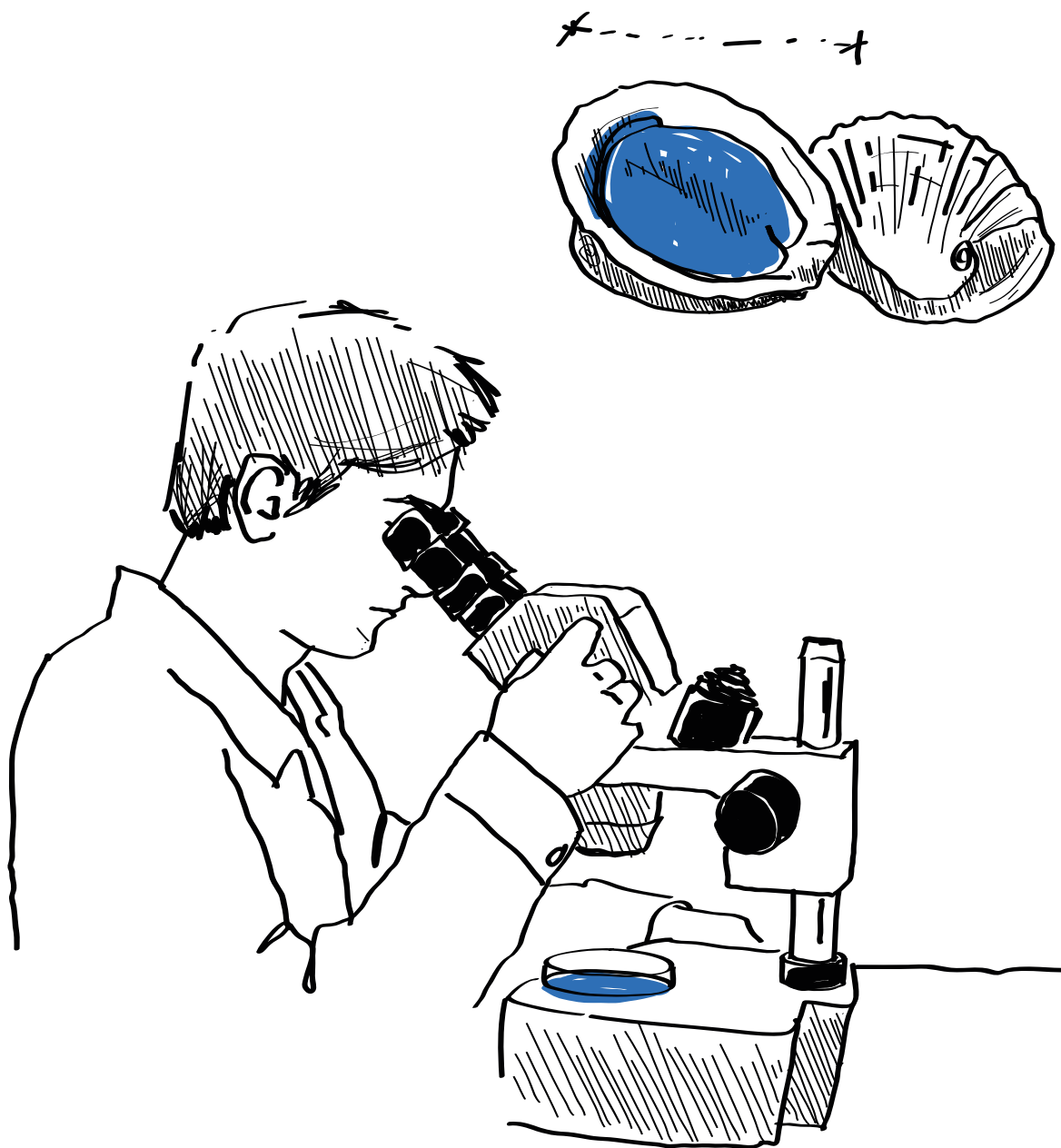


X.7

**Ecología de
larvas y primeros
estadios del
ciclo de vida de
invertebrados
marinos**



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.

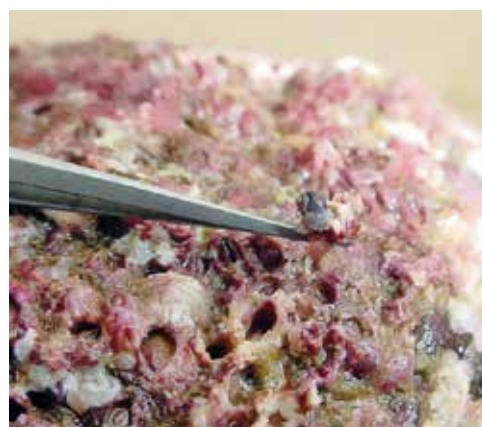
La visionaria hipótesis de trabajo planteada por Castilla y Pablo Schmiede en 1979 postulaba la potencial importancia ecológica y pesquera que jugaban las áreas costeras protegidas (o inaccesibles para la intervención humana) a lo largo de la costa chilena, como fuentes de larvas para repoblar sectores 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. concholepa* 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. concholepa* 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. concholepa* 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 (cercañas 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, cirrípedos 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)

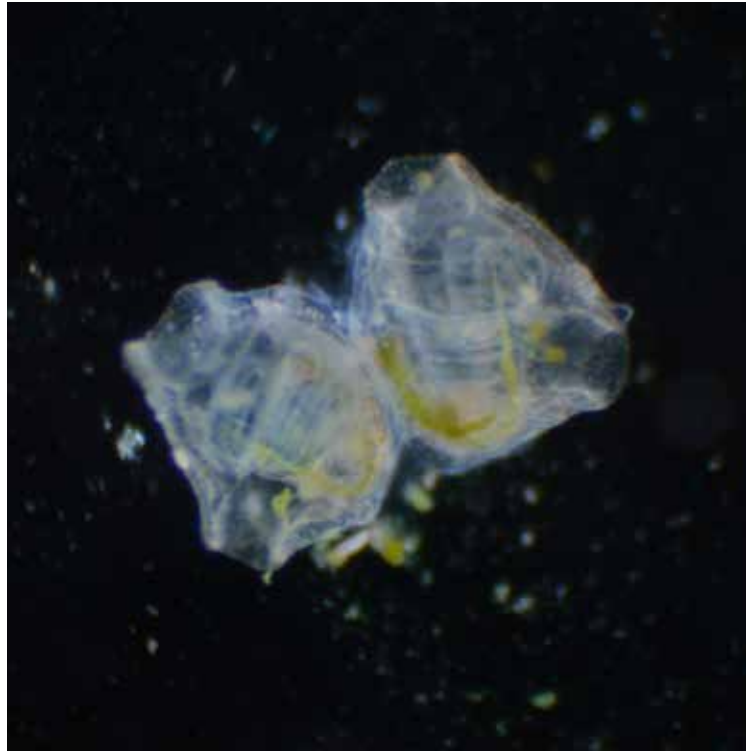
En el año 2001, y en el marco de un proyecto postdoctoral con J. C. Castilla (Proyecto Fondecyt 3020035; 2002-2005), me

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., Farías, 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.

CÓMO CITAR ESTE CAPÍTULO:

Patricio Manríquez (2023). Ecología de larvas y primeros estadios del ciclo de vida de invertebrados marinos.

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. 168-179.



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE