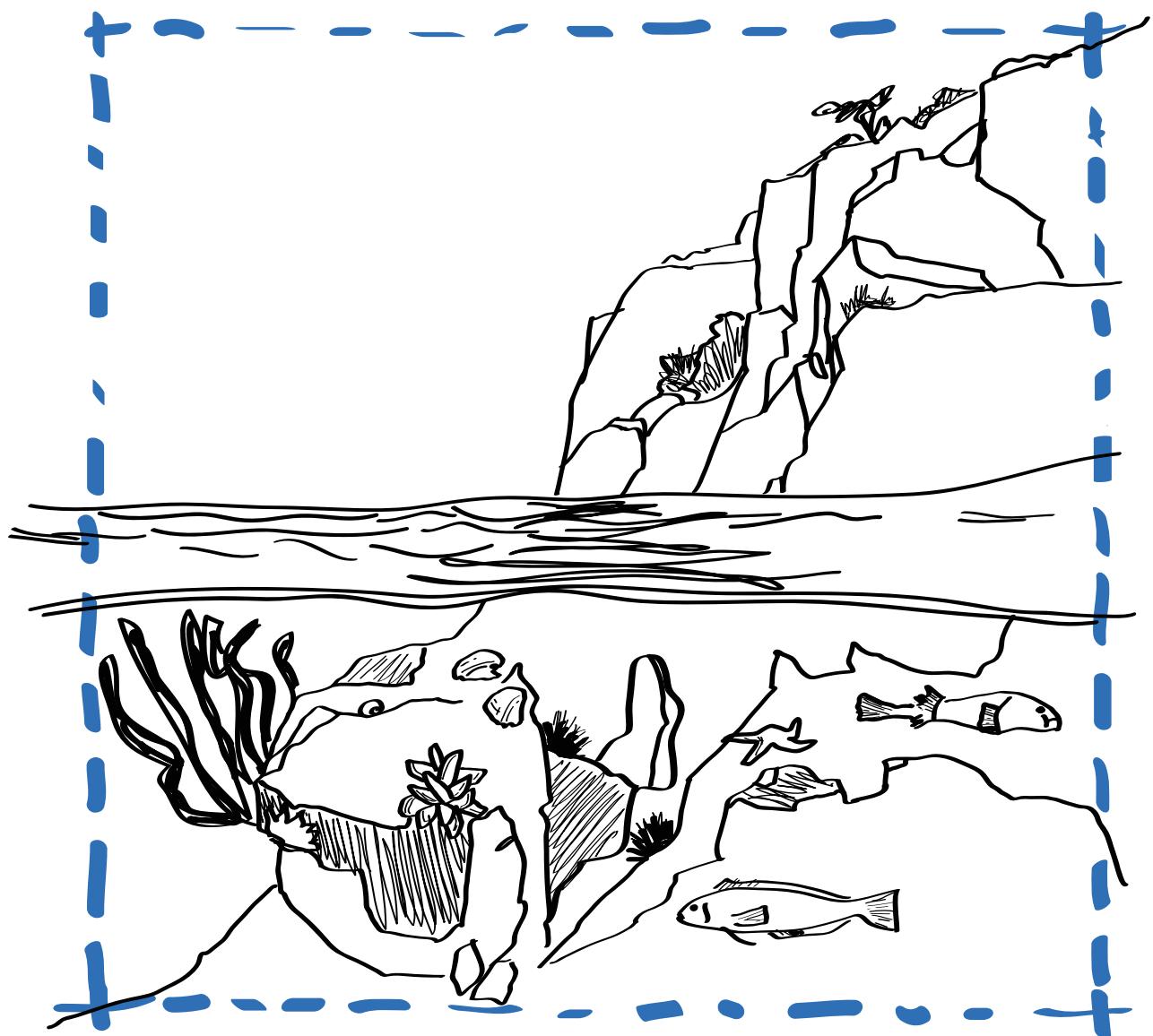


# X.5 / Oceanografía ecológica costera



## 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 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 tesis 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, Galápagos 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 mitílidos (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 estudiábá-

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 zodiac 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 llan,  
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 opor-

tunidad. 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).

A parte 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 estudiante-

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 (currentómetros 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 (*ulvoides*), 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 postdocto-

rante 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 Camañ 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 Cristián 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 concentraremos 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 mesoscala 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 distingible.

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-Alvarez *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. Guinez, 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.

**CÓMO CITAR ESTE CAPÍTULO:**

**Sergio A. Navarrete** (2023). Oceanografía ecológica costera.

En: Navarrete, S.A. y Kroeger, C. (Eds.), Estación Costera de Investigaciones Marinas.  
40 años en Ciencias del Mar.

Facultad de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica de Chile, pp. 128-143.



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CHILE