos en comunidades intermareales rocosas de Chile ha florecido y es un legado científico, en gran parte, gracias a la existencia, permanencia y resguardo, a lo largo de 40 años, de un área litoral (muy pequeña) protegida y usada como sitio de investigación. Las y los investigadores han

hecho su parte, responsabilizándose de realizar ciencia de frontera, como una forma de comprometerse con un sitio marino que en esencia nos pertenece a todas las personas, pero que está temporalmente a cargo de una universidad y de un grupo de profesionales de las ciencias.

Es muy triste comprobar que ECIM es muy único en Chile. En los pasados 40 años no existen iniciativas similares, que nos permitan, investigar, conocer, usar y conservar la belleza dinámica de nuestras comunidades marinas litorales de este país sin igual. También es muy único contar con sitios protegidos de la extracción de recursos monitorizados por largo plazo, acompañados de manipulaciones y experimentos, que no sólo generen ciencia pura de frontera, sino que de ello se deriven conocimientos prácticos, tanto en conservación como en el manejo sustentable de nuestros recursos. No se puede cuidar y usar sustentablemente aquello de lo que se desconoce su estructura, dinámica y el rol del ser humano. Estos tópicos son abordados con más en profundidad en próximos capítulos del libro.

Referencias

- Castilla, J.C.** 1981. Perspectivas de investigación en estructura y dinámica de comunidades intermareales rocosas de Chile Central. Depredadores de alto nivel trófico. *Medio Ambiente* 5(1-2): 190-215.
- Castilla, J.C. y L.R. Durán.** 1985. Human exclusion from the rocky intertidal zone of Central Chile: The effects on *Concholepas concholepas* (Gastropoda). *Oikos* 45(3): 391-399.
- Castilla, J.C. y R.T. Paine.** 1987. Predation and community organization on Eastern Pacific, temperate zone, rocky intertidal shores. *Revista Chilena de Historia Natural* 60: 131-151.
- Castilla, J. C.** 1999. Coastal marine communities: trends and perspectives from human-exclusion experiments. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 280-283.
- Castilla, J.C., R. Guíñez, A. Caro y V. Ortiz.** 2004. Invasion of a rocky shore by the tunicate *Pyura praeputialis* in the Bay of Antofagasta, Chile. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101: 8517-8524.
- Castilla, J.C., M.A. Campo y R.H. Bustamante.** 2007. Recovery of *Durvillaea antarctica* (Durvilleales) inside and outside Las Cruces Marine Reserve, Chile. *Ecological Applications* 17: 1511-1522.
- Castilla, J.C.** 2008. Fifty years from the publication of the first two papers on Chilean rocky intertidal assemblages: Honoring Professor Eric R. Guiler. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43(3): 157-167.
- Durán, L.R., J.C. Castilla y D. Oliva.** 1987. Intensity of human predation on rocky shores at Las Cruces, Central Chile. *Environmental Conservation* 14(2): 143-149.
- Guiler, E.R.** 1959. The intertidal ecology of the Montemar area, Chile. *Papers and Proceedings of the Royal Society of Tasmania* 93: 165-183.
- Loot, G., M. Aldana y S.A. Navarrete.** 2005. Effects of human exclusion on parasitism in intertidal food webs of central Chile. *Conservation Biology* 19: 203-2012.
- Manríquez, P.H., J.C. Castilla, V. Ortiz y M.E. Jara.** 2016. Empirical evidence for large-scale human impact on intertidal aggregations, larval supply and recruitment of *Pyura praeputialis* around the Bay of Antofagasta, Chile. *Austral Ecology* 41: 701-714.
- Navarrete, S.A., S. Gelcich y J.C. Castilla, J.C.** 2010. Long-term monitoring of coastal ecosystems at Las Cruces, Chile: Defining baselines to build ecological literacy in a world of change. *Revista Chilena de Historia Natural* 83: 143-157.
- Oliva, D. y J.C. Castilla.** 1986. The effects of human exclusion on the population structure of key-hole limpets *Fissurella crassa* and *Fissurella limbata* in the coast of Central Chile. *P.S.Z.N.I. Marine Ecology* 7(3): 201-217.
- Power, M.E., D. Tilman, J.A. Estes, B.A. Menge, Bond W.J., L. Scott Mills, G. Daily, J.C. Castilla, J. Lubchenco y R.T. Paine.** 1996. Challenges in the quest for keystones. *Bioscience* 46(8): 609-620.
- Siegfried, W.R.** 1989. Rocky shores: Exploitation in Chile and South Africa, *Ecological Studies* 103, 178 pp. Springer-Verlag.



10.3. Áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos

JUAN CARLOS CASTILLA

Introducción

En investigaciones que se extienden desde la medianía de los 1970 hasta la promulgación de la Ley de Pesca y Acuicultura (1991) y la plena puesta en marcha de las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) en 1998, ECIM ha jugado un rol clave en la concepción, experimentación y consolidación de esta novedosa herramienta de manejo pesquero artesanal. Ello constituye un legado de ciencia básica y aplicada para el país y en general para el mundo pesquero artesanal. Esta es la ocasión para documentar el proceso, no tanto en términos puramente científicos, sino que a través de un ensayo historiado de los acontecimientos, respaldado por publicaciones.

Las AMERB son un caso ejemplar que muestra cómo se cerró el círculo del conocimiento, desde la ciencia más básica y pura hasta derivaciones legales y aplicaciones de manejo pesquero (Castilla *et al.*, 2013). Lo anterior, contando con la colaboración de numerosos pescadores artesanales y líderes de comunidades pesqueras del centro-norte y centro de Chile. En esto último abrimos surcos tempranos para el posterior desarrollo de estudios socioecológicos en el sector pesquero artesanal. En el corazón de la herramienta de manejo pesquero de las AMERB está la metáfora de la “Tragedia del uso de los recursos comunes/públicos” (Hardin, 1968), una metáfora enraizada en antiguas tradiciones de usos de pastizales comunitarios en el medioevo de Gales e Inglaterra (W.F. Lloyd, 1833). Hardin lo sintetiza así: “*Picture a pasture open to all. It is to be expected that each herder-man will try to keep as many cattle as possible on the commons (=pasture) ... freedom in a common brings ruin to all*”.

En el océano, a diferencia de la tierra, no existen derechos de propiedad privada, y así se puede dar una “tragedia de los recursos de uso común agravada”, ya que la privatización en el uso de dichos recursos (una de las salidas a la tragedia) no es una solución posible (Castilla, 1997). Así, en el caso del mar, es el Estado, en representación de todas y todos nosotros, quien debe implementar regulaciones extractivas para las pesquerías, tales como zonificaciones espaciales, asignaciones de cuotas individuales o colectivas, límite en las extracciones, vedas, derechos extractivos exclusivos para comunidades, y otras, para que científica y técnicamente las pesquerías sean sostenibles, no se sobreexploten y no traigan “la ruina a todos”.

Las crisis encierran oportunidades

Desde el inicio de la década de 1970 se comenzó a incubar en Chile una crisis pesquera artesanal de recursos bentónicos (aquellos que viven estrechamente asociados a los fondos marinos). La crisis afectó tanto a recursos sésiles como móviles, extraídos principalmente por buzos semiautónomos, con compresoras de aire instaladas en los botes.

Hacia 1975, época en que comenzamos nuestras primeras investigaciones en Caleta Hornos, Región de Coquimbo (como se describe en el capítulo 3 de este libro, “Historia de un sueño”) la crisis de sobreexplotación pesquera bentónica se estaba comenzando a desatar. Ello era muy evidente en relación con el recurso icónico y tradicional loco, *Concholepas concholepas*. No existía un diagnóstico científico sobre las razones, pero los extractores se quejaban de que las capturas y los precios habían disminuido muy importantemente. En la quebrada frente a Caleta Hornos se acumulaban decenas y decenas



**UNO DE LOS
PRIMEROS
ESFUERZOS
POR EVALUAR**

la abundancia de las poblaciones de locos mediante marcaje-recaptura, en conjunto con los pescadores de Caleta Quintay.

nas de conchales de locos con cientos de miles, si no millones, de conchas. El loco, en todo Chile, representaba (y aún representa) un recurso económicamente clave en la pesca artesanal.

En esa época, para el proyecto en Caleta Hornos, yo contaba con un pequeño equipo de colaboradores: Pablo Schmiede, Sandra Contreras y los biólogos marinos del Cuerpo de Paz, USA, Random DuBois y Dorothy Hogg. La idea y concepto madre de las AMERB no existía y las conversaciones con buzos y pescadores sindicalizados de Caleta Hornos giraban en

torno a soluciones locales a la crisis del loco. El pescador y líder Carlos Flores fue nuestro contacto con el sindicato. Aquí nació la idea, de común acuerdo con los extractores de locos, de dejar descansar áreas pesqueras en torno a la caleta, por tiempos mutuamente acordados, junto con la alternancia de rotaciones extractivas a lo largo del año.

Para nosotros, a 500 km de Santiago, no existían posibilidades de realizar monitorizaciones confiables; tampoco fondos para instalar un técnico-buzo-muestreador en la caleta. Algunos de los buzos sindicalizados consideraban los “descansos de extracciones” y las rotaciones extractivas como una herramienta atractiva, que mostraban éxitos. Otros pescadores, oportunistas no sindicalizados, las boicoteaban. ¡Hornos no era el lugar ideal para realizar intervenciones o manipulaciones experimentales, pero allí comenzó nuestro aprendizaje sobre la pesca artesanal y sus dimensiones socioecológicas! En estos trabajos tempranos nos concentramos en verificar la hipótesis sobre la existencia de una sobreexplotación del loco en función de la distancia de las áreas de extracción desde el centro de la caleta. Con la cooperación de los buzos “loqueros” analizamos densidades, tamaños y captura por unidad de esfuerzo de locos en sitios de explotación tanto cercanos como alejados de la caleta. En un bote, con la misma tripulación de buzos especializados, diseñamos buceos de 10 días de duración, estandarizados por tiempo y rango de profundidad, desde el centro de la caleta y a lo largo de 7 millas costeras al norte de ésta. Incluimos además el Islote de los Pájaros, que se sitúa a 14 millas mar afuera, que era esporádicamente visitado por los buzos. La captura de locos desde el centro de la caleta, en función de la distancia mostró una correlación positiva, aunque no significativa, y las capturas por unidad de esfuerzo de locos en el islote fueron en promedio 7 a 10 veces mayores que aquellas a lo largo del recorrido costero (Castilla y Schmiede, 1979).

A nivel nacional, la crisis de sobreexplotación del loco llegó a su punto culminante hacia 1980. Desde la mitad de 1970, se produjo una apertura explosiva de mercados externos para la exportación

de mariscos y algas, y con ello un incremento también explosivo de sus desembarques. En la época se implementaron políticas de muy fuertes incentivos a las exportaciones, ya sea que se tratase de manufacturas, recursos no renovables (i.e., minería), cultivables (i.e., fruticultura, acuicultura) o renovables provenientes de pesca de poblaciones explotables, como es el caso de los recursos bentónicos. En este último caso, se comenzaron a observar sobreexplotaciones de recursos, que eventualmente desembocaron (para el loco y otros recursos bentónicos) en la crisis descrita (Castilla, 1990a).

Por ejemplo, a partir de 1981, las ca. 25.000 toneladas de locos desembarcadas por año en Chile, producto de una verdadera “fiebre”, comenzaron abruptamente a disminuir (Castilla, 1994; además ver la película “La fiebre del loco”, dirigida por Andrés Wood, 2001) y no se contaba con los conocimientos suficientes sobre las dinámicas poblacionales para este recurso y las consecuencias debido a las tasas siempre incrementales de las extracciones. Así se desató “la tragedia”,

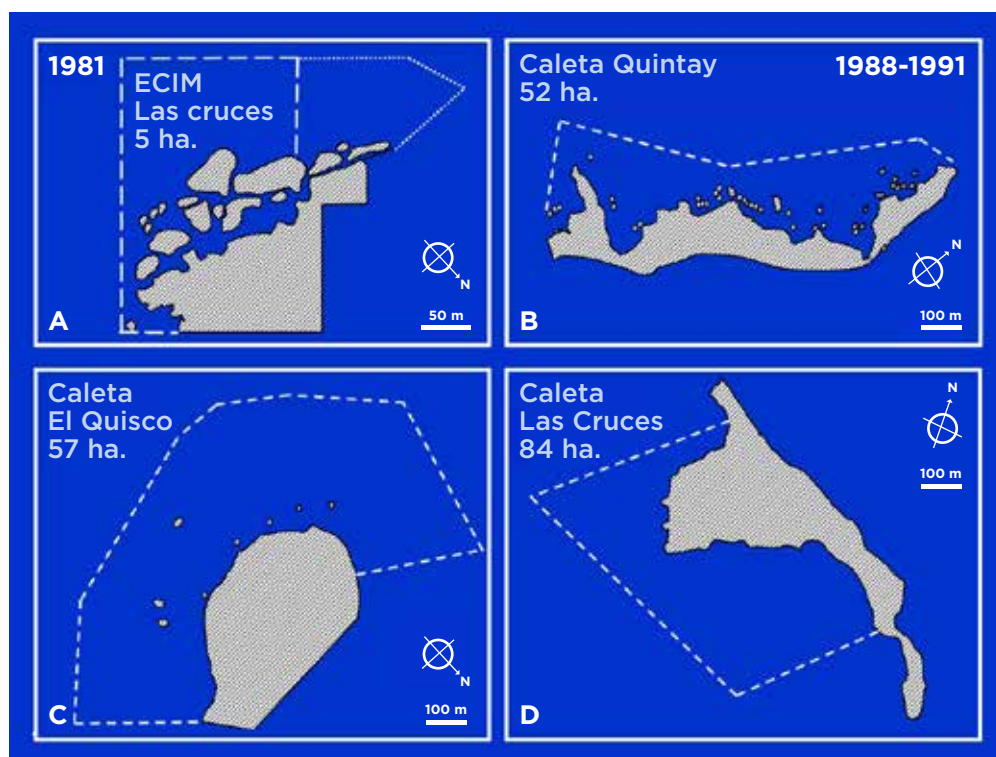
que reverberó en serias crisis socioeconómicas para una parte del sector pesquero artesanal, principalmente para el de los buzos. En el sur del país se vivió una verdadera “guerra del loco”, incluso con pescadores muertos.

Por otra parte, la década de 1980 fue para las y los investigadores chilenos que trabajábamos en recursos bentónicos una gran oportunidad para la búsqueda de soluciones novedosas para la sustentabilidad de estos recursos. La fundación de ECIM y sus áreas inter- y submareales protegidas de la extracción de recursos bentónicos, fue clave para la concepción y demostración del concepto sobre el que descansó la promulgación de las AMERB en la ley de Pesca y Acuicultura de 1991.

Pesca artesanal de recursos bentónicos en áreas submareales

El macroexperimento de exclusión humana realizado desde 1982 al interior de ECIM demostró no solo la importancia

**LAS PRIMERAS
“ÁREAS DE MANEJO”
EXPERIMENTALES**
implementadas con el
apoyo de las caletas
de pescadores, antes
de la creación de
las Áreas de Manejo
y Explotación de
Recursos Bentónicos
por la Ley de Pesca y
Acuicultura de 1991.





EL BOTE REMA II, adquirido por proyecto Fondecyt para trabajar con pescadores de Caleta El Quisco.



PESCADOR BUSCA LARVAS recién asentadas de locos sobre las conchas de adultos en Caleta El Quisco.



GRACIAS A UN PROYECTO FONDECYT se implementó la primera área de manejo en Caleta Quintay. Los pescadores establecieron sus propios sistemas de autorregulación.

clave de las interacciones humanas en los sistemas litorales rocosos, sino que las cascadas de efectos directos e indirectos derivados de aquello (Castilla, 1999). También demostró la ocurrencia de repoblaciones naturales, relativamente rápidas, en un área protegida. Ello ha sido publicado en revistas nacionales e internacionales. Gran parte de estas publicaciones tienen su foco experimental en la zona intermareal y submareal somera (ca. <2-3 metros de profundidad). Sin embar-

go, las pesquerías comerciales de recursos bentónicos ocurren en el submareal más profundo (ca. 4-20 metros) y la conceptualización y diseño de herramientas de manejo y extracción de estos recursos requerían de información y monitorizaciones sobre las tasas de repoblaciones naturales (densidades, tamaños) de estos recursos en zonas protegidas de la pesca para dichos hábitats.

Así, entre 1981 (algunos meses antes del cierre perimetral de ECIM) y 1989,

con equipos de buceo autónomo, se realizaron monitoreos submareales en zonas rocosas de entre 5-12 metros de profundidad, tanto en el interior de ECIM como en áreas no protegidas al exterior. Las especies seleccionadas fueron el erizo *Loxechinus albus* y el loco. Para los erizos (1983-1989) dos buzos investigador-técnicos realizaron transectos perpendiculares a la costa, tanto al interior de ECIM como en un área abierta a la extracción, Punta Las Salinas. En 1988, 6 años después del cierre de ECIM, las densidades submareales de erizos en su interior eran ca. 10 veces superiores a las de Punta Las Salinas (Castilla, 1990b). Una situación similar ocurría con las densidades de loco (Castilla 1988; Oliva y Castilla 1990).

Las tres publicaciones mencionadas (publicadas en literatura gris y en castellano) sirvieron de un primer apoyo para la obtención de un proyecto Fondecyt, conocido como REMA (Repoblar y Manejar: N° 3503-89; también existió apoyo de IDRC-Canadá), que resultó ser un hito en la aplicación de ciencias ecológicas a la resolución de problemas pesqueros prácticos de urgencia nacional. El proyecto tuvo como objetivo lograr de las autoridades, para Quintay y El Quisco, áreas de fondo de mar con acceso exclusivo para los buzos sindicalizados en la extracción de locos (áreas de ca. un orden de magnitud mayor en superficie que la de ECIM) y monitorear, en conjunto con los pescadores, los cambios poblacionales. Estas experiencias piloto, realizadas antes de la promulgación de la Ley de Pesca de 1991, son las precursoras de la institucionalización de las AMERB (Castilla, 1994; Castilla *et al.*, 1998). Las caletas mencionadas se eligieron porque sus presidentes y secretarios de sindicatos eran líderes locales y comprendían muy bien la potencialidad de desarrollar una herramienta de manejo pesquero artesanal como ésta: René Barrios, en Caleta Quintay; Francisco Ceballos y Miguel Ramírez, en El Quisco. Nuevamente, un excelso grupo de colaboradores me acompañó en estas experiencias: entre otros, Doris Oliva, René Durán, Armando Rossón, Carmen Espoz, Rubén Soto, Gabriel Jérez, Jorge Alvarado, Claudia Pino, Cristián Pacheco, Darío Rivas, Omar

Defeo, Andrés Jullian y Verónica Ortiz; más tarde, para profundizar y expandir la investigación, entre otros, se unieron Patricio Manríquez, Miriam Fernández y Stefan Gelcich.

Los pescadores, por decisión propia, implementaron y defendieron en ambas caletas “sus áreas de acceso exclusivo” (aún sin un marco legal para hacerlo), impidiendo el acceso a ellas de buzos de otras caletas. Nuestro proyecto Fondecyt, con una tardanza de unos 2 a 3 años de tramitación, consiguió dichas autorizaciones (*i.e.*, para Quintay, Decreto Supremo N° 203, del 8 abril de 1991; Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría de Marina; fechado antes de la publicación de la Ley de Pesca y Acuicultura). Un compendio de algunos de los resultados exitosos de manejo del loco en un área protegida y otra con AMRB (ECIM y El Quisco) versus áreas con libre acceso (Cartagena, Algarrobo, Las Cruces) se publicó en las actas de un simposio realizado en Canadá (Castilla *et al.*, 1998), caracterizando a las caletas chilenas con AMERB como unidades de producción y comanejo de recursos bentónicos: un concepto pesquero artesanal que hoy se usa ampliamente.

Ley de Pesca y Acuicultura

El texto original de la Ley de Pesca y Acuicultura N° 18.892 es del 23 de diciembre de 1989. Sin embargo, su texto refundido, coordinado y sistematizado data del 2 de septiembre de 1991 (Decreto Supremo N° 430).

La Ley ha sido modificada en varias oportunidades y por ejemplo en 2004 se publicó una versión de la Ley ya reglamentada. Para este escrito he seleccionado desde el Capítulo IV, “De la Pesca Artesanal” de la Ley reglamentada, dos artículos que son de importancia. Ello porque contienen aspiraciones mayores de los pescadores artesanales de la década de los 1980 y porque, por años, investigadores nacionales, junto a líderes de los pescadores, coayudamos para hacerlas realidad. Sin dudas aquí destaca el trabajo del líder histórico de la Confederación Nacional de Pescadores Artesanales de Chile, Sr. Humberto Chamorro.

Artículo 47. “Resérvase a la pesca artesanal el ejercicio de las actividades pesqueras extractivas en una franja de mar territorial de cinco millas marinas, medidas desde las líneas de base normales, a partir del límite norte de la República y hasta el paralelo 41°28,6' de latitud sur, y alrededor de las islas oceánicas”.

Artículo 48 d. “Un régimen (de pesca) denominado “Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos” (AMERB) al que podrán optar las organizaciones de pescadores artesanales legalmente constituidas. Estas áreas serán entregadas mediante resolución del Servicio (Servicio Nacional de Pesca) previa aprobación por parte de la Subsecretaría (Subsecretaría de Pesca) de un proyecto de manejo y explotación del área solicitada, a través de un convenio de uso hasta por cuatro años, renovable conforme al mismo procedimiento...”.

Ambos artículos son herramientas de manejo pesquero artesanal directamente ligadas a la solución de la “Tragedia del uso de los recursos comunes” con que se abrió este capítulo. El artículo 47 contiene una zonificación del océano, dejando un espacio costero de 5 millas náuticas (9,2 km) de uso exclusivo para la pesca artesanal e impide el ingreso de la flota industrial (con ciertas regulaciones para su perforación); pero no prohíbe el ingreso de la flota artesanal más allá de las 5 millas (la Ley define las flotas artesanales e industriales). El artículo 48 d, por su parte, consagra accesos de extracción exclusivos de recursos bentónicos, dentro de espacios marinos costeros asignados temporalmente, a comunidades artesanales organizadas. Desde punto de vista de “la tragedia” no otorga derechos de extracción individuales, sino que colectivos.

Además, el diseño para el funcionamiento de las AMERB contempla un mecanismo virtuoso de comanejo pesquero entre las comunidades y las agencias pesqueras del Estado. Este no es momento de detallarlo, pero el sistema de comanejo en las AMERB chilenas es ampliamente destacado a nivel mundial (Botsford et al., 1997; Castilla y Defeo, 2005; Castilla et al., 2007; Gelcich et al., 2010; Defeo et al., 2016). Chile tiene una red de centenas de AMERB, con miles de extractores (bu-

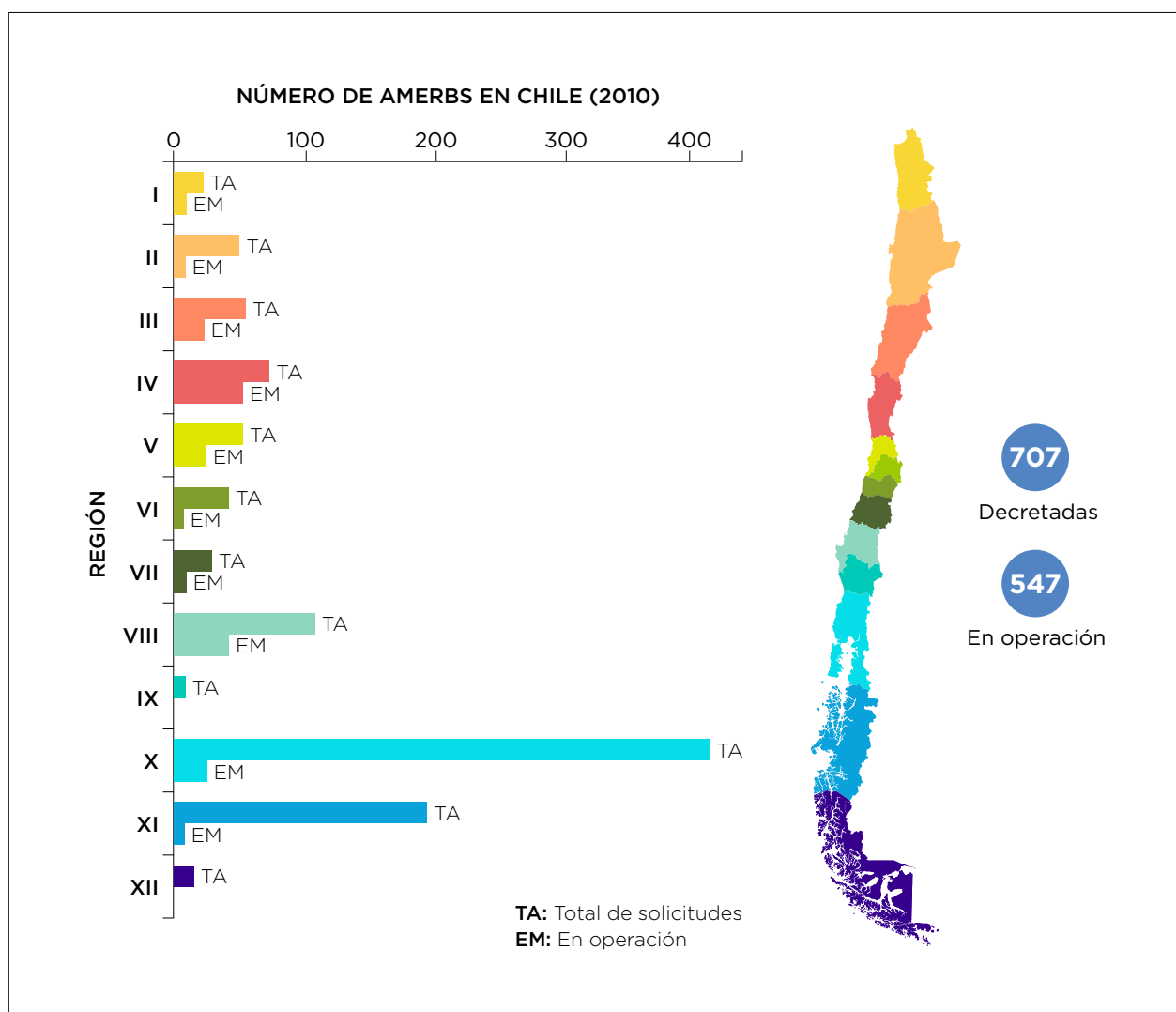
zos) de recursos bentónicos, en las que se ejercita el comanejo, y ello es un ejemplo mundial único.

En las últimas dos décadas en Chile numerosas reuniones y seminarios conjuntos entre investigadores, técnicos y líderes de los pescadores artesanales, como la icónica dirigente artesanal Sra. Zoila Bustamante, han sido clave en la defensa, modificaciones y actualizaciones de las AMERB y en adicionar nuevos elementos en beneficio de la pesca artesanal. Un ejemplo de ello es la nueva zonificación del océano costero de 1 milla desde las líneas de base costeras, con acceso exclusivo para embarcaciones artesanales (botes), menores de 12 m de eslora. ¡Un nuevo avance en el manejo pesquero artesanal de pequeña escala!

Ha pasado mucha agua bajo el muelle

Desde 1991, en las actividades extractivas de recursos bentónicos reguladas por la ley de Pesca y Acuicultura ha pasado mucha agua bajo el muelle. Dictada la Ley de Pesca en 1991, nuestro trabajo con caletas de pescadores artesanales se potenció y se inició un periodo de implementación nacional de las AMERB, que tomó entre 6 y 8 años, y donde ECIM y las caletas El Quisco y Quintay sirvieron como plataformas demostrativas para enganchar y convencer de sus potencialidades y virtudes a cientos de pescadores. Adicionalmente, desde ECIM, en julio de 1989 se lanzó el “Boletín Repoblación y Manejo” (REMA; bajo la dirección de quien suscribe), con cartillas individuales de 4 páginas ilustradas, para la difusión en caletas de pescadores y colegios contiguos, sobre los avances científicos, técnicos y prácticos en el manejo sustentable de recursos bentónicos y en particular en las AMERB. Se han publicado 31 boletines REMA, que se han repartido en numerosas caletas a lo largo del país. Adicionalmente, recientemente, en ECIM se han publicado 10 boletines digitales de REMA.

Las regulaciones pesqueras, que afectan a miles de pescadores y buzos, requieren por parte del Estado de adecuadas implementaciones, seguimientos, controles, incentivos y sanciones, pero



LA RÁPIDA ACOGIDA DEL SISTEMA DE ÁREAS DE MANEJO Y EXPLOTACIÓN DE RECURSOS como instrumento de co-manejo en todo el país.

por sobre todo de rediseños e innovaciones. Por ejemplo, desde el punto de vista del buen uso de la herramienta pesquera AMERB no son menores los roles negativos (desincentivadores) que juegan tanto el robo, como el empozamiento ilegal de los recursos bajo manejo; como también los efectos en las economías de los pescadores de las fluctuaciones de precios en los mercados internacionales (i.e. ver efecto de la competencia en los precios internacionales del loco versus abalones cultivados, Castilla *et al.*, 2016).

En último término, las AMERB des- cansan para su éxito o fracaso en co-

munidades humanas que poseen amplios rangos de conductas, actitudes y percepciones. El regulador pesquero debería analizar sistemáticamente las percepciones y aspiraciones de los pescadores y buzos de AMERB (ver Gelcich *et al.*, 2017) e introducir adecuaciones e innovaciones pesqueras. No es posible mantener y perfeccionar el uso de una herramienta de manejo, sino que a través del proceso virtuoso de innovar a través del progresivo conocimiento generado en los procesos (*doing by learning*). En mi opinión, en estos aspectos, las acciones de las agencias pesqueras del Estado han sido muy insuficientes.

AMERB: Más allá de la producción pesquera

Las AMERB, en mi apreciación y de investigadores del tema, no sirven objetivos exclusivamente de manejo pesquero; esto es, unidades espaciales costeras de producción y comanejo de recursos marinos bentónicos. En efecto, a lo largo de los últimos 30 años, las AMERB se han transformado defacto, en muchos casos, en unidades para el empoderamiento comunitario; por ejemplo, frente a conflictos ambientales. Del mismo modo, los pescadores perciben en ellas roles beneficiosos relacionados con reforzamientos comunitarios para la consolidación de las caletas, beneficios ecológicos y de conservación, además de los relacionados directamente con los objetivos de manejo pesquero. Interesantemente, declaran que no están dispuestos a renunciar a “sus AMERB” a pesar de que los beneficios económicos pesqueros no sean los deseables (ver Gelcich *et al.*, 2017).

En los últimos 15 o 20 años, la investigación científica ecológica y socioecológica realizada en las AMERB muestran un progreso científico muy sustancial en el país, con connotación mundial. Se han explorado, entre otras, avenidas relacionadas con las AMERB como instrumentos auxiliares para la conservación marina y sus roles en la conservación de la biodiversidad; sobre cómo el comanejo influye en las percepciones ambientales de los usuarios; sobre sus importantes roles en la generación de larvas de especies bajo manejo y, más aún, cómo las AMERB juegan un rol ecológico y pesquero clave en la conservación y manejo del gremio de especies de peces de roca, con ámbito de hogar restringido, que están extremadamente sobreexplotados. El profesor Stefan Gelcich es un pilar en ello y son temas de otro capítulo del libro (ver capítulo 10.10)

Finalmente, es mi aspiración científica y convencimiento que la vida marina (especialmente costera), tal como se encuentra hoy, al menos para condiciones geográficas temperadas, puede ser reconstruida. Ello no con la aspiración, por ejemplo, de volver a estados ecológico-pesqueros presegunda guerra mundial, pero sí con mejoramientos muy sig-

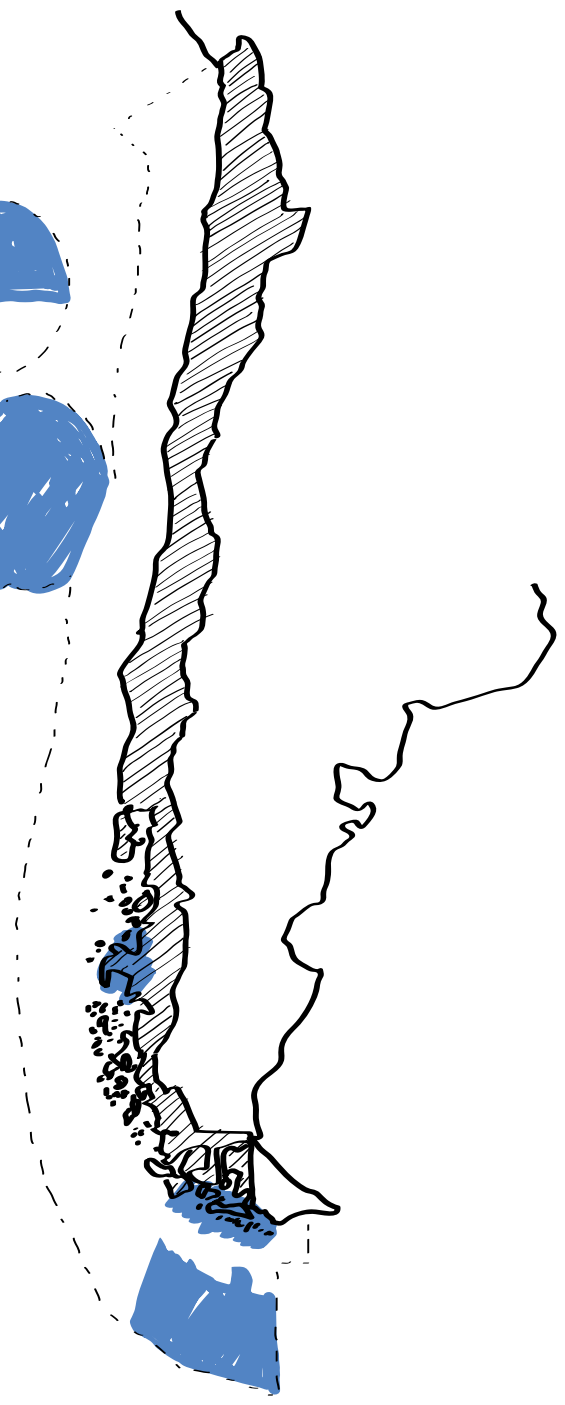
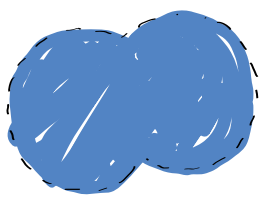
nificativos. Hoy, esto podría sonar como una gota esperanzadora en un océano de desesperanza. Sin embargo, el actual objetivo 14 del documento de Naciones Unidas Sustainable Development aspira a: “*conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development*”. En un trabajo reciente (Duarte *et al.*, 2020) hemos mostrado pruebas de que ello es posible y alcanzable en algunas décadas. El costo es elevado, pero hay que mirarlo como una inversión en sustentabilidad.

Las AMERB, en su concepción multifacética de la década de 2020, no ya solo en la Ley exclusivamente pesquera de 1991, son una de las herramientas de comanejo y conservación costera ya probadas para lograrlo. Muy felizmente, en estos últimos 40 años ECIM ha sido parte clave de ello.

Referencias

- Botsford, L.W., J.C. Castilla y C.H. Peterson.** 1997. The Management of fisheries and ecosystems. *Science* 277: 509- 515.
- Castilla, J.C. y P. Schmiede.** 1979. Hipótesis de trabajo sobre la existencia de zonas marítimas tampones en relación con recursos marinos bentónicos (mariscos y algas) en la Costa de Chile. En: Seminario-Taller sobre el desarrollo e investigación de los recursos marinos de la VIII Región, Chile. V.A. Gallardo (Ed.), Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Concepción, pp. 145-167.
- Castilla, J.C.** 1988. La problemática de la repoblación de mariscos en Chile: Diagnóstico, estrategias y ejemplos. *Investigación Pesquera (Chile)* 35: 41-48.
- Castilla, J.C.** 1990 a. Clase Magistral: Importancia y proyección de la investigación en Ciencias del Mar en Chile. *Revista Biología Marina, Valparaíso*, 25(2): 1-18.
- Castilla, J.C.** 1990 b. El erizo chileno *Loxechinus albus*: Importancia pesquera, historia de vida, cultivo en laboratorio y repoblación natural. En: Cultivo de Moluscos en América Latina, Memorias Segunda Reunión Grupo de Trabajo Técnico, Ancud, noviembre 7-11, 1989. A. Hernández (Ed.), Red Regional de Entidades y Centros de Acuicultura de América Latina, CIID-Canadá, Bogotá, Colombia; pp. 83-98.

- Castilla, J.C.** 1994. The Chilean small-scale benthic shellfisheries and the institutionalization of new management practices. *Ecology International Bulletin* 21: 47-63.
- Castilla, J.C.** 1997. The sustainable use of marine coastal resources in Chile: co-management and the artisanal fishing community scale. Proceedings of the TWAS, September, Rio de Janeiro, Brazil; pp.138-147.
- Castilla, J.C., P. Manríquez, J. Alvarado, A. Rossón, C. Pino, C. Espoz, R. Soto, D. Oliva y O. Defeo.** 1998. Artisanal Calatas: as units of production and co-managers of benthic invertebrates in Chile. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* (Special publication) 125: 407-413.
- Castilla J.C.** 1999. Coastal marine communities: Trends and perspectives from human-exclusion experiments. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 280-283.
- Castilla, J.C. y O. Defeo.** 2005. Need for paradigm shifts needed for world fisheries. (Letter) *Science* 309: 1324-1325.
- Castilla, J.C., S. Gelcich y O. Defeo.** 2007. Successes, lessons, and projections from experience in marine benthic invertebrate artisanal fisheries in Chile. En: *Fisheries Management: Progress toward sustainability*. (Eds.) McClanahan, T. y Castilla, J.C. Blackwell publishing; pp. 25-42.
- Castilla J.C., C.A. Moreno y H. Bacigalupo.** 2013. Innovaciones en manejo pesquero. En: *Innovación basada en conocimiento científico: Estudio en homenaje a los 50 años del Instituto de Chile y de la Academia Chilena de Ciencias*. Santelices B, F. Lund, T. Cooper, J. Asenjo. Academia Chilena de Ciencias, Santiago, Chile pp. 235-255.
- Castilla J.C., J. Espinosa, C. Yamashiro, O. Melo y S. Gelcich.** 2016. Telecoupling between catch, farming, and international trade for the gastropods *Concholepas concholepas* (loco) and *Haliotis* spp. (abalone). *Journal of Shellfish Research* 35 (2):1-8.
- Defeo, O., M. Castrejón, R. Pérez-Castañeda, J.C. Castilla, N. Gutiérrez, T.E. Essington y C. Folke.** 2016. Co-management in Latin America small-scale shellfisheries: assessment from long-term case studies. *Fish and Fisheries* 17:176-192.
- Duarte, C.M., S. Agusti, E. Barbier, G.L. Britten, J.C. Castilla, J-P. Gattuso, R.W. Fulweiler, T.P. Hughes, N. Knowlton, C.E. Lovelock, H.K. Lotze, M. Predragovic, E. Poloczanska, C. Roberts y B. Worm.** 2020. Rebuilding Marine Life. *Nature* (580): 39-51 (plus suppl. information). doi.org/10.1038/s41586-020-2146-7.
- Gelcich S., J. Cinner, C.J. Donlan, S. Tapia-Lewin, N. Godoy y J.C. Castilla.** 2017. Fishers' perceptions on the Chilean coastal TURF system after two decades: problems, benefits, and emerging needs. *Bulletin of Marine Science* 93(1):53-67.
- Gelcich, S., T.P. Hughes, P. Olsson, C. Folke, O. Defeo, M. Fernández, S. Foale, L.H. Gunderson, C. Rodríguez-Sickert, M. Scheffer, R.S. Steneck y J.C. Castilla.** 2010. Navigating transformations in governance of Chilean marine coastal resources. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 16794-16799.
- Hardin. G.** 1968. The tragedy of the commons. *Science* 162:1243-1248.
- Oliva, D. y J.C. Castilla.** 1990. Repoblación Natural: El caso del loco *Concholepas concholepas* (Gastropoda: Muricidae), en Chile Central. En: *Cultivo de Moluscos en América Latina, Memorias Segunda Reunión Grupo de Trabajo Técnico*, Ancud, noviembre 7-11, 1989. A. Hernández (Ed.), Red Regional de Entidades y Centros de Acuicultura de América Latina, CIID-Canadá, Bogotá, Colombia; pp. 273-295.



10.4. Aportes de ECIM a la conservación marina: Una historia de oportunidades, ciencia y convicciones

MIRIAM FERNÁNDEZ

Un camino pionero

El aporte de ECIM a la ciencia y al desarrollo de iniciativas de conservación marina en Chile está íntimamente conectado a las oportunidades y líneas de investigación de las y los científicos que contribuyeron a generar nuevo conocimiento en estas cuatro décadas, pero también a una fuerte convicción sobre la necesidad de conservar, en su sentido más amplio, la biodiversidad y servicios ecosistémicos del mar de Chile.

Cuando los radares de las ciencias del mar aún no tenían su foco en la conservación marina, el Dr. Juan Carlos Castilla recibió un contacto inesperado de un oficial de la FAO en Chile, manifestando la posibilidad de invitar a un científico chileno a la Primera Conferencia Internacional sobre Parques y Reservas Marinas que se realizaría en Tokio, Japón, en 1975. Aunque los intereses del profesor Castilla en ese entonces no estaban orientados hacia la conservación, sino en comprender el funcionamiento de las comunidades marinas costeras del centro de Chile y el impacto del ser humano sobre ellas, se sumó al encuentro de Japón. El trabajo que se presentó en ese momento se centró en la identificación de sitios prioritarios y criterios de selección para la creación de parques y reservas marinas en Chile (Castilla, 1975). Sin duda, una propuesta pionera para un área de investigación que años después concentró muchísimas discusiones y esfuerzos a nivel mundial para definir el establecimiento de áreas marinas protegidas. El trabajo destacaba la carencia absoluta de una política nacional en conservación de los ecosistemas marinos, y por contraposición los elevados números de parques terrestres. También discutía la importancia de generar áreas protegidas de manera temprana en ecosistemas saludables, y avanzaba en especificar posibles sitios en Chile cen-

tral para la creación de parques, reservas y santuarios de la naturaleza marinos, basado en el conocimiento científico existente. Dicho análisis sugiere por un lado la necesidad de designar áreas marinas protegidas en las diferentes “provincias biogeográficas”, y por el otro, se refiere a sitios específicos para algunas de estas provincias. Así surgen como áreas de interés Bahía Inglesa, Los Molles, la zona de Pelancura, la Isla de los Pingüinos en Algarrobo, la zona entre Mirasol y Quintay, y la Isla Ritoque enfrente a Concón. Las Cruces no es mencionado dentro de los sitios de Chile central en ese trabajo. Para otros lugares de Chile se sugiere extender las áreas protegidas terrestres al mar tanto en Chile continental (e.g., Hualpén, Quitrilco, Los Huemules, entre otros) como en islas oceánicas (Juan Fernández, Rapa Nui). No existiendo referencias nacionales sobre el tema, esa presentación sería el primer aporte científico escrito sobre conservación marina en Chile, que luego se plasmaría en dos publicaciones. Las dificultades de comunicación que existían en esos años, especialmente en Chile, hicieron que este análisis se publicara dos veces. Como nunca llegaron las actas de la conferencia, y asumiendo que no estaban disponibles, el profesor Castilla le transmitió al profesor Carlos Moreno la necesidad de publicar este trabajo. Como editor de la revista Medio Ambiente, de la Universidad Austral de Chile, Carlos Moreno accedió a publicarlo, en castellano, en la sección “documentos” en el año 1976 (Castilla, 1976). Recién en 1979 el profesor Castilla se enteró que las actas de esa reunión de Japón se habían publicado en 1975 en inglés.

Simultáneamente, pero de manera más o menos desconectada a los desarrollos de la investigación en conservación marina, se establece en Chile la primera área marina protegida de Chile.



**ESTA FOTO MUESTRA
EL TRABAJO** que

realizamos en la comuna de Navidad para desarrollar un área marina protegida, el Santuario Marino Bosque de Calabacillo, pero sobre todo representa la modalidad de trabajo que luego se propagó a otros lugares de Chile: científicos, autoridades y comunidad local trabajando mancomunadamente con el objetivo común de conservar los ecosistemas marinos.

En 1976 se crea un Santuario de la Naturaleza Marino en uno de los sitios menos estudiados y más remotos de Chile: Motu Motiro Hiva e islotes adyacentes, reconocido actualmente por su valor como sitio de asentamiento y nidificación de aves. La práctica de la conservación marina en Chile había comenzado.

El segundo impulso a la ciencia de la conservación marina en Chile es justamente el establecimiento de ECIM, que como relata el Profesor Castilla en la sección “Historia de un sueño” se inspiró más bien en realizar un experimento para evaluar el impacto humano sobre los ecosistemas costeros y en demostrar un modelo de manejo de recursos. Al excluir actividades humanas en un sector de la zona intermareal y submareal de la Punta del Lacho se crea en la práctica un área marina protegida de protección total. Ese pequeño sector de la costa de

Chile de central, rodeado de sitios donde la pesca era y sigue siendo una actividad importante, comienzan a monitorearse de manera sistemática a partir de 1982. Estudiantes y jóvenes científicos, registraron los sorprendentes efectos de un experimento de exclusión del ser humano, pionero en Chile y uno de los primeros en el mundo. Claramente, la motivación que guiaba a estos científicos era describir los ecosistemas costeros y entender las relaciones entre las especies, donde los humanos jugaban un rol clave. No estaba entre sus objetivos lo que hoy se conoce como la “ciencia de la conservación”, pero ciertamente estaban abriendo camino en esa dirección. El otorgamiento de una Concesión Científica de playa y fondo de mar de 44.130 m² (Decreto Subsecretaría de Marina, D.S. (M) N° 443, 15) en 1986 y sucesivas renovaciones permitió sostener en el tiempo

este verdadero hito de la ciencia de la conservación marina en Chile. En 2005 se declaró a esta reserva marina *di facto* como Área Marina y Costera Protegida (AMCP) (Decreto Subsecretaría de Marina D.S. (M) N° 107, 11 agosto 2005).

Los primeros estudios registraron cambios importantes en la densidad de especies explotadas en comparación con áreas explotadas aledañas. Además, se comenzó a observar un aumento en el tamaño corporal de los individuos de dichas especies, pero también los efectos cascada sobre especies presa en estos productivos ecosistemas. El paisaje cambió, el impacto de la extracción de recursos por el ser humano se documentó en numerosos artículos científicos. Las tempranas publicaciones que comenzaron a dar cuenta de los efectos ecológicos dramáticos y las potencialidades prácticas para el manejo pesquero artesanal, que ocurrían en esta pequeña porción de costa protegida donde estaba instalado ECIM, fue internacionalmente visualizado como un ejemplo de resultados teóricos y prácticos derivados de la conservación. En la literatura había otros ejemplos, pero muy pocos para zonas marinas temperadas, siendo el trabajo de Carlos Moreno en la Reserva de Mehuín otra excepción. Las Cruces no fue ni la primera ni la única área marina protegida pionera en Chile. Entre 1978 y 1982 se establecieron 3 nuevos Santuarios de la Naturaleza en Chile (Fernández *et al.*, 2021). Dos de ellos en sitios sugeridos en la temprana publicación de Juan Carlos Castilla (1975, 1976). Pero la gran diferencia de Las Cruces fue estar adyacente a ECIM y al grupo de científicos y científicas que la utilizaron como un laboratorio natural y referencia para estudios marinos costeros.

A partir de esos primeros estudios, en las siguientes décadas se diversificaron las publicaciones comparando la zona “protegida” del impacto humano y las áreas impactadas por la pesca. Los nuevos estudios abordaban un amplio rango de especies (virus, parásitos, algas, invertebrados, peces, aves, mamíferos) y temas diversos como la influencia de la historia de vida de las especies en la respuesta a medidas de conservación basadas en áreas protegidas, el impacto

de zonas protegidas en producción de propágulos y repoblamiento de zonas aledañas, la identificación de sitios prioritarios para la conservación, etc. Por primera vez en el país se realizaba, con datos, la importancia de las concesiones y reservas marinas no sólo para proteger la biota sino también como semilleros naturales y destacando sus potencialidades como herramientas de manejo pesquero (Manríquez & Castilla, 2001). Estudios sobre abundancia y reproducción de especies explotadas, acoplados a modelos de circulación costera, comenzaron a identificar sitios relevantes para la exportación de semillas y sitios sumideros (e.g., Blanco *et al.*, 2019).

La ciencia de la conservación marina se consolidaba en ECIM, en Chile y en el mundo. Cada década, a partir de 1976, Juan Carlos Castilla y colaboradores publicaron artículos sobre los avances en conservación marina y se proponían desafíos para Chile. En 1986, Juan Carlos Castilla publicó un artículo en la revista *Ambiente y Desarrollo*, destacando los roles de tres pequeñas concesiones marinas costeras (Montemar, Mehuín y Las Cruces) en generar conocimiento científico (Castilla, 1986) y secundariamente aportar a la conservación marina. El trabajo relata las historias de estas tres concesiones, que se inicia en 1941 en Montemar. En 1978 fue la Universidad Austral quien siguió este camino, y en 1982 ocurrió lo propio en Las Cruces, como relata el profesor Castilla en “Historia de un Sueño”. La breve síntesis de los aportes científicos que se generaron a través de monitoreos de las comunidades costeras en estas concesiones realza con dos ejemplos de explotación de recursos, herbívoros en Mehuín y carnívoros en Las Cruces, el impacto humano sobre la estructura de las comunidades. Estas evidencias son la base del planteamiento que realiza en dicha publicación sobre la necesidad de acciones de conservación y educación ambiental.

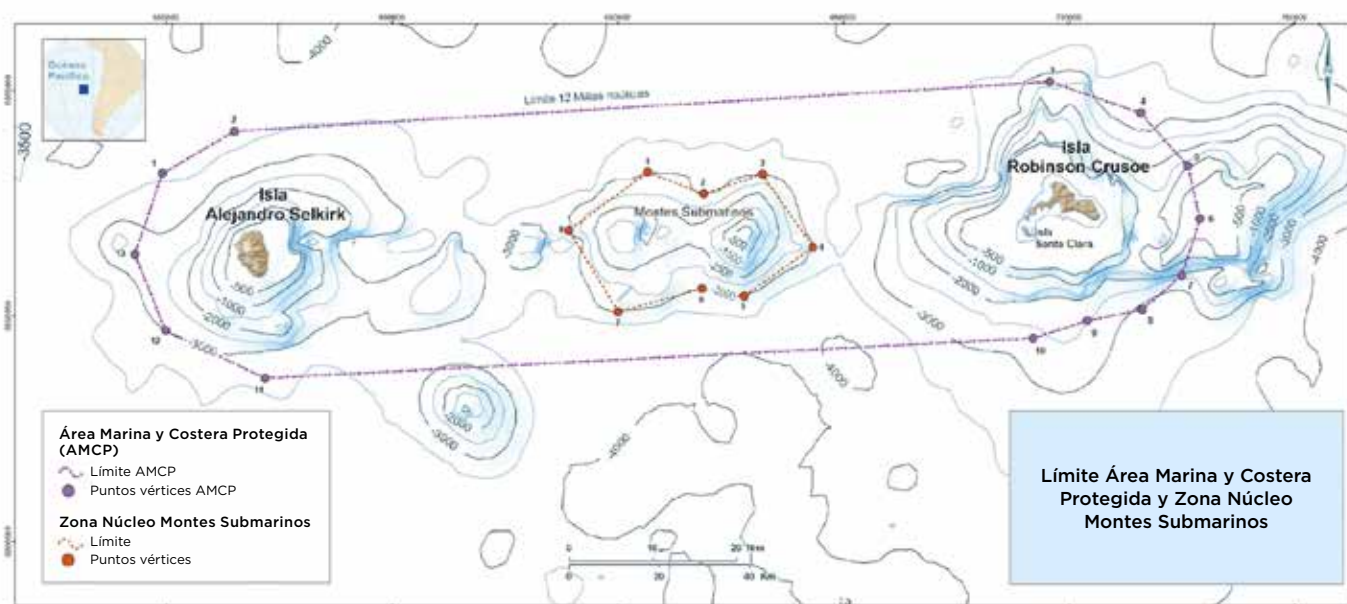
En 1996 Juan Carlos Castilla publicó un nuevo artículo con una revisión de áreas de conservación de Chile, incluyendo algunas centradas en el cuidado de recursos pequeros (i.e. *Ostrea chilensis*, en Chiloé; Castilla, 1996). Allí se destaca la

necesidad de establecer a lo largo del país una red de áreas marinas costeras protegidas y se listan posibles macro áreas oceanográficas, características de la costa de Chile, que deberían contener reservas o parques marinos.

En las décadas siguientes se publican otros artículos de investigadores de ECIM relacionados con conservación marina en Chile. Personalmente, y con investigadores asociados a mi laboratorio, comencé a sumarme al aporte a la conservación marina que se realizó desde ECIM a comienzos de los 2000. En el año 2005, junto a Juan Carlos Castilla, publicamos un análisis de los avances en conservación marina hasta esa fecha (Fernández y Castilla, 2005), discutiendo las restricciones y complejidades que impone la descentralización de la conservación con diferentes agencias administrando medidas de conservación. Dicho trabajo ponía además en relieve, por primera vez, la idea de integrar las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) que contaran con un manejo riguroso, a una red de áreas de conservación marina (Fernández y Castilla, 2005). En 2006, Castilla y Gelcich retoman la idea de entretener en una red de conservación tanto a reservas y parques marinos como AMERB (Castilla y Gelcich, 2006). En 2021 publicamos el último análisis decadal sobre los avances en el establecimiento de áreas marinas protegidas, comparando a Chile a nivel regional e internacional (Fernández *et al.*, 2021). Destacamos que Chile muestra un claro liderazgo internacional en la superficie de la Zona Económica Exclusiva declarada como áreas marinas protegidas, pero que en la práctica persisten importantes debilidades y desbalances. Uno de ellos es la concentración de esfuerzos de conservación (designación de áreas marinas protegidas) en zonas remotas, y limitados esfuerzos en zonas expuestas a alta actividad antrópica. Por esta razón, el análisis considera nuevamente, y de manera más explícita, la combinación virtuosa entre áreas marinas protegidas y áreas con derechos territoriales de uso (AMERB y de pueblos originarios), que podría cubrir los vacíos en áreas marinas protegidas marinas asignadas en algunas ecoregiones.

Contribuciones a la creación de áreas marinas protegidas

El avance en designar áreas marinas protegidas en Chile aumentó de manera importante a partir de la década del 2000. Sin embargo, en ese período existían diversas comunidades costeras interesadas en la conservación de los ecosistemas costeros que no eran escuchadas por las autoridades nacionales. Un claro ejemplo fue la solicitud de la Municipalidad de Navidad a CONAMA para ser considerados en el marco del proyecto GEF-marino “Conservación de la biodiversidad de importancia mundial a lo largo de la costa chilena” (GEF-Marino), que proponía crear tres Áreas Marinas Protegidas de Múltiples Usos. No fueron considerados. Estos casos y mi interés en procesos “bottom-up” a la conservación coincidió con una invitación que me realizó el Pew Fellows Program, que anualmente convoca a un grupo de líderes en conservación marina a proponer estudios en diferentes lugares del mundo. Así, en el año 2005 envié un proyecto para trabajar con comunidades locales motivadas por aportar a la conservación marina, apoyando desde la ciencia estas iniciativas. Partimos en Navidad, trabajando este proyecto de pensar, diseñar y desarrollar áreas marinas protegidas junto a las comunidades costeras. Con Stefan Gelcich, quien en ese momento llegaba a Chile como postdoctorante, Catherine González, quien daba sus primeros pasos como Licenciada en Biología, y dos extraordinarios pasantes internacionales (Justin Holl y Sara Kimberley) conformamos el equipo. Comenzamos a conversar con autoridades locales (el alcalde Horacio Maldonado) y sus asesores, con los pescadores artesanales, y generamos espacios para abrir la discusión al resto de la comunidad. Realizamos talleres en las plazas, en las escuelas. De este proceso de participación, y del análisis de las figuras legales existentes para proteger el mar y su flexibilidad para iniciativas “bottom-up”, se avanzó en generar un proyecto para crear un Santuario de la Naturaleza. Para comenzar el proceso se necesitaba levantar información básica y fue nuestro equipo científico junto a



EL TRABAJO CONJUNTO DE LA COMUNIDAD LOCAL, junto a científicos, científicas y autoridades se plasmó en una propuesta para crear la primera área marina protegida en el Archipiélago de Juan Fernández que integraba un área de múltiples usos alrededor de dos de sus islas, como también pequeños parques marinos costeros y en montes submarinos. La protección de un verdadero tesoro submarino, como publicaron los medios de prensa de Chile.

pescadores y asesores municipales quienes realizaron los estudios de línea base, que incluyeron buceos, caracterización de la biodiversidad del sector costero, y particularmente del bosque de calabacillo que se señalaba como un área de interés para la comunidad local. Los resultados se plasmaron en una propuesta que se envió al Consejo de Monumentos Naciona-

les para declarar un Santuario Marino en Navidad. El proceso fue largo, y no estuvo exento de dificultades ya que algunos organismos del estado ofrecieron cierta resistencia (e.g., la oficina de Sernapesca zonal). Sin embargo, la perseverancia de este grupo completo logró el objetivo. En 2012 se decretó el Santuario Marino Bosque de Calabacillo, en la comuna de Navidad.



TANTO EN JUAN FERNÁNDEZ COMO EN RAPA NUI

realizamos talleres de buceo con niños y niñas para que pudieran apreciar la maravillosa vida submarina de sus islas.

A partir de esta iniciativa en Navidad, comienzan a surgir otros proyectos de conservación motivados desde las comunidades costeras. Mientras trabajábamos en Navidad, fuimos contactados por Julio Chamorro en representación de los pescadores de Juan Fernández, invitándonos a acompañarlos en el sueño que ellos tenían de extender la protección de la biodiversidad del ecosistema terrestre insular, al mar. En 2007, el equipo de científicos y científicas de ECIM involucrados en el proyecto Pew de Conservación Marina se trasladó a la Isla Robinson Crusoe, en Juan Fernández, para iniciar un motivante proyecto de trabajo con la comunidad local para crear un área marina protegida. Catherine González, Andrea Álvarez, Cecilia Grandi, Bryan Bularz y yo conformamos el equipo que trabajó con la apasionada comunidad de Juan Fernández, tremendamente comprometida con la conservación de la naturaleza. Nuestro trabajo consistió en recopilar la información oceanográfica, biológica y pesquera del Archipiélago, compartirla con la comunidad local y plasmarla en un documento que fue la base de la Propuesta de Creación de un Área Marina Protegida en Juan Fernández que posteriormente presentamos al Ministerio de Medio Ambiente. Realizamos diversos talleres de discusión de las figuras legales existentes en Chile

para la conservación del mar, las ventajas y desventajas que les conferían para sus metas de conservación. Trabajamos en mapas parlantes que identifican en forma gráfica los actores sociales para pensar en posibles zonificaciones al ritmo de las bandas de música local. La comunidad local postuló a un Fondo de Protección Ambiental, lo que permitió trabajar con el colegio y operadores de buceo locales en talleres de buceo con niños, niñas y adolescentes. Nuestro grupo de trabajo junto a representantes de la comunidad de Juan Fernández participó de diversas reuniones en el Ministerio de Medio Ambiente, en la Subsecretaría de Pesca, en el Congreso, y con grupos de pescadores industriales del continente para socializar el alcance de la iniciativa. La motivación de la comunidad fue un gran motor que permitió transitar la oposición de las autoridades nacionales a aceptar iniciativas surgidas desde la comunidad para crear áreas marinas protegidas. En esos años, este tipo de iniciativa con tanto apoyo transversal de la comunidad era poco frecuente. Fue muy emocionante recibir en Valparaíso a cuatro habitantes de Robinson Crusoe, que después del tsunami que los afectó, viajaron en una pequeña embarcación a vela hasta Valparaíso para llamar la atención de las autoridades sobre temas prioritarios para la comunidad de

Juan Fernández. Entre un puñado de solicitudes relacionadas con la reconstrucción, la salud y la urgencia de una nueva escuela, estaba la creación de un área marina protegida. La perseverancia de todos los involucrados permitió la declaración, en 2015, de la primera área marina protegida en el mar que rodea las islas de Juan Fernández. Ésta incluía un área de múltiples usos, y varios pequeños parques marinos. Posteriormente, la motivación local ampliaría el área marina protegida para alcanzar altísimos niveles de superficie asignada a áreas marinas protegidas en Juan Fernández y Desventuradas.

Mientras aún trabajábamos impulsando al área protegida de Juan Fernández, fuimos contactados por otros actores de otros lugares de Chile, para explorar la posibilidad de involucrarnos a diferentes niveles en otras iniciativas de acompañamiento a la comunidad local para crear áreas marinas protegidas. Un grupo de habitantes de Rapa Nui, agrupados en la Mesa del Mar, nos invitaron a conocer sus motivaciones para proteger el mar que rodea la isla. En paralelo, el Pew Charitable Trust nos contactó conociendo los proyectos que habíamos realizado, para explorar la posibilidad de compilar la información oceanográfica, biológica y pesquera disponible para hacerla disponible a la comunidad para iniciativas de conservación. Lideré un grupo de más de 15 científicos de diferentes disciplinas y universidades de Chile, quienes realizaron estudios y recopilaron la información científica existente en el mar que rodea a Rapa Nui y Motu Motiro Hiva. El trabajo de este grupo se vio plasmado en un volumen especial de la revista *Latin American Journal of Aquatic Research* en 2014 presentado por Fernández & Hormazábal (2014). Los resultados de este trabajo se hicieron disponibles para la comunidad y autoridades, y fue un insumo importante para la propuesta de área marina protegida de Rapa Nui. La información científica la compartimos con la comunidad en Rapa Nui a través de talleres organizados por la Mesa de El Mar. En paralelo, realizamos talleres en ECIM donde participaron docentes, pescadores y miembros de la comunidad Rapa Nui, quienes posteriormente actuaron como agentes multiplicadores de la socialización del conocimiento científico en Rapa Nui. Finalmente, realizamos

presentaciones y sesiones de discusión para socializar los beneficios y las limitaciones de las áreas marinas protegidas, como también de las figuras legales existentes en Chile de modo que la comunidad contara con elementos para evaluar la estrategia que mejor se ajustara a sus objetivos de conservación. Fuimos testigos de las dudas, las motivaciones, el efecto de agentes exógenos y las dificultades de los procesos de participación ciudadana en conservación marina. Nuestra contribución fue aportar nuestro conocimiento y experiencia para que la comunidad definiera el modelo a seguir. El voto de la comunidad Rapa Nui seleccionó la figura legal de Área Marina Protegida de Múltiples Usos, la que fue creada en el año 2018.

Nuestra participación en otras iniciativas de conservación fue menos compleja, en tanto que solo aportamos desde la compilación del conocimiento científico. En el año 2011 fuimos invitados por el equipo de la Reserva Añihue, quienes conocían los procesos en que estábamos involucrados, para solicitarnos aportar en la recopilación de la información científica marina disponible en el área de Bahía Añihue, y así aportar a la creación de un área marina protegida. En este caso, existía un largo proceso impulsado por la Fundación Melimoyu para proteger fiordos septentrionales de la Patagonia, amenazados por la salmonicultura. A esta iniciativa conservacionista privada se sumó el interés del Estado por proteger el Fiordo Pitipalena, identificado en la Estrategia Regional de la Biodiversidad del 2003 como un área prioritaria para la conservación, de modo que en este proceso hubo un involucramiento temprano y positivo del estado. Junto a Montserrat Rodríguez y José Zenteno, trabajamos en catastrar los estudios disponibles y elaboramos un informe para la Reserva Añihue que se hizo disponible en el año 2012 para que el Ministerio de Medio Ambiente lo utilizara. Colaboramos estrechamente con Beatriz Ramírez de dicho Ministerio, quien trabajó en la propuesta de Área Marina Protegida de Múltiples uso incorporando nuestro trabajo. Fue un granito de arena a un proceso que involucró muchos actores públicos y privados, mucho compromiso de la comunidad de Raúl Marín Balmaceda, y mucha generosidad para



EN JUAN FERNÁNDEZ Y RAPA NUI REALIZAMOS TALLERES CON NIÑOS, niñas y personas adultas socializando la información científica disponible y los instrumentos para generar áreas marinas protegidas en Chile.

culminar con el decreto de creación del Área Marina Costera Protegida Pitipaleña-Añihue en el año 2014. Una situación similar se dio en Magallanes, donde fuimos convocados por Barbara Saavedra, de la Wildlife Conservation Society (WCS), para explorar colaborativamente la prioridad y apoyo para crear un área marina protegida en el Seno del Almirantazgo. Integramos un equipo con miembros de

ECIM (Montserrat Rodríguez, Bryan Bularz) y de la WCS liderados por Alejandro Vila para realizar terrenos, recopilación bibliográfica y sistematización de la información. Estos insumos aportaron a la elaboración de un documento que fue la base de la propuesta de creación del Área Marina Costera Protegida Seno del Almirantazgo. El proceso liderado por la WCS, que incluyó trabajo con usuarios y vecinos del Seno del Almirantazgo y también con autoridades locales y nacionales, vio sus frutos en el año 2018 cuando se declara la primera Área Marina Protegida de Tierra del Fuego, el Seno del Almirantazgo, limitada por dos parques terrestres.

Conclusiones

Durante los 40 años de ECIM, sus científicos y científicas aportaron de manera pionera y diversa a la conservación de los ecosistemas marinos de Chile. Desde demostrar el impacto humano y la necesidad de establecer medidas de conservación y manejo, hasta el trabajo colaborativo con profesionales de otros lugares de Chile, comunidades locales y autoridades para crear áreas marinas protegidas en Chile. Los últimos trabajos realizados muestran que aún existen deudas pendientes en materia de conservación marina, y esperamos continuar contribuyendo.

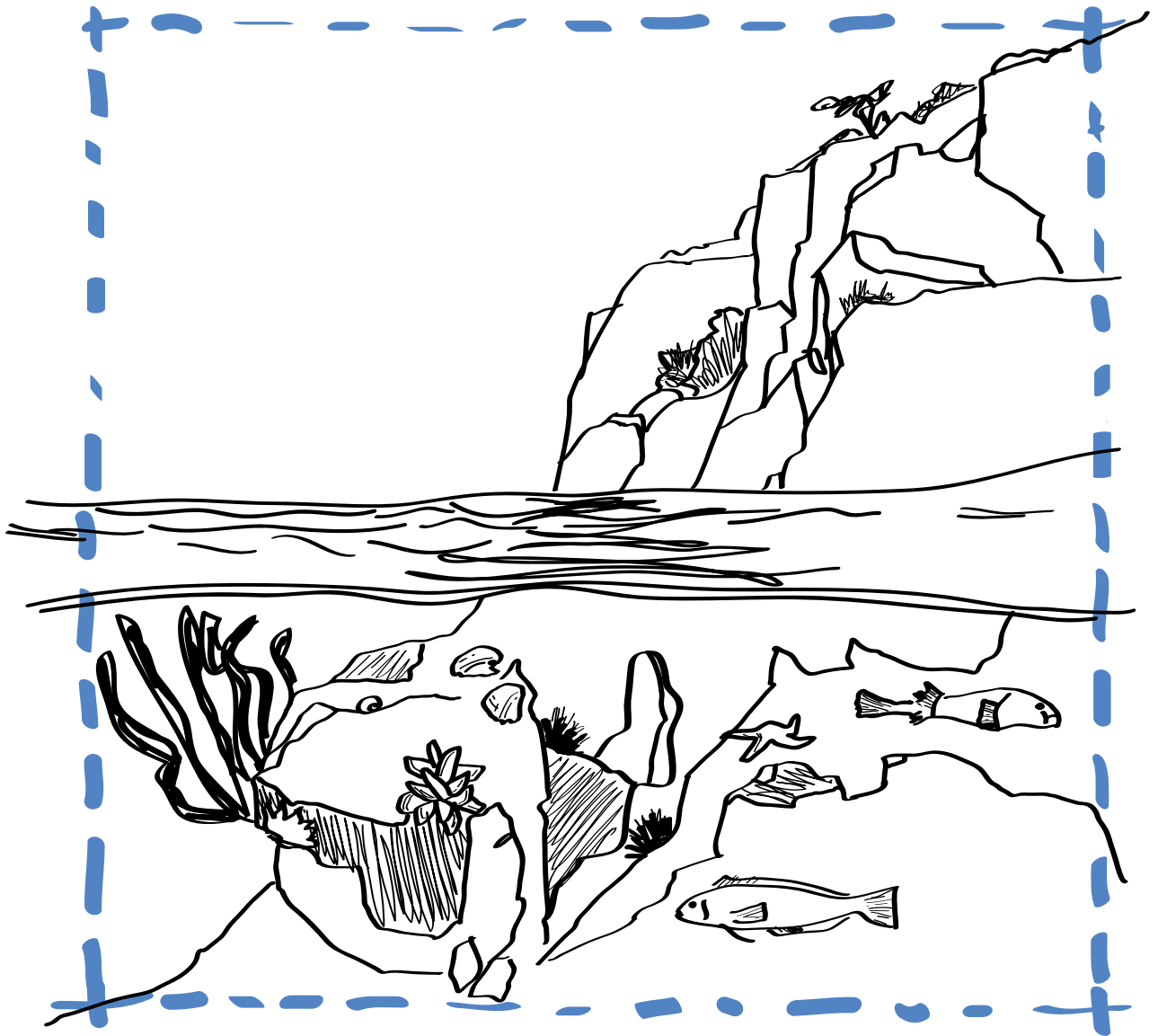
Una de las deudas pendientes es balancear los esfuerzos de designación de áreas marinas protegidas para alcanzar protección en todas las ecorregiones (Fernández *et al.*, 2021). La concentración de esfuerzos de conservación (designación de áreas marinas protegidas) en zonas remotas, y limitados esfuerzos en zonas expuestas a alta actividad antrópica es muy contrastante. La idea que se mantiene en discusión desde el año 2005, de integrar AMERB y áreas marinas protegidas (Fernández y Castilla, 2005, Castilla y Gelcich, 2006) merece atención, particularmente considerando los pocos espacios para establecer nuevas áreas protegidas en algunos sectores de la costa (e.g., Chile central). Sin embargo, su contribución en superficie es pequeña y nuevas miradas hacia las zonas más impactadas son necesarias.

Otra de las áreas que requiere esfuerzos, existiendo una gran oportunidad a través del trabajo que científicos de ECIM

y de otros lugares de Chile han realizado, es analizar la fuerza de los procesos “bottom-up” para impulsar la gobernanza de áreas marinas protegidas. Científicos asociados a ECIM han contribuido en este ámbito (ver capítulo 10.9 de Stefan Gelcich) desde la generación de conocimiento científico. Ponerlo en práctica es un gran desafío, pero necesario. Estudios que publicamos recientemente muestran que la velocidad en la designación de áreas marinas protegidas superó ampliamente las capacidades de implementarlas. Estos estudios muestran que actualmente menos de un cuarto de las áreas marinas protegidas de Chile tienen un plan de administración y manejo, y en la mayoría de estos casos solo se ha implementado parcialmente (Fernández *et al.*, 2022). Es decir, más del 75% de las AMP designadas de Chile no cuentan aún con un plan de administración y manejo. Esta deuda pendiente esta necesariamente amarrada a la institucionalidad que se requiere para efectivizar la conservación marina en Chile: el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Sin embargo, resulta evidente que esta nueva institucionalidad, puede no ser suficiente para proveer resiliencia a una red de AMP tan diversa y extensa geográficamente, sin una estructura de gobernanza interministerial. El Estado de Chile no cuenta hoy en día con una repartición con entrenamiento en ecosistemas marinos y con una red operativa para desplegarse en terreno en las distintas AMP (Fernández *et al.*, 2022). Es una prioridad país contar con la institucionalidad adecuada, visionaria, financiada, para la protección efectiva del océano en general y del postergado mar costero en particular.

Referencias

- Blanco, M., A. Ospina-Álvarez, C. M. Aiken, S.A. Navarrete, & M. Fernández.** 2019. Influence of larval traits on dispersal and connectivity patterns of two exploited marine invertebrates in central Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 612: 43-64.
- Castilla, J.C.** 1975. Marine Parks and Reserves in Chile: need for their establishment, probable locations and basis criteria. International Conference on Marine Parks and Reserves, Tokyo, Japan.
- Castilla, J.C.**, 1976. Parques y reservas marinas chilenas – necesidad de creación, probables localizaciones y criterios básicos. *Medio Ambiente* 2(1): 70-80.
- Castilla, J.C.** 1986. ¿Sigue existiendo la necesidad de establecer parques y reservas marítimas en Chile? *Ambiente y Desarrollo* II(2): 53-63.
- Castilla, J.C.** 1996. La futura red chilena de parques y reservas marinas y los conceptos de conservación, preservación y manejo en la legislación nacional. *Revista Chilena de Historia Natural* 69: 253-270.
- Castilla JC & S Gelcich.** 2006. Chile: Experience with management and exploitation areas for coastal fisheries as building blocks for large-scale marine management In: (ed) *The World Bank Scaling up Marine Management: The role of Marine Protected Areas* The World Bank; Washington; pp 45-57
- Fernández M. & J.C.Castilla.** 2005. Marine conservation in Chile: historical perspective, lessons and the future. *Conservation Biology*, 19:1752-1762
- Fernández M. & S. Hormazábal.** 2014. Overview of recent advances in oceanographic, ecological and fisheries research on oceanic islands in the southeastern Pacific Ocean. *Latin American Journal of Aquatic Research* 42(4): 666-672.
- Fernández, M., Rodríguez-Ruiz, M., Gelcich, S., Hiriart-Bertrand, L. & Castilla, J.C.** 2021. Advances and challenges in marine conservation in Chile: A regional and global comparison. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems* 1-12. doi: 10.1002/aqc.3570.
- Fernández, M., Rodríguez, M & Navarrete, S.** 2022. Hacia una Ley de Costas en Chile: bases para una Gestión integrada de Zonas Costeras”, Eds. Martínez, C., Barragán, J.M., Navarrete, S., Hidalgo, R., Arenas, F. & L. Fuentes. *GeoLibro* N° 30, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Manríquez, P.H. & J.C. Castilla.** 2001. The significance of central Chile marine protected areas as seeding grounds for the gastropod *Concholepas concholepas* (Bruguiere, 1789). *Marine Ecology Progress Series* 215: 201-211.



10.5. Oceanografía ecológica costera

SERGIO A. NAVARRETE

A pesar del impulso al trabajo científico interdisciplinario en las últimas dos o tres décadas en todas las instituciones de investigación del mundo, sigue siendo una realidad que la gran mayoría de las y los ecólogos marinos que se dedican a estudiar ecosistemas costeros son formados en escuelas o facultades de ciencias biológicas, donde se ofrecen las carreras de Biología o Biología Marina a nivel de pregrado.

El currículo de Biología Marina incluye un curso de oceanografía general y, en algunos casos, otro curso un poco más avanzado de principios de oceanografía física. El resto de los cursos se centran en grupos particulares de organismos marinos, los que reemplazan a los cursos equivalentes que toma un biólogo (e.g., macroalgas, invertebrados, etc.). Cuántos y qué grupos de organismos depende de la diversidad de docentes. Los cursos fundacionales (e.g., química, física, fisicoquímica) y los cursos sobre procesos (e.g., biogeoquímica, fisiología) se centran en sistemas y organismos terrestres, con un ejemplo ocasional sobre algún organismo marino. La razón para esta amplia sobreposición en formación es simple: el biólogo marino es primero biólogo(a), y por ello las fortalezas de esta formación disciplinaria se encuentran claramente en la biología, que abarca desde la biología molecular y celular hasta la ecología y la evolución.

Por otro lado, la oceanografía a nivel de pregrado y postgrado se imparte en escuelas o facultades diferentes a las de biología y, muchas veces, se encuentran físicamente alejadas. La formación incluye cursos de oceanografía química, física, biológica, geoquímica, entre otros. Las y los estudiantes aprenden acerca de la gran diferencia entre el ambiente de este planeta azul y el planeta Tierra en el que vivimos y enfrentamos cada día. Sí, son como dos planetas diferentes, y

nosotros, seres humanos, solo habitamos uno de ellos.

Esta formación independiente de ecólogos marinos y oceanógrafos ciertamente tiene grandes fortalezas, pero también importantes limitaciones para quienes desean cruzar los límites de estos dos planetas y llevar el conocimiento de manera fluida de uno al otro. Lo más limitante, y lo digo con franqueza, sabiendo que ofenderé a colegas y estudiantes, es que las y los ecólogos marinos conocen muy poco sobre el mar, sobre los procesos que gobiernan las condiciones ambientales (hidrográficas), las principales escalas de variabilidad, las corrientes y, en general, la física del océano.

La situación no es simétrica con respecto a los oceanógrafos y sus conocimientos sobre las condiciones ambientales en el planeta Tierra. No es porque hayan recibido cursos formales, sino porque muchos aspectos esenciales del ambiente terrestre los conocemos de manera vivencial. Sabemos del día y la noche y sus cambios en luz y temperatura “como reloj”, sabemos de las estaciones del año y todo lo que implican, de la variabilidad del viento en todas las escalas de tiempo, de la gravedad y su efecto sobre todos los seres vivos y objetos, de la nieve, la lluvia, la erosión del suelo, etc. Nada de esto se aplica en el planeta azul. Todo debemos aprenderlo en cursos y mediante lecturas. Un ejemplo muy común de cómo nos falta esa vivencia es pensar que las olas sobre la superficie del mar son corrientes, que pueden transportar objetos o que pueden mezclar la columna de agua. Aquellas pocas personas afortunadas que han aprendido a bucear en las aguas del océano deben usar trajes espaciales que solo les permiten experimentar unos minutos ese ambiente extraño donde no podemos respirar y la “gravedad universal” parece desaparecer. Las excepciones a esta caricaturización son muchas

por supuesto y este capítulo justamente se centra en esas excepciones, en quienes han tratado de cruzar de un planeta a otro con todo nuestro bagaje y limitaciones formativas. Sin embargo, para no quedar mal con mis colegas del área de la ecología, también debo ofender un poco a los colegas de la oceanografía y decir que es un tanto asombroso lo poco que saben sobre principios de ecología, teoría ecológica y sobre diseño experimental y principios de estadística.

Me formé como biólogo marino en la Universidad de Concepción (UdeC), la institución líder en oceanografía en toda América Latina. Sin embargo, en ese entonces, el desarrollo de la oceanografía era bastante elemental. Aunque estaban allí los fundadores históricos, el alto nivel que alcanzó la oceanografía en la UdeC se debe a una generación que en los 1980 todavía eran estudiantes, quienes impulsaron este campo desde finales de los años 1990. Mi formación fue, por lo tanto, bastante tradicional como biólogo con un toque de oceanografía. En mi tesis de pregrado, desarrollada en ECIM bajo la tutela del profesor Juan Carlos Castilla, abordé temas centrales en los debates de ecología de esa época: la competencia y la distribución de recursos entre competidores (Navarrete y Castilla, 1988, 1990). Luego, mi doctorado en la Oregon State University (OSU), en Estados Unidos, bajo la guía de los profesores Jane Lubchenco y Bruce Menge, profundicé mi formación en ecología experimental, ecología de comunidades y teoría ecológica (Navarrete 1996, Navarrete y Menge, 1996; Navarrete *et al.*, 2000). Ambos profesores eran líderes mundiales en ecología marina, con Jane iniciando su trabajo como presidenta de la Sociedad de Ecología (ESA) de Estados Unidos y desarrollando el documento “Sustainable Biosphere Initiative”, que, desde mi perspectiva, transformó las ciencias ecológicas marinas y terrestres en todo el mundo. Bruce era el capo en temas de ecología experimental en todo el mundo, y mi trabajo de disertación se acercó más a su enfoque que al trabajo transformador de la ecología y visionario que perseguía Jane. Aun así, colaboré con Jane en la publicación de varios artículos sobre cambio climático y sus efectos

globales en los océanos y las funciones ecosistémicas (e.g., Lubchenco *et al.*, 1993, Navarrete *et al.*, 1993).

Debo reconocer que, al finalizar mi doctorado y después de haber publicado unos 30 trabajos científicos sobre la ecología de poblaciones y comunidades marinas, mi conocimiento del océano era vergonzosamente rudimentario. Para entonces había comenzado a crecer en mí el interés por comprender procesos a mayor escala espacial que los pocos metros cuadrados que cubrían mis experimentos. Bruce Menge había empezado a explorar e incorporar procesos de mayor escala y publicamos un par de trabajos destacando el uso del “método experimental comparado” para estudiar procesos a mayor escala (Menge *et al.*, 1994). Luego surgió la oportunidad de hacer un postdoctorado con el profesor Steven Gaines en la Universidad de California Santa Barbara, California. Steve había sido parte y líder de varios estudios pioneros sobre la importancia de la variabilidad en el reclutamiento en las poblaciones bentónicas, y cómo este proceso, dominado más por factores físicos que ecológicos, tenía grandes repercusiones en los patrones espaciales y en los procesos que finalmente regulaban las comunidades marinas locales. Fue algo fascinante.

Durante mi postdoctorado con Steve, no publiqué mucho y aún me siento en deuda con él, pero aprendí muchísimo de una de las mentes más brillantes y una de las personas más generosas que he conocido en mi carrera científica. Aprendí cómo la variabilidad en la llegada de nuevos individuos podía estructurar patrones en comunidades intermareales, y modular las interacciones ecológicas de tipo top-down, o la monopolización del espacio por competencia, procesos que tanto habíamos exaltado en ecología de comunidades marinas. A este enfoque se le llamaba ‘supply-side ecology’, que para muchas y muchos colegas, especialmente australianos, era el nuevo paradigma que debía guiar el trabajo en ecología y evolución de comunidades marinas.

Sin embargo, después de conversaciones con muchos profesores y colegas, me di cuenta de que mi comprensión de la variabilidad en reclutamiento era parcial



**OCEANÓGRAFO
DIEGO NARVÁEZ**
en los laboratorios
de ECIM, 2001.

y limitada, y que el término ‘supply-side’ ecology era simplemente irresponsable; implicaba que a los ecólogos marinos solo les importaba lo que llegaba a la costa, mientras que los procesos que regulaban esas tasas de llegada y, más importante aún, el proceso mismo de dispersión en el océano eran problemas de otros investigadores: de los y las oceanógrafas.

Entendí entonces por qué Steve y varios ecólogos marinos formaban equipos con los oceanógrafos físicos (algo muy poco común en esos años) y que yo debía (re)aprender principios de oceanografía. Y también me di cuenta muy rápidamente de la diferencia abismal entre el conocimiento de oceanografía de gran escala, esa que se hace sobre las embarcaciones oceanográficas y la oceanografía costera, que entonces desarrollaban muy pocos y que necesitábamos conocer más para conectar con la ecología de ecosistemas bentónicos. Al finalizar mi postdoctorado en California, ya estaba convencido de que era necesario examinar simultáneamente procesos locales y de escala regional, y que para comprender esta interacción debíamos conocer mucho mejor el ambiente oceanográfico.

Esta es una extensa introducción al tema de este capítulo, que trata sobre el

desarrollo de la “oceanografía ecológica costera” en Chile y desde ECIM. Mi llegada a Chile como profesor en la UC en 1997 contó con el apoyo incondicional de Juan Carlos Castilla en todos los proyectos que emprendí, con el respaldo intelectual y la amistad de Pablo Marquet, y por supuesto, con el apoyo constante de Evie Wieters, con quien trabajamos principalmente en ecología experimental en el intermareal de Chile centro-norte durante al menos 15 años. La incorporación de Miriam Fernández en 1998, gracias al proyecto FONDAP Oceanografía y Biología Marina que dirigía en ese momento, fue fundamental para mi permanencia en Chile y nos permitió conformar un equipo de trabajo con el cual explorar procesos ecológicos en la costa central de Chile, oceanografía costera, e iniciar un programa de muestreo y monitoreo de alcance geográfico, como nunca antes se había desarrollado en el país.

Es importante aclarar que en este capítulo no mencionaré a las y los numerosos estudiantes y asistentes que han hecho posible mi carrera de investigación, a quienes les doy mis más profundos agradecimientos. Gran parte ha seguido carreras exitosas dentro y fuera de la



PREPARANDO EL CATAMARÁN para los primeros arrastres de perfiladores de corrientes acústicos en bahía Cartagena.

academia y les destacamos en otras secciones de este libro y en la sección “Nuestro legado”. Muchos de estos colaboradores han trabajado y trabajan conmigo en ecología marina experimental, en los efectos de interacciones entre especies, en temas de redes ecológicas, en modelación y ecología más bien conceptual-teórica, y otros temas de los que he emprendido en mi carrera, como el “biofouling” y energías marinas. Aquí en este capítulo, solo resalto a aquellas personas que nos ayudaron a forjar la interdisciplina oceanografía-ecología y de quienes aprendí lo poco que sé del océano.

Hacia finales de los años 1990, las costas de Chile central y especialmente los sectores cercanos a Las Cruces estaban bastante bien estudiados desde el punto de vista ecológico. Ya se había avanzado desde la descripción de la composición de las comunidades y patrones de zonación al estudio de procesos, principalmente mediante métodos comparados y manipulaciones experimentales. De hecho, a mi llegada como profesor en la UC, el nivel de

conocimiento en ecología marina costera había alcanzado relevancia internacional gracias al trabajo de Juan Carlos Castilla, Bernabé Santelices, Juan Cancino, Patricio Ojeda y sus estudiantes. A pesar de estos avances, había dos aspectos que llamaban la atención. En primer lugar, aunque los investigadores habían recorrido gran parte de la costa de Chile y habían realizado estudios en muchos sitios (ver capítulo “historia contemporánea de ECIM”), no se contaba aún con una caracterización cuantitativa de los patrones de comunidades marinas a escala geográfica, lo que nos impedía levantar hipótesis sobre procesos regionales. Con varios estudiantes reclutados tempranamente en mi laboratorio, incluyendo a Gerhard “Randy” Finke (actualmente oficial de operaciones náuticas en la UC) y Bernardo Broitman (actualmente profesor en la Universidad Adolfo Ibáñez), con mi primer postdoctorante, Franz Smith (hoy asesor científico Charles Darwin Station, Galapagos Foundation), junto a Evie Wieters y con el entusiasmo científico-turístico de

Steve Gaines, recorrimos la costa entre Carrizal Bajo y Cobquecura, cuantificando la abundancia y composición de las comunidades intermareales e instalando los primeros sensores de temperatura.

Los resultados mostraron una señal identificable de la intensificación de la surgencia costera que ocurre entre sitios separados unas pocas decenas de kilómetros y que son generalmente reconocibles por la topografía y orientación de la línea de costa. Esta señal en la estructura de las comunidades intermareales no incluía a todos los grupos funcionales y tróficos, sino que afectaba más a varios grupos de algas (especialmente algas corticadas y algas pardas) y herbívoros que carnívoros (Broitman *et al.*, 2001). Lo más destacable fue el descubrimiento de un gran quiebre o discontinuidad en la estructura de las comunidades intermareales a escala regional (cientos de kilómetros) que ocurre alrededor de los 30-32°S, el que nunca antes se había documentado con claridad (Broitman *et al.*, 2001). La dominancia de los mitílicos (choritos) en la zona intermareal media llegaba hasta Los Molles y no mucho más al norte, lo que implicaba un posible cambio radical a escala regional en los procesos que estructuraban comunidades, y que lo mucho aprendido del control top-down en Chile central (e.g., Castilla y Durán, 1985, Paine *et al.*, 1985, Castilla y Paine, 1987) tenía un límite regional, posiblemente determinado por variación en condiciones oceanográficas (Navarrete *et al.*, 2005). El estudio de los procesos físicos que subyacen a estos cambios de escala regional en poblaciones y comunidades bentónicas, y en la importancia de procesos ecológicos, ha ocupado una buena parte de mi carrera e involucrado a un importante número de estudiantes y colegas (e.g., Navarrete *et al.*, 2005, Navarrete *et al.*, 2008, Caro *et al.*, 2010, Broitman *et al.*, 2011, Weidberg *et al.*, 2020, Navarrete *et al.*, 2022).

El segundo aspecto que fue inmediatamente aparente a mi llegada a ECIM fue que, a pesar del gran conocimiento en ecología marina de la costa central, todas y todos los investigadores teníamos una ignorancia supina sobre el océano costero y las condiciones ambientales que experimentaban los organismos que estudiába-

mos, tanto adultos como en sus estados larvales. Al decir “ignorancia supina”, no exagero. La mayoría no podríamos haber respondido si la columna de agua allí en Las Cruces estaba o no estratificada y en qué época del año, cuál era la temperatura promedio de invierno y verano y cómo o si variaba la temperatura en la escala diaria, sinóptica, estacional o interanual, si este era un punto de intensificación de la surgencia, cómo eran aproximadamente los niveles de nutrientes en la zona, la productividad primaria, dónde estaban las larvas de las especies que estudiábamos en la columna de agua, etc. De hecho, un estudio de colegas sudafricanos había usado Las Cruces como un ejemplo de sitios de intensificación de la surgencia costera (Bosman *et al.*, 1987), en circunstancias que nuestros estudios posteriores mostraron que es un sitio de “sombra de surgencia” (*sensu* Largier 2020). Me di cuenta entonces de que teníamos que hacer ese trabajo fundacional, que posiblemente tomaría varios años, y Juan Carlos Castilla una vez más me apoyó en la búsqueda de recursos y estudiantes.

Primero contacté a algunos amigos oceanógrafos de la Universidad de Concepción, quienes ya estaban encaminados en la construcción del imperio de la oceanografía moderna en Chile. Pero nos dimos cuenta de que la ignorancia de mis colegas oceanógrafos sobre el océano costero no era mucho menor que la de mis colegas ecólogos marinos. Ellos estaban demasiado ocupados en los grandes temas de la oceanografía mundial y del océano Pacífico en particular, y esos grandes temas no incluían preguntas sobre si Las Cruces era diferente a Punta Curaumilla. El que la mayoría de los y las oceanógrafas de excelencia en el mundo no sabían mucho del océano costero no es una ofensa, era una realidad muy aparente hace 25 años atrás. Necesitábamos entonces colaborar con investigadores dispuestos a subirse a un zodiaco y a poner instrumentos en un rango de entre 5 y 20 m de profundidad, para quienes la “costa” fuera más cercana que las 40 millas de los tradicionales “cruceros costeros” oceanográficos. Y les encontramos.

En un seminario internacional en Ciudad del Cabo, Sudáfrica, conocí a John



CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS A BORDO DE

embarcaciones menores, zodiacs y luego Ilan, abrieron el camino a la oceanografía ecológica costera.



**INSTALANDO
COLECTORES DE
LARVAS** en la zona intermareal.

“Juanito” Largier, un oceanógrafo físico costero excepcional que ha impulsado la “oceanografía ecológica” como toda una nueva rama de investigación oceanográfica. Desde entonces, John se transformó en nuestro principal colaborador, mentor y gran amigo de Chile y ECIM. No exagero cuando digo que sin su apoyo este capítulo no habría existido.

Con Juan Carlos sabíamos que teníamos que invertir en instrumentos para poder atraer a estos oceanógrafos y comenzar a caracterizar la hidrografía costera. El “Proyecto Italia” nos dio esa oportu-

nidad. En 1998, compramos tres CTDO Seabird 19 (para medir estructura, temperatura, salinidad, densidad de la columna de agua), un ADCP (para medir corrientes por estratos), redes de plancton, analizador de nutrientes, lupas y varios implementos para el análisis de (mero) plancton (larvas) en el laboratorio. Así, ya podíamos salir en búsqueda de larvas de invertebrados y caracterizar las condiciones oceanográficas de la zona costera.

Entre 1999 y 2000, realizamos los primeros cruceros verdaderamente costeros en Las Cruces y El Quisco, desde escasos 50 m hasta 400 m de la costa. No teníamos una embarcación para realizar este trabajo y hacerlo desde botes de pescadores era imposible. Los transectos que habíamos diseñado incluían lances mensuales en ambas localidades con múltiples redes de plancton; red cónica vertical, red cónica arrastrada, red BONGO y red epineustónica para larvas de locos, junto a los lances con CTDO. Juan Carlos siempre tuvo la idea de usar los barcos “albacoreros” para realizar estos trabajos y contactamos al “Barracuda” del puerto de San Antonio. Fue Juan Carlos mismo quien llevó las negociaciones en un restaurante de San Antonio con el dueño del Barracuda, para pagarle en efectivo por las campañas mensuales, en las que además de las y los estudiantes chilenos subirían ocasionalmente algu-

nos oceanógrafos italianos asociados al Proyecto Italia. Esa negociación la recuerdo como una escena de una película de la “cosa nostra”.

El Barracuda no nos falló. Los primeros estudios sistemáticos sobre la distribución de larvas de peces, locos y otros invertebrados en la zona costera de Chile central se realizaron entonces a bordo de esta lancha albacorera y participaron estudiantes y asistentes de investigación, incluyendo al ya doctorado Ricardo Guíñez (actualmente profesor en la Universidad de Antofagasta), Fredy Véliz (hoy jefe de laboratorio en el Alfred Wegener Institut, Alemania) y Diego Narváez (actualmente profesor en la Universidad de Concepción).

Aparte de ese equipamiento muy básico pero esencial, con Juan Carlos tomamos una decisión trascendental para el desarrollo de la oceanografía en ECIM: traer a nuestros laboratorios a estudian-

tes de oceanografía física. La colaboración con John Largier nos daba ‘espaldas’ para llevar a cabo metorías a estudiantes en la interfaz oceanografía física costera-ecología. Establecimos contacto con el profesor Sergio Salinas de la Universidad Católica de Valparaíso y delineamos una colaboración para realizar estudios descriptivos básicos de corrientes, instalando anclajes de instrumentos (correntómetros mecánicos y termistores), y más importantemente, para que nos enviara estudiantes de oceanografía física a ECIM. El tremendo apoyo de Sergio Salinas a través de convocar estudiantes de oceanografía física súper motivados fue fundamental en el despegue de la oceanografía ecológica costera en ECIM. Juan Carlos y yo estamos profundamente agradecidos.

Los primeros oceanógrafos en llegar al laboratorio fueron Diego Narváez el año 2000, y un año después Andrea Piñones

ZODIAC CON BUZO
instalando anclajes
y en primer plano
el Barracuda IV
operando redes
de plancton.





“ESCRIP”, contenedor habilitado como oficinas de trabajo de los primeros oceanógrafos en ECIM.

(actualmente profesora en la Universidad Austral de Chile). Andrea realizó trabajos primariamente con Juan Carlos en la Bahía de Antofagasta y luego conmigo y el profesor Arnoldo Valle-Levinson de Old Dominion, USA, caracterizando la dinámica de la pluma del Río Maipo y su influencia intermitente y muy predecible en la costa de Las Cruces (Pinones *et al.*, 2005). Diego trabajó en muchos temas de oceanografía y también nos apoyó en proyectos ecológicos intermareales instalando tuffy (esponjas para cuantificar reclutamiento), e incluso jaulas experimentales para exclusión de depredadores. Pero su principal trabajo inicial fue liderar y analizar los datos físicos de las campañas mensuales costeras de Las Cruces y El Quisco y realizar los primeros anclajes de instrumentos en la zona costera. El trabajo que Diego lideró sobre la variación estacional en hidrografía de la columna de agua, a escasos metros de la costa, y la climatología de sus principales forzantes, fue uno de los primeros trabajos oceanográficos que ilustraba importantes cambios en las condiciones “ambientales” entre sitios separados tan solo 14 o 15 km. El estudio daba luces de la importante variabilidad en la intensi-

dad de la surgencia costera a esas escalas (Narvaez *et al.*, 2004). Su trabajo sobre ‘large warming fronts’ que combinaba imágenes de satélite y anclajes costeros con instrumentos también fue bastante pionero. El estudio mostró que frentes de cientos de kilómetros (similares a las llamadas “heat waves”), y que afectan toda la columna de agua hasta al menos los 60 m de profundidad, bajo ciertas condiciones pueden penetrar a ambientes costeros y representan una fuente de homogenización y potencial estrés para organismos costeros (Narvaez *et al.*, 2006).

A fines de 1998, la Dra. Karina Nielsen, una de mis ‘hermanas académicas’ que había terminado su doctorado con Bruce Menge en Oregon State University, obtuvo un National Science Foundation postdoctoral para venir a trabajar conmigo en ECIM. Ella fue mi segunda postdoctorante. Karina había desarrollado su tesis doctoral sobre el efecto de la variabilidad en la disponibilidad de nutrientes sobre el ensamble de algas e invertebrados; estábamos interesados en cómo procesos “bottom-up” de escala espacial grande interactuaban con procesos “top-down” de escala local. Con ella, diseñamos un experimento de terreno en sitios con dis-

tintas intensidades de surgencia costera para evaluar cómo variaba la importancia de la herbívora sobre el control de algas corticadas (e.g., *Mazzaella laminarioides*) y algas verdes (ulvóides), y si estos efectos se propagaban o no hacia niveles tróficos superiores. Durante su estadía, Karina generó la primera serie de datos de nutrientes (nitratos) y su relación con la temperatura en aguas costeras de Chile central, mostrando las diferencias entre centros de intensificación de surgencia y zonas de sombras de surgencia, como Bahía Cartagena. Los experimentos de crecimiento de algas en distintos sitios mostraron que, contrariamente a lo que esperábamos al leer la literatura de otras partes del mundo, son las algas corticadas y no las más efímeras algas verdes las que responden al aumento de nutrientes por surgencia, y que los herbívoros solamente tienen efectos “top-down” sobre las algas verdes (Nielsen y Navarrete, 2004). Allí especulamos que la remoción de las lapas comestibles intermareales, *Fissurella crassa* y *F. limbata*, por mariscadores y mariscadoras de orilla liberaba de control a las algas corticadas.

Como relata Juan Carlos en el capítulo sobre la historia temprana de ECIM, uno de los milagros que nos permitió impulsar la oceanografía costera ecológica en ECIM fue el haber sido bendecidos con proyectos de la Fundación Andrew Mellon, que nos permitieron contar con recursos y gran libertad para invertir en estudiantes (como Diego y Andrea) y especialmente postdoctorantes, y mover a un grupo de oceanógrafos jóvenes a los principales centros de investigación de Oregón, California y Sudáfrica, supliendo así en parte nuestras inherentes debilidades en estos temas. En 1999 me contactó desde Estados Unidos un doctor en Física Teórica de la Universidad de California, Santa Bárbara, quien había desarrollado su tesis doctoral sobre hoyos negros y teoría de cuerdas (“string theory”). El Dr. David Kaplan (actualmente investigador senior en el Institut de Recherche pour le Développement, IRD, y el CNRS Montpellier, Francia) me contó que deseaba dejar la física teórica para aprender de ecología y conservación marina. La enorme flexibilidad del proyecto Mellon nos permitió acogerlo como postdoctorante

en oceanografía costera, a pesar de que David ni siquiera sabía qué era un CTD. En mi primera reunión con él en mi oficina en ECIM, luego de ya haberlo contratado, me preguntó qué era Matlab y cómo medíamos corrientes, y me corrió un escalofrío por la espalda. Poco más de un mes después de esa reunión, David estaba dictando un curso de Matlab para nuestro doctorado de ecología en Santiago. Y en poco tiempo más, estábamos publicando trabajos junto a John Largier sobre variabilidad térmica diaria en aguas superficiales de la zona costera, que increíblemente nunca antes había sido reportado en detalle en el mundo (Kaplan *et al.*, 2003). Y con colegas matemáticos de México publicamos sobre teoría de interacciones tróficas en sistemas de tres niveles, en donde las especies tenían distintos grados de dispersión y reproducción local (Velazquez *et al.*, 2005).

También gracias al proyecto Mellon pudimos acoger por un periodo de tiempo, entre 1999 y 2001, a los recientemente doctorados Álvaro Palma (actualmente director ejecutivo de FisioAqua) y luego a Elie Poulin (hoy profesor en la Universidad de Chile), con quienes desarrollamos trabajos sobre variabilidad en distribución de larvas de locos y su conexión con circulación de surgencia costera, los que fueron bastante pioneros para Chile y el mundo (Poulin *et al.*, 2002a; Poulin *et al.*, 2002b). Mostramos que la variación entre El Quisco y Las Cruces en la intensidad de surgencia tenía efectos sobre la distribución de larvas y empezábamos entonces, con este trabajo y el que lideró Diego Narváez, a redefinir la ‘mesoescala’ para ambientes y comunidades costeras. Hasta entonces, la mesoescala de procesos oceanográficos era (y sigue siendo en ambientes más oceánicos) la escala de cientos de kilómetros de disipación de energía de los eddies de mesoescala. Junto con otros estudios en zonas costeras del mundo mostramos que la mesoescala más relevante en la zona costera era la impuesta por la topografía costera y que es de unas pocas decenas de kilómetros.

En ese tiempo, Álvaro Palma junto al profesor Patricio Ojeda de la UC y Eduardo Hernández-Miranda (actualmente profesor de la U. Católica de la Santísima

Concepción) también caracterizaban la distribución de larvas de peces costeros y de crustáceos, en el marco del Proyecto Italia y con aportes de la Fundación Mellon (Hernández-Miranda *et al.*, 2003; Palma *et al.*, 2006). Para Elie, este trabajo muy novedoso con las larvas de loco fue un hiato en su brillante carrera en ecología molecular y evolutiva. Junto a este grupo, también contamos con el Dr. Patricio Manríquez (actualmente investigador de CEAZA), un “histórico” de ECIM, quien regresó de su doctorado en Bangor, Reino Unido, para unirse al equipo de Las Cruces como postdoctorante de Juan Carlos Castilla. Patricio desarrolló los primeros estudios sistemáticos del comportamiento de las larvas de loco y reportó dónde y cuándo encontrar los recién asentados en la costa. La visita de Jesús Pineda, uno de los oceanógrafos costeros pioneros en el

estudio de transporte larval y la estadía de sabático del profesor y amigo Alan Shanks en ECIM, junto a las visitas de John Largier, convirtieron a este grupo de ECIM en un polo importante de desarrollo de la oceanografía costera ecológica.

El grupo de personas jóvenes dedicadas a la oceanografía costera de ECIM crecía rápidamente junto a un número aún mayor de ecólogas y ecólogos marinos experimentales. Necesitábamos más espacio. En ese tiempo aún no existían los edificios de biología marina ni de alojamiento de los que hoy disponemos en ECIM. La solución al problema del espacio fue la donación de un contenedor adaptado para oficinas que Juan Carlos consiguió con Andrés Camaño y que instalamos en donde hoy en día se ubica el primer módulo de alojamiento. Allí se instalaron

**INSTALANDO
SITIOS DE ESTUDIO
INTERMAREALES** en
Los Molles, 2004.



Diego Narváez, luego Gubler Martínez (actualmente investigador en el Instituto Nacional de Hidráulica) y Andrea Piñones. El primer invierno el contenedor se llovió entero y tuvimos que “enchularlo” con un techo. Ahí lo bautizamos como el ‘ESCRIP’ de ECIM, en referencia a una de las instituciones de oceanografía más grande del mundo, SCRIPS, de Estados Unidos, pero pronunciado a lo chileno.

Pienso que gracias al momentum que habíamos alcanzado como grupo de oceanografía costera el año 2002 logramos atraer como postdoctorante Mellon a Cristian Vargas (hoy profesor del Centro EULA, Universidad de Concepción) y también al Dr. Nelson Lagos (actualmente profesor en la Universidad San Sebastián). Ambos estuvieron en ECIM hasta el 2004. Cristián trajo al grupo técnicas y aproximaciones de “copepodología” (técnicas para el estudio de zooplancton, especialmente copépodos) y las aplicamos con Patricio Manríquez para estudiar la dieta de larvas de invertebrados, en lo que hasta hoy en día es una de las pocas publicaciones sobre la dieta natural de larvas (Vargas *et al.*, 2006). La increíble habilidad de Cristian para visualizar y materializar un estudio a partir de la ya abundante información existente en el grupo de trabajo de ECIM, nos permitió publicar en corto tiempo varios trabajos novedosos, desde ondas internas, al efecto del frente boyante de la pluma del río Maipo en concentrar larvas de algunos invertebrados (Vargas *et al.*, 2004). Con Nelson Lagos nos concentramos en examinar en detalle la estructura espacial de la llegada de larvas de invertebrados a la costa y su relación con la estructura espacial de la surgencia costera. La aplicación de técnicas de análisis espacial y sincronía temporal, que Nelson dominaba muy bien, nos permitió revelar una clara señal de la surgencia topográfica y definir la mesoescala de la oceanográfica costera en alrededor de entre 30 y 50 km para la zona central de Chile (Lagos *et al.*, 2005; Lagos *et al.*, 2007b).

El año 2004 ya habíamos realizado varios estudios básicos descriptivos de las condiciones oceanográficas costeras, las principales escalas de variación temporal y espacial, el efecto sobre crecimiento

de macroalgas e intensidad de herbivoría, y, con Evie Wieters, sobre la influencia de esta variabilidad en productividad primaria de fitoplancton (Wieters *et al.*, 2003). Sin embargo, todavía sabíamos muy poco de mecanismos de transporte larval y su reclutamiento en la costa, y menos aún sobre dispersión en el océano. Ese año me contactó el Dr. Christopher Aiken, físico y matemático australiano que había realizado su doctorado en modelación del efecto de topografía sobre flujos costeros y un postdoctorado en modelación clima-océano en Estados Unidos. Conocíamos sus capacidades de modelación y lo entrevistamos con Juan Carlos en ECIM para contarle de mi interés en poder investigar, a través de modelos de circulación, la dispersión de larvas de invertebrados y sus efectos sobre poblaciones bentónicas. Acordamos que trabajaría de manera semirremota estructurando un modelo de circulación y luego de un par de horas de conversación, poco antes de irse, Chris me preguntó –con esa transparencia y humildad que lo caracteriza y que es tan poco común en la academia– qué es una larva y que a qué me refería con dispersión larval. Nuevamente me corrió un escalofrío por la espalda pensar que tal vez Chris era demasiado matemático, o demasiado modelador para colaborar con un biólogo. Pero la flexibilidad del proyecto Mellon nos permitía correr riesgos.

No miento cuando digo que hacia fines de ese mismo año Chris me enseñaba en nuestras reuniones sobre dispersión larval y la variabilidad espacial impuesta en un océano realista (Aiken *et al.*, 2007), me daba clases sobre las consecuencias de la variabilidad en dispersión sobre las poblaciones marinas y por qué era importante para entender la utilidad de las reservas marinas. Aprendí mucho de Chris, una de las mentes brillantes que pasaron por mi laboratorio. Construimos una colaboración duradera, aunque intermitente en el tiempo, que nos llevó desde la oceanografía a temas bien abstractos sobre los efectos de dispersión en persistencia poblacional y coexistencia de competidores (Aiken y Navarrete, 2014; Aiken y Navarrete, 2020; Aiken *et al.*, 2023).

Cuando Diego y Andrea partieron a sus postgrados en Old Dominion en 2005,

Gubler Martínez estaba ya instalado en ESCRIP y luego fue Manuel Castillo (actualmente profesor en la Universidad de Valparaíso, UV) quien tomó la dirección oceanográfica del ESCRIP, junto a estudiantes de oceanografía en práctica de la UV que codirigíamos. Manuel ya había realizado una estadía como profesional en el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) y deseaba regresar a la academia y trabajar como asistente de investigación en ECIM antes de continuar estudios de postgrado, que realizó en la Universidad de Concepción. Las conexiones de Manuel en SHOA y su experticia en análisis de datos y anclajes nos permitieron continuar fortaleciendo la oceanografía costera observacional en ECIM. En ese tiempo todavía teníamos pendiente el entender mejor mecanismos de transporte larval. Visité entonces al amigo Jesús Pineda en Woods Hole y a uno de sus doctorantes estrella, Fabián Tapia (actualmente profesor en la Universidad de Concepción). El grupo de Jesús lideraba, desde Woods Hole Oceanographic Institution, los estudios de transporte larval en la zona costera y convenimos con Fabián que iniciaría un postdoctorado con nosotros en el marco del Proyecto Mellon.

Fabián llegó a Chile en septiembre del 2005 y al día siguiente (literalmente) partimos a Ciudad del Cabo, Sudáfrica, a una reunión-taller de los grupos Mellon de Chile, Estados Unidos y Sudáfrica. Fue un aterrizaje para Fabián, pero le permitió rápidamente establecer una red de nuevos contactos con ecólogos y oceanógrafos costeros. Durante los casi tres años que estuvo en ECIM se realizaron los primeros estudios de transporte de larvas de organismos intermareales (primariamente cirripedios) en Chile, y construimos una relación de amistad que ha perdurado hasta el día de hoy. Fabián no solamente tenía ya muy buenas habilidades en análisis de datos oceanográficos y series de tiempo biológicas (las que ahora son simplemente excepcionales), sino que además tenía la habilidad tanto para desarrollar trabajo de terreno en la zona intermareal muy expuesta al oleaje (habilidad que no muchos oceanógrafos tienen) como también para realizar trabajo desde embarcaciones menores con

instrumental oceanográfico y redes de plancton (habilidad que pocos ecólogos marinos tienen). Estas habilidades permitían investigar desde la distribución de larvas en la columna de agua y su asociación a condiciones oceanográficas hasta el asentamiento (reclutas) en la costa. Con Fabián realizamos varios trabajos sobre la estructura térmica y la dinámica impuesta por el proceso de surgencia, sobre su variabilidad espacial a escalas regionales y a mesoescalas, y sobre transporte larval (e.g., Lagos *et al.*, 2007; Tapia *et al.*, 2009; Tapia y Navarrete, 2010; Tapia *et al.*, 2014).

A pesar de que en ECIM habíamos progresado bastante en equipamiento para oceanografía costera y contábamos con conocimiento para realizar anclajes y campañas instrumentales para estudiar el océano costero, las condiciones para hacerlo eran todavía muy precarias, especialmente porque no contábamos con una embarcación para hacer estos trabajos. La mayor parte de la investigación con larvas que desarrolló Fabián lo hizo a bordo de botes zodiac de 6 m de eslora en que se subían 3 o 4 personas, con redes de plancton, cuerdas, botellas Niskin, botellas de muestras y CTD. A veces el zodiac apenas se veía debajo de los investigadores y sus equipos. Eran claramente otros tiempos. Recién en 2008, logramos juntar fondos de varios proyectos y adquirir nuestro querido *Ilán*, una lancha de fibra de vidrio de 9 m de eslora y con cabina que cambiaría la cara al trabajo de buceo y de oceanografía costera en ECIM. Mucho hemos logrado con *Ilán*, pero con toda sinceridad, está muy lejos de tener las características óptimas para el trabajo instrumental o los estándares mínimos actuales para el trabajo en grupos interdisciplinarios y diversos.

Hacia fines de 2010, desde mi punto de vista, habíamos avanzado enormemente en nuestro entendimiento de oceanografía costera en Chile y especialmente de la zona central y desde ECIM. La instalación de varios exestudiantes y postdoctorantes de ECIM en otras universidades chilenas ayudó a diversificar y fortalecer los estudios de interfaz ecología-oceanografía costera en Chile. No quiero desconocer que para entonces ya muchos oceanógra-



INSTALACIÓN DE RADAR BANDA X
sobre techo edificios de ECIM para medición de oleaje y corrientes superficiales.

fos de ‘tomo y lomo’ se habían acercado a la costa, especialmente en los fiordos australes, pero siento que el trabajo impulsado desde ECIM era ya bien distinguible.

Por supuesto, los estudios de oceanografía costera no terminaron con la partida de Manuel Castillo a su doctorado en la Universidad de Concepción ni cuando tuvimos que sacar el ESCRIP para ser reemplazado por nuevos y modernos edificios. El año 2013 bajo el marco del Núcleo Milenio Centro de Conservación Marina UC, el Dr. Andrés Ospina-Álvarez (actualmente investigador CSIC en IMEDEA, España) realizó su postdoctorado en ECIM bajo mi dirección y la de Chris Aiken, quien ya estaba contratado como profesor asistente en la UC. Con Andrés desarrollamos varios trabajos de modelación de circulación y dispersión de

partículas en la costa central de Chile, enfocándonos cada vez más en temas de manejo de recursos costeros y no solamente sobre los aspectos metapoblacionales (Ospina-Álvarez *et al.*, 2018; Ospina-Álvarez *et al.*, 2020).

La conexión con Fabian Tapia, ya instalado en la Universidad de Concepción, propició la llegada de Jessica Bonicelli a ECIM en el año 2015 y ella, bajo el auspicio de un Fondecyt postdoctoral, continuó con los estudios de transporte larval y profundizó el conocimiento sobre circulación de surgencia en la Bahía de Cartagena (Bonicelli *et al.*, 2014a; Bonicelli *et al.*, 2014b). Ese año, los Dres. Simone Baldanzi (actualmente profesor en la Universidad de Valparaíso) y Nicolás Weidberg (hoy profesor en la Universidad de Oviedo, España), a quienes había conocido durante una breve estadía de sabático en Grahamstown, Sudáfrica, llegaron a realizar postdoctorados en ECIM con sendos proyectos Fondecyt postdoctorales bajo la tutoría de Miriam Fernández y mía, respectivamente. Simone trabajó en temas de respuestas fisiológicas de crustáceos a la variabilidad en condiciones térmicas y de concentración de oxígeno observada en aguas costeras, intentando traer realismo a los típicos experimentos fisiológicos realizados bajo condiciones constantes. Con Nico Weidberg trabajamos tanto en el efecto de estrés térmico de alta frecuencia sobre larvas de crustáceos, el efecto del oleaje sobre transporte de larvas de mitílidos a la costa, y sobre cambio climático y tendencias de largo plazo en la productividad primaria del océano costero (Weidberg *et al.*, 2018, Weidberg *et al.*, 2020).

Más recientemente, Juan Faúndez (actualmente investigador en el Instituto de Fomento Pesquero) desarrolló su tesis doctoral bajo mi tutoría y la de Aiken, construyendo un modelo de alta resolución de circulación costera que nos permita evaluar dispersión de larvas a lo largo de la costa a escalas cercanas a las escalas de manejo de recursos costeros. Con Juan mantenemos estrecha colaboración en variados proyectos y publicaciones que espero vean la luz pronto. La oceanografía ecológica costera en ECIM sigue siendo un foco muy activo de mi

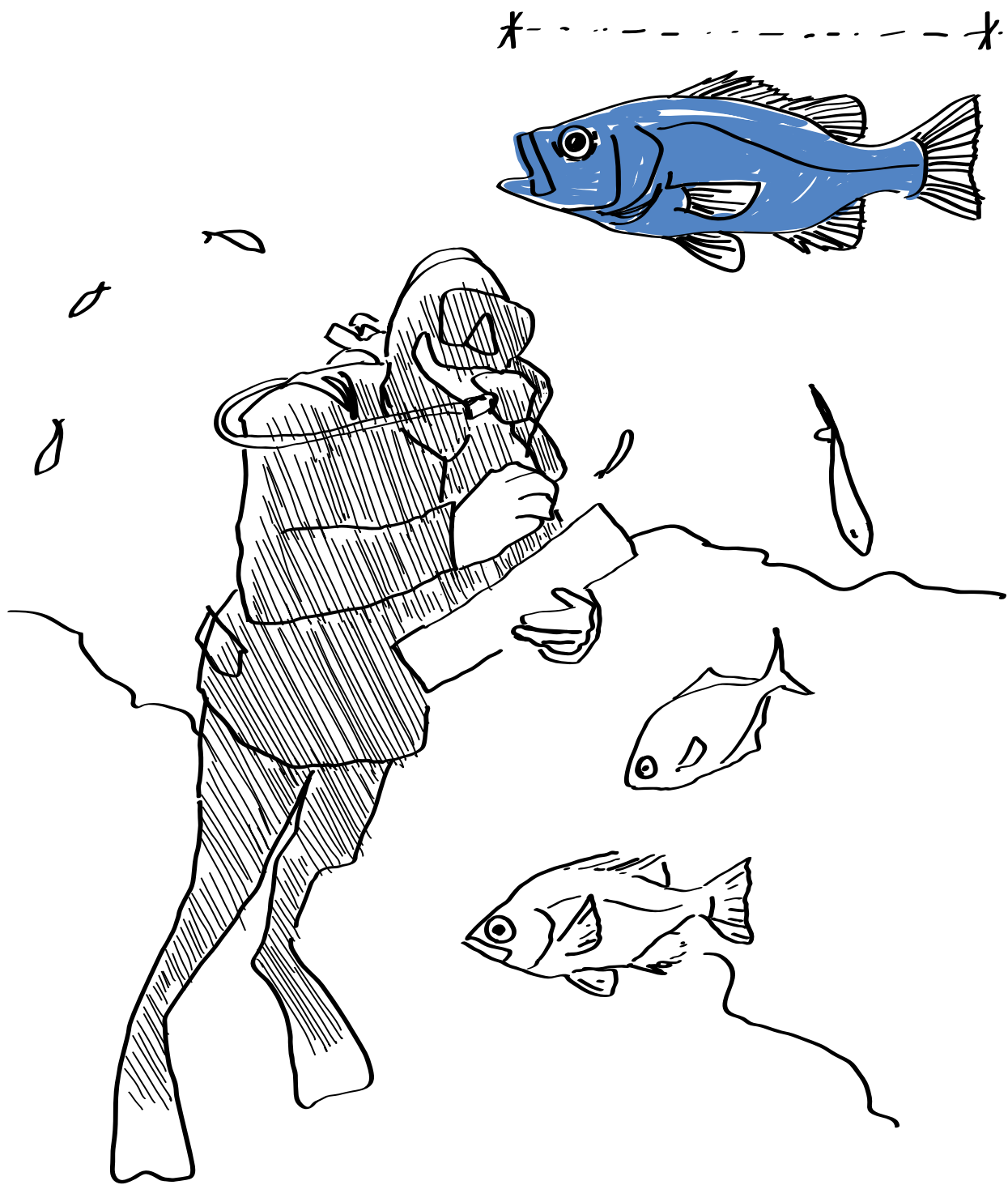
quehacer y el de varios colegas. Nuestra participación en los Centros Milenio NUTME, COPAS-COASTAL y SECOS nos ha permitido atraer estudiantes y expandir nuestras redes de colaboración con oceanógrafos de excelencia, y mantener la amistad y colaboración con muchos de quienes nos ayudaron a levantar la oceanografía costera en ECIM.

Al redactar este ensayo, no ha sido fácil decidir a quién incluir, o no, como parte del desarrollo en oceanografía costera en el laboratorio de ECIM. Esta es una decisión totalmente arbitraria y difícil, pues creo que hemos llegado a un punto en el que el conocimiento oceanográfico, en gran parte desarrollado en ECIM y otras partes de Chile y el mundo, permea hacia la mayoría de los trabajos que desarrollamos en ecología marina (al menos creo que esa es siempre mi intención). A quienes no he mencionado, les pido nuevamente disculpas. A todas y todos los que mencioné, les agradezco mucho, pues en este viaje de 25 años, he aprendido mucho de ustedes. Todavía no sé cómo implementar un análisis de wavelet en Matlab, pero ya (casi) ¡puedo interpretarlo! Para tranquilidad de mis colegas, amigas y amigos oceanógrafos, yo no me considero para nada un oceanógrafo, pero sí un ecólogo marino informado sobre el ambiente y la vida en el planeta azul.

Referencias

- Bosman, A. L., P. A. R. Hockey, and W. R. Siegfried.** 1987. The influence of coastal upwelling on the functional structure of rocky intertidal communities. *Oecologia* 72:226-232.
- Broitman, B. R., S. A. Navarrete, F. Smith, and S. D. Gaines.** 2001. Geographic variation of southeastern Pacific intertidal communities. *Marine Ecology Progress Series* 224:21-34.
- Broitman, B. R., F. Véliz, T. Manzur, E. A. Wieters, G. R. Finke, P. A. Fornes, N. Valdivia, and S. A. Navarrete.** 2011. Geographic variation in diversity of wave exposed rocky intertidal communities along central Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 84:143-154.
- Caro, A. U., S. A. Navarrete, and J. C. Castilla.** 2010. Ecological convergence in a rocky intertidal Shore Metacommunity despite high spatial variability in recruitment regimes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 107:18528-18532.
- Castilla, J. C., and L. R. Durán.** 1985. Human exclusion from the rocky intertidal zone of central Chile: the effects on *Concholepas concholepas* (Gastropoda). *Oikos* 45:391-399.
- Castilla, J. C., and R. T. Paine.** 1987. Predation and community organization on Eastern Pacific, temperate zone, rocky intertidal shores. *Revista Chilena de Historia Natural* 60:131-151.
- Kaplan, D. M., J. L. Largier, S. Navarrete, R. Guínez, and J. C. Castilla.** 2003. Large diurnal temperature fluctuations in the nearshore water column. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 57:385-398.
- Largier, J. L.** 2020. Upwelling Bays: How Coastal Upwelling Controls Circulation, Habitat, and Productivity in Bays. *Annual Review of Marine Science* 12:415-447.
- Lubchenco, J., S. A. Navarrete, B. N. Tissot, and J. C. Castilla.** 1993. Possible ecological responses to global climate change: nearshore benthic biota of Northeastern Pacific coastal ecosystems. Pages 147-166 in H. A. Mooney, E. R. Fuentes, and B. I. Kronberg, editors. *Earth Systems Responses to Global Change. Contrasts Between North and South America*. Academic Press, San Diego, California.
- Narvaez, D. A., S. A. Navarrete, J. Largier, and C. A. Vargas.** 2006. Onshore advection of warm water, larval invertebrate settlement, and relaxation of upwelling off central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 309:159-173.
- Narvaez, D. A., E. Poulin, G. Leiva, E. Hernandez, J. C. Castilla, and S. A. Navarrete.** 2004. Seasonal and spatial variation of nearshore hydrographic conditions in central Chile. *Continental Shelf Research* 24:279-292.

- Navarrete, S. A.** 1996. Variable predation: Effects of whelks on a mid-intertidal successional community. *Ecological Monographs* **66**:301-321.
- Navarrete, S. A., M. Barahona, N. Weidberg, and B. R. Broitman.** 2022. Climate change in the coastal ocean: shifts in pelagic productivity and regionally diverging dynamics of coastal ecosystems. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **289**:20212772.
- Navarrete, S. A., J. Lubchenco, and J. C. Castilla.** 1993. Pacific ocean coastal ecosystems and global climate change. Pages 189-193 in H. A. Mooney, E. R. Fuentes, and B. I. Kronberg, editors. *Earth System Responses to Global Change, Contrasts Between North and South America*. Academic Press, Inc., San Diego, California.
- Navarrete, S. A., and B. A. Menge.** 1996. Keystone predation and interaction strength: Interactive effects of predators on their main prey. *Ecological Monographs* **66**:409-429.
- Navarrete, S. A., B. A. Menge, and B. A. Daley.** 2000. Species interactions in a rocky intertidal food web: Prey or predation regulation of intermediate predators? *Ecology* **81**:2264-2277.
- Navarrete, S. A., M. Parrague, and E. A. Wieters.** 2008. Local and meso-scale patterns of recruitment and abundance of two intertidal crab species that compete for refuges. *Marine Biology* **155**:223-232.
- Navarrete, S. A., E. Wieters, B. Broitman, and J. C. Castilla.** 2005. Scales of benthic-pelagic coupling and the intensity of species interactions: from recruitment limitation to top down control. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **102**:18046-18051.
- Paine, R. T., J. C. Castilla, and J. Cancino.** 1985. Perturbation and recovery patterns of starfish-dominated intertidal assemblages in Chile, New Zealand, and Washington State. *American Naturalist* **125**:679-691.
- Pinones, A., A. Valle-Levinson, D. A. Narvaez, C. A. Vargas, S. A. Navarrete, G. Yuras, and J. C. Castilla.** 2005. Wind-induced diurnal variability in river plume motion. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **65**:513-525.
- Vargas, C., D. Narváez, A. Piñones, R. M. Venegas, and S. A. Navarrete.** 2004. Internal tidal bore warm fronts and settlement of invertebrates in central Chile. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **61**:603-612.
- Velazquez, I., D. Kaplan, J. X. Velasco-Hernandez, and S. A. Navarrete.** 2005. Multistability in an open recruitment food web model. *Applied Mathematics and Computation* **163**:275-294.
- Weidberg, N., B. Bularz, S. López-Rodríguez, and S. A. Navarrete.** 2018. Wave-modulation of mussel daily settlement at contrasting rocky shores in central Chile: topographic regulation of transport mechanisms in the surf zone. *Marine Ecology Progress Series* **606**:39-53.
- Weidberg, N., A. Ospina-Alvarez, J. Bonicelli, M. Barahona, C. M. Aiken, B. R. Broitman, and S. A. Navarrete.** 2020. Spatial shifts in productivity of the coastal ocean over the past two decades induced by migration of the Pacific Anticyclone and Bakun's effect in the Humboldt Upwelling Ecosystem. *Global and Planetary Change* **193**:103259.



10.6. ECIM y el estudio de la ecología de los peces costeros

ALEJANDRO PÉREZ-MATUS, ÍTALO FERNÁNDEZ-CISTERNAS, CATALINA RUZ, GABRIELA WINKLER, VLADIMIR GARMENDIA Y F. PATRICIO OJEDA

Introducción Sobre este capítulo

Muchos saben que los peces son vertebrados acuáticos usualmente ectotérmicos, que poseen branquias con las cuales respiran el oxígeno disuelto en el agua. Sin embargo, pocos saben que los peces son los vertebrados más diversos del planeta, con más de 33.000 especies descritas, pertenecientes a 560 familias y 64 órdenes (Nelson, 2016). De hecho, los peces representan cerca del 60% de todos los vertebrados existentes. Han evolucionado durante más de cuatrocientos millones de años en las costas del mundo, variando en tamaño, forma, color y comportamiento (Bellwood *et al.*, 2017). Los peces son una parte esencial de los ecosistemas acuáticos, jugando un papel importante en sus procesos, por ejemplo, modificando redes tróficas, actuando como especies bioingenieras y participando en los ciclos de nutrientes (Villéger *et al.*, 2017). Con una gran relevancia ecológica, socioeconómica o cultural, una pequeña proporción de las 1.144 especies descritas para los mares de Chile se encuentran en el litoral central de nuestro país (Navarrete *et al.*, 2014, Pérez-Matus y Cea, 2021). Hasta la fecha, mucho de lo que sabemos acerca de la ecología de peces de roca que habitan las costas chilenas ha sido en parte gracias a los trabajos de investigación que se han llevado a cabo en la Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM). Al tiempo que ECIM conmemora su cuadragésimo aniversario, en este capítulo pretendemos entregar una pequeña recopilación del gran aporte que ha significado ECIM para el estudio de los peces y las ciencias del mar, como un homenaje a las personas que han sido parte de esta historia y reconocimiento al valioso legado que han dejado.

Sobre los investigadores de ECIM

Dada la enorme importancia de los peces en prácticamente todos los ecosistemas marinos del planeta, era difícil imaginar que un Departamento de Ecología, que sustentaba un doctorado de elite con mención en ecología y extremadamente fuerte en ecología marina, como el de la Universidad Católica, no contara con un investigador en peces. En 1988 fue contratado como profesor asistente (auxiliar en ese entonces) en el Departamento de Ecología el profesor Federico Patricio Ojeda, quien se había doctorado en la Universidad de Maine, Estados Unidos. Antes de ir a Estados Unidos, había trabajado varios años en la UC como asistente de investigación del profesor Bernabé Santelices. Aunque su trabajo predoctoral se centró en macroalgas e invertebrados, Patricio conocía muy bien la universidad y los ecosistemas costeros de Chile.

Una vez establecido en su cargo, el ahora Dr. Ojeda centró toda su investigación en avanzar en el conocimiento de los peces costeros. Lideró de forma pionera, en Chile y toda Sudamérica, el estudio de los peces costeros demersales (es decir, peces que habitan cercanos al fondo marino). Se focalizó principalmente en los peces de las zonas intermareales, así como en aquellos de las pozas y canalones del intermareal, investigando aspectos relacionados con la ecofisiología, ecomorfología y aspectos ecológicos fundamentales de los peces costeros de fondos rocosos, que en ese entonces eran escasamente conocidos. Sus estudios fueron fundacionales y gran parte de lo que conocemos hoy en día sobre el reclutamiento y la estructura de los gremios de peces costeros proviene de los trabajos del profesor Ojeda, sus estudiantes y colaboradores.

Luego del retiro del profesor Patricio Ojeda de la Pontificia Universidad Católica

de Chile en el año 2019, el legado fue continuado y expandido por el profesor Alejandro Pérez-Matus. Alejandro llegó a ECIM en el 2012 con su laboratorio de ecología submareal (SUBELAB) a desempeñarse como investigador joven del Núcleo Milenio en Conservación Marina, dirigido por la profesora Miriam Fernández. Posteriormente, en el año 2018, consiguió el cargo de profesor asistente en el Departamento de Ecología en la UC. Alejandro se había doctorado en la Universidad de Wellington, Nueva Zelanda, bajo la tutoría del Dr. Jeff Shima, habiendo realizado una maestría y estudios en el Harbor Branch Oceanographic Institution (Fort Pierce, Florida), lo cual le permitió desarrollar conocimientos y experiencia en el área del buceo científico en Chile y sus islas oceánicas. Con un profundo conocimiento de los peces costeros en diversos ecosistemas marinos, el Dr. Pérez-Matus, desde los laboratorios de ECIM, ha encabezado investigaciones pioneras en ecología de peces y los bosques de macroalgas en Latinoamérica. Sus contribuciones han brindado al grupo de ECIM y a la comunidad de la UC nuevas perspectivas, técnicas avanzadas y enfoques innovadores para el estudio de los peces costeros. Su trabajo ha expandido el conocimiento existente en Chile sobre los peces submareales y las relaciones ecológicas entre estos y su entorno. Ha centrado sus investigaciones tanto en los ecosistemas submareales poco profundos, donde ha concentrado la mayor parte de sus esfuerzos, como en la zona mesofótica inexplorada del litoral oceánico. Esta última se encuentra más allá de los límites convencionales del buceo autónomo, es decir, bajo los 30 metros de profundidad, y ha sido objeto de su atención en los últimos años.

Uno de los atributos admirables que han compartido tanto Patricio como Alejandro es la capacidad de atraer e involucrar estudiantes en el trabajo de investigación. Incluso, algunos de los recientes estudiantes forman parte del desarrollo de este capítulo. Nuestras disculpas, pues no es posible nombrar a todos y todas ellas aquí; sin embargo, les rendimos un pequeño homenaje en la sección “Nuestro legado” para agradecer su trabajo y dedicación.

El campo de la ecología de peces costeros desarrollado en ECIM fue pionero

en Chile y sigue siendo uno de los principales pilares de la investigación en las ciencias del mar. Sin embargo, antes de repasar la historia y desarrollo de esta línea de investigación en ECIM, presentamos los principales avances en la ecología de peces considerando el conocimiento global que poseemos sobre los peces costeros y su relevancia para la sociedad.

Diversidad y desafíos del estudio en peces: perspectivas en ambientes tropicales y templados

Cuando nos referimos a la ecología de peces, nos imaginamos rápidamente estudios realizados en arrecifes de coral de ambientes tropicales. Es cierto que existen diferencias significativas entre el estudio de los peces en sistemas tropicales y templados, y esto se debe principalmente a las variaciones en las características físicas y biológicas de estos ambientes. Los arrecifes de coral, y otros hábitats comunes en los trópicos, presentan estructuras de mayor complejidad, los peces son más abundantes y diversos, la visibilidad en el agua suele ser mejor y las condiciones de temperatura son más “agradables” que en las regiones templadas, lo que facilita el trabajo de buceo científico y la observación. Una rápida mirada de la literatura en peces costeros evidencia cómo la investigación en la disciplina de la ecología de peces ha tenido una velocidad exorbitante en arrecifes de coral tropicales, en contraste con aquella centrada en el estudio de los peces de zonas templadas o frías. En ecosistemas templados, las condiciones pueden presentar desafíos adicionales debido a las bajas temperaturas y la reducida visibilidad. Estos factores pueden complicar la ejecución de investigaciones en terreno y motivar la necesidad de emplear técnicas y herramientas más especializadas (Watson *et al.*, 2005).

Desde la década del 50 hasta los 80, el desarrollo de tecnologías que prolongaron el tiempo de exploración bajo el agua, como el SCUBA (siglas en inglés de *Self Contained Underwater Breathing Apparatus* o “equipo de respiración autónomo bajo el agua”), desempeñaron un papel fundamental en el desarrollo de la investi-



POZA DEL INTERMAREAL ROCOSO, un ambiente clave para muchos peces costeros y central en los albores de las investigaciones de peces en ECIM.

gación marina. A diferencia de la información obtenida en estudios basados en las capturas de individuos con redes u otros artes de pesca, la investigación *in situ* en el ambiente marino nos enseñó que las poblaciones de peces no estaban solo conformadas por un grupo no diferenciado de individuos de diferente edad, tamaño o sexo. La posibilidad de acceder al medio acuático permitió una visión de la vida de los peces y su historia natural, la versatilidad de comportamientos y actividades que éstos realizan, fomentando así la actividad científica no solo en especies de importancia comercial. Las exploraciones iniciales en ambientes marinos tropicales levantaron preguntas relacionadas con la aplicabilidad de los paradigmas bien blindados por la ecología terrestre. Esto estimuló, sin duda, nuevas formas de pensar sobre la dinámica de las poblaciones y comunidades, sobre todo, creemos, en sistemas templados como el de Las Cruces.

Durante la década del 70, los estudios en la ecología de peces se centraron básicamente en las interacciones de competencia, sugiriendo que los peces no tenían habilidades competitivas y que la abundancia de individuos y riqueza de especies estaba principalmente definida por el im-

petu en la llegada del ambiente pelágico al bentónico (Hixon, 2011). Usando los peces como modelo, la “hipótesis de la lotería” de P. Sale pasaba a ser un enunciado generalizado en la teoría de la ecología (Sale 1977). Posteriormente, en la década del 80, los estudios sobre reclutamiento y el rol de la mortalidad post-reclutamiento fueron claves para generar una controversial hipótesis de “reclutamiento limitado” de P. Doherty. Esta hipótesis, que influenciaba la estructura de las comunidades del arrecife y evidenciaba que las habilidades competitivas de los individuos subyacían a las hipótesis sobre las mortalidades densodependientes o la competencia intraespecífica (Sale *et al.*, 1984). Estas evidencias incrementaron la necesidad de incluir el rol del cambio dramático que sufren los peces, y en general las especies marinas, en sus primeros estadios del desarrollo, como es el estadio larval (Leis 2002, Leis *et al.*, 2003, Mansur *et al.*, 2014). La comprensión de las capacidades de navegación, comunicación y habilidades sensitivas de los peces en esta etapa del desarrollo generó un brusco cambio en la percepción de la ecología marina, comprendiendo la importancia de la dispersión y vinculación de poblaciones a

través del viaje larval y el desarrollo de la ecología conductual. La investigación de esta época marcó una etapa significativa en nuestra comprensión más profunda y compleja de la relación entre los arrecifes y su fauna (Bellwood *et al.*, 2002; Bellwood *et al.*, 2018), la que creemos es vital para garantizar la protección efectiva de los ecosistemas marinos costeros.

Durante estas décadas, en Chile, se avanzó considerablemente en la clasificación y descripción de las distintas especies de peces que conocemos actualmente. Se han descrito más de 1.000 especies que habitan a lo largo de la extensa costa chilena, lo que refleja la rica biodiversidad marina de este país (Pequeño, 1989, 1997; Pequeño y Lamilla, 2000; Sáez y Pequeño, 2009). Dentro de estos trabajos se debe destacar la labor taxonómica del profesor Germán

Pequeño de la Universidad Austral de Chile, y, de entre muchos otros, también quisiéramos rendir un homenaje a Roberto Meléndez, quien se desempeñó en el Museo Nacional de Historia Natural y posteriormente en la Universidad Andrés Bello. Los estudios taxonómicos fundacionales muestran que, aunque no comparable con los sistemas tropicales, en Chile contamos con una gran diversidad de morfologías, comportamientos y funciones ecológicas de las especies de peces, entregándonos oportunidades de estudio fascinantes para el área (Pérez-Matus y Cea, 2021).

Fruto de nuestra necesidad y habilidad de entender el inexorable impacto humano sobre las poblaciones naturales, tanto en ambientes tropicales como templados, el estudio de la ecología de los peces ha experimentado diversas fases a lo largo

TAMAÑO CORPORAL MÁXIMO

< 15 cm 🐟



FOTOGRAFÍA: CATALINA RUZ

15 - 50 cm 🐟



FOTOGRAFÍA: ITALO FERNÁNDEZ

> 50 cm 🐟



FOTOGRAFÍA: ALEJANDRO PÉREZ

GRUPO TRÓFICO

Carnívoros 🦀

Pinguipes chilensis



FOTOGRAFÍA: CATALINA RUZ

Auchenionchus variolosus



FOTOGRAFÍA: ALEJANDRO PÉREZ

Herbívoros 🌱

Aplodactylus punctatus



FOTOGRAFÍA: VLADIMIR GARMENDIA

Omnívoros 🦀🌱

Scartichthys viridis



FOTOGRAFÍA: CATALINA RUZ

Schroederichthys chilensis



FOTOGRAFÍA: VLADIMIR GARMENDIA

Myxodes ornatus



FOTOGRAFÍA: ALEJANDRO PÉREZ

Girella laevisfrons



FOTOGRAFÍA: ALEJANDRO PÉREZ

Sicyases sanguineus



FOTOGRAFÍA: ALEJANDRO PÉREZ

EJEMPLOS DE LA DIVERSIDAD DE ESPECIES DE PECES DE ARRECIFE habitantes de la reserva marina costera de Las Cruces.

Las especies se encuentran agrupadas según su rasgo funcional de tamaño corporal máximo y grupo trófico. Sus nombres comunes son trombollito de tres aletas (*Helcogrammoides chilensis*), bilagay (*Chirodactylus variegatus*), vieja (*Graus nigra*), rollizo (*Pinguipes chilensis*), chalaco (*Auchenionchus variolosus*), jerguilla (*Aplodactylus punctatus*), borrachilla (*Scartichthys viridis*), tiburón pintarroja (*Schroederichthys chilensis*), doncellita de los huiros (*Myxodes ornatus*), baunco (*Girella laevisfrons*) y el pejesapo (*Sicyases sanguineus*).

del tiempo. Con el paso de los años, desde las décadas de la exploración preliminar y descripción de las especies y hábitats presentes, se ha avanzado hacia investigaciones más enfocadas en la conservación y planificación espacial del océano (Mora *et al.*, 2011). En este sentido, el estudio central de la ecología de los peces ha llevado a una profunda comprensión de que la mayoría de las especies marinas poseen fases dispersivas, y sus poblaciones son dependientes de la llegada de nuevos individuos desde otros lugares. Los peces, aparte de exhibir una fecundidad considerable en comparación con los vertebrados terrestres, tienen la capacidad de liberar sus gametos y huevos al ambiente pelágico o bentónico una vez han alcanzado la madurez sexual. Después de transcurrir semanas o incluso meses, dependiendo de las especies, las larvas finalmente encuentran su lugar y se asientan en la vida del arrecife, siguiendo los pasos de sus progenitores. De esta manera, la dispersión larval ha cobrado gran relevancia, en las disciplinas de la ecología y el manejo pesquero al vincular poblaciones distantes en la planificación espacial de la costa (Planes *et al.*, 2009; Pinsky *et al.*, 2017). Dadas las dificultades técnicas inherentes en el estudio de la ecología larval, podemos enriquecer la planificación espacial de la costa con otras metodologías (por ej., genómica de poblaciones, análisis de elementos traza en otolitos, etc.) en el estudio de la ecología de las especies. Otro aspecto importante para entender la persistencia de poblaciones es el análisis del movimiento de adultos ya asentados en los arrecifes, al cual nos referiremos más adelante.

Todo este progreso ha sido estimulado por una creciente preocupación por la pérdida de biodiversidad y la degradación del hábitat en las regiones costeras, lo que ha impulsado la necesidad urgente de estudiar y proteger a los peces y su entorno. En sistemas costeros, las investigaciones a menudo se centran en comprender cómo los fenómenos climáticos y las variaciones estacionales afectan a los peces y a sus ecosistemas. Además, debido a que muchos sistemas templados se encuentran en zonas de alta actividad pesquera, los estudios en estos lugares a menudo se enfocan en temas de gestión de pesquerías y conservación. Estos estudios en gene-

ral buscan entender las respuestas de las poblaciones de peces a la sobrepesca, a la contaminación, al cambio climático y a la destrucción del hábitat, proporcionando información relevante para el manejo sostenible de los recursos pesqueros.

El estudio de los peces y las reservas marinas

Históricamente, los peces han representado una importante fuente de alimento para las sociedades humanas; sin embargo, la actividad pesquera se ha vuelto cada vez menos selectiva debido al incremento y diversificación en la demanda de los recursos. En consecuencia, esto ha generado que un 55% de los arrecifes del mundo se encuentren amenazados por la sobrepesca o la pesca destructiva (por ej., dinamita, redes de arrastre, uso de arpón con aire asistido, etc.). Estas amenazas se entremezclan con la poca planificación en el desarrollo de la zona costera, la construcción de puertos, la contaminación por plásticos y microplásticos, y la extracción de especies formadoras de hábitats como las macroalgas pardas (Sadovy, 2005), reduciendo nuestra capacidad para tomar medidas que aseguren la conservación de este importante grupo de vertebrados y su entorno. Aunque actualmente Chile es uno de los 5 países con mayor proporción del mar protegido bajo alguna figura legal, sólo un 13% corresponde al mar territorial, y de este, sólo el 1% se encuentra bajo protección estricta (reservas, santuarios y parques marinos) (Castilla, 1999; Fernandez y Castilla, 2005; Fernández *et al.*, 2021). De igual manera, a pesar de que los peces son un grupo fuertemente explotado a lo largo del país, no existen estimaciones directas para monitorear las fluctuaciones en su abundancia y riqueza, ni la comprensión suficiente para entender las fuentes de estrés y perturbaciones que amenazan la viabilidad poblacional y la estructura de sus ensambles (Godoy *et al.*, 2010; Godoy *et al.*, 2016; Pérez-Matus y Cea, 2021).

Las áreas marinas costeras protegidas (AMCP), parques marinos, santuarios y reservas surgen como una herramienta para preservar la biodiversidad marina y, al estar menormente influenciadas por perturbaciones humanas, pueden funcionar

como un laboratorio natural para el estudio de las especies marinas (Gronrud-Colvert *et al.*, 2021). Es importante destacar que esto es distinto a estudiar una especie protegida en un entorno impactado directamente por extracción antrópica. Estudiar peces en reservas marinas, de manera integral, proporciona información valiosa sobre su ecología, comportamiento e interacciones con otros organismos y con el medio ambiente. Cuantificar cómo estas interacciones han sido alteradas por la acción antrópica puede ser un punto de referencia relevante para fijar objetivos de conservación y de manejo pesquero sustentable (Gelcich *et al.*, 2008; Claudet *et al.*, 2011; Rassweiler *et al.*, 2012; Edgar *et al.*, 2023). Para responder a estos objetivos, se han utilizado diferentes métodos de estudio, los cuales pueden ser tanto directos como indirectos. Los métodos directos suelen implicar la observación *in situ* de los peces, entre estos, el buceo científico, permitiendo a quien investiga observar directamente el comportamiento de los peces y su interacción con el entorno marino. En el último tiempo, con un creciente desarrollo tecnológico, se ha incorporado la telemetría acústica, la cual permite estudiar la ecología espacial de las especies en su entorno natural. Al utilizar dispositivos que emiten señales acústicas para rastrear el movimiento de los individuos, es posible entender, por ejemplo, si hacen un uso significativo del espacio dentro de los límites de una reserva marina. Por otro lado, métodos indirectos pueden incluir, por ejemplo, el estudio de los hábitos alimenticios a través del análisis de contenido estomacal e isótopos estables, la utilización de cámaras subacuáticas para grabar comportamientos, el análisis de la microestructura de otolitos para conocer la edad de un pez, y el análisis genético para determinar relaciones de parentesco, patrones de migración y conductas generacionales difíciles de rastrear como la filopatría de una población (tendencia de los individuos a regresar o permanecer en sus áreas de origen o lugares de nacimiento).

Así, a lo largo de 40 años, la comunidad de ECIM ha sentado los cimientos para la investigación y el manejo de las comunidades marinas de Chile. Este compro-

miso se ha impulsado desde 1982, con el propósito fundamental de preservar un área marina particular: la reserva marina de Las Cruces. A través de esta iniciativa, se han aportado datos invaluable para la gestión y conservación de los recursos pesqueros, así como para la protección de especies en riesgo en Chile, entre las que se incluyen los peces costeros.

ECIM y su impacto en la ecología usando a los peces costeros como modelo de estudio

El abanico de temas de investigación sobre peces costeros abordados en ECIM ha sido amplio y diverso a lo largo de los años. Entre los aspectos estudiados se encuentran la dieta y los hábitos alimenticios de diversas especies de peces y la selección de hábitat y su relación con la estructura de los ensambles en diferentes localidades de la costa. Además, se han investigado aspectos fisiológicos, como la adaptación de los peces a condiciones cambiantes del medio marino y cómo estos factores influyen en su supervivencia y reproducción.

Un aspecto destacable de la investigación llevada a cabo en la ECIM es la combinación de métodos experimentales y observacionales. Desde sus inicios, con los trabajos del profesor Ojeda, se priorizó la recopilación de datos a través de estudios de campo, permitiendo obtener información relevante sobre el comportamiento y la ecología de los peces en su hábitat natural. Por otra parte, los estudios experimentales fueron, y continúan siendo, esenciales para analizar y comprender las relaciones causales entre los factores ambientales y el comportamiento de las especies.

En el período entre 1970 y 1990, el campo de estudio de los peces de arrecife nos enseñó que estos animales tienen vidas más complejas de lo que se pensaba. Las poblaciones no solo consistían en un grupo indiferenciado de individuos, solo caracterizados por edad, tamaño, forma, color o sexo, vagando a la deriva esperando convertirse en estadísticas de pesca. Desde su establecimiento en 1983, ECIM ha desempeñado un papel fundamental en el avance del conocimiento sobre la eco-

gía de los peces en sus diversos hábitats. Este desarrollo se aceleró con la llegada de investigadores especialistas en ecología de peces a fines de los 80 y que ha continuado hasta hoy en día. Durante estos 40 años, se han llevado a cabo numerosos trabajos científicos dedicados al estudio de diferentes aspectos de la ecología de peces en la región costera, proporcionando valiosas contribuciones para comprender la dinámica y el funcionamiento de los ecosistemas marinos, los cuales pueden encontrar en la Tabla 1 adjunta en este capítulo.

En una revisión rápida sobre el inicio de los estudios de peces por el grupo de investigadores de ECIM, podemos encontrar trabajos que estudian patrones conductuales y alimenticios de las especies más comunes en la zona intermareal y submareal somero. Juan Cancino y Juan Carlos Castilla (1988) marcan el inicio de los estudios (Tabla 1), enfocándose en el comportamiento de una de las especies más carismáticas y ecológicamente únicas de la costa, el pejesapo (*Sicyaces sanguineus*) que habita la zona intermareal y submareal somera. Los autores mostraron que los juveniles de la especie habitan la zona intermareal más alta y se alimentan de algas e invertebrados, mientras que los adultos se ubican en la zona intermareal y primariamente submareal, alimentándose principalmente de animales. Además, los autores reportaron que la desecación y el oleaje son factores determinantes en la actividad alimenticia de esta especie, sugiriendo finalmente que esta especie tiene un gran efecto sobre la comunidad del intermareal (Cancino y Castilla, 1988).

Como mencionamos anteriormente, a partir del año 1990 en adelante, surge un número importante de publicaciones de Patricio Ojeda y sus estudiantes. Estos estudios se enfocaron en la ecología trófica de los peces del submareal y las pozas del intermareal rocoso, dando cuenta de cambios ontogenéticos y sobreposición en la dieta de distintas especies de carnívoros de invertebrados (por ej., crustáceos, caracoles, poliquetos, bivalvos y equinodermos) (Varas y Ojeda, 1990; Cáceres *et al.*, 1993; Benavides *et al.*, 1994; Cáceres *et al.*, 1994; Ojeda y Cáceres, 1995; Quijada y Cáceres, 2000). En esos años, la utilización de la estación costera fue esencial para

realizar experimentos en laboratorio, explorando cómo problemas relacionados con la termorregulación, disponibilidad de nutrientes y calidad del alimento afectan el desempeño fisiológico en peces intermareales (Ojeda y Cáceres, 1995; Pulgar *et al.*, 1999; Pulgar *et al.*, 2003; Pulgar *et al.*, 2006; Pulgar *et al.*, 2011; Pulgar *et al.*, 2015). Por ejemplo, estudios comparativos de la proporción de ARN:ADN en tejido muscular de algunos peces provenientes de sitios con y sin surgencia permitieron demostrar un efecto positivo y significativo de los nutrientes derivados de las surgencias en el crecimiento y reproducción en peces intermareales de diferentes niveles tróficos (Pulgar *et al.*, 2011). Por esos años, las investigaciones de terreno realizadas hasta ese momento estaban concentradas principalmente en la Región de Valparaíso (por ej., Los Molles, Concón, Quintay, Isla Negra, El Tabo, Las Cruces). Sin embargo, algunos trabajos extendieron la escala espacial, caracterizando patrones temporales y biogeográficos sobre la diversidad de peces intermareales, y relacionarlos con aspectos fisiológicos (Boyle & Horn, 2006).

Luego de más de 15 años de datos sobre las variaciones temporales en la abundancia y riqueza de especies de peces, el profesor Ojeda y sus estudiantes logran dar cuenta de que los ensambles de peces en el ambiente intermareal son, por así decirlo, idiosincráticos, es decir, muy dependientes de la localidad o de las características del sitio. La composición del ensamble de peces de Las Cruces es muy distinta a aquellas de El Quisco a pesar de estar separados por solo unos 14 kilómetros. Por otra parte, la intensidad del fenómeno del Niño o la Niña (ENSO) regula en gran parte quién domina los ensambles y cuánto crecen los peces en las pozas intermareales. Los estudios de peces de pozas del intermareal del profesor Ojeda fueron los más persistentes en el tiempo desarrollados hasta ese entonces en Chile (15 años atrás) y permitieron comprender la importancia y variabilidad de los efectos del fenómeno ENSO en peces, incluyendo la composición de especies y su efecto en el crecimiento somático y la sobrevivencia (Espinoza *et al.*, 2004; Espinoza *et al.*, 2023). Determinar si las conclusiones de estos estudios pueden ser aplicadas o comparadas con la fauna ictiológica de entornos submareales

demanda un análisis que hasta la fecha no ha sido realizado debido a la ausencia de seguimiento en dicho entorno.

Los resultados de las investigaciones realizadas en ECIM han sido fundamentales para el establecimiento de áreas marinas protegidas y la implementación de medidas de conservación en Chile que promuevan la preservación de la biodiversidad marina. Sin embargo, los peces costeros aún no han sido incorporados en medidas de manejo establecidas. Las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (como las AMERB) son una medida de manejo para los recursos bentónicos en Chile, significando el cierre temporal de algunas hectáreas de la costa y simultáneamente esto disminuye la presión de pesca en los peces costeros (Pérez-Matus *et al.*, 2017a). En contraste, las áreas de libre acceso están caracterizadas en general por una mayor intensidad de pesca sobre los peces. Al estar fiscalizadas, algunas AMERB han limitado el acceso a buzos pescadores con arpón de mano. En consecuencia, la restricción de pesca en las AMERB permitió en un corto plazo un aumento, no solo en la biomasa de los peces y su abundancia, sino también en la riqueza de especies, que puede llegar a ser hasta varias veces mayor en AMERB que en áreas de acceso libre (Pérez-Matus *et al.*, 2017a). Además, se puso en evidencia que las AMERB con buena fiscalización pueden funcionar como una reserva marina, al menos parcial, ya que facilitan la protección de la biodiversidad que no es objeto del manejo pesquero (Gelcich *et al.*, 2008; Gelcich *et al.*, 2012). Esto abrió un camino, mediado por la incorporación del buceo científico en ambientes submareales de Chile, para realizar monitoreo a escalas relevantes del manejo y la conservación marina. Los estudios pueden tener entonces un impacto significativo en la gestión y conservación de los recursos marinos, contribuyendo al diseño de estrategias de manejo más efectivas y sostenibles.

Con los resultados de estas iniciativas, logramos establecer un cambio en la percepción sobre la importancia de las AMERB y visibilizar, con datos científicos, que el aumento en el esfuerzo de pesca está provocando el deterioro de las poblaciones de peces costeros. Por otro lado, los cambios descritos sobre las biomasa

y abundancias en sitios con alguna figura de protección destacaron la importancia de estudios sobre movilidad de los peces juveniles y adultos y determinar el grado y ámbito espacial de “fidelidad al sitio”, i.e., hasta qué punto el comportamiento de los peces adultos o juveniles está fijo en sus rutinas de desplazamiento y su tendencia a regresar a un mismo lugar.

El estudio actual de los peces costeros en ECIM

Actualmente el empleo del buceo científico como herramienta de exploración ha permitido generar una línea de investigación que ha trascendido los límites convencionales del buceo tradicional. Desde ECIM, hemos impulsado un programa de buceo científico y técnico, inédito para la región, el cual nos ha permitido explorar, caracterizar y experimentar en los diferentes ecosistemas submareales del territorio chileno. Entre estos, los bosques de macroalgas pardas en el norte y centro de Chile, los ecosistemas rocosos de algas foliosas del archipiélago de Juan Fernández y los arrecifes de coral en la isla de Rapa Nui. Con estas investigaciones, hemos obtenido información clave y detallada sobre los patrones de diversidad, abundancia y uso de hábitat de los peces en las distintas regiones mencionadas (Pérez-Matus *et al.*, 2007; Pérez-Matus *et al.*, 2012; Ramírez *et al.*, 2013; Navarrete-Fernández *et al.*, 2014; Wieters *et al.*, 2014; Pérez-Matus *et al.*, 2016; Pérez-Matus *et al.*, 2017b; Winkler *et al.*, 2017; Delrieu-Trottin *et al.*, 2022; Pérez-Matus *et al.*, 2022), descripción de nuevas especies en ambientes mesofóticos (aquellos entre los 30 y 150 a 200 m de profundidad) (Shepherd *et al.*, 2019; Shepherd *et al.*, 2021), evaluación en la dieta de diferentes especies de peces de roca que habitan los bosques de algas (e.g., Pérez-Matus *et al.*, 2012), la construcción de redes tróficas del submareal rocoso de la zona central de Chile (Pérez-Matus *et al.*, 2017b) y la de redes no tróficas (interacciones agonistas y de cooperación) del ensamblaje de Juan Fernández y Rapa Nui (Fernández-Cisternas *et al.*, 2021). También, el buceo nos ha permitido realizar trabajos experimentales en laboratorio, como el descubrir el importante rol de un pez herbívoro como la jerguilla en la diseminación de esporofitos del huiro palo *Lessonia tra-*



CARDUMEN DE CABINZAS
(*Isacia conceptionis*)
fotografiado al interior de la reserva marina de ECIM. Esta especie representa una fracción importante de los ensambles de peces costeros.



EL ESTRECHO VÍNCULO EN LA RELACIÓN PEZ - HÁBITAT revelado en los estudios de ECIM, ejemplificado en la doncellita (*M. viridis*) y el huiro, y cápsulas de rayas (*Sympterygia sp.*) y corales de aguas frías.



BUCEO CIENTÍFICO EN ACCIÓN.

Parte del legado reciente de ECIM ha sido la formación de buceadoras y buceadores científicos que exploran el submareal somero y semi profundo con altos de estándares de planificación y seguridad.

beculata, convirtiéndolo posiblemente en el principal dispersor biológico de su hábitat (Ruz *et al.*, 2018).

Desde su instauración en el año 2020, el Núcleo Milenio para la Ecología y Conservación de Arrecifes Mesofóticos Templados (NUTME) ha venido a levantar y enriquecer significativamente el ámbito de la investigación marina. Una de sus contribuciones más relevantes ha sido la capacitación especializada en buceo científico-técnico con el uso de *rebreathers*, equipos de circuito cerrado que permiten al buzo recircular la mezcla de gas respirada, eliminando las burbujas y permitiendo inmersiones más prolongadas y a mayores profundidades. El mar semiprofundo, en aquellas áreas más allá de los 30 metros, donde convencionalmente hemos desarrollado nuestra investigación en esta última década, ha sido tradicionalmente un espacio inexplorado y lleno

de misterios, sobre todo en lo que respecta a los peces. Gracias a la formación avanzada que el Núcleo Milenio NUTME ha proporcionado a su equipo, se ha logrado superar este umbral, accediendo a zonas que antes eran inalcanzables para el buceo científico convencional. Esta especialización ha derivado en el desarrollo de técnicas para el estudio de peces en estas profundidades y ha permitido la exploración detallada de los arrecifes mesofóticos (Campoy *et al.*, 2023). A través del uso de múltiples metodologías directas y e indirectas, el equipo del Núcleo Milenio NUTME ha iniciado el camino para determinar si estos arrecifes actúan como refugios para especies sobreexplotadas en arrecifes someros, una cuestión de gran importancia en el ámbito del manejo y la conservación marina. Es innegable que la creación del Núcleo Milenio NUTME ha elevado el estándar del buceo científico, abriendo nuevas puertas y perspectivas en la investigación de los dominios del mar semiprofundo.

Por su parte, la telemetría acústica ha revolucionado nuestra capacidad para estudiar animales en sus hábitats naturales. Los datos recopilados a través de esta metodología brindan información valiosa sobre patrones de movimiento, áreas de alimentación, comportamientos reproductivos y otras interacciones ecológicas. En última instancia, la telemetría acústica amplía enormemente nuestro conocimiento sobre la vida en ambientes acuáticos y es esencial para informar las estrategias de conservación y manejo de recursos. La telemetría acústica es otra herramienta que ocupamos actualmente en ECIM para el estudio de la ecología de peces de roca. En la reserva marina de Las Cruces, hemos implementado un programa sofisticado de marcaje de peces de roca para estudiar los patrones espaciales de desplazamiento de especies comerciales y no comerciales dentro y fuera de la reserva marina. Mediante buceo, capturamos a los peces objetivo, que luego mediante procedimientos quirúrgicos de altos estándares bioéticos, se les implanta un "tag" acústico de código único, el cual es detectado por receptores de señal acústica previamente instalados en una matriz que abarca un área de aproximadamente 2,5 km². Esta área cubre tanto el polígono de la reserva de ECIM en

Las Cruces como también en los sectores aledaños designados como áreas de libre acceso y la AMERB en la zona “punta tres cruces”. Cuando el pez se aproxima cerca de uno de los receptores, su código es registrado junto con la hora y fecha exacta, permitiendo saber en tiempo real dónde y cuándo estuvo el pez dentro de la matriz acústica. La información recopilada nos ha permitido entender el movimiento, residencia, fidelidad de sitio y rango de hogar de algunas especies de peces de roca en Chile, y, sobre todo, la eficacia de la reserva marina como zona de protección de estas especies.

El movimiento de individuos entre un área marina protegida y áreas adyacentes es un aspecto crítico para la conservación, ya que define el grado de protección que estas áreas pueden ofrecer a las poblaciones de peces (Nathan *et al.*, 2008). En algunos casos, las áreas protegidas pueden proteger las áreas de alimentación y/o de reproducción de los peces, como también las rutas de migración para llegar a los sitios de alimentación y apareamiento. Por lo tanto, entender estas rutas y el movimiento entre áreas bajo distintos regímenes de conservación o manejo es esencial para una gestión efectiva tanto de las reservas marinas como de las áreas de manejo (si es que los peces se incluyeran en los planes de manejo). En resumen, la información obtenida es única y también es crítica para desarrollar estrategias de manejo para los peces costeros y definir cuán efectivas son las áreas de manejo y reservas de pequeño tamaño como la de ECIM.

Actualmente monitoreamos el movimiento individual de 5 especies: *Graus nigra* (vieja), *Chirodactylus variegatus* (bilagay), *Aplodactylus punctatus* (jerguilla), *Pinguipes chilensis* (rollizo) y *Schroederichthys chilensis* (tiburón pintarroja). Con un tiempo de seguimiento de los individuos marcados mayor a un año en libertad, los resultados preliminares indican patrones de actividad diaria contrastantes entre las especies, demostrando la ocurrencia de diferentes historias de vida dentro del área de estudio. Los resultados del índice de residencia (en otros términos, cuánto tiempo pasan en un área determinada) indican que las especies estudiadas tienen una presencia media mayor dentro

de los límites de la reserva de Las Cruces en comparación con las áreas adyacentes de acceso abierto, incluso y sorprendentemente para especies con una alta capacidad de movimiento como lo es el tiburón pintarroja. La reserva de Las Cruces, aunque ha permitido el establecimiento de individuos de gran tamaño que rara vez ocurren en zonas abiertas a la explotación, es demasiado pequeña para brindar protección integral a estos animales. Este tipo de estudios permite entonces evaluar la contribución de reservas marinas y definir los tamaños o la proximidad entre ellas que deberían idealmente tener para brindar mejor protección a los peces costeros.

Conclusión

La riqueza y diversidad de los peces, siendo estos el grupo más vasto de vertebrados en nuestro planeta, resalta la necesidad de una comprensión profunda y continuada sobre su biología, ecología y evolución. La Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM) ha sido pilar fundamental en esta tarea, especialmente en el contexto chileno. Durante cuatro décadas, ECIM ha sido la cuna de investigaciones pioneras, revelando aspectos desconocidos de los peces costeros (de roca) y otros organismos marinos del litoral central de Chile. La conmemoración de su cuadragésimo aniversario no solo es un momento para reflexionar sobre los logros pasados, sino también para reconocer la importancia de continuar y profundizar estos estudios en el futuro donde se integren disciplinas diversas, se puedan estudiar arrecifes mesofóticos y semiprofundos, y aumenten la escalas espaciales y temporales. La travesía de ECIM no es solo un testimonio del arduo trabajo de generaciones de científicos y científicas, sino también un recordatorio de la inmensa responsabilidad que tenemos como sociedad de preservar y entender la biodiversidad que nos rodea y comprender nuestra relación con la naturaleza en general. A medida que avanzamos en esta convulsionada época de fenómenos climáticos y amenazas a la biodiversidad en general, el legado y las contribuciones de ECIM nos inspiran a seguir adelante, con la esperanza de descubrimientos futuros y la protección de los ecosistemas marinos que aún esperan ser descubiertos.

TABLA 1. Recopilación de trabajos científicos que contemplan el estudio de peces costeros publicados por participantes de la Estación Costera de Investigaciones Marinas realizados en la zona costera principalmente de la Región de Valparaíso entre los años 1988 y 2023. Los títulos de los artículos se encuentran traducidos al español; original en negrita.

AUTOR	AÑO	LOCALIDAD	TÍTULO	RESUMEN DEL TRABAJO
J.M. Cancino J.C. Castilla	1988	Las Cruces Los Molles	Comportamiento de emersión y ecología de alimentación del pez común chileno <i>Sicyases sanguineus</i> (Pices: Gobiesocidae).	Estudia el comportamiento de emersión y forrajeo del Pejesapo (<i>Sicyases sanguineus</i>), identificando que su actividad está determinada por factores como la desecación y el oleaje.
			Emersion behaviour and foraging ecology of the common Chilean clingsfish <i>Sicyases sanguineus</i> (Pices: Gobiesocidae).	
E. Varas F.P. Ojeda	1990	Las Cruces Quintay El Tabo	Comunidades de peces intermareales de la costa central de Chile: diversidad, abundancia y patrones tróficos.	Estudia la diversidad, abundancia y estructura trófica de peces que habitan pozas intermareales. Se registraron 11 especies principalmente carnívoras. Insisten que las pozas intermareales representan importantes áreas de reclutamiento para esas especies de peces.
			Intertidal fish assemblages of the central Chilean coast: diversity, abundance and trophic patterns.	
J.M. Fariña F.P. Ojeda	1993	Punta de Tralca Quintay	Abundancia, actividad y patrones tróficos del tiburón Pintarroja <i>Schroederichthys chilensis</i> , frente a la costa templada del Pacífico de Chile.	Este estudio proporciona información valiosa sobre la abundancia, la actividad y los patrones tróficos del tiburón Pintarroja (<i>S. chilensis</i>) en el bosque de Huiro Palo (<i>Lessonia trabeculata</i>). Sugiere que la especie posee una dieta especializada en crustáceos decápodos, es activa principalmente de noche, las hembras reproductivas están presentes todo el año con un período reproductivo prolongado.
			Abundance, activity, and Trophic Patterns of the Redspotted Catshark <i>Schroederichthys chilensis</i>, on the Pacific Temperate Coast of Chile.	
C.W. Cáceres A.G. Benavides F.P. Ojeda	1993	Punta de Tralca Quintay Caleta Errázuriz	Ecología trófica del pez <i>Aplodactylus punctatus</i> (Pisces: Aplodactylidae) en la costa centro-norte de Chile.	Se estudiaron los patrones de abundancia y distribución espacial, la selectividad dietaria y su relación con la disponibilidad de macroalgas, entre otros, de la especie <i>Aplodactylus punctatus</i> . Los resultados indicaron que esta especie fue la especie más abundante en número y biomasa en los ensambles de peces litorales de las dos localidades estudiadas de Chile central. Adicionalmente, se evidenció una fuerte asociación espacial con las praderas del alga parda <i>Lessonia trabeculata</i> ; sin embargo, los valores de selectividad dietaria indican que esta especie prefiere el consumo de algas rojas y verdes por sobre las pardas.
A.G. Benavides J.M. Cancino F.P. Ojeda	1994	Las Cruces Punta de Tralca	Cambios ontogenéticos en las dimensiones intestinales y la digestibilidad de macroalgas en el pez herbívoro marino, <i>Aplodactylus punctatus</i> .	Estudia el contenido estomacal de jerguillas (<i>Aplodactylus punctatus</i>) y evalúa en el laboratorio la digestibilidad del alimento. Determinó que los juveniles presentan una dieta omnívora y los adultos son estrictamente herbívoros.
			Ontogenetic changes in gut dimensions and macroalgal digestibility in the marine herbivorous fish, <i>Aplodactylus punctatus</i>.	

AUTOR	AÑO	LOCALIDAD	TÍTULO	RESUMEN DEL TRABAJO
C.W. Cáceres F.P. Ojeda	1995	Punta de Tralca Quintay	Mecanismos digestivos en <i>Aplodactylus punctatus</i> (Valenciennes): un pez herbívoro marino de zonas templadas. Digestive mechanisms in <i>Aplodactylus punctatus</i> (Valenciennes): a temperate marine herbivorous fish.	Estudia el mecanismo de digestión que utiliza <i>Aplodactylus punctatus</i> . Detectaron un pH ácido en el estómago y actividad celolítica en el intestino, sugiriendo un mecanismo de digestión que combina la hidrólisis ácida y digestión enzimática de la pared celular de las algas, seguida de la digestión de carbohidratos y proteínas, explicando las altas tasas de asimilación del material vegetal.
A.A Muñoz F.P. Ojeda	1997	Los Molles Concón Quintay El Tabo Las Cruces	Estructura gremial de alimentación de una comunidad de peces intermareales rocosos en el centro de Chile. Feeding guild structure of a rocky intertidal fish assemblage in central Chile.	Estudia los gremios alimenticios de los peces intermareales, identificando carnívoros, omnívoros y sólo 1 herbívoro, y en general reporta que hubo un alto grado de sobreposición en la dieta.
A.A Muñoz F.P. Ojeda	1998	Los Molles Concón Quintay El Tabo Las Cruces	Estructura gremial de peces carnívoros intermareales de la costa chilena: implicaciones de cambios dietéticos ontogenéticos. Guild structure of carnivorous intertidal fishes of the Chilean coast: Implications of ontogenetic dietary shifts.	Estudia los hábitos alimenticios de los peces carnívoros intermareales, relacionando los cambios en el tamaño de la presa con el tamaño de la boca. Además identifica cambios ontogenéticos en la dieta, pero principalmente basados en crustáceos.
J.M. Pulgar	1999	Isla Negra	Termorregulación del comportamiento en el pez intermareal <i>Girella laevis</i> (Kyphosidae): el efecto de la inanición. Behavioral thermoregulation in the intertidal fish <i>Girella laevis</i> (Kyphosidae): the effect of starvation.	Trabajo experimental en ECIM que evalúa la selección de temperatura dependiendo de la condición de alimentación en baucos (<i>Girella laevis</i>) juveniles, encontrando que peces hambrientos prefirieron temperaturas altas, contrario a su hipótesis.
F.P. Ojeda A.A Muñoz	1999	Los Molles El Tabo Las Cruces	Selectividad alimentaria del pez herbívoro <i>Scartichthys viridis</i> : efectos sobre la estructura de la comunidad de macroalgas en una zona costera intermareal rocosa templada. Feeding selectivity of the herbivorous fish <i>Scartichthys viridis</i>: effects on macroalgal community structure in a temperate rocky intertidal coastal zone.	Estudia la selectividad de alimentos en Borrachillas (<i>Scartichthys viridis</i>) comparando el contenido estomacal con la disponibilidad de algas y realizando experimentos de selección en el laboratorio. Determina que estos peces son oportunistas variando su dieta según la disponibilidad de alimento, pero además demuestra el gran efecto de esta especie sobre la comunidad de macroalgas intermareales.
C.W. Cáceres F.P. Ojeda	2000	Las Cruces	Patrones de alimentación de dos especies de peces herbívoros intermareales: efecto de la abundancia de alimentos y composición química. Foraging patterns of two species of intertidal herbivorous fishes: Effect of food abundance and chemical composition.	Estudia la selectividad y eficiencia de asimilación de diferentes algas por baucos y borrachillas, y la relación con la composición química del alimento. Los resultados sugieren una fuerte relación entre el patrón de selección trófica observado en estas especies y la relación entre composición del alimento y características digestivas.

AUTOR	AÑO	LOCALIDAD	TÍTULO	RESUMEN DEL TRABAJO
A.A. Muñoz F.P. Ojeda	2000	Las Cruces El Tabo Los Molles	Cambios ontogenéticos en la dieta del herbívoro <i>Scartichtys viridis</i> en una zona intermareal rocosa del centro de Chile. Ontogenetic changes in the diet of the herbivorous <i>Scartichtys viridis</i> in a rocky intertidal zone in central Chile.	El artículo contribuye a nuestra comprensión en el cambio ontogenético en la dieta de <i>Scartichthys viridis</i> . La especie mantiene una dieta herbívora en áreas intermareales rocosas, consumiendo principalmente macroalgas como Ulva, Enteromorpha y Gelidium. El consumo de Gelidium aumenta durante la ontogenia, posiblemente debido a la disponibilidad limitada de Ulva en el territorio.
E. Hernández-Miranda A.T. Palma F.P. Ojeda	2003	El Quisco Las Cruces	Ensamblajes de larvas de peces en aguas costeras cercanas a la costa central de Chile: patrones temporales y espaciales. Larval fish assemblages in nearshore coastal waters off central Chile: temporal and spatial patterns.	Determina un patrón estacional en la composición y abundancia de larvas, siendo primavera-verano la época de mayor diversidad. Además, encuentra un patrón de distribución a diferentes profundidades <30 m, 30-60 m y >60 m.
J.M. Pulgar F. Bozinovic F.P. Ojeda	2005	Antofagasta Carrizal Bajo Las Cruces	Distribución local y ecología térmica de dos peces intermareales. Local distribution and thermal ecology of two intertidal fishes.	Evalúa la sensibilidad termal en pozas intermareales altas y bajas, caracterizando por primera vez las temperaturas del agua en la zona intermareal. Caracteriza además la distribución vertical de bauncos y borrachillas, quienes presentaron patrones opuestos. Observan diferencias geográficas en las respuestas fisiológicas, lo que indica diferencias en los óptimos para los procesos biológicos.
J.M. Pulgar F. Bozinovic F.P. Ojeda	2006	Antofagasta Carrizal Bajo Las Cruces	Variabilidad fisiológica geográfica y estacional intraespecífica en un pez intermareal, <i>Girella laevis</i> , a lo largo de un gradiente climático. Intraspecific geographic and seasonal physiological variability in an intertidal fish, <i>Girella laevis</i>, along a climatic gradient.	Evalúa la tasa metabólica y el factor de condición de bauncos juveniles, los cuales fueron más altos en las poblaciones de la zona centro. Dado que los bauncos adultos completan su ciclo de vida en el submareal, los resultados sugieren una adaptación metabólica al frío en los juveniles de esta especie y una compensación fisiológica que les permite trasladarse tempranamente al submareal para reproducirse.
E. Hernández-Miranda F.P. Ojeda	2006	Isla Negra El Tabo Las Cruces	Variabilidad interanual en las tasas de crecimiento somático y mortalidad de los peces costeros frente a la zona central de Chile: ¿un proceso impulsado por ENSO? Inter-annual variability in somatic growth rates and mortality of coastal fishes off central Chile: an ENSO driven process?	Estudia el efecto de El Niño en los peces intermareales evaluando las tasas de crecimiento y tasas de mortalidad durante 1990 y 2003. Todas las especies tuvieron un crecimiento bajo durante EN y alto para LN. Las tasas anuales de mortalidad fueron más altas durante EN y más bajas durante los años de transición y LN. Propone, además, que este mismo mecanismo puede afectar otros procesos como habilidades competitivas, factores de condición y riesgos de depredación.

AUTOR	AÑO	LOCALIDAD	TÍTULO	RESUMEN DEL TRABAJO
J.M. Pulgar F.P. Ojeda F. Bozinovic	2007	Antofagasta Carrizal Bajo Las Cruces	Variabilidad térmica entre poblaciones y respuesta fisiológica en el pez intermareal <i>Scartichthys viridis</i> (Blenniidae). Inter-population thermal variability and physiological response in the intertidal fish <i>Scartichthys viridis</i> (Blenniidae).	Evalúa si las condiciones térmicas (15 y 25 °C) y la disponibilidad de alimento son suficientes para generar diferencias fisiológicas y energéticas en borrachillas intermareales provenientes de diferentes regiones. Los peces de la zona centro, que fueron aclimatados a mayor temperatura, mostraron mejor condición (biomasa/largo total) y mayor tasa metabólica, que los peces del norte. Esto sugiere que ligeras diferencias latitudinales en la temperatura del agua en pozas intermareales y la disponibilidad de alimentos indujeron una restricción energética en esta especie.
S. Gelcich N. Godoy L. Prado J.C. Castilla	2008	AMP (Las Cruces) ALA y AMERB (Algarrobo y El Quisco)	Derechos de Usuario Territorial de la Pesca como Instrumentos Auxiliares para la Conservación Marino Costera en Chile. Territorial User Rights for Fisheries as Ancillary Instruments for Marine Coastal Conservation in Chile.	Reporta que la riqueza, biomasa y densidad de peces de roca no difieren entre AMERB y la MPA de Las Cruces, y ambas son mayores que en áreas libres (ALA). Esto da cuenta de la importancia de tener una AMP para comparar la efectividad en las medidas espaciales de manejo como las AMERB.
P. Berríos A.A. Farías F.P. Ojeda	2011	Isla Negra El Tabo Las Cruces	Variabilidad espaciotemporal en la estructura gremial ontogenética de una comunidad de peces intermareales en el centro de Chile. Spatio-temporal variability in ontogenetic guild structure of an intertidal fish assemblage in central Chile.	Estudia la variabilidad espaciotemporal en la estructura de los gremios alimenticios ontogenéticos (OFG) de los ensambles de peces intermareales. Reporta alta variabilidad espacial (más que temporal), con una alta representación de peces omnívoros en pozas altas, pero con cambios en las clases de tallas, asociados a eventos de reclutamiento en primavera-verano, y diferencias ontogenéticas en la selección de hábitat, que son las variables que mejor determinaron la variación espacial y temporal. Indica que la representación relativa de cada grupo trófico está dada principalmente por las especies dominantes, lo que sugiere bajos niveles de redundancia funcional entre especies en cada grupo trófico, siendo vulnerable este ensamble a perturbaciones.
L. Mansur D. Catalán G. Plaza M.F. Landaeta F.P. Ojeda	2013	Isla Negra El Tabo Las Cruces	Validaciones de la periodicidad diaria de deposición de incrementos en otolitos de peces intermareales rocosos del Océano Pacífico sudoriental. Validations of the daily periodicity of increment deposition in rocky intertidal fish otoliths of the south-eastern Pacific Ocean.	Estudia el crecimiento de 8 especies de peces intermareales a través de los incrementos en otolitos. Todas las especies de peces presentaron incrementos depositados diariamente.

AUTOR	AÑO	LOCALIDAD	TÍTULO	RESUMEN DEL TRABAJO
A. Pérez-Matus S. Carrasco A. Ospina-Álvarez	2014	Rio Seco Caleta Constitución Caleta Angosta Lagunillas Zapallar Punta de Tralca	Relaciones longitud-peso para 25 peces asociados a bosques de algas del norte y centro de Chile. Length-weight relationships for 25 kelp forest-associated fishes of northern and central Chile.	Reporta relaciones longitud-peso para 25 especies de peces de arrecife asociados con grandes macroalgas marrones (<i>Lessonia trabeculata</i> y <i>Macrocystis pyrifera</i>) de la costa rocosa norte y central de Chile. Se evidencia que la relación entre longitud y peso se acerca a un crecimiento isométrico y no se observaron variaciones latitudinales (es decir, espaciales) y temporales en el coeficiente de crecimiento de las especies de peces estudiadas.
T. Navarrete-Fernández M. Landaeta C. Bustos A. Pérez-Matus	2014	Zapallar	Construcción de nidos y descripción del comportamiento de cuidado parental en un pez de arrecife templado, <i>Chromis crusma</i> (Pisces: Pomacentridae). Nest building and description of parental care behaviour in a temperate reef fish, <i>Chromis crusma</i> (Pisces: Pomacentridae).	Describe el comportamiento de construcción de nidos y el cuidado parental de <i>Chromis crusma</i> mediante muestreos ecológicos y grabaciones de vídeo submarinas. Identifican que solo los machos se ocupan de la construcción del nido y del cuidado uniparental, y pasan casi el 80% del tiempo dentro del nido, aireando los huevos, retirando los materiales no deseados y defendiendo el nido de los depredadores.
S. de Juan S. Gelcich A. Ospina-Álvarez A. Pérez-Matus M. Fernández	2015	Las Cruces El Quisco Quintay Laguna Verde Maitencillo Los Molles	Aplicar un enfoque de servicios ecosistémicos para desentrañar los vínculos entre los ecosistemas y la sociedad en la costa central de Chile. Applying an ecosystem service approach to unravel links between ecosystems and society in the coast of central Chile.	A través del modelo DPSIR, evalúa el estado de algunos de los servicios ecosistémicos y la demanda de estos por parte de turistas y pescadores en la región de Valparaíso. Algunos indicadores biológicos (ej., biomasa de peces) fueron mayores en áreas de manejo y áreas marinas protegidas (Las Cruces), mientras que la priorización de los atributos del ecosistema por los actores fue principalmente la belleza escénica y la diversidad. El trabajo evidenció un vínculo débil entre las prioridades de la sociedad y el manejo y estado de las comunidades biológicas.
A. Pérez-Matus A. Ospina-Álvarez, A., P.A. Camus S.A. Carrasco M. Fernández S. Gelcich N. Godoy P.F. Ojeda L.M. Pardo N. Rozbaczylo M.D. Subida M. Thiel E.A. Wieters S.A. Navarrete	2017	Desde Coquimbo a Las Cruces	La comunidad de arrecifes submareales rocosos templados revela los impactos humanos en toda la red alimentaria. Temperate rocky subtidal reef community reveals human impacts across the entire food web.	Presenta la primera red trófica submareal de Chile, que incluye 147 taxas, de los cuales 34 son explotados y esto afecta un 50% de los nodos, indicando que la pesca puede tener grandes consecuencias en la red. También reporta similitud en algunos nodos con especies no explotadas, lo que sugiere que hay especies que podrían actuar como centinelas y compensar los efectos de la pesca. Este trabajo demuestra que los efectos de la pesca pueden tener consecuencias y transferirse en la red trófica, por lo que es de vital importancia el monitoreo de estas y regulaciones en aquellos nodos más esenciales.

AUTOR	AÑO	LOCALIDAD	TÍTULO	RESUMEN DEL TRABAJO
A. Pérez-Matus S. Carrasco M. Fernández S. Gelcich E. Wieters	2017	Totalillo Punta de Talca Quintay Algarrobo	Explorando los efectos de la presión pesquera y la intensidad de la surgencia sobre las comunidades de bosques de algas submareales en el centro de Chile. Exploring the effects of fishing pressure and upwelling intensity over subtidal kelp forest communities in Central Chile.	El estudio examinó el efecto de la pesca y la surgencia en bosques de algas en Chile central, comparando zonas con derechos de pesca (TURF) y áreas de acceso libre (OA). Las áreas TURF mostraron más peces de arrecife, diversidad de grupos tróficos y menos peces “pastoreadores” de algas. Las afloraciones se vincularon con abundancia de algas dominantes y peces planctívoros. En áreas OA, los herbívoros afectaron negativamente las algas. El estudio sugiere que las áreas TURF ayudan a conservar bosques de algas si se mantienen procesos clave, resaltando la interacción entre pesca y surgencia en la configuración de estas comunidades.
C.S. Ruz A.F. Muth F. Tala A. Pérez-Matus	2018	Las Cruces Punta de Talca	El pez herbívoro <i>Aplodactylus punctatus</i> como potencial facilitador de la dispersión del alga marina <i>Lessonia trabeculata</i> en Chile. The herbivorous fish, <i>Aplodactylus punctatus</i>, as a potential facilitator of dispersal of kelp, <i>Lessonia trabeculata</i>, in Chile.	Evalúa las interacciones tróficas y no tróficas entre la macroalga huiro palo (<i>Lessonia trabeculata</i>) y el pez herbívoro jerguilla (<i>Aplodactylus punctatus</i>). Se observó una fuerte correlación en la distribución de ambas especies. Jerguillas juveniles usan el alga como refugio y se alimentan de los mesoherbívoros que habitan en las frondas, favoreciendo al alga. Jerguillas adultas consumen las frondas del huiro, pero a través de experimentos de mesocosmos en ECIM, se observó que el tejido reproductivo del alga soporta la digestión del pez y las esporas son viables, sugiriendo que la jerguilla puede actuar como un potencial dispersor del huiro palo.
R.H. Muñoz-Cordovez L. de la Maza A. Pérez-Matus S.A. Carrasco	2019	El Canelillo	Los rasgos embrionarios y larvales del pez damisela de zonas templadas <i>Chromis crusma</i> revelan importantes afinidades con las primeras etapas de Pomacentridae en su variedad de rangos térmicos. Embryonic and larval traits of the temperate damselfish <i>Chromis crusma</i> reveal important affinities with early stages of Pomacentridae across their variety of thermal ranges.	Se describió el desarrollo embrionario y la morfología larvaria en nidos de <i>Chromis crusma</i> en Chile central. Se estudió la longitud y el ancho de los huevos y la longitud notocordal de las larvas. El tamaño promedio de los huevos elipsoides fue similar a lo largo de 15 etapas de desarrollo. Las larvas planctónicas eclosionaron entre 5 y 11 días a 12 °C. Para evaluar posibles relaciones filogenéticas y ambientales dentro de las primeras etapas de Pomacentridae, se realizaron análisis de conglomerados en rasgos de huevos y larvas de 22 especies divididas por subfamilia y rangos térmicos, lo que sugiere que los patrones de desarrollo temprano pueden segregarse tanto por la temperatura como por las relaciones filogenéticas.

AUTOR	AÑO	LOCALIDAD	TÍTULO	RESUMEN DEL TRABAJO
C. Ruz V. Garmendia R. Muñoz- Cordovez	2021	Punta de Tralca Las Cruces Quintay	Observaciones sobre el desarrollo temprano de la doncellita de los huiros <i>Myxodes viridis</i> (Clinidae) con la primera descripción de su hábitat de desove en los bosques submareales de algas marinas (<i>Lessonia trabeculata</i>). Observations on the early development of the kelpfish <i>Myxodes viridis</i> (Clinidae) with the first description of their spawning habitat in subtidal kelp forests (<i>Lessonia trabeculata</i>).	Los sitios de desove, el desarrollo embrionario y las etapas iniciales de las larvas se describieron para <i>Myxodes viridis</i> . Las larvas recién eclosionadas presentaron ojos completamente pigmentados, una boca bien desarrollada y cambios importantes en la forma de la cabeza durante la primera semana, lo que sugiere su capacidad para alimentarse de plancton en estadios tempranos de su desarrollo larval.
R.H. Muñoz- Cordovez S.A. Carrasco F.P. Ojeda A. Pérez-Matus	2021	Las Cruces	Las tácticas de los depredadores y las densidades de presas modulan la fuerza de las interacciones tróficas en un arrecife rocoso templado. Predator tactics and prey densities modulate the strength of trophic interactions in a temperate rocky reef.	Investiga el impacto de dos depredadores (<i>Graus nigra</i> y <i>Robsonella fontaniana</i>) en una presa compartida (<i>Petrolisthes violaceus</i>) a través de experimentos manipulativos de laboratorio. Los resultados sugieren que los mecanismos que regulan los impactos de los depredadores son complejos y pueden depender de múltiples interacciones especie-específicas y factores como la densidad de presas y el comportamiento de los depredadores.
E. Delrieu- Trottin H. Hartmann- Salvo P. Saenz- Agudelo M.F. Landaeta A. Pérez-Matus	2021	Punta del Yeso Montemar Quintay El Quisco Punta de Tralca Las Cruces	El ADN concilia la morfología y la coloración del género <i>Scartichthys</i> (Teleostei: Blenniidae) y proporciona información sobre su historia evolutiva. DNA reconciles morphology and colouration in the drunkblenny genus <i>Scartichthys</i> (Teleostei: Blenniidae) and provides insights into their evolutionary history.	Compara ejemplares del género <i>Scartichthys</i> describiendo las características morfológicas, patrones de coloración y características moleculares de las cuatro especies actualmente válidas y siete patrones de color descritos. Se confirma que 3 de las 4 especies son válidas (<i>S. crapulatus</i> sinonimia de <i>S. viridis</i>). El estudio también reveló que uno de los patrones de color atribuidos a <i>S. gigas</i> es en realidad característico de las etapas juveniles de <i>S. viridis</i> . La filogenia calibrada en el tiempo mostró que el género es relativamente joven. Divergencia de <i>S. variolatus</i> 1.95 Ma y <i>S. viridis</i> y <i>S. gigas</i> 1.71 Ma.
A. Pérez-Matus A. Cea	2021	Chile continental	De la Mar: Historia natural de los peces de Chile continental.	Libro que describe las especies más comunes de la costa de Chile continental, su rol ecológico y lugares geográficos donde habitan. El libro muestra fotografías y dibujos de los autores, junto con una sección que presenta un rescate de recetas de cocina con algunas especies y recomendaciones para su consumo.
B. Bularz M. Fernández M.D. Subida E. Wieters A. Pérez-Matus	2022	Quintay	Efectos de la extracción en los bosques de algas submareales (<i>Lessonia trabeculata</i>) en el centro de Chile. Effects of harvesting on subtidal kelp forests (<i>Lessonia trabeculata</i>) in central Chile.	Se evaluó el efecto de la extracción sobre las comunidades asociadas a un bosque de macroalgas pardas de <i>Lessonia trabeculata</i> . Al cabo de dos años de monitoreo, no se observó una recuperación y las consecuencias sobre los ensambles de peces e invertebrados fueron persistentes.

AUTOR	AÑO	LOCALIDAD	TÍTULO	RESUMEN DEL TRABAJO
A. Pérez-Matus P. Naubauer J.S. Shima M. Rivadeneira	2022	Desde Coquimbo a Las Cruces	Reef fish diversity across the temperate South Pacific Ocean. Diversidad de peces de arrecifes a lo largo del Océano Pacífico del sur templado.	El estudio examinó peces de arrecife en áreas templadas del Pacífico Sur, evaluando riqueza, abundancia y diversidad funcional en diferentes escalas espaciales (región, sitio, transecto). La riqueza disminuyó de oeste a este, pero solo a gran escala. Los patrones de diversidad funcional difirieron y dependieron de la escala de análisis. Algunas provincias mostraron características funcionales distintas en sus conjuntos. En el Pacífico oriental dominaron especies planctívoras y formadoras de cardúmenes, mientras que en el oeste prevalecieron comportamientos funcionales demersales y de agrupación en pares.
C.V. Espinoza E. Hernández-Miranda H. Gilabert F.P. Ojeda	2023	Isla Negra El Tabo Las Cruces	Diferencias temporales y espaciales en una comunidad de peces intermareales en el Océano Pacífico Sur: el papel del proceso ENOS y las condiciones intrínsecas del hábitat en los patrones emergentes. Temporal and spatial dissimilarities in an intertidal fish assemblage in the South Pacific Ocean: The role of the ENSO process and intrinsic habitat conditions in emerging patterns.	A partir de 15 años de estudio, se evalúa la variación en composición de ensamble de peces de poza en las 3 localidades. Se encontraron diferencias entre eventos neutrales, El Niño y La Niña. Al evaluar las intensidades de ENSO también se observaron diferencias en el ensamble entre localidades y pozas (altas y bajas). Los cambios en la supervivencia y el crecimiento inducido por ENSO podría determinar diferencias en el ensamble, y los aumentos en la diversidad beta podrían estar asociados a los eventos de La Niña.
M.F. Landaeta C. Hernández-Santoro F.V. Search M.I. Castillo C. Bernal S.A. Navarrete E.A. Wieters R. Beldade A. Navarro Campoy A. Pérez-Matus	2023	Desde región de Atacama al BioBío.	Patrones espaciotemporales del descarte de la pesquería demersal de crustáceos en el Sistema de Corriente de Humboldt sur, basados en el programa de observadores científicos (2014-2019). Spatio-temporal patterns of the crustacean demersal fishery discard from the south Humboldt Current System, based on scientific observer program (2014-2019).	El estudio examina los patrones espaciotemporales de la fauna demersal descartada en el Sistema de Corriente de Humboldt entre 2014 y 2019, enfocándose en pesquerías de crustáceos artesanales e industriales. Se identifican tres conjuntos de especies dominantes segregadas por profundidad, variando por año y región. Se señalan cambios en la plataforma continental y variaciones en índices de diversidad alfa según profundidad y latitud. El estudio destaca la necesidad de obtener condiciones oceanográficas precisas para comprender el impacto real en la comunidad demersal durante las operaciones comerciales. Además, discute las variaciones estacionales y latitudinales en clorofila y estrés del viento, relacionadas con centros de surgencia y movimientos de masas de agua a lo largo de la costa.
A. Navarro Campoy A. Pérez-Matus E. Wieters R. Alarcón-Ireland V. Garmendia R. Beldade S.A. Navarrete M. Fernández	2023	Los Vilos Algarrobo El Quisco Las Cruces	La diversidad oculta de los arrecifes mesofóticos templados de Chile central (Océano Pacífico suroriental) evaluada a través de videos submarinos remolcados. The hidden diversity of temperate mesophotic reefs from central Chile (south-eastern Pacific Ocean) assessed through towed underwater videos.	El estudio investiga la diversidad poco explorada de ecosistemas mesofóticos templados en Chile central, revelando la distribución de peces, invertebrados y algas en profundidad. Análisis de videos subacuáticos muestra que la densidad y riqueza de peces de arrecife disminuyen con la profundidad, pero aumentan con la complejidad topográfica. Esponjas y gorgonias dominan por debajo de 20 m, braquiópodos y anémonas crecen por debajo de 40 y 60 m. La estructura de peces y la comunidad bentónica no tienen patrones claros según la profundidad en los sitios estudiados.

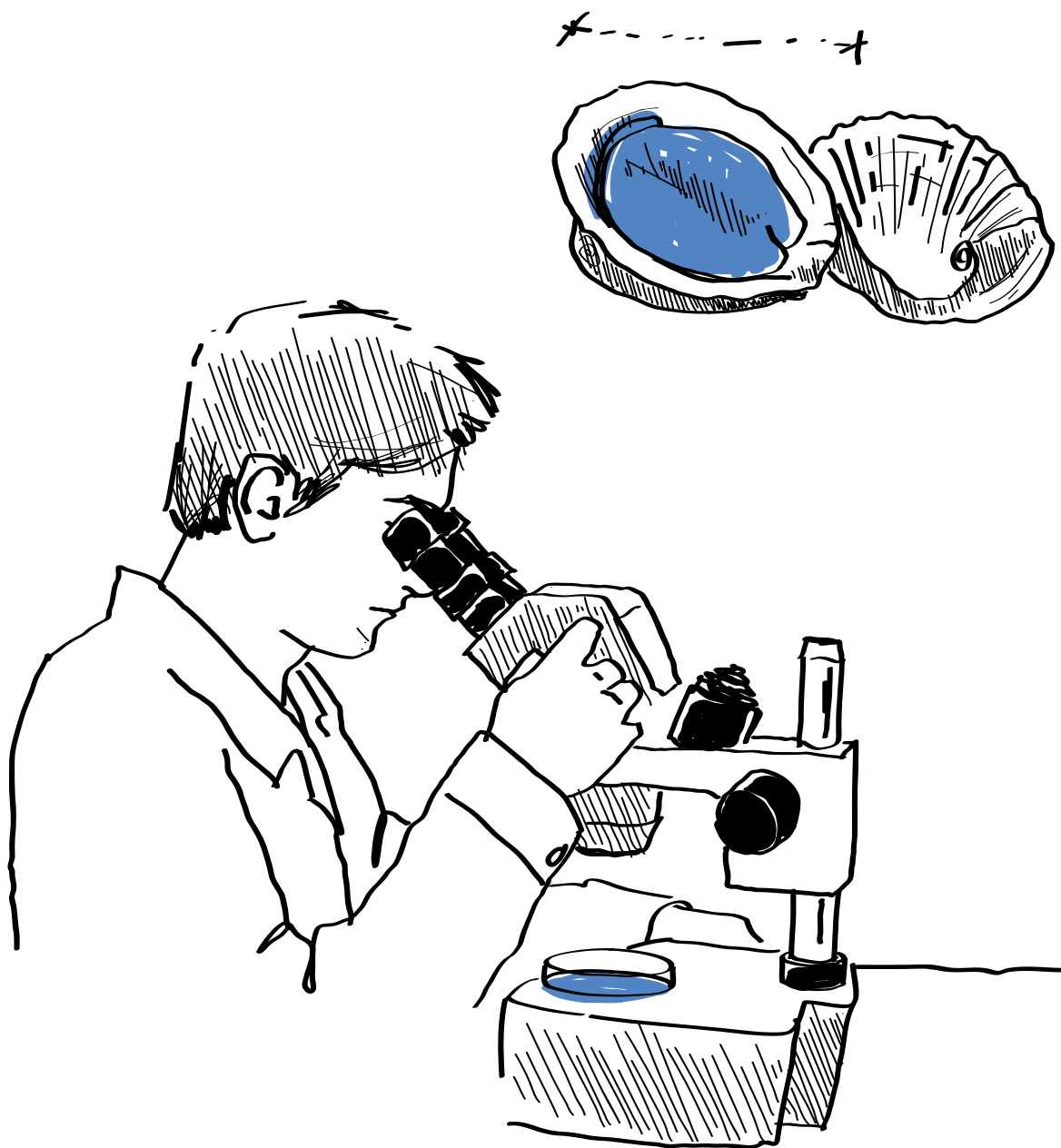
Referencias

- Bellwood, D., R. Streit, S. Brandl, and S. Tebbett.** 2018. The meaning of the term 'function' in ecology: A coral reef perspective. *Functional Ecology*.
- Bellwood, D. R., C. H. Goatley, and O. Bellwood.** 2017. The evolution of fishes and corals on reefs: form, function and interdependence. *Biological Reviews* 92:878-901.
- Bellwood, D. R., P. C. Wainwright, C. J. Fulton, and A. Hoey.** 2002. Assembly rules and functional groups at global biogeographical scales. *Functional Ecology* 16:557-562.
- Benavides, A., J. Cancino, and F. P. Ojeda.** 1994. Ontogenetic change in the diet of *Aplodactylus punctatus* (Pisces: Aplodactylidae): an ecophysiological explanation. *Marine Biology* 118:1-5.
- Boyle, K. S., and M. H. Horn.** 2006. Comparison of feeding guild structure and ecomorphology of intertidal fish assemblages from central California and central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 319:65-84.
- Cáceres, C., A. Benavides, and F. P. Ojeda.** 1993. Ecología trófica del pez herbívoro *Aplodactylus punctatus* (Pisces: Aplodactylidae) en la costa centro-norte de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 66:185-194.
- Cáceres, C., L. Fuentes, and F. P. Ojeda.** 1994. Optimal feeding strategy of the temperate herbivorous fish *Aplodactylus punctatus*: the effects of food availability on digestive and reproductive patterns. *Oecologia* 99:118-123.
- Campoy, A. N., A. Pérez-Matus, E. A. Wietters, R. Alarcón-Ireland, V. Garmendia, R. Beldade, S. A. Navarrete, and M. Fernández.** 2023. The Hidden Diversity of Temperate Mesophotic Ecosystems from Central Chile (Southeastern Pacific Ocean) Assessed through Towed Underwater Videos. *Diversity* 15.
- Cancino, J. M., and J. C. Castilla.** 1988. Emersion behaviour and foraging ecology of the common Chilean clingfish *Sicyases sanguineus* (Pisces: Gobiidae). *Journal of Natural History* 22:249-261.
- Castilla, J. C.** 1999. Coastal marine communities: trends and perspectives from human-exclusion experiments. *Trends in Ecology & Evolution* 14:280-283.
- Claudet, J., J. A. Garcia-Charton, and P. Lenfant.** 2011. Combined effects of levels of protection and environmental variables at different spatial resolutions on fish assemblages in a marine protected area. *Conserv Biol* 25:105-114.
- Delrieu-Trottin, E., H. Hartmann-Salvo, P. Saenz-Agudelo, M. F. Landaeta, and A. Pérez-Matus.** 2022. DNA reconciles morphology and colouration in the drunk blenny genus *Scartichthys* (Teleostei: Blenniidae) and provides insights into their evolutionary history. *Journal of Fish Biology* 100:507-518.
- Edgar, G. J., R. D. Stuart-Smith, F. J. Heather, N. S. Barrett, E. Turak, H. Sweatman, M. J. Emslie, D. J. Brock, J. Hicks, B. French, S. C. Baker, S. A. Howe, A. Jordan, N. A. Knott, P. Mooney, A. T. Cooper, E. S. Oh, G. A. Soler, C. Mellin, S. D. Ling, J. C. Dunic, J. W. Turnbull, P. B. Day, M. F. Larkin, Y. Seroussi, J. Stuart-Smith, E. Clausius, T. R. Davis, J. Shields, D. Shields, O. J. Johnson, Y. H. Fuchs, L. Denis-Roy, T. Jones, and A. E. Bates.** 2023. Continent-wide declines in shallow reef life over a decade of ocean warming. *Nature* 615:858-865.
- Espinoza, C., A. Camano, and R. Diaz.** 2004. Spatial and temporal comparison of copper bioaccumulation in the mussel *Aulacomya ater* (Molina) from Jorgillo location (23 degrees 45'S; 79 degrees 27'W) and Dichato location (36 degrees 32'S; 71 degrees 56'W), Chile. *Bull Environ Contam Toxicol* 73:1049-1056.
- Espinoza, C. V., E. Hernández-Miranda, H. Gilabert, and F. P. Ojeda.** 2023. Temporal and spatial dissimilarities in an intertidal fish assemblage in the South Pacific Ocean: The role of the ENSO process and intrinsic habitat conditions in emerging patterns. *Science of The Total Environment* 872:162220.
- Fernandez, M., and J. C. Castilla.** 2005. Marine Conservation in Chile: Historical Perspective, Lessons, and Challenges. *Conservation Biology* 19:1752-1762.

- Fernández, M., M. Rodríguez-Ruiz, S. Gelcich, L. Hiriart-Bertrand, and J. C. Castilla.** 2021. Advances and challenges in marine conservation in Chile: A regional and global comparison. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 31:1760-1771.
- Fernández-Cisternas, I., G. Bernardi, and A. Pérez-Matus.** 2018. Exploring molecular tools for conservation of a heavily fished species in Chile: the case of the Darwin's Sheephead". Congreso de Ciencias del Mar, Universidad Austral de Chile, Valdivia Chile
- Gelcich, S., M. Fernandez, N. Godoy, A. Canepa, L. Prado, and J. C. Castilla.** 2012. Territorial user rights for fisheries as ancillary instruments for marine coastal conservation in Chile. *Conserv Biol* 26:1005-1015.
- Gelcich, S., N. Godoy, L. Prado, and J. Castilla.** 2008. Add-on conservation benefits of marine territorial user rights fishery policies in central Chile. *Ecological Applications* 18:273-281.
- Godoy, N., S. Gelcich, J. C. Castilla, M. Lima, and A. Smith.** 2016. Artisanal spearfishery in temperate nearshore ecosystems of Chile: exploring the catch composition, revenue, and management needs. *Marine and coastal fisheries* 8:436-447.
- Godoy, N., S. Gelcich, J. A. Vásquez, and J. C. Castilla.** 2010. Spearfishing to depletion: evidence from temperate reef fishes in Chile. *Ecological Applications* 20:1504-1511.
- Grorud-Colvert, K., J. Sullivan-Stack, C. Roberts, V. Constant, E. C. B. Horta, E. P. Pike, N. Kingston, D. Laffoley, E. Sala, J. Claudet, A. M. Friedlander, D. A. Gill, S. E. Lester, J. C. Day, E. J. Goncalves, G. N. Ahmadi, M. Rand, A. Villagomez, N. C. Ban, G. G. Gurney, A. K. Spalding, N. J. Bennett, J. Briggs, L. E. Morgan, R. Moffitt, M. Deguignet, E. K. Pikitch, E. S. Darling, S. Jessen, S. O. Hameed, G. Di Carlo, P. Guidetti, J. M. Harris, J. Torre, Z. Kizilkaya, T. Agardy, P. Cury, N. J. Shah, K. Sack, L. Cao, M. Fernandez, and J. Lubchenco.** 2021. The MPA Guide: A framework to achieve global goals for the ocean. *Science* 373:eabf0861.
- Hixon, M. A.** 2011. 60 Years of Coral Reef Fish Ecology: Past, Present, Future. *Bulletin of Marine Science* 87:727-765.
- Leis, J. M.** 2002. Pacific Coral-reef Fishes: The Implications of Behaviour and Ecology of Larvae for Biodiversity and Conservation, and a Reassessment of the Open Population Paradigm. *Environmental Biology of Fishes* 65:199-208.
- Leis, J. M., B. M. Carson-Ewart, A. C. Hay, and D. H. Cato.** 2003. Coral-reef sounds enable nocturnal navigation by some reef-fish larvae in some places and at some times. *Journal of Fish Biology* 63:724-737.
- Mansur, L. E., G. Plaza, M. F. Landaeta, and F. P. Ojeda.** 2014. Planktonic duration in fourteen species of intertidal rocky fishes from the south-eastern Pacific Ocean. *Marine and Freshwater Research* 65:901-909.
- Nathan, R., W. M. Getz, E. Revilla, M. Holyoak, R. Kadmon, D. Saltz, and P. E. Smouse.** 2008. A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *Proc Natl Acad Sci U S A* 105:19052-19059.
- Navarrete, A. H., N. A. Lagos, and F. P. Ojeda.** 2014. Latitudinal diversity patterns of Chilean coastal fishes: searching for causal processes. *Revista Chilena de Historia Natural* 87:1-11.
- Navarrete-Fernández, T., M. F. Landaeta, C. Bustos, and A. Perez-Matus.** 2014. Nest building and description of parental care behavior in a temperate reef fish, *Chromis crasma* (Pisces: Pomacentridae). *Revista Chilena de Historia Natural* 87:30.
- Nelson, J. S.** 1994. *Fishes of the world*. 3 edition. Wiley Interscience, New York.
- Ojeda, F. P., and C. W. Cáceres.** 1995. Digestive mechanisms in *Aplodactylus punctatus* (Valenciennes): a temperate marine herbivorous fish. *Marine Ecology Progress Series* 118:37-42.
- Pequeño, G.** 1989. *Peces de Chile*. Lista sistemática revisada y comentada. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 24:1-132.

- Pequeño, G.** 1997. Peces de Chile. Lista sistemática revisada y comentada: addendum. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 32:77-94.
- Pequeño, G., and J. Lamilla.** 2000. The littoral fish assemblage of the Desventuradas Islands (Chile) has zoogeographical affinities with the Western Pacific. *Global Ecology and Biogeography* 9:431-437.
- Pérez-Matus, A., S. Carrasco, S. Gelcich, M. Fernandez, and E. Wieters.** 2017a. Exploring the effects of fishing pressure and upwelling intensity over subtidal kelp forest communities in Central Chile. *Ecosphere* 8:e01808.
- Pérez-Matus, A., and A. Cea.** 2021. De La Mar: Historia natural de los peces de Chile continental Ediciones Universidad Católica de Chile Santiago, Chile.
- Pérez-Matus, A., L. A. Ferry, A. Cea, and J. A. Vásquez.** 2007. Community structure of temperate reef fishes in kelp-dominated subtidal habitats of northern Chile. *Marine and Freshwater Research* 58:1069-1085.
- Pérez-Matus, A., P. Neubauer, J. S. Shima, and M. M. Rivadeneira.** 2022. Reef Fish Diversity Across the Temperate South Pacific Ocean. *Frontiers in Ecology and Evolution* 10.
- Pérez-Matus, A., A. Ospina-Alvarez, P. A. Camus, S. A. Carrasco, M. Fernandez, S. Gelcich, N. Godoy, F. P. Ojeda, L. M. Pardo, N. Rozbaczylo, M. D. Subida, M. Thiel, E. A. Wieters, and S. A. Navarrete.** 2017b. Temperate rocky subtidal reef community reveals human impacts across the entire food web. *Marine Ecology Progress Series* 567:1-16.
- Perez-Matus, A., S. Pledger, F. J. Díaz, L. A. Ferry, and J. A. Vásquez.** 2012. Plasticity in feeding selectivity and trophic structure of kelp forest associated fishes from northern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 85:29-48.
- Pérez-Matus, A., F. Sánchez, J. C. González-But, and R. W. Lamb.** 2016. Underscored algae associations and predation risk influence broad-scale kelp habitat use in a temperate reef fish. *Marine Ecology Progress Series* 559:147-158.
- Pinsky, M. L., P. Saenz-Agudelo, O. C. Sallés, G. R. Almany, M. Bode, M. L. Berumen, S. Andrefouet, S. R. Thorrold, G. P. Jones, and S. Planes.** 2017. Marine Dispersal Scales Are Congruent over Evolutionary and Ecological Time. *Curr Biol* 27:149-154.
- Planes, S., G. P. Jones, and S. R. Thorrold.** 2009. Larval dispersal connects fish populations in a network of marine protected areas. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106:5693-5697.
- Pulgar, J., M. Alvarez, J. Morales, M. Garcia-Huidobro, M. Aldana, F. P. Ojeda, and V. M. Pulgar.** 2011. Impact of oceanic upwelling on morphometric and molecular indices of an intertidal fish *Scartichthys viridis* (Blenniidae). *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 44:33-42.
- Pulgar, J., F. Bozinovic, and F. P. Ojeda.** 1999. Behavioral thermoregulation in the intertidal fish *Girella laevis* (Kyphosidae): the effect of starvation. *Marine & Freshwater Behaviour & Physiology* 32:27-38.
- Pulgar, J., P. Lagos, D. Maturana, M. Valdes, M. Aldana, and V. M. Pulgar.** 2015. Effect of UV radiation on habitat selection by *Girella laevis* and *Girella nigricans* (Kyphosidae). *J Fish Biol.*
- Pulgar, J. M., M. Aldana, F. Bozinovic, and F. P. Ojeda.** 2003. Does food quality influence thermoregulatory behavior in the intertidal fish *Girella laevis*? *Journal of Thermal Biology* 28:539-544.
- Pulgar, J. M., F. P. Ojeda, and F. Bozinovic.** 2006. Intraspecific geographic and seasonal physiological variability in an intertidal fish, *Girella laevis*, along a climatic gradient. *Journal of Fish Biology* 68:975-981.

- Quijada, P. A., and C. W. Cáceres.** 2000. Patrones de abundancia, composición trófica y distribución espacial del ensamble de peces intermareales de la zona centro-sur de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 73:739-747.
- Ramírez, F., A. Pérez-Matus, T. D. Eddy, and M. F. Landaeta.** 2013. Trophic ecology of abundant reef fish in a remote oceanic island: coupling diet and feeding morphology at the Juan Fernandez Archipelago, Chile. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 93:1457-1469.
- Rassweiler, A., C. Costello, and D. A. Siegel.** 2012. Marine protected areas and the value of spatially optimized fishery management. *Proc Natl Acad Sci U S A* 109:11884-11889.
- Ruz, C. S., A. F. Muth, F. Tala, and A. Pérez-Matus.** 2018. The herbivorous fish, *Aplodactylus punctatus*, as a potential facilitator of dispersal of kelp, *Lessonia trabeculata*, in Chile. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 500:112-119.
- Sadovy, Y.** 2005. Trouble on the reef: the imperative for managing vulnerable and valuable fisheries. *Fish and Fisheries* 6:167-185.
- Sáez, S., and G. Pequeño.** 2009. Clave taxonómica, actualizada, ilustrada y comentada de los peces de la familia Labrisomidae de Chile (Perciformes, Blennioidei). *Gayana (Concepción)* 73:130-140.
- Sale, P. F.** 1977. Maintenance of High Diversity in Coral Reef Fish Communities. *The American Naturalist* 111:337-359.
- Sale, P. F., P. J. Doherty, G. J. Eckert, W. A. Douglas, and D. J. Ferrell.** 1984. Large scale spatial and temporal variation in recruitment to fish populations on coral reefs. *Oecologia* 64:191-198.
- Shepherd, B., H. T. Pinheiro, T. Phelps, A. Pérez-Matus, and L. A. Rocha.** 2019. *Luzonichthys kiomeamea* (Teleostei: Serranidae: Anthiadinae), a new species from a mesophotic coral ecosystem of Rapa Nui (Easter Island). *Journal of the Ocean Science Foundation* 33:17-27.
- Shepherd, B., H. T. Pinheiro, T. A. Y. Phelps, A. Pérez-Matus, and L. A. Rocha.** 2021. *Pseudanthiashangapiko*, a new anthiadine serranid (Teleostei, Serranidae, Anthiadinae) from Rapa Nui (Easter Island). *Zookeys* 1054:1-13.
- Varas, E., and F. P. Ojeda.** 1990. Intertidal Fish Assemblages of the Central Chilean Coast: Diversity, Abundance and Trophic Patterns. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 25:59-70.
- Villéger, S., S. Brosse, M. Mouchet, D. Mouillot, and M. J. Vanni.** 2017. Functional ecology of fish: current approaches and future challenges. *Aquatic Sciences* 79:783-801.
- Watson, D. L., E. S. Harvey, M. J. Anderson, and G. A. Kendrick.** 2005. A comparison of temperate reef fish assemblages recorded by three underwater stereo-video techniques. *Marine Biology* 148:415-425.
- Wieters, E. A., A. Medrano, and A. Perez Matus.** 2014. Functional community structure of shallow hard bottom communities at Easter Island (Rapa Nui). *Latin American Journal of Aquatic Research* 42:827-844.
- Winkler, N. S., A. Pérez-Matus, Á. A. Villena, and M. Thiel.** 2017. Seasonal variation in epifaunal communities associated with giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) at an upwelling-dominated site. *Austral Ecology* 42:132-144.



10.7. Ecología de larvas y primeros estadios del ciclo de vida de invertebrados marinos

PATRICIO MANRÍQUEZ

El estudio de las historias de vida de invertebrados y macroalgas marinas estuvo en el corazón de ECIM desde sus inicios e inspiró los primeros proyectos de investigación que permitieron construir la infraestructura de los laboratorios. Aunque la historia de vida de un organismo es indivisa, por diversas razones, el estudio de las distintas etapas se ha realizado tradicionalmente por separado. En ECIM también se han abordado de manera complementaria pero distintiva los distintos aspectos de la historia de vida de invertebrados. En este capítulo relato los estudios realizados en ECIM sobre las primeras etapas del desarrollo de invertebrados marinos, sus estadios larvales, los cuales, más allá de su descripción con fines taxonómicos, intentaban entender aspectos básicos de la ecología larval. En el siguiente capítulo, la profesora Miriam Fernández relata el desarrollo de estudios de la reproducción en invertebrados, centrado en el cuidado parental que precede la producción de larvas viables.

Siendo estudiante (1984-1990) de Licenciatura en Ciencias Biológicas en UC, la importancia del estudio de la ecología larval y de los estadios tempranos del ciclo de vida de organismos marinos para el entendimiento del funcionamiento de ecosistemas marinos era tratada en cursos impartidos por diferentes académicos y académicas, como Juan Carlos Castilla y Juan Cancino, en invertebrados marinos, y Alicia Hoffman y Bernabé Santelices en macroalgas.

Para los que nos formábamos en la UC como científicos con inclinaciones marinas, inicialmente disponíamos, en el primer piso de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UC, de una pequeña sala con temperatura controlada y agua de mar recirculante que se traía a intervalos regulares desde ECIM. Los más afortunados, incorporados como estudiantes

asociados a algunos de nuestros maestros, tuvimos la suerte de realizar visitas de investigación a la ECIM los fines de semana o más prolongadas durante las vacaciones de invierno o verano. En mi caso particular, pasé de colaborador-estudiante del equipo del profesor Juan Cancino a colaborador-estudiante, asistente de investigación, postdoctorante y coinvestigador del profesor J. C. Castilla. El hilo conductor de mis investigaciones fue, y sigue siendo, el estudio de estadios tempranos y los ciclos de vida de invertebrados marinos. En este capítulo, exploro los inicios, el desarrollo algunos hallazgos relevantes, y la evolución de dichos estudios, destacando los legados de esta línea de investigación en el país.

Los inicios

Mucha de la investigación pionera en ECIM estuvo centrada en estudios de campo tendientes a describir y entender los patrones estructurales y dinámicos de estadios adultos de especies de invertebrados marinos y macroalgas explotados por mariscadores de orilla: loco (*Concholepas concholepas*), erizo rojo (*Loxechinus albus*), cochayuyo (*Durvillaea antarctica*); especies depredadoras: sol de mar (*Heliaster helianthus*) y competidores dominantes, como el chorito maico (*Perumytilus purpuratus*), y ensambles de cirrípedos. El foco era la zona intermareal y submareal rocosa somera. Los laboratorios para trabajos con larvas y estadios tempranos eran muy básicos, pero habían sido construidos por el proyecto IDRC-Canadá pensando en cultivos de especies comerciales (ver capítulo III. Historia de un sueño). Esta infraestructura básica fue utilizada ingeniosamente y con éxito para poder trabajar con estadios larvales. En la medida que la infraestructura de los laboratorios fue modernizándose (sistemas de filtración de agua de mar, es-

tanques y acceso a cultivo de microalgas) y se comenzó a formar investigadores en biología larval y de estadios tempranos de invertebrados marinos, los estudios fueron también cada vez más avanzados.

Desde mediados de la década de 1980 hasta la década de 2000, los estudios larvales estaban centrados en especies modelo y así los presentaré aquí.

Loxechinus albus (erizos rojos)

Los primeros cultivos exitosos de larvas del erizo comestible en Chile se habían desarrollado en el laboratorio de Montemar, entonces perteneciente a la Universidad de Chile (Arrau, 1958). En ECIM, esta especie de erizo fue el primer modelo biológico en que se manipularon gametos para obtener, en condiciones controladas de laboratorio, larvas y se cultivaron hasta obtener pequeños juveniles postmetamorfosis. Estos trabajos estuvieron a cargo de Laura González y contaron con la participación de Chita Guisado, y formaron parte del proyecto IDRC-Canadá, que se relata en la historia temprana de ECIM. Entre 1984 y 1985 se describió el efecto de las dietas y la temperatura sobre el éxito de la metamorfosis y sobrevivencia temprana de los pequeños postmetamórficos de *L. albus* (González et al., 1987).

Concholepas concholepas (locos)

Junto con los estudios en *L. albus*, esfuerzos experimentales en reproducción y biología larval se realizaron con *C. concholepas*, la especie de molusco de mayor valor comercial para la pesquería artesanal de Chile. Como esta es una especie con sexos separados y fecundación interna, la aproximación fue diferente a la utilizada con el erizo. Varias docenas de ejemplares adultos de locos fueron obtenidos desde la naturaleza y mantenidos en los acuarios de agua circulante de ECIM. Estos ejemplares reproductores dieron continuidad a las primeras observaciones realizadas en los acuarios cerrados de Santiago por los profesores J. C. Castilla y Juan Cancino y permitieron describir la conducta de apareamiento y postura de cápsulas de las hembras de

loco (Castilla y Cancino, 1976). Por otra parte, el trabajo desarrollado en ECIM con locos reproductores, a cargo de René Duran y J. C. Castilla, permitió generar información sobre la fecundidad de *C. concholepas* en condiciones de cautiverio bajo alimentación y condiciones ambientales controladas (Durán y Castilla, 1988). Años más tarde, con propósitos de investigación, yo heredaría los especímenes reproductores que sobrevivieron a esta experiencia inicial.

En 1989, con financiamiento Fondecyt-Sectorial Loco (los primeros proyectos asociativos de Conicyt), se iniciaron investigaciones sobre la reproducción y ya más intensivamente sobre la biología y ecología de los primeros estadios larvales del loco, construyendo sobre los estudios propios y los del Dr. Carlos Gallardo, de la Universidad Austral de Chile (Gallardo, 1973). El profesor Castilla dirigió este proyecto y lideró a un grupo de jóvenes investigadores, ávidos de aprender cada día más sobre los invertebrados marinos. La investigación incluía documentar y entender de mejor forma la postura de cápsulas por hembras de locos, tanto en el laboratorio como en la naturaleza, cuantificar los patrones de distribución de los organismos y la abundancia de sus larvas en el océano cercano, así como localizar y describir los hábitats naturales de asentamiento de dichas larvas. En este proyecto participaron varios investigadores a los que se les rinde agradecimiento en la sección Nuestro legado.

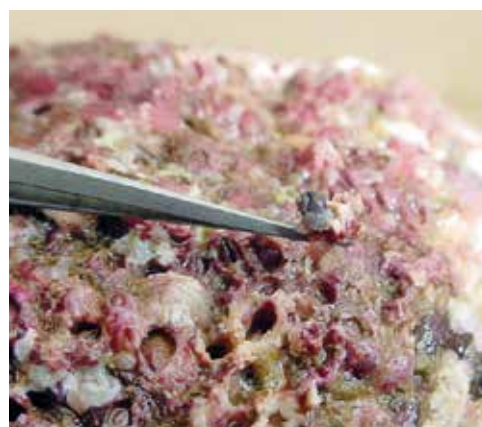
La visionaria hipótesis de trabajo planteada por Castilla y Pablo Schmiede en 1979 postulaba la potencial importancia ecológica y pesquera que jugaban las áreas costeras protegidas (o inaccesibles para la intervención humana) a lo largo de la costa chilena, como fuentes de larvas para repoblar sectores explotados. El supuesto subyacente era que los aumentos en la densidad y el tamaño de los locos en una población poco explotada incrementarían el potencial reproductivo de dicha especie. Con esta idea en mente, Castilla incluyó como uno de los objetivos del proyecto Fondecyt-Sectorial Loco el levantar evidencia empírica para sustentar esta hipótesis, utilizando la zona intermareal del área de exclusión humana



**LOCO HEMBRA
DEPOSITANDO
CÁPSULAS**
portadoras de
embriones/larvas en
un acuario de ECIM.



VISTA LATERAL
de grupo de
cápsulas de loco.



**PEQUEÑO
LOCO POST-
METAMÓRFICOS**
extraído desde
la concha de un
ejemplar adulto.

de ECIM como un laboratorio natural, sin intervención humana. En los roqueríos de ECIM y zonas aledañas explotadas se iniciaron (entre 1990 y 1994) muestreos sistemáticos para cuantificar las agrupaciones reproductivas de adultos, tanto en la zona intermareal como submareal.

Luego de graduarme de licenciado en Ciencias Biológicas (1990), afortunadamente fui reclutado en este proyecto Fondecyt-Sectorial Loco y me mudé a Las Cruces en el verano de 1991. Los roqueríos intermareales de la concesión de ECIM y submareales del Área de Manejo de Caleta El Quisco (ver capítulo sobre las AMERB) fueron considerados como zonas cerradas o parcialmente cerradas a la extracción del loco. La Dra. Doris Oliva me mostró en terreno dónde potencialmente las hembras de *C. concholepas* deposita-

ban sus cápsulas en la zona baja del intermareal rocoso muy expuesto al oleaje, y se inició un monitoreo de largo aliento sobre la magnitud y temporalidad de las agrupaciones reproductivas de locos, la cantidad y tamaños de las cápsulas depositadas. Junto a Armando Rosson y varios investigadores a los que se les rinde agradecimiento en la sección Legado de ECIM, hicimos estos seguimientos. Los resultados generaron la primera evidencia empírica en Chile sobre el aporte de sectores cerrados a la extracción de *C. concholepas* como fuentes de larvas del loco y su posible rol en la repoblación de zonas abiertas a la pesquería (Manríquez and Castilla, 2001).

Una vez que me mude a ECIM, los reproductores de *C. concholepas* utilizados anteriormente por René Durán y J.



VISTA LATERAL (IZQUIERDA) Y DESPLEGANDO NATACIÓN (DERECHA) de larva competente de loco recolectada en El Quisco.



C. Castilla, quedaron a mi cargo y permanecieron en los laboratorios de ECIM durante más de una década cumpliendo el rol de reproductores para la obtención de cápsulas y larvas para futuros experimentos. Con el apoyo de J. Cancino y J. C. Castilla, y una beca del Natural Environment Research Council (NERC), desarrollé mi doctorado en la Universidad de Gales, en Bangor, Reino Unido (1996-2000). Durante el lapso en que desarrollé mi doctorado, fue Iván Albornoz, nuestro querido auxiliar y colaborador de ECIM, quien cuidó a estos ejemplares, los que fueron nuevamente utilizados para obtener larvas luego de mi retorno a Chile el 2001. El año 2005, todos los ejemplares fueron liberados al ambiente natural. ¡Ya habían aportado con lo suyo!

Los primeros esfuerzos para identificar dónde y cuándo las larvas pelágicas competentes (cercanas al asentamiento) de *C. concholepas* se encontraban en la columna de agua de la zona costera se iniciaron en 1989. A través de un minucioso estudio de laboratorio, el profesor Louis DiSalvo (1988), de la Universidad Católica del Norte en Coquimbo, cultivó larvas de loco y las comparó con larvas recolectadas desde el plancton superficial (neuston) en aguas costeras. Con esta información, Alejandro Abarca confeccionó una red de

plancton superficial similar a la usada por DiSalvo para recolectar las larvas competentes de *C. concholepas* desde botes artesanales en la zona central de El Quisco y Las Cruces. Luego de un año de trabajo, las capturas de larvas fueron extremadamente bajas y no permitieron caracterizar la temporalidad en el plancton, ni obtener larvas para experimentos de laboratorio. Después de este fracaso no nos rendimos, continuamos la búsqueda de larvas en el plancton entre 1990 y 1996 y nuevamente entre 2001 y 2004. Cuando J. C. Castilla me entrevistó para liderar este nuevo aspecto del proyecto, me hizo dos preguntas; si tenía experiencia previa en embarcaciones y si me mareaba. Mentí en ambas y pagué las consecuencias hasta que aprendí a controlar el mareo. Para desarrollar los estudios de campo intensivos buscando larvas de locos, se decidió adquirir un bote de pescadores en Las Cruces, el REMA II, que fue posteriormente trasladado y fondeado en la Caleta El Quisco. Los muestreos de larvas de locos también se realizaron en Quintay con la colaboración de Armando Rosson y Marco Méndez, utilizando el bote REMA I, que también fue adquirido por el proyecto.

Debido a la escasa información disponible para la identificación de las larvas competentes de loco, parte del trabajo

inicial implicó remover todos los organismos con apariencia de larva de gasterópodos desde las muestras de plancton, asignarlas a recipientes con agua de mar e inducir el asentamiento sobre pequeñas piedras con cirrípedos. La comparación de la morfología y apariencia de los pequeños postmetamórficos así generados con la de pequeños ejemplares de loco registrados en la zona intermareal rocosa constituyó la única y tediosa manera a través de la cual se sentaron las bases para identificar inequívocamente larvas competentes de *C. concholepas*. Los primeros registros fotográficos y en color de estas larvas y los postmetamórficos del loco, aún usados como referencia, provienen de este periodo. La ayuda de los pescadores de Caleta El Quisco y Quintay, entre ellos Remigio Veas, Miguel Ramírez, Francisco Ceballos y Hugo Sandoval, fue clave en el éxito de la búsqueda de larvas competentes de loco.

Al inicio de los estudios con larvas de loco en el plancton, se descubrió que estas larvas tenían la particular capacidad de adherirse a los sustratos que flotaban en la superficie del agua de mar, observación que concordaba con mayores abundancias de larvas en sectores de la costa donde se concentran las líneas de convergencia superficiales (“slicks”), y que los pescadores conocen como “aguajes”. Esto permitió maximizar las colectas de larvas competentes de loco tanto en Chile central como posteriormente en Antofagasta. Una vez identificado el hábitat en donde se encontraban las larvas competentes y la ventana temporal de mayores abundancias, fue posible diseñar e implementar los primeros experimentos de laboratorio con larvas competentes de locos y también iniciar estudios sobre las condiciones oceanográficas que modulaban su distribución a lo largo de la costa, como los liderados por Sergio Navarrete, Elie Poulin y muchos otros que se describen en el capítulo 10.5. Oceanografía ecológica costera.

Fruto de estos trabajos fue posible describir en ECIM los ritmos de natación de las larvas de loco competentes, la asociación positiva entre abundancia larval y el material flotante en la superficie del mar (tigmotaxis) y el rol de la presencia

de presas bentónicas naturales (mitílidos y cirrípedos) en la cesación de la natación larval e inicio del asentamiento (Manríquez y Castilla, 2011). Estos trabajos también permitieron levantar evidencia empírica de la relación entre la abundancia de larvas competentes de *C. concholepas* y los vientos de componentes norte-sur, y así generar un modelo para explicar el transporte o asentamiento de estas larvas en sectores costeros (Poulin *et al.*, 2002a,b). Los estudios complementaron los trabajos liderados por Carlos Moreno (Universidad Austral de Chile) con primeros estadios de locos en la costa de Valdivia (Moreno *et al.*, 1998). De este modo, se pudo concluir que el transporte de larvas competentes del loco desde mar abierto y la presencia de asentados recientes en la zona intermareal se asociaba al arrastre por vientos dirigidos hacia la costa y el asentamiento se asocia con hábitats que exhiben mayores abundancias de sus principales presas, choritos y cirrípedos, que gatillan la metamorfosis y favorecen la sobrevivencia durante los primeros días de vida bentónica de esta especie.

Otro de los desafíos del Fondecyt-Sectorial Loco fue investigar las preferencias de alimentación y tasas de crecimiento de pequeños juveniles de *C. concholepas* (< 3 cm; Méndez y Cancino, 1990). La incapacidad de poder identificar y coleccionar ejemplares de menor tamaño antes de la década de 1990 habían impedido desarrollar estas temáticas en ejemplares más cercanos a las tallas de asentamiento y metamorfosis (ca. 1,8 mm) y la mayoría de los trabajos de terreno caracterizaba los hábitos de los “reclutas” de locos de más de 3-4 cm, que claramente ya eran juveniles. Los primeros pasos dados en ECIM fueron la base de estudios entonces que permitieron estudiar los hábitats naturales de asentamiento de juveniles de *C. concholepas*, y su crecimiento bajo distintas dietas. Más adelante y gracias a otras fuentes de financiamiento, se investigó el rol de los ensambles de cirrípedos y el de aquellos existentes sobre las conchas de ejemplares adultos de *C. concholepas*, en facilitar el asentamiento de larvas competentes. Debido a la presencia de pequeños asentados de locos en conchas de locos adultos, este estu-



**PEQUEÑOS LOCOS
CON PATRONES
DE COLORACIÓN
CONTRASTANTES**
(oscuros, claros y
mixtos) obtenidos
en condiciones
de laboratorio al
manipular su dieta
(choritos, cirripedos y
ambas presas).



**PEQUEÑOS
JUVENILES DE
LOCOS CRECIDOS**
en ECIM y El Quisco
a partir de larvas
competentes.



RED DE PLANCTON
utilizada para
recolectar larvas de
loco en El Quisco.

dio recomendó el retorno al agua de las conchas de *C. concholepas*, luego de las extracciones y procesamiento, ya que éstas representan un hábitat de asentamiento y soporte de los primeros estadios (Manríquez *et al.*, 2004). Años más tarde, al criar locos desde larvas competentes o desde locos rescatados desde las conchas de adultos, descubriríamos, con María Elisa Jara y Alejandro Delgado, que luego de un poco más de un año los locos alcanzan tamaños de 3-4 cm, se reproducen y depositan cápsulas con huevos viables (Manríquez *et al.*, 2008).

Las recolectas de larvas de loco permitieron además investigar características de su alimentación en condiciones de laboratorio (Vargas *et al.*, 2006) e iniciar estudios de señales químicas natales o de origen y anillos de crecimiento presentes en los estatolitos de larvas y pequeños locos. Gracias a un proyecto Fondecyt, estos últimos estudios evaluaron la posibilidad de investigar distancias de dispersión larval basado en el análisis de estructuras sólidas larvales (estatolitos y conchas) (Zacherl *et al.*, 2003; Manríquez *et al.*, 2012). Posteriormente, investigué junto a J. C. Castilla, María Elisa Jara y Nelson Lagos el patrón de coloración de pequeños “asentados” tempranos de *C. concholepas*. Esto se complementó y comparó con los patrones de coloración de la concha de pequeños locos asentados generados a partir de larvas competentes recolectadas en la naturaleza, forzadas a asentarse en condiciones de laboratorio en presencia de presas de coloración contrastante (i.e., choritos -presas oscuras- y cirrípedos -presas claras-). Este estudio concluyó que la coloración de los locos recién asentados es similar a las presas que consumen; confiriéndoles además una marcada coloración críptica, que podría funcionar como camuflaje al potencial ataque de depredadores visuales (Manríquez *et al.*, 2009).

El conocimiento ganado en ECIM en las décadas de 1990 y principios de los 2000 abrió oportunidades para futuros estudios de esta importante especie comercial en Chile. En un trabajo reciente, Manríquez y Castilla (2021) presenta una revisión exhaustiva del conocimiento biológico y ecológico actual que tenemos del

loco, y las potencialidades para su cultivo comercial o para repoblamiento. Mucho de ese conocimiento fue desarrollado en los laboratorios de ECIM.

Briozoos

Las colonias de briozoos fueron uno de los primeros modelos biológicos utilizados en ECIM para investigar estrategias reproductivas, ciclos de liberación larval y comportamiento de natación, éxito y retraso en el asentamiento larval. Estos estudios estuvieron liderados por Juan Cancino, quien tras finalizar en 1983 su doctorado en la Universidad de Gales (Bangor, Reino Unido), se reintegró a la UC como profesor asistente y trajo consigo la experiencia para trabajar con estas colonias de organismos. Estos estudios fueron pioneros en Chile y atrajeron un gran número de investigadores jóvenes, incluyendo a quien suscribe.

Para realizar observaciones de largo plazo con colonias de briozoos en condiciones naturales, se diseñó una estructura de madera de gran tamaño que se sumergió en el canalón donde se encontraba la toma de agua de los laboratorios de ECIM, al interior del área de Concesión. Durante el desarrollo de este proyecto, se llevó a cabo en 1990 la segunda visita del Dr. Roger Hughes (tutor de tesis de doctorado de J. Cancino y posteriormente de quien suscribe). Junto a él, implementamos en ECIM un innovador sistema eléctrico-mecánico para investigar el ciclo de liberación de larvas de briozoos desde colonias sexualmente maduras que nos permitía seguimientos horarios. En su visita, Roger también dictó un curso sobre estrategias reproductivas en invertebrados marinos. Unos meses más tarde, Claudio Ramírez viajó a Bangor para una estancia científica con el fin de estudiar las señales de liberación y el comportamiento de las larvas de briozoos. En 1992, Juan Cancino se trasladó a la Universidad Católica de la Santísima Concepción, donde inicialmente ocupó el cargo de decano de la Facultad de Ciencias y más tarde el de rector de esa casa de estudios. Como resultado, la línea de investigación que se había desarrollado entre 1983 y 1989 llegó a su fin en ECIM.

En 1994, con el importante apoyo de J. C. Castilla, fui becado para participar en el curso “Desarrollo embrionario y ecología larval”, dictado por Richard Strathmann y Michael G. Hadfield en Friday Harbor Laboratory, University of Washington, Estados Unidos. Formalmente, fui el primer investigador de ECIM que realizó un entrenamiento en ecología larval y manejo de primeros estadios del ciclo de vida de invertebrados marinos. Los doctores Megumi y Richard Strathmann visitarían ECIM el año 2021 en el marco del primer curso internacional sobre biología del desarrollo y ecología larval en Chile. Este curso fue organizado por Miriam Fernández y contó con la participación de estudiantes avanzados de ciencias del mar de Chile y Argentina.

Argopecten purpuratus (ostiones)

En el marco de un proyecto liderado por J. C. Castilla y financiado conjuntamente por la Pontificia Universidad Católica de Chile y la Pesquera San José, se realizaron estudios con el objetivo de desarrollar el cultivo piloto intensivo y semiindustrial de larvas de *Argopecten purpuratus*. Se realizaron modificaciones en parte de los laboratorios de agua de mar de ECIM (1991-1994) y se formó un equipo de trabajo conformado por dos investigadores que regresaron a ECIM después de obtener sus doctorados en España, Iker Uriarte y Ana Fariás, además de tres jóvenes investigadores con especialidad en cultivos marinos: Alejandro Abarca, Quintín Medina y Jorge Fierro.

Aunque este proyecto tuvo un enfoque productivo, también permitió la generación de artículos científicos orientados a optimizar el cultivo de esta especie; por ejemplo, sobre la energética larval y postlarval (Fariás *et al.*, 1998) y el uso de antibióticos para reducir la mortalidad en el cultivo de larvas (Uriarte *et al.*, 2001) y juveniles (Fierro y Oliva, 2009).

Pyura chilensis y *Pyura praeputialis* (piures)

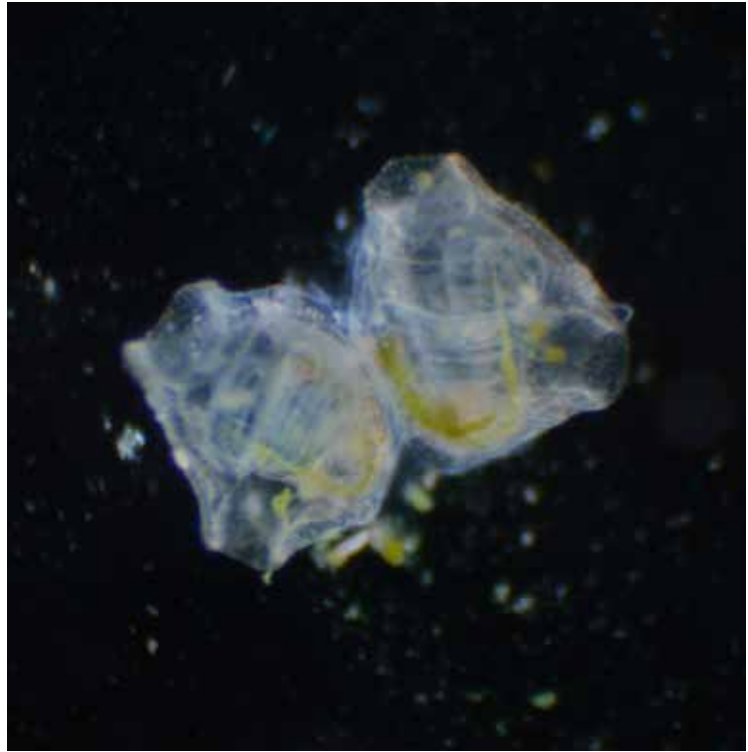
En el año 2001, y en el marco de un proyecto postdoctoral con J. C. Castilla (Proyecto Fondecyt 3020035; 2002-2005), me

propuse el desafío de estudiar características gaméticas y larvales para ayudar a comprender los patrones de distribución y abundancia de tunicados. Entre las especies se seleccionaron dos especies de tunicados (piures) explotados en las costas de Chile: *Pyura chilensis* y *Pyura praeputialis*. Los trabajos de Cea (1969; 1973), y Clarke *et al.* (1999) fueron fundamentales para iniciar mi trabajo.

El primer desafío fue implementar en ECIM un laboratorio que permitiera mantener en cautiverio ejemplares de ambas especies. Paralelamente, fue necesario reinstalar un laboratorio para el cultivo de microalgas para asegurar la alimentación de los ejemplares mantenidos en cautiverio. El desafío experimental fue más complejo para *P. praeputialis*, debido a que en Chile esta especie sólo habita en Antofagasta y en consecuencia se debió transportar rutinariamente ejemplares en avión y bus hasta ECIM y diseñar un sistema de mantención aislado que evitara el vertimiento del agua de mar de los estanques experimentales al medio marino. Una vez superados estos aspectos logísticos, publicamos con J. C. Castilla una serie de trabajos relacionados con características de los gametos y larvas de estas dos especies en relación con sus patrones de distribución y abundancia en la naturaleza (Castilla *et al.*, 2007; Manríquez *et al.*, 2005, 2007). Estos estudios fueron pioneros en Chile y en ellos participó como importante apoyo María Elisa Jara. Cabe destacar que el descubrimiento de la formación de espuma para facilitar la fertilización en *P. praeputialis* (en la naturaleza y en el laboratorio) ocurrió en el marco de este proyecto.

Cirrípedos

Los patrones de asentamiento de los ensamblajes de cirrípedos sobre sustratos naturales en la zona intermareal rocosa se han desarrollado en asociación con ECIM desde muy temprano. Como en otras partes del mundo, este grupo de organismos se han usado en ECIM como especies modelos para estudios de asentamiento, reclutamiento y su conexión con factores locales que estimulan o disminuyen el asentamiento, y con procesos físicos de transporte larval. El re-



**LARVAS
(IZQUIERDA)
Y PEQUEÑOS
EJEMPLARES**
post-metamórficos
(derecha) de
Pyura praeputialis
generados en ECIM.

greso de Sergio Navarrete a ECIM luego de su doctorado e incorporación como académico en la UC (1997), marca el inicio de una larga y aún vigente historia de estudios y publicaciones asociados a estadios de desarrollos, dispersión y reclutamiento larval teniendo como modelos de estudios los cirrípedos, muchos de los cuales se resumen en el capítulo 10.5, Oceanografía ecológica costera.

Mitílicos

Además de los estudios en cirrípedos intermareales, en ECIM también se han desarrollado investigaciones sobre larvas y primeros estadios del ciclo de vida de mitílicos. Dentro de las sublíneas de investigación más destacadas se encuentran la variación espacial en la inversión reproductiva con posibles efectos en la producción larval, así como el asentamiento y la dispersión larval. Estos estudios han contado con la participación de varios investigadores a los que se les rinde agradecimiento en la sección Nuestro legado.

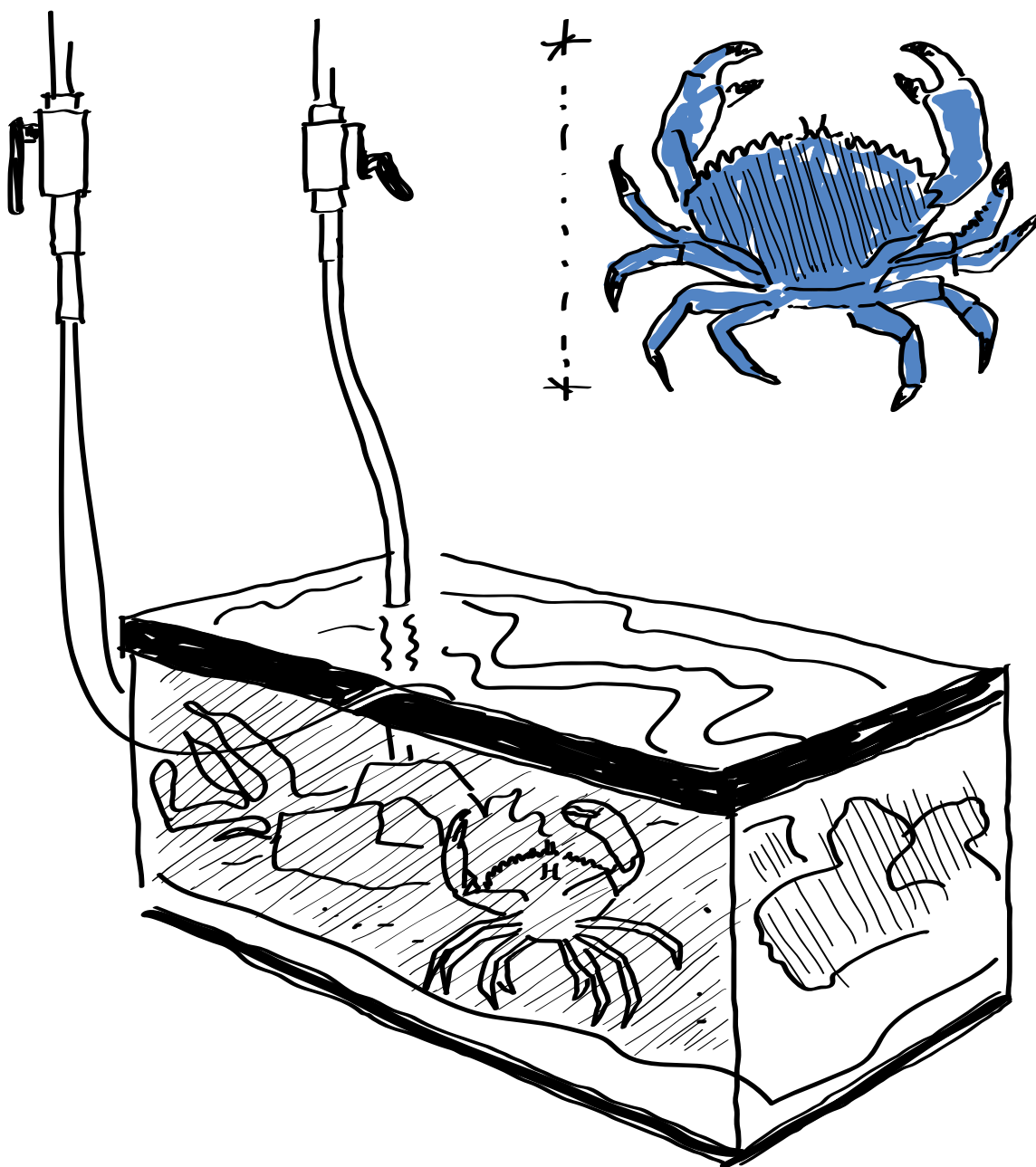
El relato anterior ilustra cómo la investigación científica, disciplinar e in-

terdisciplinar, centrada en los estadios larvales y el desarrollo temprano de invertebrados marinos, no solo ha contribuido a la generación de conocimiento de avanzada en dichos temas, sino que también ha desempeñado un papel muy importante en la formación de varias generaciones de jóvenes investigadores en el país. De manera un tanto artificial los he agrupado en las principales especies que se han usado como modelos de estudio, en vez de seguir una línea temporal, ya que de muchas maneras los proyectos y motivaciones se han centrado en esas especies. Notoriamente, he dejado afuera los estudios en crustáceos decápodos en ECIM liderados por Miriam Fernández, ya que éstos se relatan en extensión en el siguiente capítulo. El conocimiento generado constituye la base para otras líneas de investigación interdisciplinarias, como la oceanografía ecológica costera, o para aplicaciones prácticas al cultivo y manejo de estas especies. En consecuencia, esta línea de investigación sobre ecología larval es, sin lugar a dudas, un legado de los cuarenta años de existencia de ECIM.

Referencias

- Arrau, L.** 1958. Desarrollo del erizo comestible en Chile, *Loxechinus albus* (Molina). *Revista de Biología Marina, Valparaíso* VII (1,2,3): 39–61.
- Castilla, J. C., and P. Schmiede.** 1979. Hipótesis de trabajo sobre la existencia de zonas marítimas tampones en relación a recursos marinos bentónicos (mariscos y algas) en la costa de Chile continental. In: Gallardo VA (ed) *Seminario taller sobre desarrollo e investigación de los recursos marinos de la Octava Región, Chile. Universidad de Concepción, Enero 9–13.* 1978. *Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Concepción, Chile*, pp. 145–167.
- Castilla, J. C., P. H. Manríquez, A. P. Delgado, L. Gargallo, A. Leiva, and D. Radic.** 2007. Bio-foam retention mechanism to avoid marine larval dispersal. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 104:18120–18122.
- Cea, G.** 1969. Estadios primarios de desarrollo y metamorfosis de *Pyura chilensis* Molina, 1782 (Tunicata, Ascidiacea, Pyuridae). *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción* 42:317–331.
- Cea, G.** 1973. Biología del piure (*Pyura chilensis* Molina 1782, Chordata, Tunicata, Ascidiacea). *Gayana Zoología* 28: 3–65.
- Clarke, M., V. Ortiz, and J. C. Castilla.** 1999. Does early development of the Chilean tunicate *Pyura praeputialis* (Heller, 1878) explain the restricted distribution of the species? *Bulletin of Marine Science* 65: 745–754.
- DiSalvo, L. H.** 1988. Observations on the larval and post-metamorphic life of *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789). *Veliger* 30:358–368.
- DiSalvo, L. H., and M. R. Carriker.** 1994. Planktonic, metamorphic, and early benthic behavior of the Chilean loco *Concholepas concholepas* (Muricidae, Gastropoda, Mollusca). *Journal of Shellfish Research* 13:57–66.
- Durán, R., and J. C. Castilla.** 1988. Determinación de la fecundidad de *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789) (Gastropoda, Muricidae) en condiciones de laboratorio. *Biología Pesquera* 17:39–45.
- Gallardo, C. S.,** 1973. Desarrollo intracapsular de *Concholepas concholepas* (Bruguière) (Gastropoda, Muricidae). *Publicación ocasional. Museo Nacional de Historia Natural (Chile)* 16.
- González, L., J. C. Castilla, and Ch. Guisado.** 1987. Effects of larval diet and rearing temperature on metamorphosis and juvenile survival of the sea urchin *Loxechinus albus* (Molina, 1782) (Echino-dermata: Echinoidea). *Journal of Shellfish Research* 6: 109–115.
- Fariás, A., I. Iriarte, and J. C. Castilla.** 1998. A biochemical study of the larval and postlarval stages of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus*. *Aquaculture* 166: 37–47.
- Fierro, J., and D. Oliva.** 2009. Effect of antibiotic treatment on the growth and survival of juvenile northern Chilean scallop, *Argopecten purpuratus* Lamarck (1819), and associated microflora in experimental cultures. *Aquaculture Research* 40(12), 1358–1362.
- Manríquez, P. H., and J. C. Castilla.** 2001. Significance of marine protected areas in central Chile as seeding grounds for the gastropod *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789). *Marine Ecology Progress Series* 215:201–211.
- Manríquez, P. H., S. A. Navarrete, A. Rosson A., and J. C. Castilla.** 2004. Settlement of the gastropod *Concholepas concholepas* on shells of conspecific adults. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 84:651–658.
- Manríquez, P. H., and J. C. Castilla.** 2005. Self-fertilization as an alternative mode of fertilization in the solitary tunicate *Pyura chilensis*. *Marine Ecology Progress Series* 305:113–125.

- Manríquez, P. H., and J. C. Castilla.** 2007. Roles of larval behaviour and micro-habitat traits in determining spatial aggregations in the ascidian *Pyura chilensis*. *Marine Ecology Progress Series* 305:113–125.
- Manríquez, P. H., A. P. Delgado, M. E. Jara, and J. C. Castilla.** 2008. Field and laboratory experiments with early ontogenetic stages of *Concholepas concholepas*. *Aquaculture* 279:99–107.
- Manríquez, P. H., N. A. Lagos, M. E. Jara, and J. C. Castilla.** 2009. Adaptive shell color plasticity during the early ontogeny of an intertidal keystone predator. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 106:16298–16303.
- Manríquez, P. H., and J. C. Castilla.** 2011. Behavioral traits of *Concholepas concholepas* (loco) competent larvae during ontogenetic plankton-benthic shift. *Marine Ecology Progress Series* 430:207–221.
- Manríquez, P. H., S. P. Galaz, T. Opitz, S., Hamilton, R. R. Warner, J. C. Castilla, F. Labra, and N. A., Lagos.** 2012. Geographic variability and potential connectivity using natal signatures in larvae and recruits of *Concholepas concholepas*. *Marine Ecology Progress Series* 448:105–118.
- Manríquez, P. H., and Castilla, J. C.,** 2021. Culture of the carnivorous marine snail, *Concholepas concholepas*. Pp. 193–201. In: *Molluscan Shellfish Aquaculture* (Shumway S. Ed).
- Méndez, M. A., and J. M. Cancino.** 1990. Preferencias alimentarias de ejemplares postmetamórficos y juveniles de *Concholepas concholepas* (Bruguière, 1789). *Revista de Biología Marina Valparaíso* 25:109–120.
- Moreno, C. A., G. Ascencio, W. E. Duarte, and V. Marín.** 1998. Settlement of the muricid *Concholepas concholepas* and its relationship with El Niño and coastal upwellings in southern Chile. *Marine Ecology Progress Series* 167:171–175.
- Poulin, E., A. T. Palma, G. Leiva, E. Hernández, P. Martínez, S. A. Navarrete, and J. C. Castilla.** 2002a. Temporal and spatial variation in the distribution of epineustonic competent larvae of *Concholepas concholepas* (Gastropoda: Muricidae) in the central coast of Chile. *Marine Ecology Progress Series* 229:95–104.
- Poulin, E., A. T. Palma, G. Leiva, D. A. Narváez, S. A. Navarrete, and J. C. Castilla.** 2002b. Avoiding offshore transport of competent larvae during upwelling events: the case of the gastropod *Concholepas concholepas* in central Chile. *Limnology and Oceanography* 47:1248–1255.
- Uriarte, I., Fariás, A., and J. C. Castilla.** 2001. Effect of antibiotic treatment during larval development of the Chilean scallop (*Argopecten purpuratus*). *Aquaculture Engineering* 25: 139–147.
- Vargas, C. A., P. H. Manríquez, and S. A. Navarrete.** 2006. Feeding by larval of intertidal invertebrates: assessing their position in pelagic food webs. *Ecology* 87:444–457.
- Zacherl, D. C., P. H. Manríquez, G. Paradis, R. W. Day, J. C. Castilla, R. W. Warner, D. W. Lea, and S. D. Gaines.** 2003. Trace elemental fingerprint of gastropod to study larval dispersal trajectories. *Marine Ecology Progress Series* 248:297–303.



10.8. La incubación en el mar: Estudios de reproducción en invertebrados marinos

MIRIAM FERNÁNDEZ

CIM y Chile me ofrecieron la oportunidad de desarrollar una línea de trabajo que tuvo su primera semilla durante mi doctorado en la University of Washington, en Seattle, Estados Unidos, y germinó durante mi postdoctorado en el Alfred-Wegener-Institut (AWI), en Bremerhaven, Alemania. Mientras realizaba mi tesis doctoral trabajando en reclutamiento de jaibas (decápodos) y hábitats artificiales como método de restauración bajo la dirección de David Armstrong, conocí a los profesores Megumi y Richard Strathmann, dos fuentes de motivación inagotables. Mis estadías en los laboratorios marinos de Friday Harbor eran para realizar experimentos sobre la natación y asentamiento de larvas megalopa del cangrejo Dungeness en condiciones de flujos turbulentos. Pero pasaba horas conversando con Megumi y Richard, y sus estudiantes, sobre las mediciones y los experimentos que ellos realizaban para entender limitaciones en la difusión de oxígeno a las masas de embriones gelatinosos de invertebrados. Fabricaban masas artificiales, manipulaban el número de embriones en las masas, y Richard me decía: hay que estudiar las jaibas, son una excepción a la regla en el mar. Se refería a la asociación entre pequeño tamaño corporal e incubación (mantención de los huevos fertilizados por parte de la madre) que él había descrito para invertebrados marinos.

Las jaibas siempre incuban sus embriones durante una parte del desarrollo embrionario, independiente del tamaño corporal de la especie, pequeñas o muy grandes; luego sigue otra fase de desarrollo larval de vida libre en el mar. En contados casos el cuidado parental se extiende también a las fases larvales y juveniles (*e.g.*, jaibas que proveen cuidados a su progenie dentro de la axila de las hojas de bromeliáceas). El patrón observado en jaibas muestra un claro contraste con otros grupos de invertebrados, donde solamente incuban

las especies de pequeño tamaño. Richard propuso que esa asociación entre pequeño tamaño e incubación podría explicarse por las limitaciones para proveer oxígeno a grandes masas de embriones como las que podrían producir hembras de gran tamaño corporal. Era entonces importante estudiar el comportamiento de las jaibas y medir oxígeno en las masas de embriones. Incluso me ofreció unos acuarios para hacer experimentos, pero mi tesis apremiaba, y esa semilla quedó latente.

Cuando llegué a Chile a realizar mi primer postdoctorado con el profesor Juan Carlos Castilla, seguí trabajando con juveniles de jaibas. Me familiaricé con las especies chilenas, pero sobre todo me maravillé con el laboratorio natural que ofrecía Chile para trabajar con jaibas. Había decenas de especies de una gran variedad de tamaños corporales que eran relevantes para entender si el tamaño podría limitar la capacidad de proveer oxígeno a sus embriones. Es más, el país ofrecía un extendido gradiente latitudinal, que implicaba un amplio contraste de temperaturas de agua de mar en los hábitats de hembras adultas, y la oportunidad de estudiar cómo la temperatura influye sobre el metabolismo, y podría consecuentemente afectar las limitaciones para proveer oxígeno. Un modelo de estudio muy lindo. Pero yo nunca había trabajado midiendo oxígeno, no tenía la experiencia con los protocolos y equipamiento para este tipo de trabajo. Postulé entonces a un postdoctorado a la Fundación Humboldt, para trabajar en el laboratorio del profesor Hans-Otto Pörtner del AWI, uno de los ecofisiólogos marinos más reconocidos en el mundo. El profesor Wolf Arntz, un enamorado de Chile y de Latinoamérica, fue mi copatrocinante.

No podría haber elegido mejor lugar para mi entrenamiento en el área de la ecofisiología que el AWI. Aunque nunca



EN CONDICIONES DE LABORATORIO ES POSIBLE MONITOREAR LA CONDUCTA DE LAS JAIBAS

dentro de un acuario con un refugio, y al mismo tiempo monitorear la condición de oxígeno con la fibra óptica inserta en la masa de embriones (fibra color naranja que se ve la imagen), que puede ser muy variable como se observa en la pantalla, según la hembra esté pasiva o muestre comportamientos que permitan el flujo de agua y oxígeno.

me consideré ecofisióloga (mi corazón siempre estuvo en la ecología y el manejo), esta inmersión me permitió fortalecer mi conocimiento teórico y práctico en los ámbitos que me permitieron realizar estudios sobre cuidado parental e incubación de embriones en invertebrados.

Los comienzos no fueron fáciles, el primer desafío fue cómo medir oxígeno en las masas de embriones de las jaibas, cuando todos los sensores eran de vidrio. Las hembras los rompían en milisegundos. La Fundación Humboldt me financió la adquisición de unos sensores que se estaban recién desarrollando en una empresa de Bremen: unas pequeñas fibras ópticas que las jaibas también lograban romper, pero con más esfuerzo y se podían reconstituir fácilmente. Así, con estos nuevos sensores empecé a medir oxígeno y analizar el comportamiento de las jaibas hembras en su período de incubación. Los primeros estudios fueron en Alemania y por eso digo que la semilla germinó allá (Fernández *et al.*, 2000), pero floreció en ECIM. Llegué a Las Cruces en el año 1999 cargada de equipos que pude adquirir gracias a la Fundación Humboldt, y que me permitieron desarrollar una nueva línea de trabajo en Chile. Aunque mi principal rol en ese momento era desarrollar estudios de biodiversidad a escalas continenta-

les y coordinar un proyecto colaborativo (FONDAP Oceanografía y Biología Marina) dirigido por el profesor Sergio Navarrete, también inicié paralelamente los primeros estudios de incubación en jaibas.

En ECIM se habilitaron laboratorios donde era posible mantener jaibas bajo condiciones controladas de temperatura del agua de mar circulante, se instalaron cámaras para monitoreo de conducta, y teníamos las maravillosas fibras ópticas, muy pequeñas y resistentes, que permitían monitorear el oxígeno dentro de las masas de embriones mientras las jaibas se movían libremente en los acuarios. Más de 20 estudiantes y ayudantes de investigación se incorporaron al laboratorio y aprendieron estas técnicas a través de diferentes proyectos que por más de 20 años financiaron esta línea de trabajo: Fondecyt, FONDAP y las fundaciones alemanas Humboldt y Volkswagen, que apoyaron la colaboración con científicos del AWI.

Los primeros estudios que realizamos eran simples: entender el comportamiento de las jaibas, cómo variaba a medida que los embriones se desarrollaban y demandaban más oxígeno, y asociarlo a los patrones de provisión de oxígeno bajo distintas condiciones ambientales. Antonio Baeza, quien llegó altamente recomenda-

do por el recientemente arribado a Chile Dr. Martin Thiel, de la Universidad Católica del Norte, fue el primer ayudante de investigación en esta línea de trabajo. Juntos publicamos el primer artículo sobre incubación de embriones en una especie de jaiba chilena (Baeza y Fernández, 2002). Allí describimos el patrón de comportamiento que exhibían las jaibas incubantes, a diferencia de jaibas sin embriones (o controles), y medimos la disponibilidad de oxígeno en el centro de la masa de embriones, demostrando que las hembras activamente oxigenaban las masas de embriones, i.e., existía cuidado parental. También entendimos el rol de distintos tipos de comportamientos de las hembras, cuáles de ellos se realizaban cuando bajaba la disponibilidad de oxígeno dentro de la masa de embriones (e.g., uso de las quelas; sugiriendo que percibían la condición de oxígeno), y cuáles permitían el ingreso de oxígeno a la masa ovígera (e.g., batido abdominal; Baeza y Fernández, 2002).

Posteriormente se incorporó Miguel Pardo, con quien indagamos en los factores que gatillaban distintos comportamientos de las hembras. ¿Podían las hembras detectar simplemente la baja en la condición de oxígeno en la masa de embriones? O los mecanismos eran más complejos y detectaban otras señales, que darían cuenta de alguna “comunicación” con los embriones. Estudiando dos especies de jaibas de gran tamaño corporal en las que se observan marcados cambios en la demanda de oxígeno de los embriones durante el desarrollo, pudimos observar

que la condición de oxígeno dentro de la masa de embriones gatillaba cambios conductuales en las hembras ovígeras. Pero, además, identificamos por primera vez que existía algún tipo de comunicación entre la madre y los embriones porque lográbamos cambiar la conducta de hembras portando embriones tempranos, mientras existía alta disponibilidad de oxígeno y no era necesario ventilar (Fernández *et al.*, 2002). Hasta el día de hoy, la identificación de estas vías de comunicación entre los embriones y las hembras ovígeras es materia de investigación.

En paralelo estudiamos el efecto de la disponibilidad de oxígeno en el desarrollo embrionario, que se hacía evidente al observar que el desarrollo de los embriones estaba más retrasado en el centro de las masas de embriones que en la periferia. Analizamos los ritmos diarios de actividad en la incubación, y las consecuencias que la demanda de provisión de oxígeno por parte de los embriones ejercía sobre las hembras incubantes. Las hembras prácticamente no se alimentaban mientras incubaban, lo que podría afectar no solo la asignación energética a futuros eventos reproductivos, sino también su propia sobrevivencia (Ruiz-Tagle y Fernández, 2002; Fernández *et al.*, 2003). En estos estudios participaron estudiantes de Chile y de Alemania, también postdoctorantes. No puedo nombrarlos a todos aquí, pero se agradece su trabajo y compromiso en la sección “Nuestro legado”; varios de ellos y ellas son actualmente académicos y académicas en universidades de Chile, de Europa y de Estados Unidos. Visitaban también ECIM, como colaboradores, Wolf Arntz y Hans-Otto Pörtner, del AWI; Juan Cancino, de la Universidad Católica de la Santísima Concepción; Frederique Viard, de la Station Biologique de Roscoff de Francia; generándose una masa crítica de nivel internacional que permitió el desarrollo de tesis de doctorado en la UC sobre temas de ecofisiología de la reproducción de distintos grupos de invertebrados. En esos años también organizamos un curso internacional centrado en historias de vida y ecología larval de invertebrados en ECIM, dictado por Megumi Strathmann, Richard Strathmann y Carlos Gallardo, con exposición de casos locales relacionados con nuestros estudios de incubación en el mar, y los

LAS HEMBRAS PORTADORAS DE EMBRIONES exhiben diferentes comportamientos. Algunos se han asociado a bajas en la condición de oxígeno y permitirían censar el ambiente que experimentan los embriones, como el uso de las quelas. Otros claramente aumentan el flujo de oxígeno dentro de la masa de embriones, como el batido del abdomen, cuando este es extendido hacia atrás y adelante repetidamente.



trabajos de ecología larval del Dr. Patricio Manríquez. El curso atrajo estudiantes de la región y permitió generar colaboraciones con científicos de otros países (e.g., Cumplido *et al.*, 2011; Narvarte *et al.*, 2013).

Para entonces, una pregunta muy básica que nos hacíamos en el laboratorio era si había un costo, medible en las hembras, asociado a la incubación. También nos preguntábamos cómo la temperatura, que afecta la tasa metabólica, podría influenciar no solo los patrones de comportamiento de las hembras ovígeras o la disponibilidad de oxígeno para el desarrollo embrionario, sino también el costo de la incubación y futuros eventos reproductivos (fecundidad). La llegada de Antonio Brante coincidió con el comienzo del proyecto de la Fundación Volkswagen, que justamente se enfocaba en patrones latitudinales (y consecuentemente de temperatura).

Comenzamos a estudiar la jaiba peluda, *Cancer setosus* (actualmente *Romaleon setosus*), a través de un experimento muy demandante y muestreos a gran escala geográfica al que se sumaron estudiantes y colaboradores del AWI. Estos estudios mostraron que el costo metabólico de las hembras incubantes portando embriones tardíos era sustancial, el doble que las hembras sin embriones. Indagamos en otros costos de la ventilación de embriones, como la pérdida y mortalidad de los mismos. ¡Había costos! Además demostramos que la frecuencia de distintos comportamientos asociados a la provisión

de oxígeno aumentaba con la temperatura, como así también el costo metabólico de proveer oxígeno a la masa de embriones. Interesantemente, la inversión en embriones disminuía con la latitud, lo que sugería un posible compromiso entre la asignación de energía a huevos y el costo de ventilar los embriones (Brante *et al.*, 2003). Esto claramente abrió puertas a temas relevantes para el manejo: la recuperación de poblaciones explotadas a diferentes latitudes o la interacción entre los patrones de incubación y el ambiente (e.g., temperatura).

Nuestros estudios se habían concentrado en varias especies modelo de jaiba de gran tamaño corporal. Pero siguiendo la asociación entre pequeño tamaño corporal e incubación propuesta por Strathmann, hipotetizamos que en los decápodos, que son una excepción a la regla, las limitaciones a la provisión de oxígeno y los costos asociados deberían de todas formas disminuir en especies de menor tamaño corporal. Estudiamos dos especies pequeñas, *Pisoides edwardsi* y *Acanthocyclus gayi*, y encontramos que aunque las hembras ovígeras de estas especies mostraban los mismos comportamientos que las especies de gran tamaño corporal, la frecuencia de los comportamientos era menor sin que esto alterara la condición de oxígeno. Los embriones estaban generalmente expuestos a condiciones normales de oxígeno (normoxia). Al disminuir la frecuencia de comportamientos asociados a la provisión

LA HEMBRA DE LA JAIBA PELUDA (*ROMALEON SETOSUS*)

pueden alcanzar 150 mm de ancho de caparazón y portar masas de embriones de aproximadamente 80 mm de diámetro. A la izquierda se observa una hembra portando embriones tempranos, que tienen una coloración naranja, brillante en contraste con los embriones en estadios de desarrollo más avanzado que son color café (imagen a la derecha). Como los embriones tempranos demandan menos oxígeno que los tardíos, el comportamiento de las hembras portadoras de los mismos es más pausado.



HEMBRA DE UNA ESPECIE DE JAIBA de pequeño tamaño corporal (mayoritariamente inferiores a 30 mm) portando masas de embriones tempranos. Estas masas son relativamente pequeñas (inferiores a 20 mm), en comparación con las de la jaiba mora o jaiba peluda.



de oxígeno en especies de pequeño tamaño, disminuía también el costo metabólico de las hembras ovígeras (Fernández *et al.*, 2006a). Claramente, la provisión de oxígeno a las agregaciones de embriones es una limitación para la provisión de cuidado parental en el mar, la que aumenta a grandes tamaños corporales. Nuestros estudios con un grupo que es claramente una excepción a la regla propuesta por Richard Strathmann, las jaibas, muestran que la limitación para proveer oxígeno escala con el tamaño corporal, fortaleciendo la hipótesis de que cuidado parental en el mar estaría asociado a la capacidad de provisión de oxígeno. El porqué los decápodos de gran tamaño todavía incuban sus embriones en vez de liberarlos al mar como lo hacen otros invertebrados es una pregunta que probablemente tiene respuesta en restricciones evolutivas del grupo.

Estando en Chile y en ECIM, era inevitable pensar en otros grupos de invertebrados: ¿qué restricciones existirían en especies que encapsulan sus embriones, como los locos y otras especies de gasterópodos? Prontamente nos preguntamos cómo la barrera que imponen las cápsulas, que proveen beneficios para la sobrevivencia de los embriones a la depredación temprana, podrían limitar la provisión de oxígeno y el desarrollo embrionario. El primer estudio lo realizamos con Marco Lardies,

usando como modelo *Acanthina monodon*. Usando las fibras ópticas, hicimos un experimento exponiendo las cápsulas a condiciones de hipoxia, normoxia e hiperoxia, y encontramos que el número de embriones que se desarrollaban exitosamente aumentaba con el incremento en la disponibilidad de oxígeno intracapsular, sugiriendo que, independientemente de la asignación de embriones por cápsula por parte de las hembras, el tamaño de la camada estaría determinado por la competencia por oxígeno entre los embriones (Lardies y Fernández, 2002). Posteriormente indagamos en la interacción entre las condiciones de oxígeno y temperatura, y encontramos que la temperatura tenía también efectos en el tamaño de los embriones y el nivel de asincronía durante el desarrollo intracapsular (Fernández *et al.*, 2006b).

Por supuesto, en ECIM no podía faltar el loco, *Concholepas concholepas*. A partir de los resultados obtenidos en los estudios con cápsulas de *A. monodon*, iniciamos comparaciones de asignación de embriones por unidad de superficie de cápsula (a través de la cual ocurre el intercambio de oxígeno con el medio) bajo diferentes condiciones ambientales. Encontramos que el empaquetamiento de embriones en las cápsulas de locos (número de embriones por unidad de superficie de cápsula) estaba correlacionado con la temperatu-

ra del mar previo a la depositación de las cápsulas. Realizamos experimentos exponiendo a hembras de diferentes orígenes geográficos (norte o sur) a diferentes temperaturas, no encontrando efectos en el éxito del desarrollo intracapsular de los embriones que dichas hembras depositaron en el laboratorio. A diferencia de *A. monodon*, donde el número de embriones que eclosiona de las cápsulas no depende de los que deposita la hembra sino de las condiciones ambientales en las que se desarrollan, en el caso del loco las hembras parecen empaquetar los embriones de acuerdo a la temperatura que experimentan previo a depositar las cápsulas. Las hembras provenientes de la zona norte depositaron menos embriones por unidad de superficie de cápsula que las del sur. Este patrón podría sugerir que las hembras empaquetan los embriones que podrían desarrollar con menores restricciones de oxígeno dentro de las cápsulas para las condiciones ambientales prevalentes. Nuevamente, la restricción para empaquetar embriones en el mar podría influenciar la producción de larvas a diferentes latitudes (temperaturas), lo que sugiere la necesidad de estudiar la importancia de estos patrones de historia de vida en el manejo pesquero.

El estudio del desarrollo intracapsular también incluyó otras especies, como *Crepidula fornicata* y *Crepidula coquimbensis*, que se diferencian por mostrar desarrollo indirecto (eclosiona una larva de vida libre) y directo (eclosiona un juvenil), respectivamente. Antonio Brante realizó su tesis doctoral en la UC bajo mi tutoría estudiando el desarrollo intracapsular de ambas especies, y encontró diferencias importantes en la condición de oxígeno entre ellas, lo que podría explicarse por diferencias en el grosor de la pared capsular, tasa metabólica de los embriones y cantidad de embriones en las cápsulas. Se realizaron diversos experimentos que permitieron sugerir que la eclosión en estadios intermedios de desarrollo en el caso de *C. fornicata* podría ser una respuesta a la restricción para proveer oxígeno para el desarrollo intracapsular completo. Una hipótesis similar se propuso para el desarrollo indirecto en jaibas. Experimentos con *C. coquimbensis*, a través de agregaciones artificiales de embriones,

profundizaron en la interacción entre embriones durante el desarrollo intracapsular que incipientemente se exploraron en los trabajos previos con *A. monodon* al manipular la condición de oxígeno ambiental. Demostramos canibalismo intracapsular en *C. coquimbensis* y, además, que el nivel de canibalismo estaba relacionado con el nivel de parentesco entre los embriones. A mayor parentesco, menos canibalismo. El efecto del canibalismo intracapsular, particularmente al existir reconocimiento de parentesco entre embriones, es doble: disminuye la competencia por oxígeno y aumenta el tamaño del caníbal al momento de la eclosión. Varios trabajos resultaron de estos estudios (Brante *et al.*, 2008, 2009, 2011, 2012, 2013).

Como consecuencia de los trabajos sobre incubación en el mar, emergieron otras oportunidades de investigación y colaboración que ocurrieron en paralelo a partir del 2002. Nos interesamos en los patrones latitudinales de riqueza de especies en el mar, y su relación con historias de vida. Este trabajo de macroescala fue liderado por Ana Astorga y Paula Pappalardo, con la colaboración de profesores de nuestra facultad (Pablo Marquet y Sergio Navarrete). Encontramos que mientras la riqueza de especies con desarrollo planctotrófico disminuía con la temperatura característica de altas latitudes, la de especies con desarrollo directo (y cuidado parental) aumentaba, hipotetizando que podría estar relacionado con los menores costos de incubación (Astorga *et al.*, 2003; Fernández *et al.*, 2009; Pappalardo y Fernández, 2013). Los patrones encontrados son remarcablemente similares entre océanos y grupos taxonómicos. Paula Pappalardo posteriormente desarrolló su tesis doctoral en la UC bajo mi tutoría y analizó la influencia del ambiente en la evolución de los tipos de larvas dentro de los gasterópodos, particularmente los murícidos.

Otros estudios que se desprendieron de los trabajos de patrones latitudinales de incubación en el mar fueron realizados por la Dra. Daniela Storch, con quien hemos mantenido una historia de colaboración de larga data. Daniela era estudiante de doctorado en el laboratorio del Dr. Pörtner en el AWI mientras yo realiza-



ADULTOS, EMBRIONES, CÁPSULAS Y EMBRIONES del caracol de *Acanthina monodon*.



ba allá mi postdoctorado. Al finalizar sus estudios y en el marco del apoyo que la Fundación Humboldt realiza a los humboldtianos, Daniela llegó a ECIM como posdoctorante, iniciando una línea de trabajo relacionada con tolerancia térmica en larvas en mi laboratorio. El modelo de estudio fue la jaiba *Taliepus dentatus*, considerando su amplio rango de distribución geográfica. Los estudios de Daniela Storch fueron muy importantes en determinar los estadios larvales más vulnerables a temperatura, y también sugirieron adaptación local de las poblaciones a las condiciones de temperatura prevalentes en diferentes latitudes (Storch *et al.*, 2009, 2011). Los resultados del trabajo de investigación postdoctoral de Daniela y su formación en ecofisiología abrió otros canales de colaboración con investigadores de ECIM, que han permitido generar sinergia entre estudios de ecofisiología larval, de patrones latitudinales de reproducción de

jaibas de mi laboratorio, de oceanografía costera y reclutamiento liderados por Sergio Navarrete. A esa sinergia se sumó posteriormente el Dr. Simone Baldanzi, quien llegó desde Italia como postdoctorante Fondecyt a mi laboratorio. Los trabajos de Simone permitieron mostrar compromisos entre los comportamientos de incubación, el costo de mantención y la inversión maternal (Baldanzi *et al.*, 2018).

Colaborativamente también comenzamos a estudiar el efecto combinado de la temperatura y la hipoxia sobre organismos costeros. El fenómeno de aguas hipóxicas en ambientes muy someros (ca. 12-14 m) de Chile central solamente empezó a medirse y reportarse en la última década y ahora ocupa una buena parte de nuestros esfuerzos de investigación. Gracias a la experiencia de colaboradores como Daniela Storch, actualmente investigadora senior en AWI y Simone Baldan-

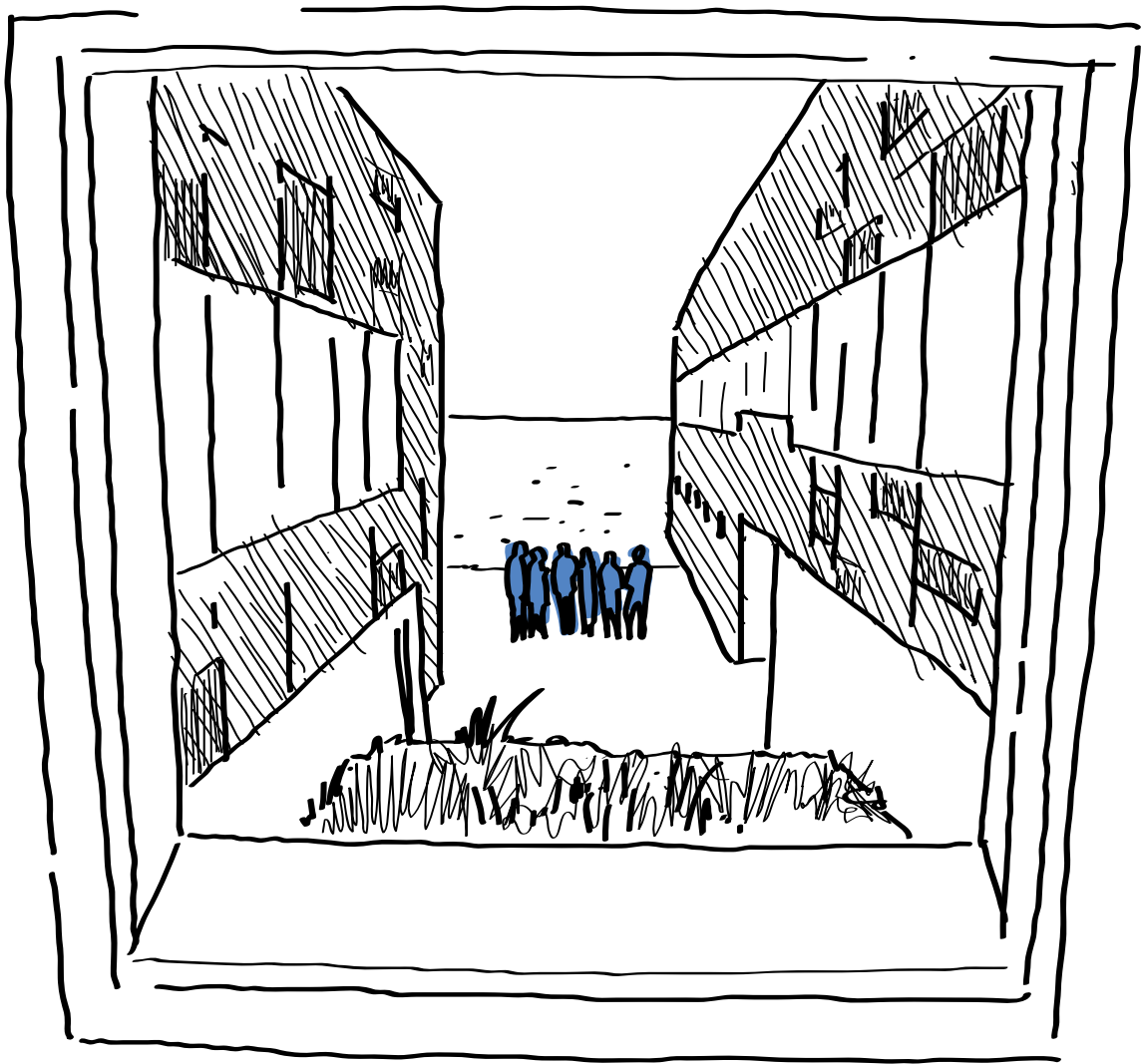
zi, actualmente profesor en la Universidad de Valparaíso, incluimos en nuestros estudios tanto aspectos de cuidado parental de las hembras de *T. dentatus* como de ecofisiología de sus larvas. Por ejemplo, nuestros resultados con decápodos muestran que altas temperaturas y baja disponibilidad de oxígeno durante la incubación de los embriones resultan por un lado en un aumento de los comportamientos de provisión de oxígeno de las hembras ovígeras, y por otro lado afectan el tamaño de la larva que eclosiona, el número de larvas, y la velocidad de natación de las mismas (Baldanzi *et al.*, 2020). Estos resultados sugieren que los escenarios de cambio climático, con aumentos de temperatura en los océanos y aumento de la frecuencia de eventos de hipoxia, podrían tener consecuencias importantes en las especies que incuban no solo a nivel de los adultos y su potencial reproductivo, sino también de las fases larvales.

Aunque por varios años en mi laboratorio dedicamos significativos esfuerzos al área de la Conservación y Áreas Marinas Protegidas (que se trata en otro capítulo), la línea de trabajo de historias de vida en el mar siempre permaneció activa en ECIM. Recientemente publicamos una revisión de nuestra contribución al entendimiento de la incubación en crustáceos (Fernández *et al.*, 2020). También iniciamos nuevos proyectos, con el objetivo de entender la influencia de los cambios climáticos observados en el planeta sobre organismos y ecosistemas costeros. Una de las características distintivas del cambio climático es la desoxigenación de los océanos, además de cambios en temperatura (calentamiento en general, pero enfriamiento de otras zonas, incluyendo Chile). Por un lado, estamos estudiando el efecto combinado de estas dos variables, que sabemos que son relevantes para la incubación en el mar, sobre los patrones de comportamiento, provisión de oxígeno y costos del cuidado parental a diferentes tamaños corporales, usando como modelo jaibas y gasterópodos. Por otro lado, estamos trabajando en entender el efecto de la desoxigenación observada en ecosistemas costeros mesofóticos de Chile central sobre la fisiología, comportamiento y potencial reproductivo de especies clave en la estructura de comunidades (*e.g.*, erizos).

Referencias

- Astorga, A., Fernández, M., Lagos, N., and E. Boschi.** 2003. Two oceans, two taxa and one mode of development: latitudinal diversity patterns of South American crabs and test for causal processes. *Ecology Letters* 6:420-427.
- Baeza, A., and M. Fernández.** 2002. Active brood care in *Cancer setosus* (Crustacea: Decapoda): the relationship between female behavior, embryo oxygen consumption and the cost of brooding. *Functional Ecology* 16:241-251.
- Baldanzi, S., D. Storch, M. Fusi, N. Weidberg, A. Tissot, S. Navarrete, and M. Fernández.** 2020. Combined effects of temperature and hypoxia shape female brooding behaviors and the early ontogeny of the Chilean kelp crab *Taliepus dentatus*. *Marine Ecology Progress Series* 646: 93-107.
- Baldanzi S., D. Storch, S. Navarrete, M. Graeve, and M. Fernández.** 2018. Latitudinal variation in maternal traits of the kelp crab *Taliepus dentatus* along the coast of Chile. *Marine Biology* 165(2): 1432-1793.
- Brante, A., Fernández, M., and F. Viard.** 2013. Non-random sibling cannibalism in the marine gastropod *Crepidula coquimbensis*. *PLOS ONE* 8(6): e67050 DOI 10.1371/journal.pone.0067050.
- Brante, A., Fernández, M., and F. Viard.** 2012. Phylogeography and biogeography concordance in the marine gastropod *Crepidatella dilatata* along the South Eastern Pacific coast. *Journal of Heredity* 103(5):630-7.
- Brante, A., Fernández, M., and F. Viard.** 2011. Microsatellite evidence for sperm storage and multiple paternity in the marine gastropod *Crepidula coquimbensis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 396:83-88.
- Brante, A., Fernández, M., and F. Viard.** 2009. Limiting factors to encapsulation: the combined effects of dissolved protein and oxygen availability on embryonic growth and survival of species with contrasting feeding strategies. *Journal of Experimental Biology* 212:2287-2295.

- Brante, A., Fernández, M., and F. Viard.** 2008. The effect of oxygen conditions on intracapsular development in two calyptraeid species exhibiting different modes of larval development. *Marine Ecology Progress Series* 368:197-207.
- Brante, A., Cifuentes, C., Pörtner, H.O., Arntz, W., and M. Fernández.** 2004. Latitudinal comparisons of reproductive traits in five Brachyuran species along the Chilean coast. *Revista Chilena de Historia Natural* 77:15-27.
- Brante, A. Fernández, M., Eckerle, L., Mark, F., Pörtner, H.O., and W. Arntz.** 2003. Reproductive investment in the crab *Cancer setosus* along a latitudinal cline: egg production, embryo losses and embryo ventilation. *Marine Ecology Progress Series* 521: 221-232.
- Brante, A., Fernández, M. and F. Viard.** 2012. Phylogeography and biogeography concordance in the marine gastropod *Crepidula dilatata* along the South Eastern Pacific coast. *Journal of Heredity*, 103(5):630-7.
- Cumplido, M., Pappalardo, P., Fernández, M. Averbuj, A., and Bigatti, G.** 2011. Embryonic development, feeding and intracapsular oxygen availability in *Trophon gervasianus* (Gastropoda: Muricidae). *Journal of Molluscan Studies* 77:429-436.
- Fernández, M., Baldanzi, S., and Brante, A.** 2020. Costs and benefits of brooding among decapod Crustacean: the challenges of incubating in aquatic systems. In: *The Natural History of the Crustacea Vol 6: Reproductive Biology*. Cothran R. y M. Thiel (eds). Oxford University Press 480 p.
- Fernández, M., Astorga, A., Navarrete, S., Valdovino, C., and P. Marquet.** 2009. Deconstructing latitudinal diversity patterns in the ocean: does larval development hold the clue? *Ecology Letters* 12:601-611.
- Fernández, M., Calderón, R., Cifuentes, M., and P. Pappalardo.** 2006a. Brooding at small body size: brooding behaviour and costs in brachyuran crabs. *Marine Ecology Progress Series* 309:213-220.
- Fernández, M., Pappalardo P., and K. Jenó.** 2006b. The effects of temperature and oxygen availability in intracapsular development in *Acanthina monodon*. *Revista Chilena de Historia Natural* 79:155-167.
- Fernández, M., Ruiz-Tagle, N., Cifuentes, S., Pörtner H.O., and W. Arntz.** 2003. Oxygen-dependent asynchrony of embryonic development in embryo masses of Brachyuran crabs. *Marine Biology* 142: 559-565.
- Fernández, M., Pardo, L.M., and A. Baeza.** 2002. Patterns of oxygen supply in embryo masses of Brachyuran crabs throughout development: the effect of oxygen availability and chemical clues in determining female behavior. *Marine Ecology Progress Series* 245:181-190.
- Fernández, M., Bock, C., and H-O. Pörtner.** 2000. The cost of being a caring mother: the ignored factor in the reproduction of marine invertebrates. *Ecology Letters* 3:486-494.
- Lardies, M., y M. Fernández.** 2002. Development of encapsulated embryos of marine invertebrates: does oxygen availability determine clutch size? *Marine Ecology Progress Series* 239:139-146.
- Navarte M, González RA, Storero L, and Fernández M.** 2013. Effects of competition and egg predation on shelter use by *Octopus tehuelchus* females. *Marine Ecology Progress Series* 482:141-151.
- Pappalardo, P. M. Fernández, and E. Rodríguez-Serrano.** 2014. Correlated evolution between mode of larval development and habitat in muricid gastropods. *PLOS ONE* 9(4) e94194: 1-11.
- Pappalardo, P., and M. Fernández.** 2013. Mode of larval development as a key factor to explain contrasting effects of temperature on species richness across oceans. *Journal of Biogeography* 23:12-23.
- Ruiz-Tagle, N., and M. Fernández.** 2002. Full-time mothers: daily rhythms in brooding and non-brooding behaviors of Brachyuran crabs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 276:31-47.
- Storch, D., Fernández, M., Navarrete, S., and H-O Pörtner.** 2011. Thermal tolerance of larval stages of the Chilean kelp crab *Talipes dentatus*. *Marine Ecology Progress Series* 429:157-167.
- Storch, D., Santelices, P., Barriá, J., Cabeza, K., Pörtner, H.O., and M. Fernández.** 2009. Thermal tolerance of crustacean larvae (zoea I) in two different populations of the kelp crab *Talipes dentatus*. *Journal of Experimental Biology* 212:1371-1376.



10.9. ECIM y la socioecología costera: Profundizando la investigación en sustentabilidad

STEFAN GELCICH

En una época de rápidos cambios sociales y ecológicos, la capacidad de la humanidad para crear un futuro mejor depende de la comprensión de las interacciones locales, regionales y globales entre los seres humanos y la naturaleza (Epstein *et al.*, 2015; Folke *et al.*, 2021). La investigación sobre los sistemas socioecológicos se focaliza en fomentar esta comprensión y a orientar las medidas adecuadas a cada escala (Ostrom, 2009). La investigación sobre este tipo de sistemas es una rama de la ciencia de la sustentabilidad que se centra en los sistemas integrados de los seres humanos y la naturaleza. Aunque las perspectivas de investigación de los sistemas socioecológicos son pertinentes a múltiples escalas, las raíces de la diversidad, la innovación y los detalles de las soluciones suelen ser locales. La investigación que hemos desarrollado en ECIM al respecto ha abordado métodos de estudio y las dinámicas so-

cioecológicas en pesquerías, acuicultura y hasta en ciudades costeras, contribuyendo a profundizar conocimientos y enfoques tanto para esta disciplina como para la sustentabilidad.

A medida que ECIM avanza en abordar problemas claves para la sustentabilidad de los océanos, se hace evidente que la consideración del ser humano como estresor o forzante de cambio biofísico no es suficiente, y que es importante entender la retroalimentación entre sistemas sociales y sistemas ecológicos. Dos cursos internacionales sobre conjugación de investigación en ecología y ciencias sociales que ayudé a organizar en 2007 y 2012, una serie de talleres internacionales y un número cada vez mayor de proyectos de investigación y grupos de trabajo, algunos con mi participación directa, han posicionado a ECIM como uno de los principales lugares donde se ha avanzado en investigación, desarrollos metodológicos y redes internacionales en torno a sistemas socioecológicos. Como relata el doctor Castilla en otro capítulo de este libro, la investigación en ecología de ecosistemas marinos teniendo en cuenta al ser humano como actor central o ‘capstone’ se había iniciado mucho antes en ECIM, y algo también se había desarrollado en otras universidades. Pero la incorporación de las aproximaciones, teorías y herramientas para la integración y retroalimentación de las ciencias ecológicas y sociales, lo que hoy en día llamamos socioecología, se empieza a fortalecer en Chile más o menos en el 2005. Ese señero taller del 2007, en que participan profesores de ECIM y de diferentes facultades de la UC, marca un hito clave de esta nueva rama de las ciencias. Desde entonces, a través del trabajo de investigadoras e investigadores vinculados a ECIM, incluyendo mi propio quehacer, se han generado im-

AFICHE DE UNOS DE LOS PRIMEROS CURSOS MULTIDISCIPLINARIOS
(Ecología, Fisiología, Psicología, Sociología, Economía, Geografía Humana) orientado a abrir espacios para la Socioecología Costera en la UC y ECIM el año 2007. El curso tuvo alumnos y alumnas de Argentina, Uruguay, Perú, EE.UU. y Chile.



portantes conexiones con un creciente número de profesionales e instituciones, fomentando y coordinando investigación sobre sistemas socioecológicos orientados a buscar soluciones. Mantener el ‘cable a tierra’ o más bien el ‘cable al mar’ con la ecología de los ecosistemas marinos ha sido fundamental para el desarrollo de nuestra investigación sobre el tema en ECIM.

En este capítulo reflexiono sobre algunas contribuciones claves del trabajo de investigadores de ECIM para el estudio de sistemas socioecológicos. Deseo resaltar cómo el estudio de sistemas a escalas locales ha contribuido a profundizar nuestro entendimiento sobre transformaciones en gobernanza y ha ayudado al desarrollo de metodologías para la integración interdisciplinaria. De esta forma, este capítulo se centra en ejemplos de investigación socioecológica vinculada a mi desarrollo como investigador UC y a ECIM, es decir, derivada de grupos de trabajo, proyectos y redes de colaboración formadas en los últimos 20 años.

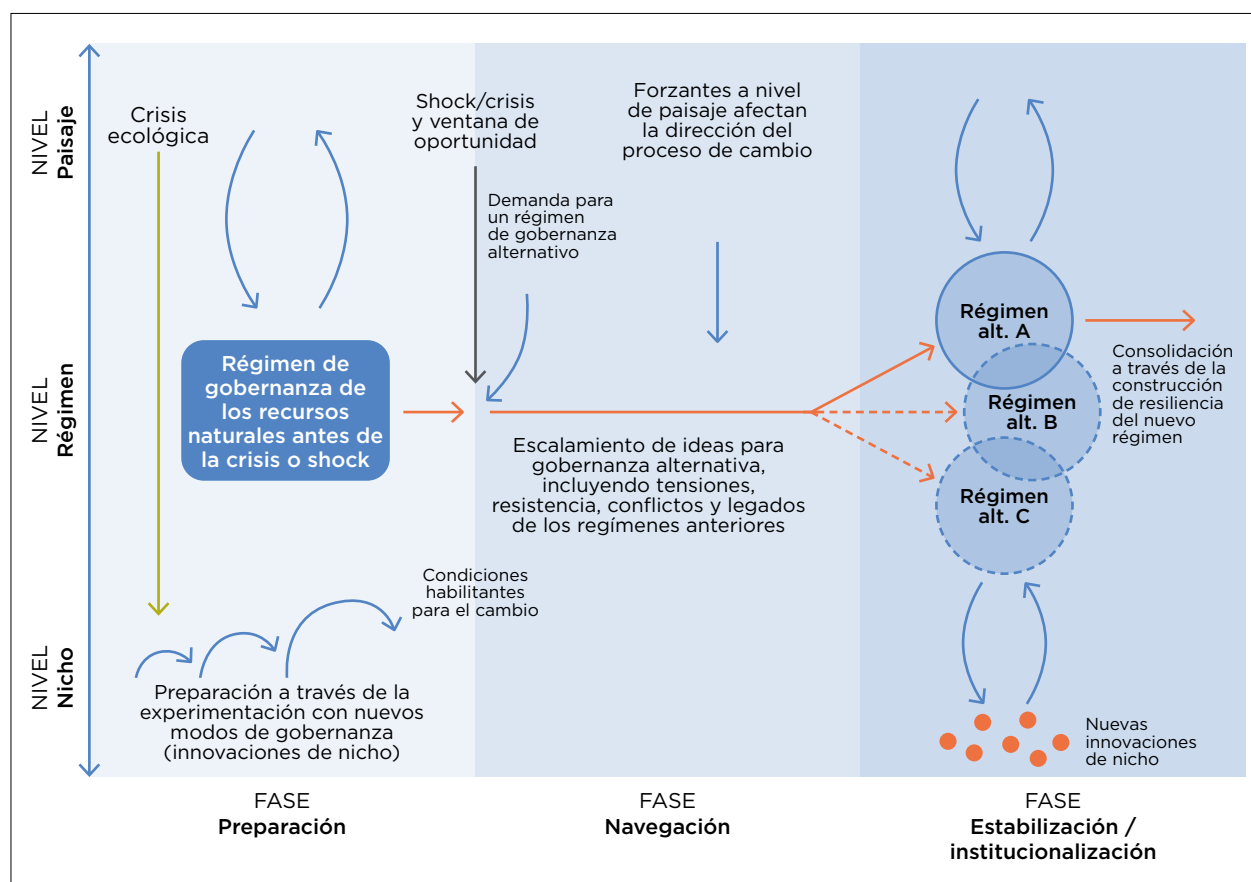
Aportes de ECIM a la comprensión de cambios transformacionales hacia la sustentabilidad

Por transformación entendemos la capacidad de crear sistemas fundamentalmente nuevos de interacciones cuando las estructuras ecológicas, económicas o sociales hacen insostenible el sistema existente (Walker *et al.*, 2004). Esto incluye modificar las retroalimentaciones de un sistema socioecológico que producen resultados no deseados. Los cambios transformacionales implican un cambio fundamental de un sistema socioecológico (Westley *et al.*, 2011). También incluye alteraciones en la forma en que los sistemas de gestión, y los recursos asociados, están estructurados y fluyen a través de los sistemas; las normas, valores y creencias que sustentan esas estructuras y procesos; las funciones y dinámicas de los ecosistemas; y las formas en que todos ellos están conectados entre sí a través de múltiples escalas (Moore *et al.*, 2014). En ECIM la investigación que hemos desarrollado desde un enfoque de sistemas

socioecológicos ha sido clave para comprender y establecer marcos conceptuales necesarios para explorar las transformaciones hacia la sustentabilidad.

A través del estudio de transformaciones en gobernanza, asociadas a cambios en legislación pesquera, tanto para pesquerías bentónicas como de peces, nuestra investigación en ECIM ha construido modelos conceptuales sólidos para el análisis de estos procesos. Por ejemplo, estudios que analizan la transformación asociada a la política de áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos en Chile sugieren que las transformaciones constan de tres fases: preparación, la fase de navegación y la fase de estabilización o institucionalización. La fase de estabilización o institucionalización es clave para aumentar la resiliencia del nuevo régimen. Estas fases suelen ser gatilladas o influenciadas por perturbaciones ambientales o sociales, que pueden ejercer presión sobre el régimen de gobernanza imperante y hacerlo más proclive al cambio. Entre los factores importantes identificados para las transformaciones están la presencia previa de procesos iterativos que identifican una innovación, las interacciones entre distintos niveles de gobernanza, el contexto sociopolítico y la presencia de una “ventana de oportunidad” (Gelcich *et al.*, 2010).

Al sintetizar la información sobre los procesos claves en transformaciones de gobernanza, nuestra investigación en ECIM ha revelado el rol crucial que juegan los procesos locales. Estudios en diferentes localidades de Chile sobre la implementación de áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos ha mostrado la importancia de un fuerte sentido del lugar (profundo apego y compromiso con un lugar o región) y de la participación efectiva de las comunidades locales (Gelcich *et al.*, 2009). Trabajos en la V y VIII región de Chile aportan pruebas convincentes de que la estructura subyacente de las redes sociales puede influir en las acciones transformadoras en respuesta a cambios de gobernanza pesquera (Marin *et al.*, 2012). Las redes sociales determinan quién accede a la información, los recursos y el apoyo. Las personas se in-



MARCO CONCEPTUAL SIMPLIFICADO PARA ESTUDIAR TRANSFORMACIONES, desarrollado a partir de experiencia de cambios en la gobernanza de recursos bentónicos en Chile (adaptado de Herrfahrdt-Pähle *et al.*, 2020; Gelcich *et al.*, 2010). En la fase de preparación, una crisis o riesgos desencadenan iniciativas para experimentar con nuevas prácticas y modos de gobernanza alternativas. Dentro de estos nichos de innovación, pueden surgir oportunidades de transición hacia nuevos modos de gobernanza debido a cambios bruscos a nivel de paisaje, que pueden crear ventanas de oportunidad. Los modos de gobernanza alternativos, desarrollados en la fase de preparación, pueden transferirse a la fase de navegación y empezar a institucionalizarse. Este proceso incluye la evaluación y combinación de una serie de ideas y enfoques disponibles, que a veces compiten entre sí. Esta fase puede conducir a la institucionalización de una transformación de la sustentabilidad. En la fase de estabilización, los enfoques alternativos se han institucionalizado dentro de nuevos regímenes de gobernanza y han escalado a un nivel de paisaje. Los procesos incluyen la consolidación de nuevos valores, la aplicación y el cumplimiento de nuevas normas y reglamentos, y la rutinización de nuevas prácticas.

fluyen mutuamente a través de las redes sociales y planifican las incertidumbres y el cambio a través de sus relaciones sociales (Marin *et al.*, 2012).

Entre los años 2012 y 2013, el Congreso de Chile aprobó una reforma significativa de la regulación pesquera nacional mediante la promulgación de cuatro proyectos de ley que incorporaron elementos nuevos y muy relevantes para llevar al sector pesquero hacia el manejo sustentable de sus pesquerías. De esta forma, Chile se embarcó en una nueva transformación de gobernanza en la que se crean los llamados planes de manejo pesquero.

Algunos de los cambios más relevantes de esta nueva regulación, desde el punto de vista de la sustentabilidad, pueden agruparse en: (1) Cambio de objetivos: la ley tiene como nuevo fin lograr la conservación y el uso sustentable de los recursos pesqueros, mediante la aplicación del Enfoque Precautorio y Enfoque Ecosistémico; (2) Cambio de instrumentos: la ley crea los Planes de Manejo para mantener o llevar las pesquerías hacia la sustentabilidad, incorporando la obligación de establecer programas de recuperación de pesquerías sobreexplotadas o colapsadas; (3) Cambio de actores y procesos: la ley crea un nuevo modelo institucional, con nuevos actores



PLAYA DE BAHÍA MANSÁ,
ubicada en la comuna
de San Juan de la Costa
Provincia de Osorno,
Región de Los Lagos, Chile.



**REUNIÓN GRUPAL
CON LAS COMUNIDADES**
en torno al Área Marina
Costera Protegida (AMCP)
“Lafken Mapu Lahual”
ubicada en bahía Mansa.

(comités de manejo y comités científico-técnicos) y le asigna a la ciencia un rol clave y de mayor incidencia en la toma de decisiones de la autoridad (ej., rol vinculante de comités científicos en la fijación de cuotas globales de captura; mayor autonomía al Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) como proveedor de información científica), además de asignarle nuevas responsabilidades y obligaciones –tales como mayores exigencias de transparencia– a la autoridad pesquera. Así, el cambio de modelo de administración pesquera propuesto por el Ejecutivo y aprobado por el Congreso Nacional es complejo y tiene, como instrumento ancla, la creación de los Planes de Manejo. Durante los últimos 10 años, nuestra investigación en ECIM en conjunto con múltiples colaboradores han estado aportando información relevante para el funcionamiento de estos planes de manejo, tanto para las pesquerías bentónicas (Estevez *et al.*, 2020) como para las demersales (Oyanedel *et al.*, 2020).

Contar con evaluaciones tempranas de la implementación de la política de planes de manejo ha permitido definir recomendaciones específicas relacionadas con reformas jurídicas y la promulgación de normas operativas para una mejor implementación de la herramienta, que incluye dimensiones de legitimidad y la sustentabilidad de los nuevos sistemas de gobernanza (Reyes *et al.*, 2017). En esencia, la investigación en transformaciones de gobernanza ha aportado a dar un sentido de la realidad, basado en aproximaciones socioecológicas, que nos permiten comprender los avances e identificar las rigideces de los nuevos sistemas de gestión. Estudios en el golfo de Arauco (Estevez *et al.*, 2020), Chiloé (Gelcich *et al.*, 2009b), el Maule (Oyanedel *et al.*, 2020) y Valparaíso (Gelcich *et al.*, 2019) han demostrado que los procesos y las iniciativas locales pueden configurar dinámicas regionales, a través de diferentes procesos como la agregación y el aprendizaje social (Bennett *et al.*, 2021). La existencia de los planes de manejo ha creado condiciones habilitantes para empezar a incluir una diversidad de visiones y valores en la administración pesquera. A través de la investigación anclada en localidades específicas se ha podido apoyar “semillas de sustentabilidad” locales para crear espa-

cios transformadores, como la creación de refugios marinos en áreas de manejo, que inspiren y empoderen a las personas hacia cambios transformacionales (Gelcich *et al.*, 2010; Sellberg *et al.*, 2020).

Aportes de ECIM al desarrollo de metodologías para la integración interdisciplinaria

A medida que avanzamos en el análisis de problemas de sustentabilidad en localidades específicas se hace aparente la necesidad de trabajar tanto desde perspectivas metodológicas cuantitativas como cualitativas, para dar cuenta de las diversas interacciones entre los aspectos sociales, económicos, institucionales y ecológicos a lo largo del tiempo y el espacio. Esto implica utilizar y combinar métodos que han sido desarrollados en distintas disciplinas. A lo largo del desarrollo de investigación en sistemas socioecológicos en ECIM, se han utilizado una amplia variedad de marcos conceptuales, teorías y métodos de las ciencias naturales y sociales. El pluralismo epistemológico y la integración metodológica han sido claves en el trabajo de investigadores e investigadoras en socioecología. Si bien la investigación sobre el tema sigue siendo relativamente joven en Chile, el trabajo realizado ha abierto importantes fronteras.

Basándonos en nuestra propia experiencia en ECIM, presentaremos aplicaciones metodológicas relevantes para el estudio de sistemas socioecológicos. A continuación mostramos ejemplos de avances ligados al desarrollo de modelos dinámicos, análisis cualitativo, análisis de redes y experimentos de comportamiento humano que han sido implementados en zonas costeras de Chile.

Modelos dinámicos

Los modelos dinámicos permiten comprender cómo interactúan factores y procesos y cómo conducen a resultados de un sistema socioecológico (Schlüter *et al.*, 2019). Existe una amplia variedad de aproximaciones que pueden suscribirse dentro de los modelos dinámicos. Estos pueden ser desde puramente teóricos o estar basados totalmente en datos em-

píricos, con fines que van desde la evaluación de políticas públicas y la identificación de estrategias de gestión óptimas, hasta otros que se enfocan principalmente en apoyar procesos de aprendizaje con comunidades costeras a través de la modelización participativa (Edmonds, 2017). Mediante los modelos, se puede explorar cómo las diferentes estructuras del sistema pueden influir en su evolución y en su comportamiento (Sterman, 2001).

Un ejemplo de estudio socioecológico, y que ha avanzado en el uso de modelos de simulación dinámica, es su utilización para comprender determinantes de la pesca ilegal a través de la cadena de comercialización y distribución de recursos pesqueros (Oyanedel *et al.*, 2022). Para esto construimos un modelo de simulación dinámica con el fin de explorar la pesca ilegal centrándonos en los incentivos a los que se enfrentan los intermediarios para comerciar con productos legales o ilegales. El modelo nos permitió evaluar el efecto de diferentes intervenciones y políticas públicas destinadas a mejorar la sustentabilidad de la pesquería, considerando explícitamente a los intermediarios y pescadores como agentes fundamentales en los mercados de especies silvestres. De esta forma pudimos explorar las consecuencias y efectos sobre objetivos ecológicos, económicos y sociales (Oyanedel *et al.*, 2022).

Uno de los puntos fuertes de la modelización dinámica es que proporciona una representación explícita de la dinámica de un sistema para investigar las relaciones causales. Sin embargo, tanto para el diseño del modelo como para la interpretación de los resultados, es fundamental comprender en profundidad los sistemas investigados. Un método que puede ser adecuado para proporcionar parte de este conocimiento en profundidad es el análisis cualitativo.

Análisis cualitativo

Los métodos cualitativos pueden aportar información valiosa sobre las interacciones de los seres humanos entre sí, las especies marinas y los contextos socioeconómicos, institucionales y políticos (Barclay *et al.*, 2017). Estos métodos son valiosos para comprender relaciones

de causalidad y retroalimentación que subyacen a las interacciones, ya que son capaces de explicar, por ejemplo, cómo los pescadores o los comerciantes toman decisiones en determinados contextos, lo cual es fundamental para el diseño de una gestión eficaz de la pesca o de medidas de conservación (Gelcich *et al.*, 2005). Los métodos cualitativos también pueden ser utilizados para explorar por qué grupos o personas piensan o actúan de determinadas maneras (Sutherland *et al.*, 2018). Los métodos cualitativos también pueden explorar interdependencias entre actores y permiten la combinación de diversos tipos de conocimiento (Jentoft, 2006).

Dentro de los métodos cualitativos se incluye el análisis de contenido, el análisis de discurso, la etnografía, el rastreo de procesos y los métodos participativos. Estos métodos provienen de diversas disciplinas, como la antropología, las ciencias políticas, la sociología y la geografía humana. Este amplio grupo de métodos suele basarse en datos procedentes de la palabra hablada, las representaciones visuales, el texto escrito y la observación (Barclay *et al.*, 2017).

Investigadores y colaboradores de ECIM hemos operacionalizado varias aproximaciones de análisis cualitativo orientadas a la evaluación de políticas públicas (Reyes *et al.*, 2017), análisis de riesgo (Estevez *et al.*, 2019) y evaluaciones institucionales (Gelcich *et al.*, 2006). Estas aproximaciones han servido, además, para integrarse con datos cuantitativos. Por ejemplo, Gelcich y colaboradores en 2005, utilizaron el análisis de discursos y marcos conceptuales vinculados a diferentes nociones de poder para evaluar la implementación y justificación de acciones de pescadores en torno a las Áreas de Manejo y Extracción de Recursos Bentónicos.

Por otro lado, el sociólogo Rodrigo Estévez en colaboración con investigadores de ECIM (Estevez *et al.*, 2021) utilizaron análisis cualitativos para explorar dimensiones en torno a la justicia procedimental con el fin de evaluar el funcionamiento de los comités de manejo en torno a estas dimensiones. La justicia procedimental está relacionada con los procedimientos, estructuras y procesos que conducen a la distribución de los recursos y benefi-



PESCA ARTESANAL
en Niebla, región
de Los Ríos.

cios. Gracias a la evaluación empírica de las percepciones de los pescadores sobre diferentes componentes de la justicia procedimental, dentro de la política de gestión de planes de manejo, fue posible identificar y trabajar los avances y las brechas en la política pesquera.

Análisis de redes

El análisis de redes estudia los patrones de las interacciones entre entidades, permitiendo la representación de múltiples relaciones entre ellas (Sayles *et al.*, 2019). Un punto clave del análisis de redes es que ofrece una amplia gama de herramientas conceptuales y analíticas para investigar la estructura de las relaciones en las que interactúan diferentes actores o especies. Por ejemplo, los análisis descriptivos pueden caracterizar una red en términos de densidad de vínculos, y los análisis estadísticos pueden identificar cómo ciertos atributos de los nodos están relacionados con ciertas propensiones a formar vínculos (Alexander *et al.*, 2018).

El análisis de redes tiene el potencial de permitir la integración de diversas entidades sociales y ecológicas, junto con las interacciones dentro y entre todos los tipos de entidades, en el mismo modelo de red (ej., red socioecológica). En ECIM, importantes avances en el uso de redes vinculado a investigación en áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos han ayudado a mejorar aspectos teóricos y empíricos sobre el rol del capital social y el liderazgo en la gobernanza de los recursos naturales. El estudio de capital social, medido desde la perspectiva de redes, ha permitido profundizar debates sobre su conceptualización y operacionalización. Además, el análisis de redes se ha utilizado en ECIM para investigar relaciones ecológicas, como las interacciones tróficas (Castilla, 1999; Perez-Matus *et al.*, 2017) y no tróficas (Kefi *et al.*, 2015), sirviendo de insumos relevantes para la gestión pesquera y la evaluación del impacto humano sobre ecosistemas. Aún existen importantes desafíos para la integración de sistemas



MAPEO COMUNITARIO EN LA ESCUELA "BRISAS DEL MAR"

en Tubul, Golfo de Arauco. La actividad es parte del proyecto transdisciplinario "Ciencia ciudadana" del SES Desarrollo costero de SECOS. Participaron organizaciones sociales y ambientales de las localidades de Laraquete, Arauco, Tubul, Llico y Punta Lavapié.

ecológicos y sociales mediante el uso de redes. Investigadores de ECIM estamos actualmente intentando resolver algunos de estos desafíos (Navarrete *et al.*, 2023).

Experimentos de comportamiento humano

En los experimentos conductuales controlados, los individuos o grupos de personas se asignan aleatoriamente a grupos de control o de tratamiento, para probar el efecto causal de una variable específica o de determinadas condiciones sobre el comportamiento individual o grupal. Estos experimentos permiten al investigador manipular un contexto de forma "controlada" (véase, por ejemplo, Friedman y Sunder, 1994; o Lindahl *et al.*, 2021). En los últimos años, cada vez más investigadores han empleado experimentos conductuales controlados para comprender cómo se comportan las personas y toman decisiones en un sistema socioecológico complejo.

La investigación que hemos realizado en ECIM, utilizando experimentos de teoría de juegos, fue pionera en evaluar respuestas de pescadores artesanales utilizando instrucciones que reflejan el contexto socioecológico concreto, donde operan los pescadores (Gelcich *et al.*, 2013). En estos casos de estudios pioneros, los juegos se enmarcaron en la pesquería del loco y se evaluó la internalización de normas frente a diferentes



formas de control, tanto externos como por pares. En el juego quienes participan interactúan entre sí y con un recurso compartido (ej., el loco) a lo largo de varias rondas. En cada ronda, deciden qué cantidad de un recurso compartido les gustaría cosechar y la disponibilidad del recurso depende de cuánto se haya cosechado en la ronda anterior (Gelcich *et al.*, 2013). Estos diseños experimentales permiten explorar diferentes interacciones socioecológicas ligadas a la acción colectiva (Rivera-Hechem *et al.*, 2021) y evaluar factores subyacentes ligados a la cooperación (Rojas *et al.*, 2021).

Portafolios de métodos y reflexividad

Cada avance e implementación metodológica desarrollada en las últimas décadas para el estudio de sistemas socioecológicos tiene sus puntos fuertes y sus limitaciones y cada una ayuda a comprender distintos aspectos de las interacciones en los sistemas socioecológicos costeros. De esta forma, nuestra investigación en ECIM ha contribuido a la creación de un portafolio de métodos, es decir, una colección de métodos a los que puede recurrir un equipo de investigación para responder las preguntas que motivan su investigación (Young *et al.*, 2006), a menudo con el objetivo de informar sobre impacto humano, acciones de manejo o política pública. Esta com-

binación de métodos, que adoptan diferentes enfoques analíticos, es clave para una comprensión más holística de la dinámica y la complejidad de los sistemas socioecológicos.

Combinar métodos de diferentes perspectivas disciplinarias y colaborar con investigadores que pueden tener diferentes objetivos y puntos de vista sobre la ciencia y el conocimiento no es una tarea trivial (Brister, 2016; Knaggård *et al.*, 2018). El reconocimiento de que la complementariedad teórica de los métodos y su combinación práctica son solo una parte del proceso de desarrollo y uso de un portafolio de métodos nos ha llevado a trabajar en torno a la reflexividad. La reflexividad puede entenderse como el examen crítico de cómo nosotros, como investigadores e investigadoras, damos forma a los procesos y resultados de la investigación dentro de un objetivo de estudio determinado (Finlay, 2002). Institutos de investigación, como el Instituto Milenio en Socioecología Costera

(SECOS), asociado a ECIM, han liderado iniciativas orientadas a reflexionar de manera crítica sobre nuestras subjetividades, sesgos y limitaciones disciplinarias como investigadores en sistemas socioecológicos pesqueros, de acuicultura, desarrollo costero y conservación. Estas reflexiones, tanto individuales como colectivas, están ayudando a ampliar no solo las preguntas que podemos responder, sino también la gama de métodos que podemos emplear. La reflexividad crea conciencia de los límites de nuestro propio conocimiento, experiencia y formación, y puede ayudarnos a identificar brechas que pueden ser acortadas mediante la colaboración (Ciannelli *et al.*, 2014; Eigenbrode *et al.*, 2007; Miller *et al.*, 2008). Aunque la colaboración interdisciplinar y transdisciplinar puede requerir más tiempo y esfuerzo, los espacios generados en ECIM para reunir equipos con conocimientos y experiencia complementarios, ha facilitado y facilitarán la comprensión de las complejidades socioecológicas de las zonas costeras.

**PRIMER TERRENO
DE TEORÍA
DE JUEGOS
EXPERIMENTAL**

en la localidad de Maitencillo, V Región. El juego fue uno de recursos comunes utilizando la pesca del loco y fiscalización externa para evaluar cooperación.



Proyección

La investigación de sistemas socioecológicos costeros locales nos ha permitido profundizar teórica y metodológicamente la comprensión de las dimensiones económicas, sociales y culturales necesarias para ayudar a salvaguardar la sustentabilidad de las zonas costeras. En las

PESCADORES Y BUZOS de la caleta de Maitencillo, región de Valparaíso.



próximas décadas, anticipo que ECIM –y la investigación de sistemas socioecológicos en general– seguirá informando cambios orientados a reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de comunidades costeras y los ecosistemas que las sustentan.

En mi opinión, nuestra investigación en ECIM debe seguir evolucionando a ser un proceso basado en aprendizaje constante, reflexivo, con una dirección y una visión claras, arraigada en conocimientos profundos de ecología y ciencias sociales, en el que quienes hacemos investigación colaboramos e innovamos a distintos niveles y escalas. Tenemos mucho que aportar desde las ciencias socioecológicas para transformar la gobernanza marina y costera hacia una más efectiva y que incluya dimensiones de justicia. Para esto es clave el trabajo e integración de conocimientos con la sociedad civil. Me parece fundamental y urgente que desde ECIM empecemos a sustituir la noción transaccional de “desarrollo de capacidades” por la perspectiva integrada de “compartir capacidades”, reconociendo la



riqueza del conocimiento alojado en comunidades locales e instituciones del Estado. Será clave integrar conocimientos locales, ancestrales, burocráticos, científicos (social y ecológico) sobre los procesos ecológicos, cambios ambientales, el uso espacial de los recursos y las conexiones entre el ser humano y el océano, para así coproducir nuevas formas de aportar a la sustentabilidad marina ¡por los próximos 40 años!

Referencias

- Alexander, S., Bodin, Ö., Barnes, M.** (2018). Untangling the drivers of community cohesion in small-scale fisheries. *International Journal of the Commons*, 12(1), 519–547.
- Barclay, K., Voyer, M., Mazur, N., Payne, A. M., Mauli, S., Kinch, J., Fabinyi, M., Smith, G.** (2017). The importance of qualitative social research for effective fisheries management. *Fisheries Research*, 186, 426–438. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.08.007>
- Bennett, E.M., Biggs, R., Peterson, G.D., Gordon, L.J.** (2021). Patchwork Earth: navigating pathways to just, thriving, and sustainable futures. *One Earth*. 4(2):172–176. doi:10.1016/j.oneear.2021.01.004.
- Brister, E.** (2016). Disciplinary capture and epistemological obstacles to interdisciplinary research: Lessons from central African conservation disputes. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 56, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2015.11.001>
- Castilla, J.C.** (1999). Coastal marine communities: trends and perspectives from human-exclusion experiments. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 280–283.
- Ciannelli, L., Hunsicker, M., Beaudreau, A., Bailey, K., Crowder, L. B., Finley, C., Webb, C., Reynolds, J., Sagmiller, K., & Anderies, J. M.** (2014). Transdisciplinary graduate education in marine resource science and management. *ICES Journal of Marine Science*, 71(5), 1047–1051. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu067>
- Edmonds, B.** (2017). Different Modelling Purposes. In B. Edmonds & R. Meyer (Eds.), *Simulating social complexity: A handbook* (pp. 39–58). Springer International Publishing.
- Eigenbrode, S. D., O'Rourke, M., Wulfhorst, J. D., Althoff, D. M., Goldberg, C. S., Merrill, K., Morse, W., Nielsen-Pincus, M., Stephens, J., & Winowiecki, L.** (2007). Employing philosophical dialogue in collaborative science. *BioScience* 57(1), 55–64. <https://doi.org/10.1641/B570109>
- Epstein G., Pittman J., Alexander S.M., Berdej S., Dyck T., Kreitmair U., Raitthwell K.J., Villamayor-Tomas S., Vogt J., Armitage D.** (2015). Institutional fit and the sustainability of social-ecological systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14:34–40. doi:10.1016/j.cosust.2015.03.005.
- Estévez R.A., et al.** (2019). Eliciting expert judgements to estimate risk and protective factors for Piscirickettsiosis in Chilean salmon farming. *Aquaculture* 507, 402–410
- Estévez, R.A., Veloso, C., Jerez, G., Gelcich, S.** (2020). A participatory decision making framework for artisanal fisheries collaborative governance: Insights from management committees in Chile. *Natural Resources Forum* 44 (2), 144–160.
- Estévez, R.A., Gelcich, S.** (2021). Public Officials' Knowledge of Advances and Gaps for Implementing the Ecosystem Approach to Fisheries in Chile. *Sustainability* 13(5): 2703. <https://doi.org/10.3390/su13052703>. ISSN 2071-1050.
- Estévez, R.A., Jerez G., Gelcich S.** (2021) Assessing Procedural Justice in the Administration of Small-Scale Benthic Fisheries in Chile. *Frontiers in Marine Science* 8, 636120
- Finlay, L.** (2002). Negotiating the swamp: The opportunity and challenge of reflexivity in research practice. *Qualitative Research*, 2(2), 209–230. <https://doi.org/10.1177/146879410200200205>
- Folke, C., Polasky, S., Rockström, J., Galaz, V., Westley, F., Lamont, M., Scheffer, M., Österblom, H., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., et al.** (2021). Our future in the Anthropocene biosphere. *Ambio*. 50(4): 834–869. doi:10.1007/s13280-021-01544-8.

- Friedman, D., Sunder, S.** (1994). *Experimental methods: A primer for economists*. Cambridge university press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139174176>
- Gelcich, S., Edwards-Jones, G., Kaiser, M.J., Watson, E.** (2005). Using discourses for policy evaluation: the case of marine common property rights in Chile. *Society & Natural Resources* 18(4): 377–391. doi:10.1080/08941920590915279.
- Gelcich, S., Hughes, T.P., Olsson, P., Folke, C., Defeo, O., Fernández, M., Foale, S., Gunderson, L.H., Rodríguez-Sickert, C., Scheffer, M., Steneck, R.S., Castilla, J.C.** (2010). Navigating transformations in governance of Chilean marine coastal resources. *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America)* 107: 16794–16799
- Gelcich, S., Godoy, N., Castilla, J.C.** (2009 a). Artisanal fishers' perceptions regarding coastal co-management policies in Chile and their potentials to scale-up marine biodiversity conservation. *Ocean and Coastal Management* 52: 424–432.
- Gelcich et al.** (2019b). Marine ecosystem-based management in the Southern Cone of South America: Stakeholder perceptions and lessons for implementation. *Marine Policy* 33 (5), 801–806
- Gelcich, S., Guzman, R., Rodríguez-Sickert, J., Castilla, J.C., Cardenas, J.C.** (2013). Exploring External Validity of Common Pool Resource Experiments: Insights from Artisanal Benthic Fisheries in Chile. *Ecology and Society* 18
- Gelcich, S., Martínez-Harms, M.J., Tapia-Lewin, S., Vasquez-Lavin, F., Ruano-Chamorro, C.** (2019a). Co-management of small-scale fisheries and ecosystem services. *Conservation Letters*. 2019: e12637. <https://doi.org/10.1111/conl.12637>.
- Gelcich, S., Reyes-Mendy, F., Ríos, M.A.** (2019b). Early assessments of marine governance transformations: insights and recommendations for implementing new fisheries management regimes. *Ecology and Society* 24(1): 12. <https://doi.org/10.5751/ES-10517-240112>.
- Jentoft, S.** (2006). Beyond fisheries management: The phronetic dimension. *Marine Policy* 30, 671–680. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2005.10.001>
- Knaggård, Å., Ness, B., & Harnesk, D.** (2018). Finding an academic space: Reflexivity among sustainability researchers. *Ecology and Society* 23(4). <https://doi.org/10.5751/ES-10505-230420>
- Kéfi, S., Berlow, E. L., Wieters, E. A., Joppa, L. N., Wood, S. A., Brose, U., & Navarrete, S. A.** (2015). Network structure beyond food webs: mapping non-trophic and trophic interactions on Chilean rocky shores. *Ecology*, 96(1), 291–303.
- Lindahl, T., Janssen, M. A., & Schill, C.** (2021). Controlled behavioural experiments. In R. Biggs, A. de Vos, R. Preiser, H. Clements, K. Maciejewski, & M. Schluter (Eds.), *The Routledge Handbook of Research Methods for Social-Ecological Systems* (pp. 295–306). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003021339>
- Marín, A., Gelcich, S., Castilla, J.C., Berkes, F.** (2012). Exploring social capital in Chile's coastal benthic co-management system using a network approach. *Ecology and Society* 17: 13.
- Miller, T., Baird, T., Littlefield, C., Kofinas, G., Chapin, F. S., III, & Redman, C.** (2008). Epistemological Pluralism: Reorganizing Interdisciplinary Research. *Ecology and Society* 13(2). <https://doi.org/10.5751/ES-02671-130246>
- Moore, M., Tjornbo, O., Enfors, E., Knapp, C., Hodbod, J., Baggio, J.A., Norström, A., Olsson, P., Biggs, D.** (2014). Studying the complexity of change: toward an analytical framework for understanding deliberate social-ecological transformations. *Ecology and Society* 19(4): 54. doi:10.5751/ES-06966-190454.
- Navarrete, S.A., Ávila-Thieme, M.I., Valencia, D., Génin, A., Gelcich, S.** (2023). Monitoring the fabric of nature: using allometric trophic network models and observations to assess policy effects on biodiversity. *Philosophical Transactions B* 378: 20220189. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0189>

- Ostrom, E.** (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science*. 325 (5939):419–422. doi:10.1126/science.1172133.
- Oyanedel, R., Gelcich, S., Milner-Gulland, E.J.** (2020). Motivations for (non-) compliance with conservation rules by small-scale resource users. *Conservation Letters* 13:e12725. <https://doi.org/10.1111/conl.12725>. ISSN 1755-263X
- Oyanedel, R., Gelcich, S., Mathieu, E., Milner-Gulland, E.J.A.** (2022). A dynamic simulation model to support reduction in illegal trade within legal wildlife markets. *Conservation Biology* 36(2): e13868. <https://doi.org/10.1111/cobi.13814>. ISSN 0888-8892.
- Pérez-Matus, A., Ospina-Alvarez, A., Camus, P.A., Carrasco, S.A., Fernandez, M., Gelcich, S., Godoy, N., Ojeda, F.P., Pardo, L.M., Rozbaczylo, N., Subida, M.D., Thiel, M., Wieters, E.A., Navarrete, S.A.** (2017). Temperate rocky subtidal reef community reveals human impacts across the entire food web. *Marine Ecology Progress Series* 567: 1–16. Doi. [org/10.3354/meps12057](https://doi.org/10.3354/meps12057).
- Reyes, F., Gelcich, S., Ríos, M.** (2017). Problemas globales; respuestas locales: planes de manejo como articuladores de un sistema de gobernabilidad policéntrica de los recursos pesqueros; Capítulo IV. In: *Propuestas para Chile: Concurso Políticas Públicas/2016*. Irrázaval I; Piña E; Letelier M (Eds). Santiago; pp. 121-155.
- Rivera-Hechem, M.I., Guzman, R.A., Rodríguez-Sichert, C., Gelcich, S.** (2021). Effects of experience with access regimes on stewardship behaviors of small-scale fishers. *Conservation Biology* 35(6):1913–1922. <https://doi.org/10.1002/cobi.13758>. ISSN 0888-8892.
- Rojas, C.A., Cinner, J., Lau, J., Ruano-Chamorro, C., Contreras-Drey, F.J., Gelcich, S.** (2021). An experimental look at trust; bargaining; and public goods in fishing communities. *Scientific Report* 11: 20798. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00145-5>. ISSN 2045-2322.
- Sayles, J. S., Garcia, M. M., Hamilton, M., Alexander, S. M., Baggio, J. A., Fischer, A. P., Ingold, K., Meredith, G. R., Pittman, J.** (2019). Social-ecological network analysis for sustainability sciences: A systematic review and innovative research agenda for the future. *Environmental Research Letters*, 14(9), 093003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab2619>
- Schlüter, M., Haider, L. J., Lade, S. J., Lindkvist, E., Martin, R., Orach, K., Wijermans, N., Folke, C.** (2019). Capturing emergent phenomena in social-ecological systems. *Ecology and Society* 24(3). <https://doi.org/10.5751/ES-11012-240311>
- Sellberg, M.M., Norström, A.V., Peterson, G.D., Gordon, L.J.** (2020). Using local initiatives to envision sustainable and resilient food systems in the Stockholm city-region. *Global Food Security* 24: 100334. doi:10.1016/j.gfs.2019.100334.
- Sterman, J. D.** (2001). System dynamics modeling: Tools for learning in a complex world. *California Management Review* 43(4), 8–25. <https://doi.org/10.2307/41166098>
- Sutherland, W. J., Dicks, L. V., Everard, M., & Geneletti, D.** (2018). Qualitative methods for ecologists and conservation scientists. *Methods in Ecology and Evolution* 9(1), 7–9. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12956>
- Westley, F., Olsson, P., Folke, C., Homer-Dixon, T., Vredenburg, H., Loorbach, D., Thompson, J., Nilsson, M., Lambin, E., Sendzimir, J., et al.** (2011). Tipping toward sustainability: emerging pathways of transformation. *AMBIO*. 40(7):762–780. doi:10.1007/s13280-011-0186-9.
- Young, O., Lambin, E., Alcock, F., Haberl, H., Karlsson, S., McConnell, W., Myint, T., Pahl-Wostl, C., Polsky, C., Ramakrishnan, P. S.** (2006). A portfolio approach to analyzing complex human-environment interactions: Institutions and land change. *Ecology and Society* 11(2). <https://doi.org/10.5751/es-01799-110231>



10.10. La Estación Costera de Investigaciones Marinas UC: Un espacio abierto a la ingeniería costera y la investigación interdisciplinaria

RODRIGO CIENFUEGOS

Conocí la ECIM por primera vez de vuelta de mi doctorado en Francia, como académico de la Escuela de Ingeniería UC hacia finales de la primera década de este siglo. Al recorrer por primera vez sus instalaciones y conocer el privilegiado rincón donde está ubicado, lo imaginé de inmediato como un laboratorio interdisciplinario de ciencias costeras, similar a los que había podido visitar en países del hemisferio norte. Descubrí entonces el gran impacto académico y científico que colegas y estudiantes de Ciencias Biológicas habían producido ahí al investigar la diversidad de especies y la influencia que tienen las actividades humanas sobre los ecosistemas marino-costeros. La invitación de parte de los profesores Juan Carlos Castilla y Sergio Navarrete fue en ese momento a colaborar para que en el ECIM convergieran otras disciplinas, facultades, investigadores y estudiantes, con el objeto de enriquecer y potenciar un entendimiento sistémico acerca del funcionamiento de nuestras costas, las interacciones socioambientales que ahí tienen lugar, y su biodiversidad.

Desde esa invitación surgieron proyectos de investigación, pasantías, campañas de terreno, talleres y cursos, que tuvieron como telón de fondo la bahía de Cartagena, y las espectaculares instalaciones de ECIM. Fue ahí donde pudimos probar el uso de imágenes de video para capturar datos continuos de oleaje e inmersión que juegan un rol primordial en la evolución y sobrevivencia de organismos intermareales aferrados a los roqueríos de la zona central de Chile. Esta metodología, puesta a punto junto al investigador Rafael Almar, del Institut pour la Recherche et le Développement (IRD) de Francia, fue utilizada y adaptada por Gabriela Flores, en ese entonces investigadora doctoral en la Facultad de Ciencias Biológicas UC (Flores et al., 2016, 2019).

Un hito importante para consolidar las colaboraciones entre las Facultades de Ciencias Biológicas e Ingeniería UC, fue el establecimiento del Marine Energy Research and Innovation Center (MERIC) el año 2016, con apoyo de Corfo, Naval Group de Francia y Enel Green Power. Gracias al trabajo al alero del centro MERIC, se implementó y validó con mediciones de campo en Las Cruces el modelo de pronóstico de oleaje y mareas WaveWatch III que hoy funciona de manera operacional en puntos específicos de la costa de Chile y que fue transferido a la Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas. A partir del trabajo coordinado por el ingeniero de investigación Felipe Lucero, se pudo además caracterizar el recurso energético asociado al oleaje en las costas de Chile y mejorar la precisión de los modelos ajustándolos con datos locales (Lucero et al., 2017, 2023; Mazzaretto et al., 2020), colaborando con colegas de Francia e Italia.

Poco a poco, a lo largo de la última década, se han ido integrando y complementando los esfuerzos iniciales desarrollados desde las ciencias biológicas en ECIM, con una mejor caracterización del ambiente físico, en particular en relación al oleaje, las corrientes y las dinámicas hidrosedimentarias. El 2018 se desarrolló la primera campaña de terreno en la playa de Las Cruces, en donde se desplegaron instrumentos para medir directamente las corrientes y el oleaje, y comparar estas observaciones con otras obtenidas a partir técnicas de percepción remota. Dada la alta energía del oleaje en las costas de Chile, resulta difícil realizar mediciones directas por lo que el uso de percepción remota para el monitoreo de la evolución de playas, desembocaduras, los sobrepasos o inundaciones, y la aparición de corrientes peligrosas, resulta fundamental.



En la campaña de terreno participaron colegas de Estados Unidos (Chris Chickadel del Applied Physics Laboratory de la Universidad de Washington), nuevamente Rafael Almar del IRD de Francia, además de Patricio Catalán de la Universidad Federico Santa María de Valparaíso e investigadores e investigadoras UC afiliados al centro MERIC. Se pudieron comparar estimaciones de oleaje desde satélites, cámaras y drones, y proponer formas de corregir algunos sesgos producidos en estas estimaciones (Almar *et al.*, 2021).

PREPARACIÓN DE MEDICIONES CON VIDEO DE LA HIDRODINÁMICA COSTERA en la playa de Las Cruces en 2018. Proyecto Fondecyt que contó con la participación de Chris Chickadel del Applied Physics Laboratory (APL) de la Universidad de Washington (EE.UU.) y Patricio Catalán, del Departamento de Obras Civiles de la Universidad Santa María (Chile).

CAMBIO DE ESTADO MORFODINÁMICO DE LA PLAYA DE LAS CRUCES

observada por el sistema de captura de video a partir de imágenes promediadas cada 20 minutos. Panel superior: 10/01/2021; Panel del medio: 28/01/2021; Panel inferior: 23/03/2021.



FERIA CIENTÍFICA Y CONVERSATORIOS CIUDADANOS

para la preparación y concientización frente a tsunamis en la ciudad de Cartagena, con la participación de CIGIDEN.

La bahía de Cartagena ha sido durante la última década un verdadero laboratorio natural, también para la ingeniería de costas. El proyecto Open Sea Lab (Cortés *et al.*, 2022), al alero del centro MERIC, ha permitido, por ejemplo, generar datos continuos de video que dan cuenta de la evolución estacional e interanual de la playa de Las Cruces, además de constituir un nodo de intercambio interdisciplinario. A partir de 3 años de datos, hemos podido aprender acerca del funcionamiento del sistema costero, la aparición de corrientes peligrosas de resaca (*rip currents*), presenciar procesos de avance y retroceso, y caracterizar un cambio de estado morfodinámico. Durante el verano de 2021, la playa pasó de tener una configuración con formas rítmicas (*beach cusps*) acoplada a corrientes de resaca, hacia una configuración rectilínea que trajo aparejada una recarga de sedimentos importantes para la playa.

Recientemente, nuevas colaboraciones e interacciones interdisciplinarias se han desarrollado en la bahía de Las Cruces a través del Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres (CIGIDEN). Estudios acerca del peligro de tsunamis, la evacuación, y la concientización frente a estas amenazas (Martínez *et al.*, 2020) han contado con el apoyo de ECIM para ser llevadas a cabo. Una experiencia inédita a nivel nacional, de formación e intercambios transdisciplinarios, ha sido también piloteada en Las Cruces, a través de la Escuela Comunitaria Ambiental de la Costa (ECAC¹) apoyada por CIGIDEN y el Observatorio de la Costa. Este último, nace recientemente bajo el liderazgo de Carolina Martínez, académica del Instituto de Geografía UC, a partir de los intercambios académicos que se han establecido en torno a la zona costera, y a la necesidad de conectar mejor la investigación científica con las problemáticas locales y nacionales. La integración de las ciencias físicas, como la ingeniería costera con la ecología y biología marina, y con las herramientas de las ciencias sociales, representa una gran oportunidad para entender los muchos problemas socioambientales que amenazan la sustentabilidad de los ecosistemas marinos y costeros. Es posible que

estemos transitando hacia nuevas formas de realizar investigación y generar impacto, las que sin duda han tenido en ECIM un entorno único para su experimentación y desarrollo.

Referencias

- Almar, R., Bergsma, E. W., Catalan, P. A., Cienfuegos, R., Suarez, L., Lucero, F., ... & Chickadel, C. (2021). Sea state from single optical images: A methodology to derive wind-generated ocean waves from cameras, drones and satellites. *Remote Sensing*, 13(4), 679.
- Cortés, J., Lucero, F., Suarez, L., Escauriaza, C., Navarrete, S. A., Tampier, G., ... & Finke, R. (2022). Open Sea Lab: An integrated Coastal Ocean Observatory Powered by Wave Energy. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(9), 1249.
- Flores, G., Aguilera, J. C., Almar, R., Cienfuegos, R., & Navarrete, S. A. (2016). A new remote sensing method for high-resolution quantification of submerison regimes in wave exposed shores. *Limnology and Oceanography: Methods*, 14(11), 736-749.
- Flores, G., Cienfuegos, R., & Navarrete, S. A. (2019). Beyond tides: surge-dominated submerison regimes on rocky shores of central Chile. *Marine Biology*, 166, 1-17.
- Lucero, F., Catalán, P. A., Ossandón, Á., Beyá, J., Puelma, A., & Zamorano, L. (2017). Wave energy assessment in the central-south coast of Chile. *Renewable Energy*, 114, 120-131.
- Lucero, F., Stringari, C. E., & Filipot, J. F. (2023). Improving WAVEWATCH III hindcasts with machine learning. *Coastal Engineering*, 104381.
- Martínez, C., Cienfuegos, R., Inzunza, S., Urrutia, A., & Guerrero, N. (2020). Worst-case tsunami scenario in Cartagena Bay, central Chile: Challenges for coastal risk management. *Ocean & Coastal Management*, 185, 105060.
- Mazzaretto, O. M., Lucero, F., Besio, G., & Cienfuegos, R. (2020). Perspectives for harnessing the energetic persistent high swells reaching the coast of Chile. *Renewable Energy*, 159, 494-505.

1 <https://ecac.cl/>



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE