

Informe final publicable de proyecto

Mecanismos determinantes de la estructura comunitaria y la variabilidad espacio-temporal en comunidades acuáticas

Código de proyecto ANII: FCE_3_2020_1_162710

09/12/2022

SEGURA CASTILLO, Angel Manuel (Responsable Técnico - Científico)

CALLIARI CUADRO, Danilo (Investigador)

DE LEÓN - MACKEY, Ariel (Investigador)

KRUK GENCARELLI, Carla Cecilia (Investigador)

PERERA FERRER, Luis Gonzalo (Investigador)

RIVERA, Marcia (Investigador)

SCARABINO MAYTÍA, Fabrizio (Investigador)

VELEZ, Gabriela Manuela (Investigador)

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL ESTE (Institución Proponente) \\
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA. CENTRO UNIVERSITARIO REGIONAL ESTE

Resumen del proyecto

Esta propuesta aportó a dilucidar y evaluar mecanismos ecológicos que modulan la estructura y variabilidad poblacional y comunitaria en organismos acuáticos tanto de forma teórica como con el contraste de hipótesis formales con datos. Se colectó información de sistemas acuáticos vitales para el país, en la costa Atlántica Uruguaya. Los modelos teóricos se centraron en predecir la forma de la relación entre el tamaño corporal (peso) y la abundancia (cantidad de organismos, densidad). Basado en hipótesis sobre los límites energéticos a la cantidad de organismos que pueden habitar en una comunidad, se desarrollaron modelos con predicciones teóricas contrastables. Luego compilamos una serie de bases de datos nacionales e internacionales con las que se evaluaron con éxito las predicciones teóricas. Se desarrollaron 18 campañas oceanográficas en la costa atlántica de Uruguay y cuatro muestreos en la zona intermareal rocosa en Áreas Costero-Marinas Protegidas, donde se colectó y procesó información primaria. En este proceso, se generó información novedosa sobre la biodiversidad de ecosistemas costeros de alta relevancia para la conservación en la costa atlántica de Uruguay. Además se anclaron sensores de medición de alta frecuencia que nos permitieron cuantificar la variabilidad de las condiciones oceanográficas y meteorológicas a distintas escalas temporales. Este proyecto aportó a la formación de jóvenes investigadoras e investigadores, que participaron de las campañas, análisis y presentación en congresos regionales como parte de su formación en ciencias ambientales y se generaron nuevas colaboraciones con científicas de la región. Además, se enviaron a publicar cuatro manuscritos con los resultados principales del proyecto en revistas arbitradas internacionales. Para la difusión del proyecto se generó un corto documental con la experiencia de trabajo (<https://youtu.be/yWv1lY2IFXs>) y se realizaron instancias de divulgación abiertas a la comunidad, como el CURE de Puertas Abiertas, el evento del Patrimonio Palomense, y actividades relacionadas a la Mujer en la Ciencia.

Ciencias Naturales y Exactas / Ciencias Biológicas / Ecología / Ecología Marina- Macroecología

Palabras clave: macroecología / biodiversidad / metabolismo /

Introducción

Este proyecto evaluó hipótesis sobre las restricciones metabólicas a la densidad poblacional y sus efectos sobre la variabilidad poblacional y la estructura comunitaria. El proyecto tiene tres grandes componentes: i) derivación de predicciones formales concretas en base a los modelos planteados, ii) contraste de las predicciones con datos históricos nacionales e internacionales y iii) generación de información novedosa y detallada para evaluar aspectos que requieren de medidas específicas. Para la derivación de las predicciones concretas se seguirá la lógica desarrollada en (Segura & Perera 2019), en (DeLong & Vasseur 2012), en (Pawar et al. 2012) y en (Barneche et al. 2016) para estimar la densidad poblacional máxima ($\log(N_{\max})=n_{\max}$) de las especies dominantes. En resumen, la propuesta de escalamiento metabólico define que el límite máximo de densidad será una función lineal con el logaritmo del tamaño corporal ($\log(M)$) y cuyo intercepto estará influenciado por la temperatura (T) y el flujo de recursos (R).

$$n_{\max} = b_0 - \alpha \log(M)$$

De aquí se pueden extraer varias predicciones concretas sobre la relación tamaño-densidad máxima plausibles de ser evaluadas empíricamente. En b_0 se incluye el efecto de la temperatura y el flujo de recursos (R). Por ejemplo, el efecto exponencial de la Temperatura en el metabolismo se traduce aquí en un efecto inverso de la temperatura (E/kT ; donde E es la energía de activación y k la constante de Boltzmann). La relación esperada entonces es una recta (en log-log) donde la pendiente es similar al escalamiento del metabolismo (α) y el intercepto presenta variaciones dependiendo de la temperatura y los recursos. En línea similar se construirán derivaciones teóricas de la máxima densidad poblacional en función del tamaño utilizando modelos dinámicos y relaciones de escalamiento (DeLong & Vasseur 2012a) y otros que incluyen además la dimensionalidad del hábitat como un efecto relevante de la dinámica (Pawar et al. 2012). Por ejemplo, la solución de un modelo de de predación de Lotka-Volterra clásico genera una predicción en estado estacionario donde es posible derivar el escalamiento específico de la densidad poblacional de la presa en función de los parámetros que rigen la dinámica de consumidores y recursos. Es importante destacar que todas estas aproximaciones propuestas permiten utilizar información pre-existente para parametrizar los modelos mediante relaciones de escalamiento (Hansen et al. 1997; Kiørboe & Hirst 2014) y por lo tanto generan predicciones independientes de los datos empíricos comunitarios. Esto supone una evaluación rigurosa a las hipótesis planteadas. La evaluación de estas predicciones utilizando comunidades con dimensión del hábitat (litoral 2D y pelágico 3D), rangos de tamaños (plancton vs macroorganismos) y hábitos tróficos (predadores tope vs productores) contrastantes permitirá realizar una rigurosa evaluación de las hipótesis y modelos

planteados en cuanto a su poder de generalización.

Los modelos anteriores generan predicciones del límite poblacional máximo (n_{max}). Asumiendo que el límite inferior de la densidad poblacional (n_{min}) es independiente del tamaño se pueden generar varias predicciones concretas sobre la densidad promedio esperada (μ) y sobre la variabilidad (σ). Algo interesante, es que utilizando argumentos y valores teóricos se puede derivar que la predicción del escalamiento del valor promedio de la densidad poblacional ($\mu = -0.37$) es cercano al valor observado en series de datos globales ($\mu = -0.25$) (Lawton 1989; Segura & Perera 2019). Sin embargo, no se han realizado evaluaciones utilizando derivaciones teóricas en base a valores de escalamiento específicos para los grupos analizados. En cuanto a los patrones de variabilidad, es posible generar predicciones concretas sobre su escalamiento con el tamaño corporal a dos niveles. En base a n_{max} y n_{min} es posible derivar el escalamiento de la varianza (σ^2) con el tamaño corporal. Esta predicción teórica es novedosa, concuerda con la mayor variabilidad encontrada en comunidades locales y no ha sido evaluada rigurosamente hasta el momento (Marquet et al. 1990; White et al. 2007). La relación entre la Varianza poblacional ($Var(N)$) y la Masa (VMA), donde $Var(N) = gM^f$, fue recientemente planteada como una relación alométrica general pero son escasas las evidencias empíricas de este patrón (Cohen et al. 2012). En el trabajo teórico reciente, derivamos independientemente esta ley de escalamiento independientemente de la ley de Taylor que relaciona la media con la varianza y hallamos que la VMA es un caso particular cuando ciertas condiciones de n_{max} y n_{min} se cumplen (Segura & Perera 2019). Las evaluaciones independientes de la VMA o de la reciente propuesta teórica son escasas. Además, se generan predicciones concretas sobre patrones dinámicos de la comunidad, como ser la distribución de las fluctuaciones de las poblaciones individuales, que se espera que presenten colas pesadas por combinar distribuciones lognormales con varianza diferente (Allen et al. 2001; Segura et al. 2013) y se espera una distribución de Laplace para la agregación de las fluctuaciones de las poblaciones de toda la comunidad (Keitt & Stanley 1998; Segura et al. 2017, 2021). Estos patrones han sido derivados teóricamente en base a las hipótesis planteadas pero no han sido evaluados de forma rigurosa.

Esta propuesta permitirá la evaluación de estas hipótesis y predicciones en varias comunidades sujetas a condiciones contrastantes (submareal, pelágica, litoral) de sitios con características particulares (Laguna de Rocha, Cabo Polonio y Cerro Verde) y cuyas muestras serán tomadas para cada comunidad de forma equivalente (ver metodología). De esta forma se generará una potente base de datos para evaluar las hipótesis propuestas en un esquema que permitirá generalizar las conclusiones. En los casos que se requieran series temporales extensas para caracterizar adecuadamente las distribuciones (ej. colas pesadas), se utilizarán bases de datos internacionales disponibles que cumplan con las características necesarias (ej. L4, Canal de la Mancha).

Metodología/diseño del estudio

Se trabajó con modelos matemáticos conocidos, como el de Lotka Volterra de competencia (LVCM; (Segura et al. 2011)) al cual se agregó un efecto Alee (EA) en la mortalidad (LVCM+EA) y se derivaron matemáticamente las soluciones de equilibrio y la estabilidad del sistema en condiciones de neutralidad (ver documento adjunto). Se evaluó también una hipótesis de restricción metabólica (HRM) basada en el escalamiento empírico del metabolismo con el tamaño corporal, la temperatura, los recursos, bajo el supuesto de equivalencia energética (Segura & Perera 2019).

Se exploró un modelo matemático teórico de extremos en superficies, que permite derivar la distribución de las afectaciones de los excesos sobre cierto umbral alto. En el artículo que fue publicado en Pure and Applied Mathematics se demuestra que la distribución resultante es una distribución de Pareto Generalizada y por lo tanto se puede caracterizar el exceso mediante una distribución simple. Con este modelo evaluamos la variabilidad de una serie de datos sintética que simula el efecto de las mareas y los excesos de los hielos en la Antártida. Esta herramienta se puede aplicar a datos espacio-temporales variados y permite caracterizar la variabilidad de los efectos de los excesos de una forma relativamente simple. Con este método se pueden estimar los tiempos de retorno de afectaciones de un tamaño determinado (se adjunta el artículo publicado).

Bases internacionales

Se trabajo con los datos del canal de la mancha, que se toman desde 1992 con frecuencia semanal en la estación L4 (Widdicombe et al. 2010; Widdicombe & Harbour 2021). Estas series combinan una detallada identificación mediante microscopía de las especies de fitoplancton con variables ambientales que permiten evaluar el modelo de HRM con una serie única. Por detalles de este trabajo, ver el manuscrito que está en revisión en su segunda ronda en la revista Ecology Letters. Se colaboró con la Dra. Silvana Gonzalez, como forma de pasantía académica a distancia en el marco de su programa de doctorado en la Universidad de Washington, donde se analizaron las fluctuaciones de la población de bacalao en el Mar de Chucky (próximo a Alaska) y su relación con la variabilidad climática inter-anual (por detalles ver el manuscrito generado y que está en revisión en la revista Polar Biology).

Compilación de bases nacionales existentes

Se trabajó con bases de datos de la zona que fueron colectadas con diferente fin. La base de datos de peces e invertebrados del programa ROBIN, que recoje muestreos en la zona de Punta del Diablo fue depurada y organizada para realizar las evaluaciones de la teoría en organismos. Algunos resultados preliminares parecen apoyar las predicciones de la teoría, pero es necesario separar los organismos por nivel trófico (pues las predicciones son organismos de un mismo nivel) y eso requiere cruzar datos de isotopos estables (generados en un proyecto previo) con los datos de abundancias y tamaños y eso no ha sido realizado aun.

Generación de nuevos datos

Campañas oceanográficas

Se realizaron 18 campañas oceanográficas entre Mayo de 2021 y Noviembre de 2022 desde el Sur del Cabo Santa María hasta el Cerro Verde, involucrando las áreas marinas protegidas de Cabo Polonio y Cerro Verde.

En las campañas se perfiló la columna de agua con mediciones de alta frecuencia de la temperatura, salinidad, PAR y turbidez con un CTD Seabird. Se registraron pH, Oxígeno disuelto y otras variables de interés en superficie y fondo con un sensor HORIBA multiparámetro.

Se tomaron muestras en tres puntos de muestreo: Puerto de La Paloma, La Aguada y Los Botes. En los mismos se colectaron 51 muestras con red cónica de 100 m equipada con flujómetro, las cuales fueron fijadas en formaldehído al 4 % para posterior cuantificación e identificación taxonómica bajo lupa y microscópio óptico del fitoplancton y zooplancton. Se realizó un procedimiento similar con una red con tamaño de malla de 500 micras para colectar larvas de invertebrados y peces.

Muestreos en el intermareal rocoso

Se realizaron muestreos invierno y verano en dos sitios rocosos de la costa de Rocha: Cerro Rivero (del lado de playa grande) en Punta del Diablo. El Cabito, La Paloma.

Toma de muestras: En cada sitio se realizaron 3 transectas perpendiculares a la costa, abarcando toda la extensión del intermareal (alto, medio y bajo; según la descripción de Vélez-Rubio et al. 2021) y tomándose tres cuadrantes de 35 x 35 cm en cada una de las zonas (total 9 cuadrantes por transecta y 27 por sitio). Los cuadrantes se numerarán del 1 al 9 dentro de cada transecta. Del 1 al 3 intermareal alto, del 4 al 6 int. medio y del 7 al 9 int. Bajo En el caso de tener posibilidad de acceder al submareal los cuadrante se numerarán con números sucesivos. En cada uno de los cuadrantes se tomarán fotos y se identificarán in situ las especies de organismos sésiles y móviles (invertebrados y algas). Además se colectarán todos los organismos presentes mediante remoción con espátula (en caso de mantos uniformes) en caso de ejemplares aislados se utilizaron cuchillos o utensilios más pequeños. En cada sitio se registraron las variables ambientales: temperatura ambiente, dirección e intensidad del viento, cobertura de nubes, nivel de la marea y otra información relevante.

En cada punto se midió la distancia a línea de marea, la profundidad y con una sonda HORIBA multiparámetro otras variables relevantes (O₂, pH, etc.). En laboratorio se identificaron las especies, se pesaron y midieron los ejemplares. Se realizó una primera separación y limpieza de mejillones en el laboratorio, que fueron medidos y pesados. Laboratorio: Tamizado de muestras, medición y pesado de muestras, guardado en frascos y etiquetado.

Resultados, análisis y discusión

Teóricos- modelo LVCM+ALEE

Se hallaron las condiciones para los equilibrios del modelo de competencia con efecto Alee en la mortalidad. Luego, asumiendo escalamiento de los parámetros del modelo con el tamaño corporal, se dedujo el escalamiento de la relación tamaño-abundancia y las condiciones para que se registre un escalamiento del límite superior y del límite inferior. Si bien el límite superior no se modifica por el EA, el límite inferior, bajos ciertas condiciones (mortalidad > natalidad) se registra un escalamiento definido de la relación tamaño-abundancia que depende de la constante que caracteriza el efecto Alee y que relacionamos con el efecto de la depredación y la relación de tamaños corporales entre depredador y presa. Estos resultados son novedosos y se ha enviado un artículo al Journal of Mathematical Biology para su publicación (se adjunta anexo el manuscrito enviado).

Utilizando los datos de 1992 a 2020 sobre abundancia de fitoplancton de la estación L4 del Canal de la Mancha, se contrastó la hipótesis central de este proyecto sobre la dependencia del tamaño, los recursos y la temperatura en el escalamiento de la abundancia máxima. En el mismo encontramos fuerte apoyo a la hipótesis planteada y concretamos una de las

primeras evaluaciones formales utilizando distribuciones extremas para caracterizar los residuos. Esta aproximación mejora intentos previos de caracterizar la relación tamaño-abundancia en los límites y provee de estimaciones de los tiempos de retorno insesgadas, a diferencia de lo que ocurre de asumir distribuciones Gausianas. Estos resultados han sido enviados a publicar en una revista internacional y están en una segunda fase de revisión. Se adjunta el manuscrito enviado en el anexo.

Para la población de bacalao del mar de Chucky registramos que las fluctuaciones poblacionales estimadas por métodos acústicos por 5 años son de colas pesadas, con un buen ajuste de distribuciones de la t y que los deshielos tienen una relevancia en la dinámica de la variabilidad de las mismas, con un efecto en la trama trófica. Se escribió un manuscrito que se encuentra a consideración de la revista *Polar biology*.

Se estandarizó y compiló la matriz de datos del proyecto ROBIN, para adecuarla a los fines del presente proyecto. La matriz original contiene 36906 organismos de 30 taxa que incluyen peces e invertebrados. Para aquellos casos en los que no se poseía la información de tamaño y peso individual, se reconstruyó la estructura de tallas y pesos en base a la distribución de tallas observada y el peso a granel totalizando información de 79643 individuos. La regresión en cuantiles estimada en el cuantil superior arrojó una pendiente promedio de -0.7 con un intervalo de confianza al 95% entre $[-0.76$ y $-0.56]$. El límite incluye las predicciones teóricas del límite superior, pero los resultados son preliminares, pues es necesario separar cada organismo en un nivel trófico debido a que las predicciones son para organismos que consumen el mismo conjunto de recursos. En el límite inferior, no se registró escalamiento con el tamaño, de acuerdo a la predicción que emerge cuando la natalidad es mayor a la mortalidad ($b > m$; ver artículo teórico por un desarrollo de la misma). Este fenómeno es esperable en un Área marina protegida que tiene muchas características para ser un área de cría multi-específica.

Campañas oceanográficas

Se realizaron 52 lances de CTD en los sitios desde el sur del Cabo Santa María hasta el Cerro Verde entre Octubre de 2021 hasta Noveiembre de 2022. Se registraron en superficie y fondo valores con un multiparámetro Horiba (ver en anexos el documento con las figuras insertadas). La temperatura mostró un patrón estacional marcado, con valores entre 10 y 25 °C y la salinidad entre 34 y 20. Estos valores fueron consistentes con la oceanografía de la zona. En estos muestreos se tomaron muestras de agua con botella y redes para caracterizar la comunidad de productores primarios y consumidores heterotróficos planctónicos. En la fracción del Fitoplancton se analizaron 20 muestras de agua y se está generando una base de datos comunitaria con tamaños y abundancias que están aun en la fase de procesamiento. Los géneros y especies más frecuentes de diatomeas fueron *Coscinodiscus* spp., *Chaetoceros* spp., *Actinocyclus* sp., *Thalassionema nitzschioides* y *Odontella sinensis*, y de dinoflagelados autótrofos fueron *Tripos* spp. (*T. brevis*, *T. fusus* y *T. furca*) y *Protoperidinium depressum*, oscilando sus codominancias entre cada una de las fechas. Como resultados relevantes, se detectó en las muestras las especies *Alexandrium* cf. *tamarense* productora de saxitoxina, *Pseudo-nitzschia* sp. que produce ácido domoico y una floración excepcional de *Trichodesmium erythraeum* en la zona de Cabo Polonio. En conjunto se identificaron un total de 34 taxa (Tabla 1) de holoplancton y meroplancton en el grupo de zooplancton. La mayor riqueza de especies ocurrió en otoño (mayo) del 2022 (17 taxa) y la menor en verano del mismo año (5 taxa). La mayor densidad de organismos se registró en invierno de 2022 (339250 ind. m^{-3}) y la menor en primavera de 2021 (1680 ind. m^{-3}). A partir de estos resultados se presentó un resumen en el congreso Latino-Americano de Ciencias del Mar (COLACMAR).

Se colectaron 52 muestras con una red con tamaño de poro 500 micras para colectar larvas de peces e invertebrados. Las mismas fueron fijadas con Alcohol 70% para preservar para su conteo y análisis en futuros proyectos. Cabe destacar que en esta fracción de tamaños se encuentran las larvas de peces y crustáceos de importancia comercial, como camarones y peces óseos, como la corvina y pescadilla.

En el marco de la colaboración con la Dra. Valentina Amaral se caracterizó la el Carbono Orgánico Disuelto (COD), se realizó una determinación de la materia orgánica disuelta cromofórica y fluorescente (CDOM y FDOM, respectivamente). En la zona del puerto se registraron valores relativamente altos de FDOM de origen biológico en los meses de abril y mayo (27% y 37%), en donde los espectros de absorción mostraron un pico a ~ 300 nm, que podría asociarse a altas concentraciones de nitrato ($> 70 \mu M$) y/o a la producción de CDOM por parte de zooplancton (en particular, gelatinosos). Además, compuestos como los hidrocarburos policíclicos aromáticos presentan máximos de excitación y emisión que se superponen a las señales de proteína por lo que estos picos también se han relacionado con contaminación por hidrocarburos. Aumentar el número de muestras permitirá aplicar técnicas estadísticas que profundizará en el estudio de la FDOM en la zona.

En el marco de las salidas embarcadas, se realizó el avistamiento de megafauna marina- contabilizando albatros, petreles, delfines franciscana, gaviotines, pingüinos, lobos, leones, toninas, falsa orca y orcas. Estos avistamientos han sido registrados y serán disponibilizados en las bases de datos de avistamiento de Uruguay.

Mediante buceo autónomo y apnea con apoyo logístico del velero Imposible se realizó una campaña inédita para Uruguay en marzo de 2021, que reunió a buzos residentes en La Paloma, investigadores del CURE y de la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). Se contó con amplio apoyo de la Armada y PNN a los efectos de autorizar los buceos y del Club Náutico Sudestada a los efectos logísticos. Se trabajó en las islas de La Coronilla y Cabo Castillos/Polonio, permitiendo poner a punto técnicas y fortaleciendo vínculos y perspectivas de trabajo. Se exploró el macrobentos menor y mayor, permitiendo muestrear una variedad de especies y hábitats hasta ca. 7 m. Se destaca la verificación de la presencia del caracol invasor *Rapana venosa* en todas las áreas y la obtención de ejemplares de una forma de caracol de las rocas (*Stramonita* sp.) fundamental para establecer su identidad. Material (ejemplares fijados en alcohol) depositadas en el Museo Nacional de Historia Natural y fotografías in situ serán fundamentales para realizar numerosos análisis taxonómicas y de guías de reconocimiento.

En los estudios del intermareal rocoso, la generación de un set de muestras único a nivel nacional en términos de cobertura espacio-temporal y de disponibilidad para estudios taxonómicos y faunísticos (incluyendo posibilidad de análisis genéticos). Por esto y por la conservación adecuada de las muestras, este set permitirá el desarrollo de varias tesis y tesis de posgrado en variedad de disciplinas asociadas a la diversidad y estructura del intermareal rocoso. En particular, los muestreos permitieron detectar una variedad de especies que no han sido incorporados aún a los esquemas de zonación y que si bien frecuentes, hasta ahora su presencia no está explicitada en estudios ecológicos y lo están muy inicialmente en términos faunísticos taxonómicos. Se destacan en este sentido moluscos (*Chaetopleura isabellei*, *Entodesma patagonicum*, *Hiatella* sp., *Epitonium* aff. *unifasciatum*) y picnogónidos que aun no han sido identificados. El hallazgo de material que permitirá identificar adecuadamente la presencia de organismos vivos de microgasterópodos *Cerithiopsidae* (*Cerithiopsis* grupo *fusiformis*) en la costa uruguaya, el punto más austral en el Atlántico Occidental (trabajo a avanzar entre participantes del proyecto e investigadores brasileños).

En el marco de los muestreos y el trabajo, se generaron acuerdos de colaboración con la Dirección Nacional de Hidrografía dependiente del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (DNH-MTOP), para un monitoreo de las condiciones ambientales del puerto y con la Dirección Nacional de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos del Ministerio de Ambiente (DINABISE-MA). Para ambas agencias se están generando informes detallados de las condiciones con foco en los intereses particulares de cada organización.

Conclusiones y recomendaciones

Se ha aportado al avance de la teoría ecológica en un tema clásico, como es entender la relación tamaño abundancia. En términos teóricos, se avanzó en derivar potenciales mecanismos que determinan el límite superior, pero fundamentalmente, y de forma novedosa, se generaron derivaciones y predicciones teóricas sobre los determinantes del límite inferior. El escalamiento del límite inferior aparece determinado por la relación entre mortalidad y natalidad y puede generar patrones de no escalamiento ($b > m$) o escalamientos que en este caso fueron relacionados con el tipo e intensidad de la depredación. Este límite inferior al tamaño poblacional es crítico para la conservación pues determina en que punto una población deja de ser viable en un determinado ecosistema. Es un aspecto que merece la pena continuar explorando tanto de forma teórica como de hallar sistemas interesantes para su contraste con datos empíricos. Se logró generar publicaciones de nivel internacional, la difusión en congresos y la formación de estudiantes en estos temas. Estas hipótesis combinan mecanismos ecológicos fundamentales con modelos matemáticos formales plausibles de ser evaluados. Es una avenida que es interesante transitar y en la cual quedan aun muchas preguntas abiertas. Parte de los datos generados en el marco del proyecto y que no pudieron ser analizados servirán de insumo para avanzar en la evaluación rigurosa de estas hipótesis.

En general el proyecto permitió ampliar el conocimiento de nuestra biodiversidad marina. Este insumo es fundamental al momento de definir el ordenamiento del territorio y la definición de políticas públicas. En este sentido, la colaboración con DINABISE para poner puntos en común y facilitar información primaria y capacidades de trabajo se ve como un aporte relevante y con proyección a futuro. La consolidación de una plataforma de monitoreo oceanográfico mediante el apoyo a el equipamiento de un velero de 15m de eslora, dota al país de una capacidad inexistente para investigar y realizar monitoreos oceanográficos costeros.

En términos de monitoreo ambiental, la caracterización del estado de la calidad de agua del puerto deportivo de la Paloma es un aporte interesante que abre la puerta a trabajos conjuntos en la zona y la consolidación de la Universidad en la región Este del país.

La formación de un grupo de trabajo con investigadoras e investigadores jóvenes permite proyectarse en la generación de proyectos con mayor envergadura, en el marco de la investigación en ambientes marinos. Estos estudiantes conjugan una interesante capacidad de trabajo en el terreno, así como en técnicas de laboratorio y formación en análisis de datos. Es importante generar las condiciones materiales para retener estas capacidades humanas en el país y desarrollar las ciencias marinas a otro nivel.

Referencias bibliográficas

- Allen, A.P., Li, B.-L. & Charnov, E.L. (2001). Population fluctuations, power laws and mixtures of lognormal distributions. *Ecology Letters*, 4, 1–3.
- Barneche, D.R., Kulbicki, M., Floeter, S.R., Friedlander, A.M. & Allen, A.P. (2016). Energetic and ecological constraints on population density of reef fishes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283, 20152186.
- Cohen, J.E., Xu, M. & Schuster, W.S.F. (2012). Allometric scaling of population variance with mean body size is predicted from Taylor's law and density-mass allometry. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 109, 15829–15834.
- DeLong, J.P. & Vasseur, D.A. (2012a). A dynamic explanation of size–density scaling in carnivores. *Ecology*, 93, 470–476.
- DeLong, J.P. & Vasseur, D.A. (2012b). Size-density scaling in protists and the links between consumer–resource interaction parameters. *J Anim Ecol*, 81, 1193–1201.
- Hansen, P.J., Bjørnson, P.K. & Hansen, B.W. (1997). Zooplankton grazing and growth: Scaling within the 2–200 μm body size range. *Limnol. Oceanogr.*, 42, 687–704.
- Keitt, T.H. & Stanley, H.E. (1998). Dynamics of North American breeding bird populations. *Nature*, 393, 257–260.
- Kjørboe, T. & Hirst, A.G. (2014). Shifts in Mass Scaling of Respiration, Feeding, and Growth Rates across Life-Form Transitions in Marine Pelagic Organisms. *The American Naturalist*, 183, E118–E130.
- Lawton, J.H. (1989). What Is the Relationship between Population Density and Body Size in Animals? *Oikos*, 55, 429.
- Marquet, P.A., Navarrete, S.A. & Castilla, J.C. (1990). Scaling Population Density to Body Size in Rocky Intertidal Communities. *Science*, 250, 1125–1127.
- Pawar, S., Dell, A.I., & Van M. Savage. (2012). Dimensionality of consumer search space drives trophic interaction strengths. *Nature*, 486, 485–489.
- Segura, A., Wiff, R., Jaureguizar, A., Milessi, A. & Perera, G. (2021). A macroecological perspective on the fluctuations of exploited fish populations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 665, 177–183.
- Segura, A.M., Calliari, D., Kruk, C., Conde, D., Bonilla, S. & Fort, H. (2011). Emergent neutrality drives phytoplankton species coexistence. *Proceedings of the Royal Society B*, 278, 2355–2361.
- Segura, A.M., Calliari, D., Lan, B.L., Fort, H., Widdicombe, C.E., Harmer, R., et al. (2017). Community fluctuations and local extinction in a planktonic food web. *Ecology Letters*.
- Segura, A.M. & Perera, G. (2019). The Metabolic Basis of Fat Tail Distributions in Populations and Community Fluctuations. *Frontiers in Ecology and Evolution*.
- Segura, Calliari, D., Fort, H. & Lan, B.L. (2013). Fat tails in marine microbial population fluctuations. *Oikos*, 122, 1739–1745.
- White, E.P., Ernest, S.K.M., Kerkhoff, A.J. & Enquist, B.J. (2007). Relationships between body size and abundance in ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 22, 323–330.
- Widdicombe, C.E., Eloire, D., Harbour, D., Harris, R.P. & Somerfield, P.J. (2010). Long-term phytoplankton community dynamics in the Western English Channel. *Journal of plankton research*, 32, 643–655.
- Widdicombe, C.E. & Harbour, D. (2021). Phytoplankton taxonomic abundance and biomass time-series at Plymouth Station L4 in the Western English Channel, 1992–2020.

Licenciamiento

Reconocimiento 4.0 Internacional. (CC BY)