



Capítulo 2.4
Síntesis del conocimiento
sobre comunidades
planctónicas y bentónicas:
estructura, funcionamiento
y potenciales riesgos

Alevines de merluza (*Merluccius hubsi*). Intervención gráfica a partir de fotografía obtenida en la campaña oceanográfica para la elaboración de una línea de base ambiental de la zona económica exclusiva de Uruguay (Advisian, 2016).

Capítulo 2.4

Síntesis del conocimiento sobre comunidades planctónicas y bentónicas: estructura, funcionamiento y potenciales riesgos

Pablo Muniz,^{1(*)} Ernesto Brugnoli,¹ Danilo Calliari,¹
Natalia Venturini¹ y Beatriz Yannicelli²

¹ Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales (IECA),
Facultad de Ciencias, Universidad de la República

² Departamento de Estudios Interdisciplinarios Costero Marino (DISCOMAR),
Centro Universitario Regional Este, Universidad de la República

(*) Salvo el primer autor, los demás aparecen en orden alfabético

Introducción¹

Los efectos del cambio climático y de las actividades humanas en el medio marino, como la pesca, la extracción de petróleo y gas, el tráfico marítimo y, en el futuro, la minería de los fondos marinos, ejercen una creciente presión sobre los ecosistemas marinos de aguas abiertas a escala global. En el Atlántico Sur es donde el crecimiento de estas actividades y sus efectos son más notables (Halpern

et al., 2019). Para un correcto manejo, sostenibilidad y conservación es imprescindible una atenta administración y gestión de los recursos y de las actividades que se desarrollan en dicho espacio, lo cual requiere un nivel de conocimiento amplio, pero, a su vez, detallado del mar y de sus componentes, tanto vivos como no vivos.

Los márgenes continentales albergan ecosistemas de aguas profundas que se distribuyen en parches y sustentan una gran biodiversidad (Levin y Sibuet, 2012). Los márgenes muestran una marcada heterogeneidad de hábitats representada por una combinación de características geomorfológicas (por ejemplo, cañones, arrecifes de coral de agua fría) y fuertes gradientes ambientales que incluyen la temperatura y el ingreso de partículas de carbono orgánico (Carney, 2005).

1 Los autores agradecen a los editores la invitación para colaborar en esta obra; a ANCAP, por compartir los datos ambientales, oceanográficos y meteorológicos adquiridos durante los proyectos de exploración costa afuera; y a Rodrigo Novo, por la elaboración de los mapas de este capítulo. Todos los autores agradecen también al Sistema Nacional de Investigadores de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación y a la Universidad de la República.

Como resultado, los márgenes continentales sostienen muchos ecosistemas frágiles de aguas profundas con su propia biodiversidad y valiosos servicios ecológicos y ecosistémicos (Levin *et al.*, 2001; Thurber *et al.*, 2014). Los márgenes continentales también son una fuente muy importante de valiosos recursos, incluidos los hidrocarburos y los minerales, los cuales, casi sin excepción, están siendo cada vez más explotados debido al desarrollo tecnológico y al agotamiento de las reservas en tierra y aguas poco profundas (Khain y Polyakova, 2004).

En la región subtropical del Atlántico Sudoccidental, en la zona de transición de la circulación regional (entre 33° y 38° S, entrada del Río de la Plata y confluencia Brasil-Malvinas), se encuentra el margen continental uruguayo (figura 1; ver capítulo 2.5 de este libro), una región compleja desde el punto de vista ambiental y oceanográfico. Se trata de una zona de jurisdicción nacional, zona económica exclusiva (ZEE), que se extiende hasta las doscientas millas, que forma parte del gran ecosistema marino (LME, por su sigla en inglés) de la plataforma sudamericana patagónica, caracterizado por su alta biodiversidad. El encuentro de aguas contrastantes desde el punto de vista termohalino determina la formación de frentes bien desarrollados (Ortega y Martínez, 2007; Matano *et al.*, 2010) que sustentan una región muy dinámica (Acha *et al.*, 2008) y relevante para la biodiversidad tanto a escala global como regional (ver capítulos 2.5 y 3.3 de este libro).

En la ZEE las aguas de origen continental están presentes a lo largo de toda la plataforma en los primeros 70-80 metros de la columna

de agua. Este comportamiento se observa de forma marcada en el área de influencia de la desembocadura del Río de la Plata (RdlP) en su concurrencia a través de la plataforma continental, para extenderse de manera gradual sobre los fondos de la ZEE. Por su parte, las aguas de origen oceánico que se encuentran sobre la ZEE son aquellas características de esta parte del Atlántico Sur: aguas centrales (SACW), aguas intermedias (AAIW), profundas (NADW) y de fondo (AABW) (ver capítulo 2.3 de este libro; Advisian, 2016). En cuanto a las propiedades químicas de las masas de agua, la región de estudio se caracteriza tanto por la influencia de aguas de origen continental provenientes del RdlP y del complejo Patos-Merín (con aporte de nutrientes y materia orgánica) como de las aguas profundas de origen oceánico (Tudurí *et al.*, 2014).

Con relación al fondo oceánico (por mayores detalles ver capítulo 2.1 de este libro), la zona de estudio (ZEE) presenta un carácter geomorfológico muy dinámico y heterogéneo en toda su extensión, debido al origen pasivo del margen continental del Atlántico Sudoccidental. La plataforma continental se ensancha hacia el sur y presenta una pendiente suave, cuyo quiebre ocurre a aproximadamente 180 metros de profundidad (Urien y Ewing, 1974). El paleovalle de la parte interna forma un depocentro de fango (Lantzsch *et al.*, 2014). Entre los márgenes continentales de Uruguay y Argentina se ubica el sistema de cañones submarinos del RdlP, entre los 35° S y los 38° S (Lonardi y Ewing, 1971; Franco-Fraguas *et al.*, 2014). Un sistema depositacional contornítico bien desarrollado con características erosivas y de depósito asociadas con la acción de las masas

de agua antárticas y su interfaz está presente en el talud y la elevación (Hernández-Molina *et al.*, 2016), mientras que el talud inferior y la llanura abisal están dominadas por fangos (Burone *et al.*, 2021).

El ambiente pelágico, formado por las aguas libres de mares y océanos, constituye el principal dominio espacial en los ecosistemas marinos. Es en este dominio que se encuentra el plancton, conjunto de organismos en el que están representados prácticamente todos los *phyla* del reino animal y que, por tanto, presenta una diversidad extremadamente amplia de formas de vida, de grados de complejidad en la organización biológica individual y de funciones ecológicas (Calliari *et al.*, 2022). La importancia crítica de este conjunto de organismos en la economía de mares y océanos radica en que son quienes dominan en términos cuantitativos todas las funciones ecosistémicas centrales, como producción primaria, secundaria, flujos trofodinámicos y respiración (Kjørboe, 1993). Como ocurre en casi todos los océanos del mundo, en el Atlántico Sudoccidental la abundancia y los aspectos cualitativos del plancton dependen de las características de las masas de agua y la circulación oceánica. La convergencia en la región de estudio de Brasil-Malvinas otorga al sistema pelágico atributos altamente dinámicos, tanto espacial como temporalmente (Calliari *et al.*, 2009; Lutz *et al.*, 2018).

El bentos como grupo de organismos marinos es responsable por gran parte de la riqueza biológica que está presente en los mares y océanos del mundo. Este heterogéneo grupo está formado por no menos de 25 *phyla* animales que viven asociados al fondo o lecho marino, y constituye una fracción muy

significativa de la biomasa de los fondos marinos (Cusson y Bourget, 2005), suministrando recursos pesqueros en forma directa (ver capítulo 3.3 de este libro), así como alimento para una variedad de organismos de interés económico (Hilborn, 2012). Además, estos organismos resultan sumamente útiles para el monitoreo y la evaluación de impactos ambientales de actividades antrópicas (Muniz *et al.*, 2013). En tal sentido, el conocimiento de las comunidades bentónicas desde el punto de vista de su estructura y funcionamiento es crítico para poder entender y mitigar los efectos que las actividades humanas ejercen sobre los ecosistemas de aguas abiertas en el contexto actual de creciente demanda de recursos renovables y no renovables a los que están sujetos estos ecosistemas (Hein *et al.*, 2013).

Para que el uso de los recursos existentes en esta amplia zona sea sostenible debe compatibilizarse su explotación con la protección y preservación del medioambiente marino. La evaluación de la potencialidad de los recursos y la implementación de políticas adecuadas de manejo deben sustentarse en conocimiento científico relevante (Smith *et al.*, 2008). En este sentido, el presente capítulo pretende aportar una breve síntesis de la información existente sobre las comunidades del ambiente pelágico (aguas libres de mares y océanos) y del ambiente bentónico (comunidades que mantienen íntima relación con los fondos marinos). Específicamente, se hace énfasis en el plancton (organismos de vida libre cuya capacidad de movimiento les impide desplazarse en el plano horizontal de forma independiente a los movimientos del agua) y el bentos (organismos, mayormente invertebrados, que mantienen algún tipo

de relación con el fondo marino, para vivir sobre él o en su interior o desplazarse, durante parte o la totalidad de su ciclo de vida. Se consideran también ciertos aspectos ambientales claves para la comprensión de los patrones visualizados y se finaliza con consideraciones sobre la identificación de aspectos sustanciales al proyectar la exploración y la explotación de recursos, así como con una reflexión crítica sobre las estrategias globales que son utilizadas frente a los múltiples usos del espacio marino en consideración. Este capítulo, el de estrategias de conservación de la biodiversidad (capítulo 2.5) y el referido a recursos pesqueros (capítulo 3.3) compilan el conocimiento existente sobre la estructura biológica de la ZEE de Uruguay.

Columna de agua: heterogeneidad espacial del medio fisicoquímico y del plancton

Este apartado presenta una síntesis del conocimiento de la estructura del ambiente fisicoquímico y del plancton de las aguas marinas uruguayas. La estructura física y la circulación del Atlántico Sudoccidental son abordados en profundidad en el capítulo 2.3 (Manta *et al.*) de esta misma publicación, por lo cual aquí la discusión se limita a aquellos elementos particularmente relevantes como determinantes de los patrones de distribución y actividad de las especies presentes. El trabajo de Calliari *et al.* (2014) es un antecedente relativamente cercano en el tiempo referido a la estructura y la zonación del plancton en aguas uruguayas, por lo cual esta revisión presentará una actualización de

la información priorizando aspectos complementarios del funcionamiento de las comunidades planctónicas. En primer lugar, se presentan las características generales de la estructura fisicoquímica de las aguas uruguayas. Las condiciones químicas en la ZEE, fueron descritas en Tuduri *et al.* (2014); el presente capítulo actualiza la información en dicha área y lo complementa aportando datos inéditos que dan cuenta del estado trófico de la ZEE uruguaya mediante el índice trófico TRIX en sus tres variantes. Algunos mecanismos clave en el funcionamiento del sistema del margen continental uruguayo relevantes para la presente descripción fueron compilados y sistematizados en Burone *et al.* (2021), donde puede encontrarse una descripción complementaria a la presente.

Estructura fisicoquímica

Las aguas uruguayas sobre plataforma y el talud continental forman parte de la convergencia subtropical en el Atlántico Sudoccidental (Odebrecht y Castello, 2001). La distribución y la actividad de las comunidades pelágicas allí presentes son fuertemente influidas por las propiedades fisicoquímicas, la dinámica de las masas de agua intervinientes y las estructuras oceanográficas que resultan de esta interacción. La región está dominada por dos corrientes de borde occidental, las corrientes de Brasil (CB) y Malvinas (CM), que se mueven en direcciones opuestas y transportan masas de agua con propiedades contrastantes: agua tropical (TW) y agua central del Atlántico Sur (SACW) la primera (en general aguas más cálidas, más salinas y pobres en nutrientes vegetales) y agua subantártica (SAW) la segunda (más fría, menos salina y más rica en nutrientes) (Olson *et al.*, 1988;

Matano *et al.*, 2010). La CB confluye con la CM y se separa del borde continental entre los 33° S y 38° S, dirigiéndose hacia el este y formando en conjunto con la CM la corriente del Atlántico Sur. La separación de la CB y su confluencia con la CM presenta un corrimiento latitudinal estacional hacia el norte en el invierno austral y hacia el sur en el verano (Chelton *et al.*, 1990). Ello implica variaciones profundas en las características del ambiente y de las comunidades pelágicas en la ZEE. Sobre la plataforma continental las ramas costeras de la CB y la CM confluyen en el mar uruguayo sobre los 34° S, generando un flujo compensatorio de exportación hacia afuera de la plataforma (Piola *et al.*, 2018). Estas ramas costeras transportan aguas originadas en las corrientes mayores pero modificadas por la interacción con la atmósfera y el continente, especialmente por los flujos de agua dulce.

Además de la confluencia de la CB y la CM y su variabilidad temporal, se identifican dos elementos destacados que regulan la estructura del ambiente y la actividad biológica: i) la descarga de agua dulce por parte del RdLP; y ii) el Frente Subtropical de Plataforma (STSE, también conocido localmente como “Frente de Piola”). El RdLP recoge el drenaje de una cuenca de más de dos millones de kilómetros cuadrados cuya descarga (aproximadamente $25.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) afecta a gran parte de la plataforma uruguaya y genera una pluma superficial de baja salinidad y densidad que se mueve hacia el norte atrapada a la costa, especialmente durante el invierno (Pluma del RdLP, RPP) (Piola *et al.*, 2008). El STSE es una estructura cuasipermanente que se extiende en dirección aproximada norte-sur entre la isóbata de 50 metros en los 32°

S y el quiebre de la plataforma en los 36° S; es decir, atraviesa la totalidad del mar uruguayo (Piola *et al.*, 2000). Este frente separa las aguas subtropicales de plataforma (STSW) de las aguas subantárticas de plataforma (SASW) y durante el verano resulta compensado en densidad, es decir, las mismas isopícnas a ambos lados permiten el flujo a través del frente. Esto podría representar un mecanismo por el cual materiales disueltos y particulados (por ejemplo, plancton) son adveccionados desde la plataforma interna hacia el interior del océano. La RPP fluye por encima del STSE, por lo cual la estructura frontal no está presente en la superficie y es invisible para sensores remotos.

Condiciones químicas

Desde la revisión de Tuduri *et al.* (2014) se ha generado escasa información referente a oceanografía química en la ZEE, por ejemplo: Bratkič *et al.*, 2016; Piola *et al.*, 2018; Berden *et al.* 2022; Manta *et al.*, 2022. La mayoría de los nuevos trabajos se enfocan en elementos mayoritarios como los (macro) nutrientes inorgánicos disueltos en la columna de agua y refieren a diferentes áreas de la ZEE. Bardet *et al.* (2022) estudiaron la plataforma entre los 30° S y 40° S durante la primavera de 2013, mientras Manta *et al.* (2022) discuten los resultados de la campaña de otoño de 2016 (Advisian, 2016). En dicha campaña las máximas concentraciones de nutrientes ocurrieron sobre la plataforma cerca del RdLP y en aguas frías de Malvinas cerca del extremo sur del quiebre de plataforma, mientras que fueron bajos en las estaciones profundas oceánicas. Bratkič *et al.* (2016) analizaron el comportamiento del oxígeno disuelto en el paralelo 40° S del Atlántico Sur, incluyendo

puntos en la ZEE hasta profundidades de 1.000 metros y recientemente Berden *et al.* (2022) analizaron las variaciones de este gas disuelto, encontrando valores de saturación con máximos asociados a aguas subantárticas de plataforma y mínimos en las aguas subantárticas costeras.

Con relación al dióxido de carbono (CO_2), el fitoplancton y el ciclo del carbono, se identifican estudios para la zona del Atlántico Sudoccidental y en particular para la Convergencia Brasil-Malvinas (De Oliveira Carvalho *et al.*, 2022). De acuerdo con los patrones de distribución del fitoplancton y el CO_2 (presiones parciales), estos autores distinguen dos regiones biogeoquímicas dentro de la plataforma suroeste del Atlántico Sur: al norte de 35°S y al sur de $40\text{-}50^\circ \text{S}$, separadas por una zona de transición ($35^\circ \text{S}\text{-}40^\circ \text{S}$) que se corresponde aproximadamente con la plataforma argentino-uruguaya entre los 35°S y 38°S . En esa región encontraron que los cambios en la salinidad y en la temperatura promovieron cambios en los grupos dominantes del fitoplancton y, en consecuencia, en el comportamiento de la superficie del océano, que alterna entre emisión (desgasificación de CO_2) y captación de gases. Por otro lado, Cotovicz Jr. *et al.* (2022) realizaron una revisión y análisis de perspectivas del conocimiento de la acidificación marina en zonas costeras de Brasil. Su revisión identificó 24 artículos publicados entre 2006-2020 sobre acidificación del océano en el Atlántico Sur, mientras que para el Atlántico Norte reportaron 110 artículos, lo que refleja un área del conocimiento poco desarrollada para la región. Además, sugieren que la costa sur-suroeste de Brasil con influencia de masas de agua con menor temperatura (RPP y Masa

de Agua costera del Sur) es más vulnerable a la acidificación en comparación con la costa norte-noreste de Brasil, que presenta masas de agua más cálidas (agua tropical y Pluma del Amazonas). Esto es debido a que las masas de agua fría tienen menor capacidad de amortiguación y experimentarán impactos negativos de la acidificación más temprano que las masas de aguas más cálidas (Cotovicz Jr. *et al.*, 2022).

Finalmente, dos trabajos evaluaron los elementos minoritarios o traza. Bratkič *et al.* (2016) determinaron las concentraciones de las diferentes especies de mercurio en la columna de agua en una transecta (40°S) en el océano Atlántico. Dichos autores reportan concentraciones más altas en el borde occidental y las menores concentraciones en el borde oriental del océano Atlántico. Por otro lado, la distribución de metales (cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel, plomo y zinc) asociados a la materia particulada suspendida en la columna de agua fue estudiada a lo largo de la plataforma argentina y argentino-uruguaya y se reportaron las máximas concentraciones de materia particulada y metales manganeso, níquel, cromo y hierro en la desembocadura del RdIP (estación 1) (Villagrán *et al.*, 2021).

Plancton

Existe un cuerpo sustantivo de bibliografía referida a la composición de las comunidades planctónicas y su distribución en aguas uruguayas. Ello se traduce en un grado de conocimiento relativamente bueno o muy bueno para algunos grupos taxonómicos (por ejemplo, pterópodos, cladóceros, eufáusidos, quetognatos, salpas), regular en varios casos

(por ejemplo, tintínidos, *Hydromedusae*, ostrácodos, doliólidos), pero pobre y muy pobre en otros tantos (por ejemplo, ciliados, radiolarios, misidáceos, anfípodos, poliquetos) (Boltovskoy *et al.*, 2002). Para la mayoría de los grupos existe un patrón de máxima riqueza taxonómica en plataforma externa y talud (profundidades > 200 m); es el caso de radiolarios, salpas, doliolidos, apendicularias, misidáceos, pteropodos, poliquetos, copepodos e *Hydromedusae*. Una alta riqueza relativa en aguas uruguayas está relacionada con las características regionales como sistema de transición, dadas por la confluencia de la CB y la CM (Boltovskoy, 1999), es decir, en el mar uruguayo alternan estacionalmente especies de diferente origen biogeográfico en función de la dominancia de aguas más cálidas y salinas o más frías y salobres (por ejemplo, CB versus CM), así como por la influencia de la RPP.

La biomasa fitoplanctónica sigue un patrón inverso al de diversidad del zooplancton en el gradiente continente-océano: disminuye desde regiones cercanas a la costa y la plataforma hacia el océano profundo, según evidencia consistente basada en datos *in situ* y provenientes de sensoramiento remoto. Este es un modo de variación típico que en nuestra región se asocia con las masas de agua y sus propiedades químicas como temperatura, salinidad, sílice y nitrógeno (formas inorgánicas disueltas; Calliari *et al.*, 2014). Así, los mayores tenores de biomasa (clo-a > 4 mg m⁻³) en general se observan en salinidades y temperaturas moderadas a bajas (34 < S < 35; 14 °C < T < 18 °C), alto sílice y moderado a bajo nitrógeno inorgánico disuelto (NID).

La variabilidad temporal de la biomasa de fitoplancton (por ejemplo, medida como

clorofila-a) puede ser indicativa de los procesos subyacentes a la modulación de la producción primaria. Los patrones medios y modos de variabilidad de la distribución superficial de clorofila-a satelital (CSAT) en el área de interés han sido analizados por varios trabajos, en los que se basa la siguiente síntesis (por ejemplo, Gayoso y Podestá, 1996; García y García, 2008; Machado *et al.*, 2013; Lutz *et al.*, 2018). Los campos medios de CSAT evidencian valores altos (2 < CSAT < 4 mg m⁻³) distribuidos en forma de banda angosta sobre la plataforma interna y media, fuertemente coincidente con la distribución de la RPP. Sobre el resto de la plataforma CSAT tiende a ser moderada (0,5-1,3 mg m⁻³) y los menores valores se observan sobre el quiebre de la plataforma y talud (0,1-0,5 mg m⁻³). Temporalmente la CSAT varía en tres escalas: anual, semianual e interanual. La variabilidad anual es la más fuerte, particularmente en plataforma interna y media, y responde a cambios en la dispersión de la RPP frente a Uruguay y el sur de Brasil. En aguas profundas (>200 m) predomina la variabilidad semianual que responde a la migración latitudinal en la confluencia CB-CM. La variabilidad interanual (con una frecuencia aproximada de cuatro años) es relativamente débil y se evidencia especialmente sobre la plataforma somera cerca de la salida del RdIP, probablemente vinculada al efecto del oscilador El Niño (ENOS) sobre la descarga del RdIP. Latitudinalmente la CSAT en plataforma presenta oscilaciones de fase opuesta al norte y al sur del RdIP, respectivamente. De manera especulativa, este contraste podría obedecer a diferencias en procesos fundamentales que regulan la producción biológica en una y otra zona: al norte la RPP induce una columna de agua

estable que favorecería un crecimiento neto positivo del fitoplancton incluso en invierno/primavera; al sur el crecimiento neto positivo dependería del mecanismo clásico de formación de una termoclina estacional en latitudes medias.

Si bien esta región es generalmente considerada de alta productividad biológica, la información específica sobre producción primaria (PP) y secundaria es notoriamente escasa, o incluso ausente. En un contexto regional amplio (SWA entre aproximadamente 23° S y 56° S), la zona central de la plataforma (30° S-37,5° S, incluye la plataforma uruguaya) alcanza valores de producción primaria (volumétrica) intermedios respecto a las zonas al norte y al sur, aunque tiende a ser levemente mayor que las otras zonas en invierno y menor en el verano (Lutz *et al.*, 2018). Una primera aproximación a la estimación de la PP con base en información satelital para la misma región del SWA arrojó valores muy elevados para la zona central. Estos resultados deben ser considerados con mucho cuidado por los sesgos asociados a la interferencia del material particulado y disuelto aportado por el RdIP sobre la estimación de la biomasa (Martínez *et al.*, 2005). Haciendo foco en la plataforma uruguaya, la escasa información disponible señala tasas de PP relativamente bajas en la plataforma interna a la salida del RdIP (Calliari *et al.*, 2009, 2018) y máximos en la plataforma media. Este patrón estaría influenciado por la disponibilidad de nitrógeno inorgánico disuelto (NID), el cual encuentra un mínimo en la boca del estuario (plataforma interna), producto de la asimilación en aguas internas del RdIP. Hacia la plataforma media el NID incrementa por aportes del SASW (Negri *et al.*, 1986),

favoreciendo el desarrollo de tasas más elevadas, tal como fue observado.

En la plataforma interna uruguaya recientemente se han caracterizado procesos de circulación del tipo surgencia costera forzados por la interacción del viento y la topografía (Trinchín *et al.*, 2019; De Mello *et al.*, 2022), análogas a las encontradas en corrientes de borde oriental, pero de menor escala. En los sistemas de borde oriental estos procesos tienen consecuencias notables sobre las tasas de producción primaria y secundaria. En nuestra zona esta relación no ha sido aún explorada. Un eventual efecto positivo sería esperable en caso de que las tasas de PP estuvieran limitadas por nutrientes (NID) cerca de la superficie y de existir una estratificación vertical del NID.

Sobre el quiebre de talud y océano profundo —el núcleo de la convergencia CB-CM— se encuentra una región de mezcla particularmente intensa (Chelton *et al.*, 1990) que da lugar a una hidrografía compleja y rica en estructuras como *eddies*, filamentos y frentes. En esta zona fueron reportados florecimientos de diatomeas (*Thalassiosira delicatula*) asociados a gradientes horizontales intensos que separan aguas de la CB y la CM, así como a *eddies* ciclónicos (Gayoso *et al.*, 1996). Estos eventos de escala sinóptica seguramente contribuyen de manera sustantiva a la PP regional.

Actualmente no se dispone de información relativa a producción secundaria del plancton en el área considerada (fuera del RdIP y de otros estuarios de menor escala). Ello constituye un vacío crítico de información a considerar en futuras investigaciones.

Índices de estado trófico (TRIX) en la ZEE

Los índices tróficos permiten clasificar el estado trófico o nivel de enriquecimiento de nutrientes en los ecosistemas acuáticos, que varían entre ambientes con bajas concentraciones de nutrientes (oligotróficos), mesotróficos, eutróficos (enriquecidos) e hipertróficos. Esta clasificación refleja los cambios en el estado nutricional, la calidad de agua o la salud de los ecosistemas acuáticos. En una primera aproximación para los ecosistemas de la ZEE se determinaron índices de estado trófico (TRIX) (Vollenweider *et al.*,

1998) a partir de resultados de la campaña oceanográfica del B/O Sarmiento de Gamboa durante abril y mayo 2016 (Advisian, 2016). Estos índices se calcularon con base en información de concentración de clorofila-a, nutrientes orgánicos e inorgánicos (nitrógeno y fósforo total, nitrato, nitrito y amonio, ortofosfato) y oxígeno disuelto. Se utilizaron datos obtenidos a 5 m de profundidad en la totalidad de estaciones cubiertas en la campaña referida: 12 estaciones en plataforma entre 50 y 200 m; cuatro en talud entre 200 y 1.500 m; y 16 en zona profunda entre 1.500 y 4.000 m.

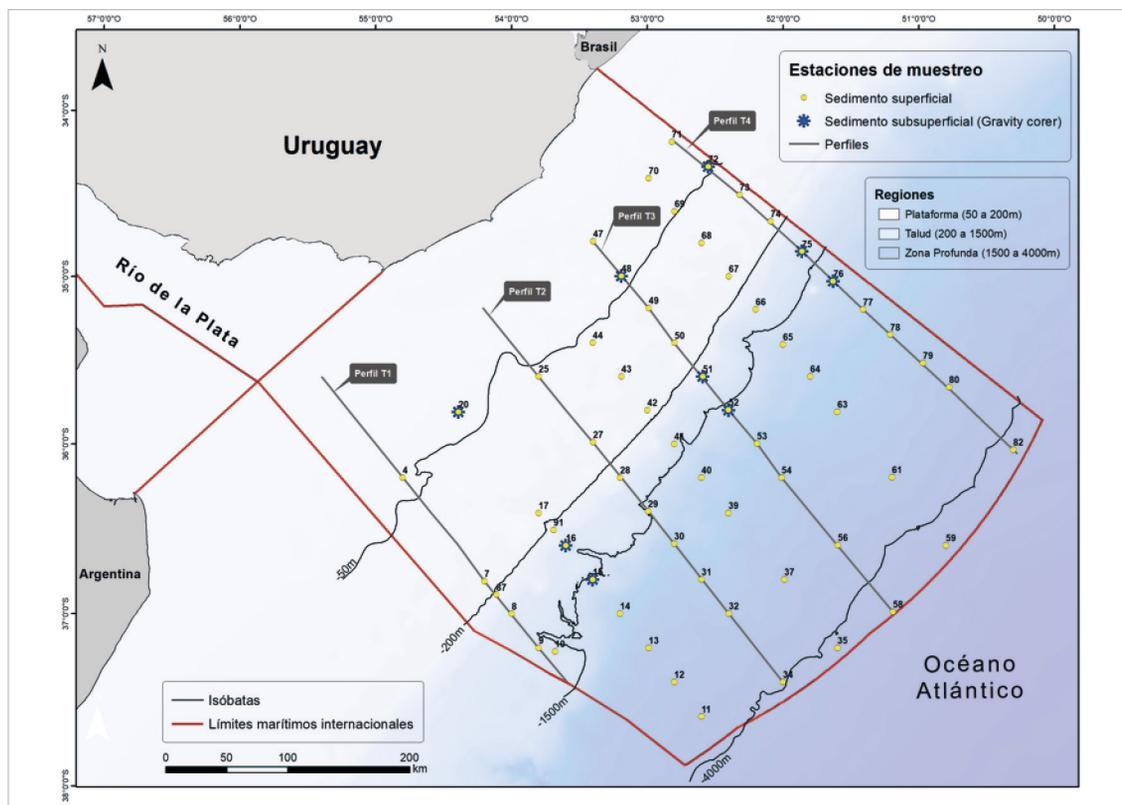


Figura 1: Diseño de muestreo y zonas del estudio. Adaptado de Advisian (2016).

Las estaciones estuvieron distribuidas en cuatro transectos (T1-T4, figura 1). Para cada estación se calcularon las siguientes variantes del índice TRIX de acuerdo con Vollenweider *et al.* (1998): TRIX-NP (concentraciones de nitrógeno y fósforo total, NT y PT); TRIX-mNP (considera especies inorgánicas nitrogenadas y PT) y el TRIX-mNPO4 (utiliza especies inorgánicas nitrogenadas y fósforo inorgánico, ortofosfato). Además, para el cálculo de los tres índices se consideraron las concentraciones de clorofila-a y el porcentaje de saturación del oxígeno. De acuerdo con los valores de estos índices se asignaron las siguientes categorías de estado trófico: oligotrófico, mesotrófico, mesoeutrófico y eutrófico, según Giovanardi y Vollenweider (2004). Mediante pruebas no paramétricas (U-Mann Whitney y Kolmogorov-Smirnoff), se exploraron diferencias en los índices TRIX y en las concentraciones de nutrientes entre zonas (plataforma, talud y zona profunda) y transectos (1 a 4), considerando como réplicas las estaciones dentro de cada zona o transecto.

Variabilidad entre zonas

Los índices TRIX presentaron diferencias en la clasificación del estado trófico según la zona del estudio. Se encontró una disminución del estado trófico en el sentido plataforma-talud, con un mayor estado trófico en zonas de plataforma-borde plataforma y menor estado trófico en la zona de talud (figura 2). En plataforma y talud los índices TRIX oscilaron entre 5 y 7 —TRIX NP: $5,8 \pm 0,5$ ($x \pm DS$); $5,6 \pm 0,4$; TRIX mNP: $5,8 \pm 0,6$; $5,7 \pm 0,6$; y TRIX mNPO4: $6,0 \pm 0,7$; $6,0$

$\pm 0,6$ —, que corresponden a ambientes clasificados como mesoeutróficos a eutróficos. En la zona profunda, los ambientes se catalogaron como oligotróficos a mesoeutróficos y presentaron mayor variación que en las otras dos zonas —3-6; TRIX NP: $4,7 \pm 0,4$; TRIX mNP: $4,1 \pm 0,6$; y TRIX mNPO4: $4,0 \pm 0,8$ — (figura 2). Los tres índices presentaron diferencias significativas entre zonas y es la zona profunda (1500-4000 m) la que se diferenció respecto a plataforma y talud ($Z = -2,69$, $Z = -4,02$; $p < 0,01$). El índice TRIX mNPO4 presentó mayores valores que el TRIX NP y TRIX mNP en plataforma y talud, mientras que el TRIX NP mostró mayores valores en la zona profunda que los restantes dos índices (figura 2). Estas diferencias podrían estar asociadas a una mayor disponibilidad de fracciones de nutrientes inorgánicos disueltos en plataforma o talud, mientras que en la zona profunda habría mayor disponibilidad de nutrientes totales. Esta disponibilidad de nutrientes estaría condicionando el estado trófico del sistema.

Variabilidad entre transectos

El máximo absoluto (7,3) para los diferentes TRIX calculados se encontró en el transecto 1, que presentó estaciones con estado mesotrófico, mesoeutrófico y eutrófico (5,4-7,3). Los transectos 2 a 4 presentaron una disminución en los valores del TRIX en el orden $T2 > T3 > T4$, cuyas estaciones se caracterizaron como mesoeutróficas a oligotróficas (6,5-3,0). Las estaciones que reflejaron condiciones más pobres en nutrientes (índices entre 3,5 y 5) se encontraron en T3 y T4 en la zona de talud (figuras 1 y 3).

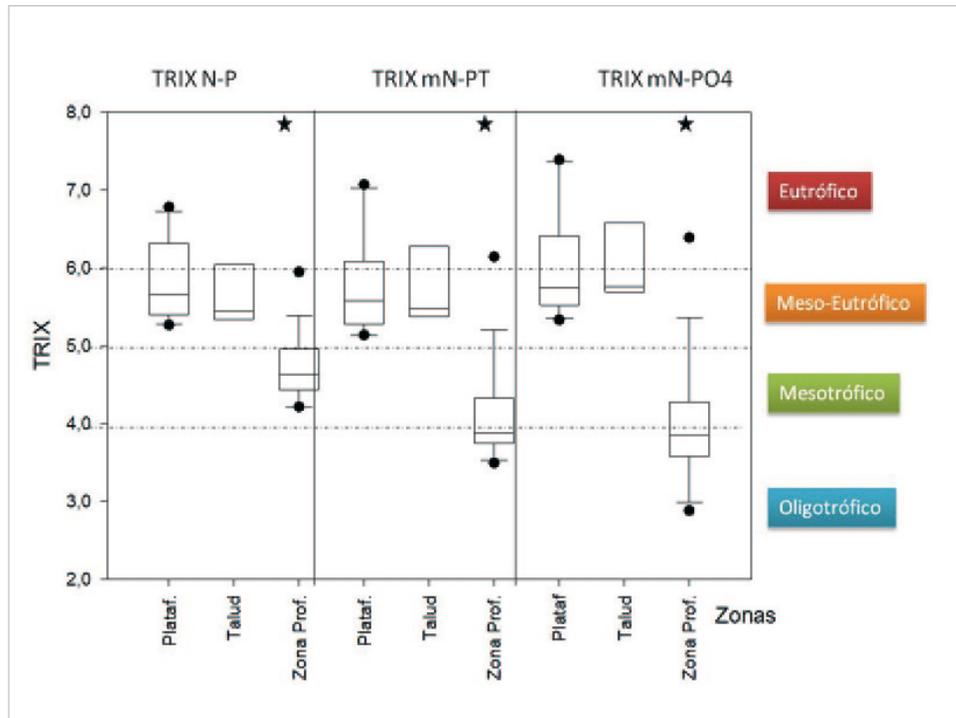


Figura 2: Box plot de los índices TRIX (TRIX NP, TRIX mN-PT y TRIX mNPO4) por zonas de estudio; la estrella indica diferencias significativas.

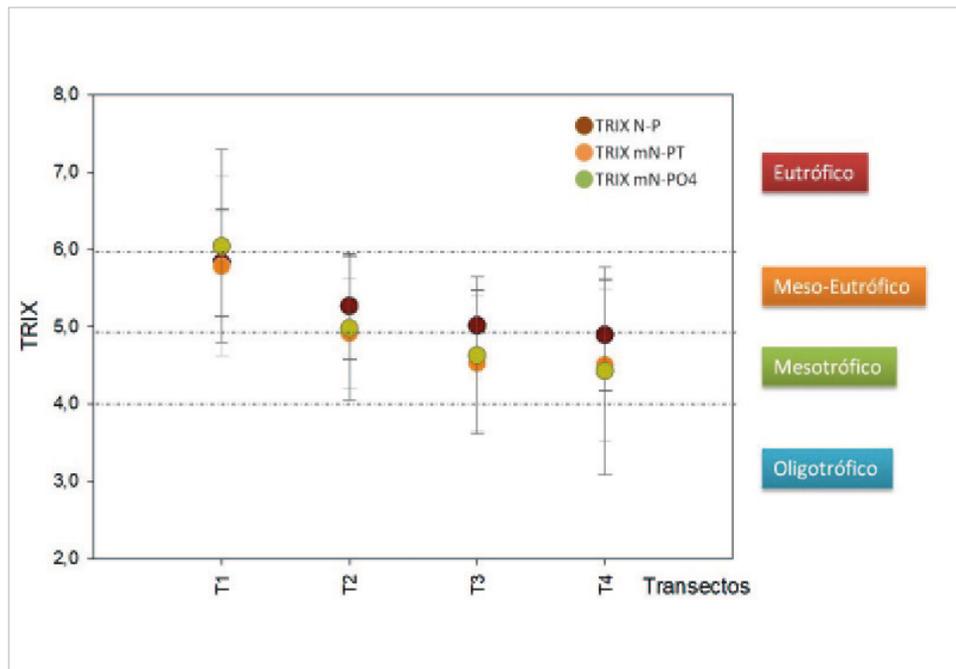


Figura 3: Promedios (\pm DS) de los índices TRIX por transecto (T1-T4) de muestreo.

El índice basado en nutrientes totales (TRIX-NP) fue diferente entre el T1 por una parte y el T3 y el T4 por otra ($Z = -2,4$, $p < 0,01$, $Z = -1,9$, $p < 0,05$), en tanto aquellos basados en fracciones inorgánicas (TRIX mN-PT y TRIX mNPO4) no presentaron diferencias significativas. Los meses de colecta (abril y mayo de 2016) coincidieron con un evento de El Niño calificado como extremo (4), que ocasionó caudales máximos históricos del Río de la Plata — $55.814 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y $46.899 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ en abril y mayo, respectivamente (Nagy *et al.*, 2023)—. Dado que los resultados de los índices TRIX aquí reportados consideran concentraciones en zonas superficiales de la columna de agua, es posible especular que la RPP pudo haber favorecido una mayor presencia de nutrientes (totales y disueltos) en plataforma y talud en toda la extensión de T1 al momento de realizar las observaciones. Por otro lado, estos resultados coinciden con lo indicado por Manta *et al.* (2022) con respecto a los máximos valores de nutrientes encontrados durante esta campaña oceanográfica (ver apartado Condiciones químicas). Adicionalmente, la influencia de la RPP también habría contribuido al registro de los máximos valores de clorofila en el presente estudio ($5,78 \text{ ugL}^{-1}$) en plataforma (estación 23, T2). Es importante señalar que incrementos del índice TRIX han sido observados previamente durante eventos de El Niño en la zona costera de Montevideo, señalando un mayor flujo de nutrientes desde la cuenca del RdLP (Brugnoli *et al.*, 2019, 2020). Los índices TRIX aquí reportados —principalmente para T1— podrían representar estadios ambientales “extremos” de un gradiente trófico en la ZEE relacionados con una alta descarga del RdLP durante el período de estudio.

Es importante tener en cuenta el carácter preliminar de estos resultados, dado que corresponden a una observación puntual en el tiempo en aguas superficiales (5 m). A futuro sería interesante incorporar al análisis el comportamiento de estas variables (clorofila, oxígeno disuelto, nutrientes) e índices tróficos en las diferentes profundidades de la columna de agua.

Ambiente de fondo: principales características macrofaunales y aspectos biogeoquímicos y sedimentológicos asociados

En este apartado se sintetiza el conocimiento existente sobre las comunidades macrofaunales y las características generales del sustrato en la ZEE. La estructura geológica y sedimentológica son abordadas en profundidad en los capítulos 2.1 y 2.2 de esta publicación, por ello en este nos limitamos a aquellos elementos relevantes como potenciales determinantes de los patrones de distribución de las especies presentes. En el trabajo de Rodríguez *et al.* (2014) se recopila la información biológica del ambiente sedimentario generada hasta el momento. En 2016 surge como un antecedente que generó nuevos datos el informe ambiental y biológico solicitado por ANCAP a la empresa Advisian (2106). Parte de esos datos serán discutidos y presentados en el presente capítulo, complementando el trabajo de Rodríguez *et al.* (2014) y una recopilación más reciente de anélidos poliquetos realizada por Muniz *et al.* (2017) sobre datos existentes hasta 2015.

Más recientemente, el trabajo de Limongi (2023) incluye una biorregionalización de los hábitats bentónicos y su fauna, con la tipificación de cada una de dichas biorregiones y la identificación de ecosistemas y especies vulnerables de particular interés para la conservación.

Biogeoquímica de los sedimentos de fondo y la materia orgánica sedimentaria

La interfaz agua de fondo-sedimentos marinos de las cuencas oceánicas representa una de las interfaces más extensas y dinámicas de la Tierra y nuestro conocimiento de los procesos y flujos a través de ella es bastante limitado. Esta interfaz se extiende unos pocos centímetros a decímetros hacia arriba en la columna de agua, es decir, en la capa límite bentónica (Boudreau y Jørgensen, 2001), así como unos pocos centímetros a decímetros en los sedimentos, o sea, en la capa superficial activa bioturbada (Aller, 2014). Sirve como hábitat para los organismos asociados a los sedimentos marinos, gobierna la partición del material que se entierra o recicla y actúa como filtro para los registros paleoceanográficos (Rhoads, 1974). Los procesos en la capa de sedimentos superficiales determinan si los restos de organismos (materia orgánica, sílice biogénico) se reciclan dentro de la biosfera (ciclo a corto plazo) o se transfieren a la geosfera (ciclo a largo plazo) y, por ello, esta funciona como una interfaz clave en el sistema Tierra, con un rol regulador del clima del planeta (Middelburg, 2018). Los márgenes continentales juegan un rol fundamental en los ciclos biogeoquímicos globales, son regiones de intensa actividad biológica y

representan sitios claves de enterramiento de materia orgánica en los sedimentos del fondo marino. Los trabajos de Pita Magnou (2017) y de Advisian (2016), que analizan marcadores biogeoquímicos en muestras de sedimento superficial, son los únicos ejemplos de estudios que abarquen un rango de profundidad considerando toda la ZEE.

Abarcando profundidades de entre 170 y 923 m, con base en muestras provenientes del B/O Miguel Oliver colectadas durante la campaña realizada en 2010 en el marco del proyecto de cooperación entre la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA) y el Instituto Español de Oceanografía (IEO), Pita Magnou (2017) mostró que la heterogeneidad biogeoquímica espacial del margen continental uruguayo, asociada a la complejidad y la variabilidad de los procesos oceanográficos y sedimentarios y a la topografía del área, determina los aportes y la distribución de la materia orgánica en el fondo marino. En el estudio, de manera general, se concluye que el área de estudio (figura 4), según la concentración de biopolímeros (carbohidratos, lípidos y proteínas totales en el sedimento), se caracteriza por ser un sistema eutrófico con gran acumulación de materia orgánica. Los n- alcanos presentaron una distribución bimodal, indicando un origen mixto de la materia orgánica con una contribución autóctona bacteriana y alóctona continental, cuya principal fuente son las plantas de tipo C4 o gramíneas. El aporte continental estaría asociado a la cobertura vegetal de las áreas donde drenan los ríos Uruguay, Paraná y sus afluentes, los cuales desembocan en el RdLP y zonas costeras (Pita Magnou, 2017). Se observó también la presencia de microeucariotas, así como de bacterias, tanto aeróbicas

como anaeróbicas, en todas las estaciones, sugiriendo la coexistencia o alternancia de condiciones de óxido-reducción en los sedimentos. La presencia de micoreucariotas (microalgas y microzoobentos) en el área de estudio corrobora también un origen autóctono marino de la materia orgánica, cuyos aportes derivan de la productividad primaria y secundaria en la columna de agua. Se observó una mayor acumulación de materia orgánica en los cañones submarinos y en los canales que desembocan en ellos. La zona sur del margen continental uruguayo presenta un importante aporte pelágico de materia orgánica lábil, asociado a la posición de las

zonas frontales (CBM y FSTP y la influencia de las aguas continentales del RdLP) y a un ambiente depositacional. En contraste, en las zonas media y norte del margen continental uruguayo existe un mayor aporte de materia orgánica continental, asociado a la influencia de la RPP y zonas costeras adyacentes. La prevalencia de material orgánico de origen terrestre refractario o recalcitrante en estas zonas está asociada también al transporte de sedimentos (contorníticos y turbidíticos), que redistribuye y retrabaja los sedimentos y el material orgánico asociado a ellos a lo largo de la plataforma y hacia afuera de ella.

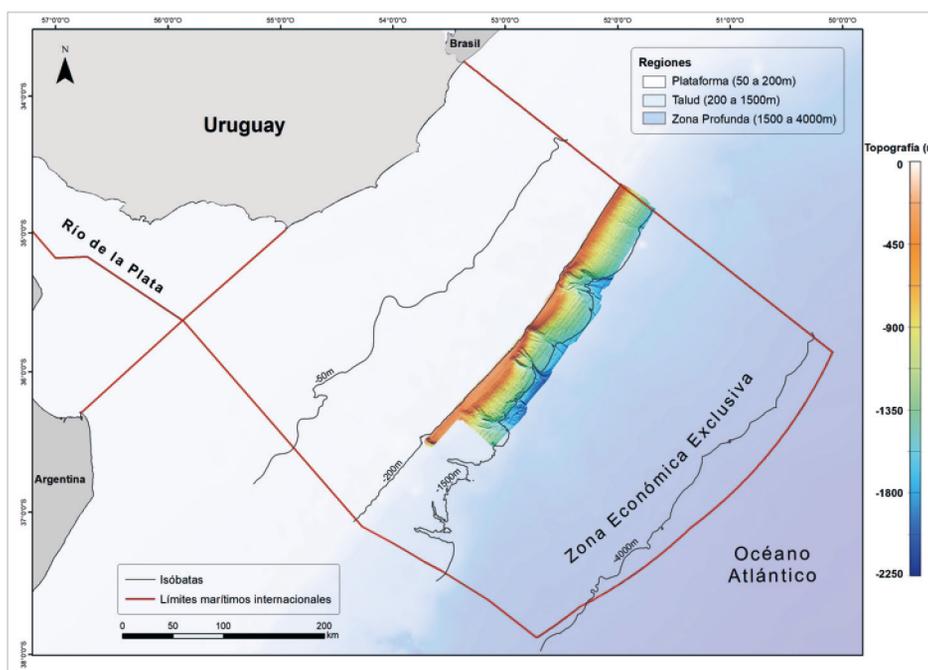


Figura 4: Área de estudio y regiones delimitadas, con indicación de la plataforma, el talud y la zona profunda. En mayor detalle, topografía de la zona de talud. Adaptado de Pita Magnou (2017).

De acuerdo con los resultados del estudio de Advisian (2016), con base en un muestreo que abarca todo el margen continental uruguayo

(aproximadamente 70 estaciones en el área demarcada en la figura 1), la composición granulométrica muestra una tendencia al

descenso gradual del tamaño de partícula a medida que se avanza desde el frente costero de la desembocadura del RdLP (perfil arenoso) en dirección a la plataforma brasileña y hacia mayores profundidades del talud inferior, con altos porcentajes de sedimentos finos (figura 5). Los metales y metaloides (elementos mayoritarios y traza) muestran una tendencia correspondiente a niveles de base de los sedimentos en esta zona y no existe de manera clara ninguna relación con indicios de contaminación antrópica, siguiendo un patrón de distribución superficial relacionado con el aumento de profundidad desde la plataforma hacia los fondos del talud continental y con el porcentaje de sedimentos finos. Se destaca también una moderada correlación entre las concentraciones de carbono orgánico total (COT) y nitrógeno total (NT) en los sedimentos, lo que sugiere que el nitrógeno es principalmente de origen orgánico y que sus aportes inorgánicos (por ejemplo, partículas detríticas minerales) son poco significativos. Ambos máximos (COT y NT) ocurren en la zona intermedia del área de estudio, con los menores valores hacia la costa (figuras 6 y 7), coincidiendo con el aumento del tamaño de los sedimentos. El valor máximo de NT (1,07%) se encuentra formando parte del talud medio en la zona sur, en la vertiente hacia el RdLP, y coincide con los máximos de COT encontrados para los sedimentos superficiales. En esta región la serie de cañones submarinos, así como arroyos o canales (Muñoz Recio *et al.*, 2010; Franco-Fraguas *et al.*, 2014; Pita Magnou, 2017), conforma el sistema de drenaje del margen continental y actúa canalizando, a modo de “ríos submarinos”, la materia orgánica y los sedimentos procedentes de la superficie terrestre, hacia la llanura abisal.

Además, los cañones, al ser responsables de los afloramientos locales, resultan en zonas de gran productividad, donde se producen elevadas biomásas, muy superiores a las de zonas adyacentes del talud. Las corrientes que actúan sobre estos fondos se intensifican particularmente en los cañones, dando lugar a procesos de resuspensión de sedimentos orgánicamente enriquecidos. En las zonas del talud medio e inferior es donde ocurren las concentraciones mayores de COT, coincidiendo este patrón con los estudios realizados a escala del Atlántico Sudoccidental. Hensen *et al.* (2000) ya habían identificado un alto contenido de materia orgánica en el talud inferior continental frente a la desembocadura del RdLP.

Con relación al origen de la materia orgánica, los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y C/N indican valores típicos de aportes marinos (figura 8) (Meyers, 1997; Prahl *et al.*, 1994), al igual que los de $\delta^{15}\text{N}$ (Robinson *et al.*, 2012), aunque estos últimos muestran mucho más dispersión en los sedimentos de la plataforma que a partir del borde del talud, de acuerdo al estudio realizado por Advisian (2016).

En sintonía con los resultados observados en su conjunto para los compuestos relacionados con la composición y la distribución de la materia orgánica ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, relación C/N, COT y NT, y biomarcadores), los investigadores de Advisian (2016) resaltan, al igual que Pita Magnou (2017), que en los sedimentos de la ZEE uruguaya la materia orgánica tiene una composición mixta de compuestos de origen marino, derivados principalmente de microalgas planctónicas y terrígenos, derivados, a su vez, de plantas superiores.

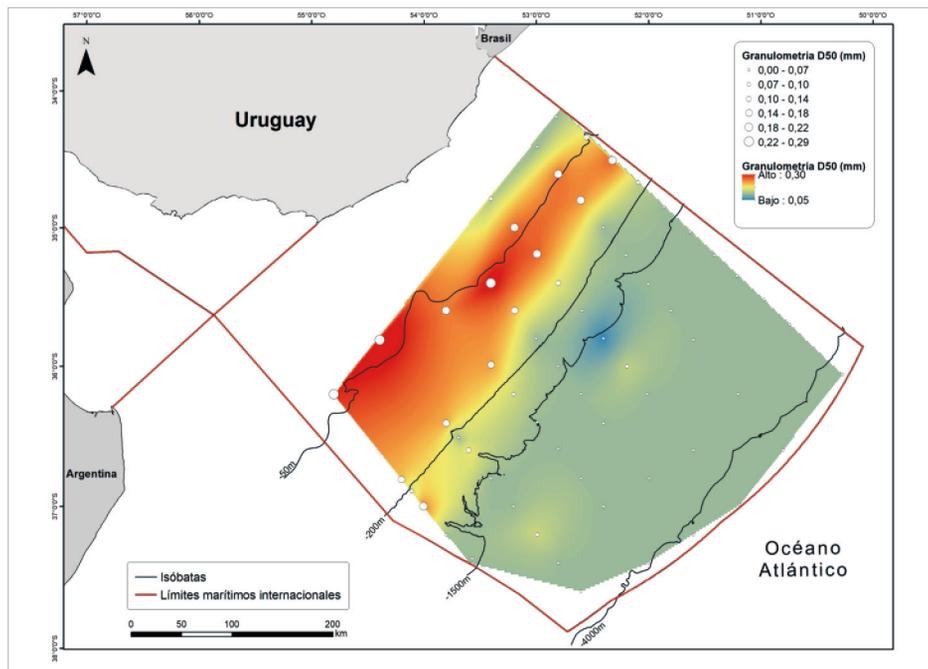


Figura 5: Granulometría de sedimentos superficiales. Datos de D50 en mm. Adaptado de Advisian (2016).

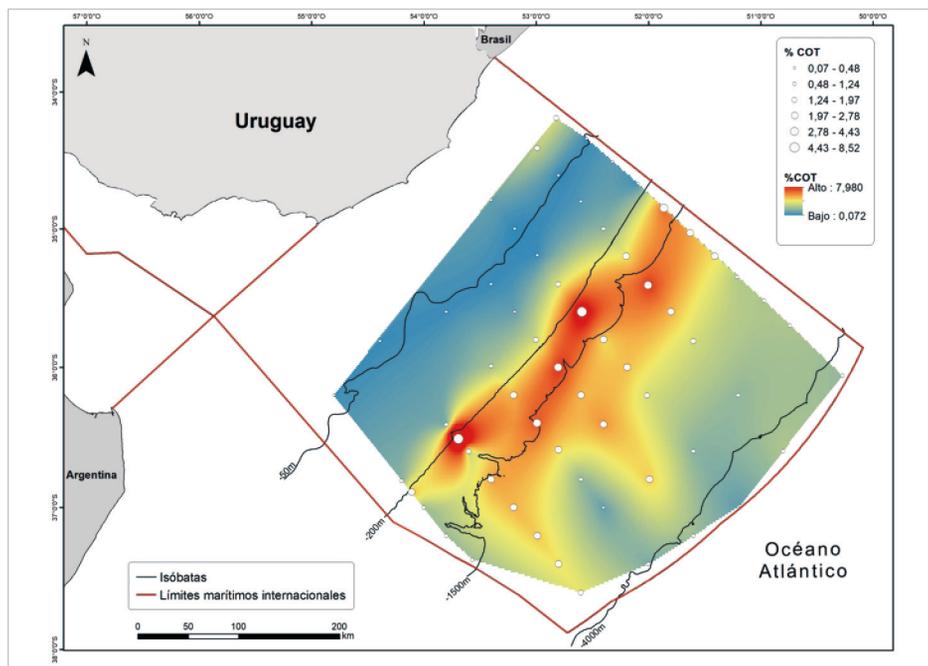


Figura 6: Carbono orgánico total (%COT) en sedimentos superficiales. Adaptado de Advisian (2016).

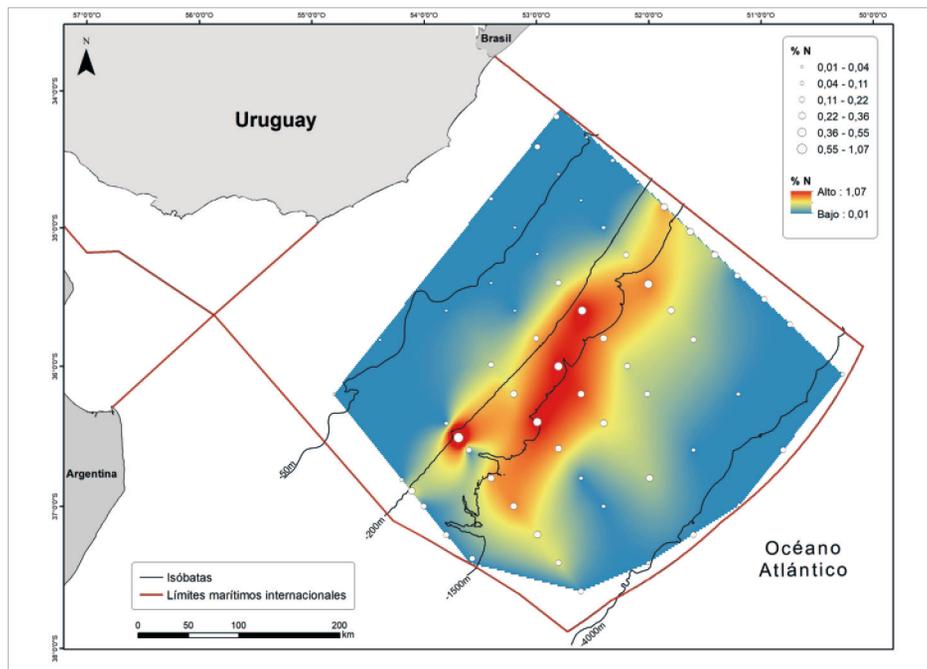


Figura 7: Nitrógeno total (%N) en los sedimentos superficiales. Adaptado de Advisian (2016).

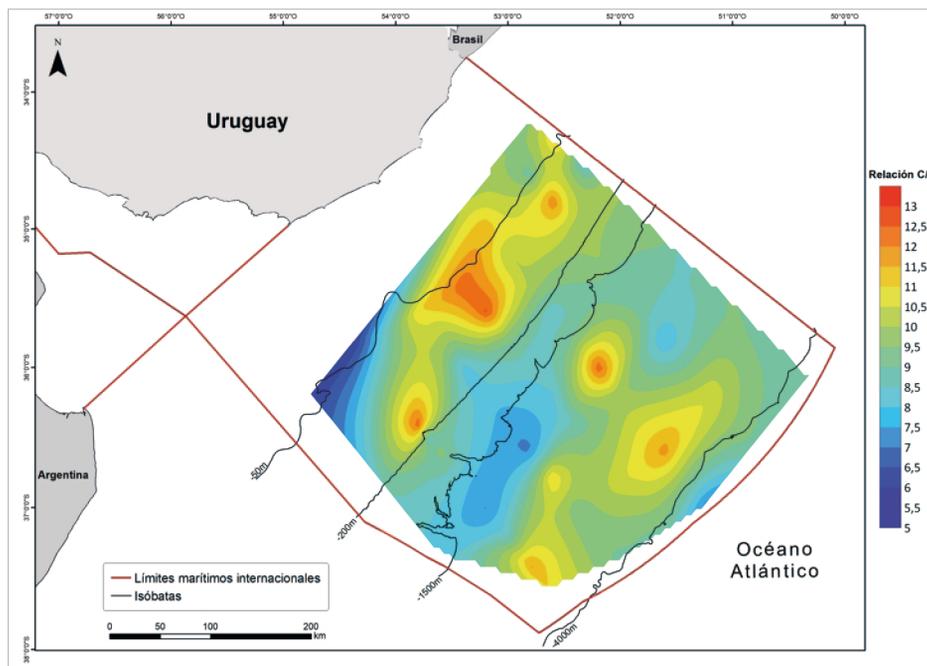


Figura 8: Relación C/N en los sedimentos superficiales. Adaptado de Advisian (2016).

Macrofauna bentónica de fondos blandos de la ZEE

El conocimiento de la composición, la estructura y el funcionamiento de las comunidades bentónicas es crítico para poder entender y mitigar los efectos de la acción humana en los ecosistemas marinos de aguas profundas, los cuales experimentan una presión creciente debido a demandas globales de recursos naturales renovables y no renovables (Smith *et al.*, 2008).

Para los organismos bentónicos, la ZEE uruguaya constituye una región muy singular desde el punto de vista biogeográfico, al presentar una importante heterogeneidad oceanográfica asociada a la interacción entre el RdLP y masas de aguas subtropicales y subantárticas. A pesar de esto y de su enorme importancia ecológica y socioeconómica, esta biodiversidad ha sido históricamente poco estudiada en el Uruguay. Existe un volumen relativamente pequeño de bibliografía referida a la composición de las comunidades de macrofauna y su distribución en aguas uruguayas, y más especialmente si se considera toda la ZEE. Esa literatura se concentra sobre todo en la región más costera (Scarabino, 2006) y claramente disminuye de manera alarmante a medida que vamos hacia profundidades mayores en el océano abierto (Rodríguez *et al.*, 2014; Muniz *et al.*, 2017). Ello se traduce, como regla general, en un grado de conocimiento relativamente pobre para la mayoría de los grupos taxonómicos, la excepción de esta regla la constituyen los moluscos y los anélidos poliquetos, para los cuales existen algunos importantes antecedentes de revisión y sistematización de la información existente, los cuales han

sido recopilados básicamente en Scarabino (2006), Rodríguez *et al.* (2014) y Muniz *et al.* (2017). A modo de ejemplo, en Rodríguez *et al.* (2014) surge que, a partir de 2.073 registros de especies de moluscos bentónicos para la región de la ZEE uruguaya, se identificaron 275, de los cuales los mejor representados (266 especies) son los bivalvos, seguidos de los gasterópodos. Los autores destacan también que el conocimiento sobre la ecología de los gasterópodos es en general más completo. Las clases menores de moluscos reunían por ese entonces apenas 9 especies.

Dentro del grupo de los poliquetos (*Annelida polychaeta*), el trabajo pionero de Scarabino (2006) sobre faunística de organismos bentónicos de la zona costera de Uruguay reporta cerca de 200 especies (pertenecientes a 28 familias) y abarca la zona intermareal hasta aproximadamente la isóbata de 50 m, tanto sobre el Río de la Plata como del océano Atlántico (figura 9). Complementariamente, el trabajo de Rodríguez *et al.* (2014) focalizó especialmente en aguas de la plataforma interna para océano abierto (profundidades mayores de 50 m), destacando la presencia de al menos 138 especies/taxa (agrupadas en 34 familias) (figura 9), con registros cercanos hasta los 1.000 m de profundidad. A pesar de existir pocos antecedentes sobre macrofauna bentónica en general para el área de estudio, el filo *Annelida polychaeta* siempre se destacó como el grupo más abundante, patrón común global en fondos sedimentarios de plataformas continentales.

La tabla 1 resume el número de especies/taxa distribuidas por familia de poliquetos registradas hasta el año 2015 en la ZEE de nuestro país, de acuerdo con Muniz *et al.*

(2017). Desde el submareal somero hasta los 50 m (plataforma interna) se destaca la presencia de 197 especies/taxa distribuidas en 39 familias, 28 de ellas son exclusivas de la plataforma interna. Por su parte, los fondos sedimentarios (compuestos por fangos y arenas en cantidades similares) de la plataforma (> 50 m < 200 m) muestran un claro dominio de depositívoros (12 familias) y poca presencia de suspensívoros (3 familias).

En esta región fueron registradas 91 especies/taxa (34 familias), 50 de las cuales son exclusivas (Muniz *et al.*, 2017). Las familias más extendidas espacialmente son *Eunicidae*, *Onuphidae* y *Lumbrineridae*, mientras que *Amphinomidae*, *Chrysopetalidae*, *Cossuridae*, *Hesionidae*, *Magelonidae*, *Polygordiidae* y *Sabellariidae* fueron las menos distribuidas espacialmente en esta región de la plataforma. En los fondos batiales (entre los 200 y los 1.000 m de profundidad), caracterizados por sedimento limo/arcilla, se han registrado en la ZEE uruguaya, de acuerdo con Rodríguez *et al.* (2014), 27 especies/taxa, de las que apenas 14 son exclusivas. Los mismos autores resaltan que hasta el año 2014 en profundidades mayores a 1000 m (zonas abisales) existían registros de sólo 5 especies, 3 de las cuales serían exclusivas para la región, ellas son *Eulagisca corrientis*, *Harmothoe fusca* y *Syllisro bertiana*. De acuerdo con estos mismos autores, el conocimiento del grupo es muy fragmentado y resulta claro que este disminuye con la distancia de la costa, por lo que la intensificación de los estudios sería recomendable, máxime considerando los diversos proyectos que focalizan la explotación de recursos naturales (renovables y no renovables) en prácticamente toda la extensión del territorio

costero y marítimo del país. Sin embargo, resaltan la alta diversidad y riqueza de especies (313 especies y 42 familias, tabla 1), la cual sin duda debe aumentar a medida que se intensifiquen los estudios.

La campaña realizada por el B/O Miguel Oliver en el año 2010 constituye un rápido relevamiento oceanográfico que abarcó profundidades de entre 170 y 923 m de la ZEE uruguaya y sus resultados se presentaron en el *Informe de campaña Uruguay – 0110* (Muñoz Recio *et al.*, 2010). En este documento se describen de manera preliminar los principales organismos colectados y del análisis de sus resultados se desprende que se trata de una región muy diversa desde el punto de vista faunístico y que merece ser tenida en cuenta con fines de conservación por la gran heterogeneidad de hábitats que alberga. El hallazgo más relevante a destacar en términos de fauna bentónica lo constituyó el registro del coral azoxantelado *Lophelia pertusa*, especie que ya había sido citada para aguas de la ZEE uruguaya, pero en esta oportunidad se registraron para este especie 11 arrecifes, asociados a montículos del fondo marino previamente detectados con métodos acústicos. Se logró identificar, muestrear y mapear la totalidad de estos montículos y se verificó de manera directa, mediante el muestreo con draga de roca, la presencia de coral. Sin embargo, Rodríguez *et al.* (2014) resaltan que no todas las estructuras presentaban coral vivo, lo que sugiere que el estado de conservación de algunas de estas estructuras podría despertar preocupación. Estos montículos, al generar una estructura tridimensional masiva, proveen de refugio a una multitud de especies (Muñoz Recio *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2014).

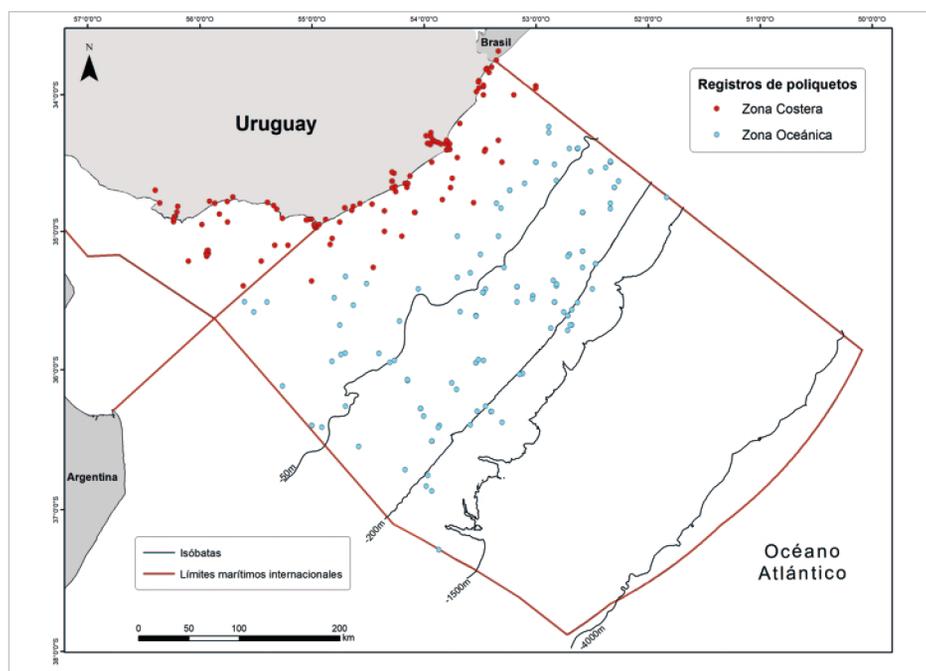


Figura 9: Registro de poliquetos, costa y plataforma interna oceánica. Adaptado de Muniz et al. (2017).

El trabajo de Advisian (2016) es el antecedente más reciente sobre macrofauna en la ZEE uruguaya. En este informe se analiza buena parte de los resultados de la campaña realizada por la empresa en 2016. Del análisis de 154 muestras correspondientes a 77 estaciones de muestreo (entre 50 y 4.200 m de profundidad), se contaron 8.872 organismos distribuidos en 284 taxones. De ellos, los anélidos poliquetos fueron los más abundantes (57%). Luego se destacan los filos *Nematoda* (15%), *Mollusca* (12%) y *Arthropoda* (10%, incluyendo malacostraca (crustáceos) y ostracoda (ostrácodos)). Los poliquetos se distribuyeron en 42 familias (173 taxones), de las cuales 12 presentan un porcentaje superior a 1% respecto al total de los poliquetos identificados. Los autores destacan varias familias asociadas a ambientes deficitarios en oxígeno como las

especies indicadoras de contaminación o de enriquecimiento orgánico (Elias *et al.*, 2021; por ejemplo, *Capitellidae* y *Cirratulidae*). En términos generales, las familias *Dorvilleidae* y *Orbinidae* presentaron más de un 15% del total de los organismos colectados cada una, destacándose las especies *Ophriotrocha* sp. A y *Leitoscoloplos* sp. A. A su vez, *Ampharetidae*, *Capitellidae*, *Maldanidae*, *Cirratulidae*, *Paraonidae* y *Spionidae* se destacan por la alta riqueza de especies/taxa (entre 10 y 17 cada una). La figura 10 ejemplifica el patrón de distribución de especies/taxa por familia de poliquetos para toda el área de la ZEE uruguaya y se constituye en el antecedente más reciente y, en cierto modo, completo para el área.

Al conocimiento existente (Rodríguez *et al.*, 2014), este último estudio agrega el registro

de 10 familias de poliquetos que se observan por primera vez en aguas uruguayas, algunas de las cuales presentan una moderada abundancia, como *Travisiidae*, que se localiza en varias regiones del talud. Entre las familias de poliquetos presentes en la parte más profunda de la ZEE uruguaya (*Capitellidae*, *Cirratulidae* y *Paraonidae*), *Cirratulidae* es la más importante, lo cual es una característica común a otras zonas de aguas profundas (Blake, 2006).

De manera general, en la ZEE uruguaya la profundidad juega un papel fundamental

en determinar la estructura de la comunidad macrobentónica y se observa un claro gradiente negativo de abundancia, riqueza específica y diversidad con el aumento de la profundidad (Advisian, 2016). Se resalta también que dicho gradiente no parece ser lineal, sino que existen valores bajos en los extremos (zona somera y profunda) y más altos en las zonas intermedias. Los valores elevados de abundancia en las zonas de talud y cañones se deben a un mayor flujo de materia orgánica, ya que actúan como zonas de transición o ecotonos entre los fondos someros y profundos (Vetter y Dayton, 1998).

Tabla 1: Especies/taxa registradas en la ZEE Uruguay hasta el año 2015, discriminadas por familia de *Annelida polychaeta*. Adaptado de Muniz et al., 2017.

Familia	Número de especies/taxa	Familia	Número de especies/taxa
<i>Ampharetidae</i>	7	<i>Onuphidae</i>	16
<i>Amphinomidae</i>	1	<i>Opheliidae</i>	5
<i>Capitellidae</i>	11	<i>Travisiidae</i>	3
<i>Chaetopteridae</i>	5	<i>Orbiniidae</i>	9
<i>Chrysopetalidae</i>	4	<i>Oweniidae</i>	1
<i>Cirratulidae</i>	8	<i>Paraonidae</i>	10
<i>Cossuridae</i>	3	<i>Pectinariidae</i>	3
<i>Dorvilleidae</i>	6	<i>Phyllodocidae</i>	6
<i>Eulepethidae</i>	2	<i>Pilargidae</i>	12
<i>Eunicidae</i>	8	<i>Polygordidae</i>	1
<i>Flabelligeridae</i>	5	<i>Plynoidae</i>	13
<i>Glyceridae</i>	10	<i>Sabellaridae</i>	7
<i>Goniadidae</i>	10	<i>Sabellidae</i>	8
<i>Hesionidae</i>	4	<i>Saccocirridae</i>	1
<i>Lumbrineridae</i>	19	<i>Scalibregmatidae</i>	1
<i>Magelonidae</i>	2	<i>Serpulidae</i>	7
<i>Maldanidae</i>	18	<i>Sigalionidae</i>	1
<i>Nephtyidae</i>	10	<i>Spionidae</i>	27
<i>Nereididae</i>	5	<i>Syllidae</i>	8
<i>Notocirridae</i>	5	<i>Terebellidae</i>	13
<i>Oeonidae</i>	13	<i>Trichobranchidae</i>	2

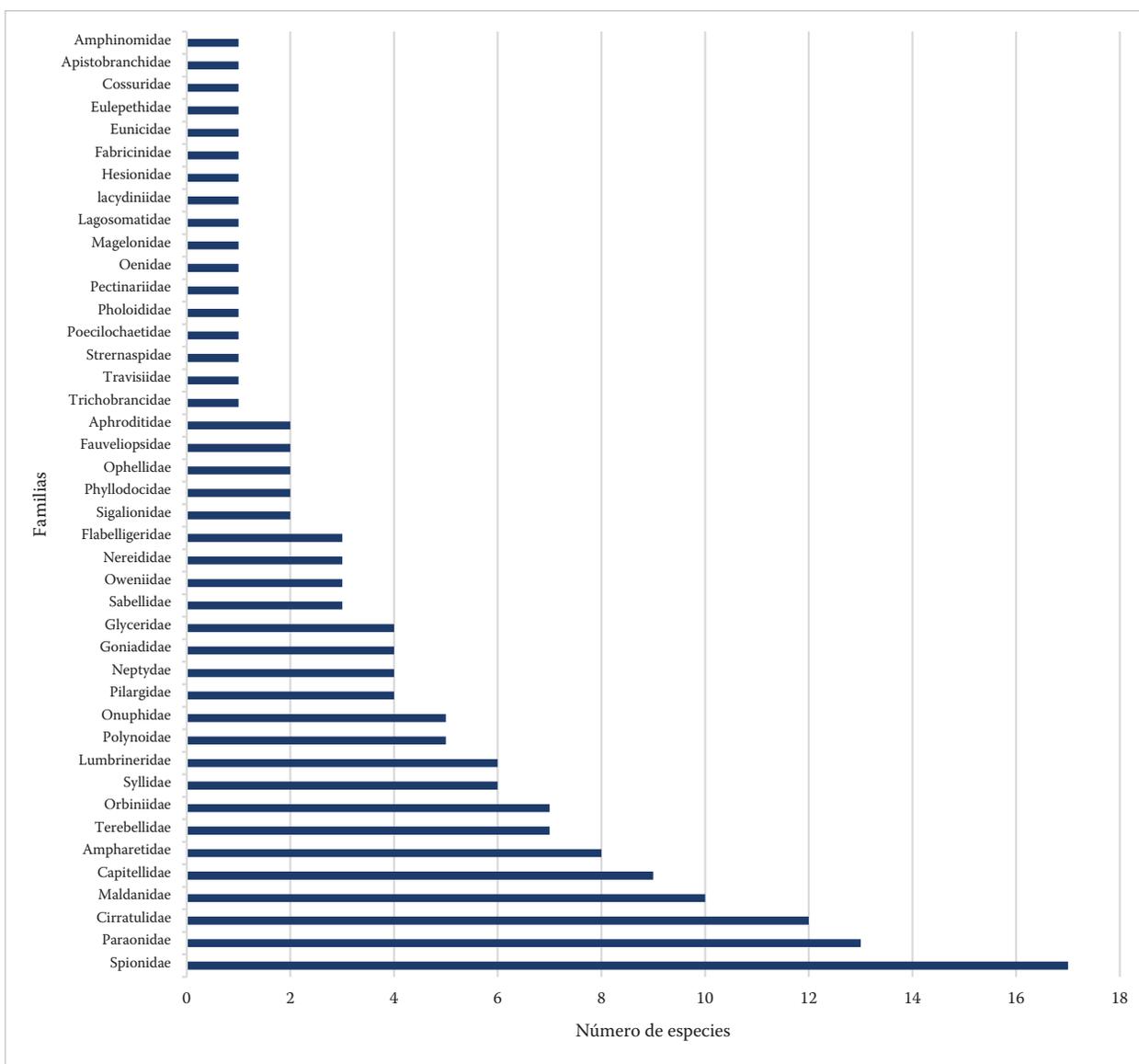


Figura 10: Número de especies según la familia de Polychaeta. Adaptado de Advisian (2016).

Los valores más elevados de riqueza y diversidad específica en la ZEE uruguaya están relacionados con la presencia de corales de aguas frías (*Lophelia perthusia*) (Carranza *et al.*, 2012). Estas especies, consideradas ingenieros ecosistémicos (Jones *et al.*, 1994), son organismos que pueden directa o indirectamente modular la disponibilidad de recursos

para otras. En este caso, podrían modificar, mantener y crear hábitats gracias a sus propias estructuras.

El estudio de Advisian (2016) constituye también una primera contribución al conocimiento de los patrones de distribución espacial de bivalvos, anfípodos e isópodos de

la región, especialmente en lo que respecta a profundidades mayores de 1.000 m. Entre los bivalvos se incluyen 16 taxones, pero más del 95% de la abundancia se debe únicamente a las familias *Yoldidae* y *Lucinidae*, muy abundantes en algunas estaciones del talud. Dentro de malacostraca, el orden más abundante es el de los anfípodos (18 familias que incluyen 18 géneros y especies), entre los que se destacan *Ampeliscidae*, *Phoxocephalidae* y *Lysianassidae*. La profundidad y el potencial redox (interpretado como disponibilidad de oxígeno disuelto en el sedimento) son los dos factores que más afectan la estructura de estas comunidades en particular y de la macrofauna en general. Las colonias coralinas, junto con las comunidades de fangos batiales y abisales, presentan gran interés científico por el escaso e incipiente conocimiento sobre ellos, tanto regional como global.

Consideraciones sobre ambiente y sociedad respecto al uso del océano global

La intensificación de la exploración y la explotación de recursos biológicos, minerales y energéticos en las zonas oceánicas profundas es un fenómeno global y progresivo en las últimas décadas (Almada y Bernardino, 2017). En ese contexto, la ausencia de datos de referencia e información de base sobre estructura y funcionamiento de los sistemas marinos, cuya disponibilidad es muy heterogénea entre diferentes sistemas, dificulta la capacidad de asesoramiento científico como insumo para la gestión ambiental.

Las típicas actividades asociadas al desarrollo industrial y energético en el mar (por ejemplo, explotación de petróleo y gas) generan impactos directos e indirectos durante las fases de exploración, implementación, operación y caducidad. Los impactos, y de manera general la forma de minimizarlos desarrolladas hasta el momento, están muy bien documentados (ver, por ejemplo, Cordes *et al.*, 2016). Abordar los múltiples tipos de efectos documentados sobre diferentes grupos de organismos, por ejemplo, ecotoxicológicos y sistémicos, derivados de operaciones de gran escala, excede el alcance de esta revisión. Sin embargo, cabe destacar que investigaciones recientes sugieren la necesidad de revisar y mejorar los indicadores utilizados y las escalas espaciales de sus alcances (Nielsen *et al.*, 2022; De Vries *et al.*, 2022), así como considerar y modelar los efectos de múltiples actividades en un mismo espacio marino (Fulton *et al.*, 2018).

Adicionalmente, una estrategia de gestión eficaz dirigida a minimizar el riesgo de daños ambientales significativos generalmente incluirá regulaciones de la actividad en sí misma (por ejemplo, prácticas de descarga, materiales utilizados), combinadas con medidas espaciales (por ejemplo, áreas marinas protegidas) y temporales (por ejemplo, actividades restringidas durante períodos reproductivos críticos). La complejidad de las operaciones asociadas a cada etapa implica múltiples fuentes de riesgo a diferentes escalas espaciales, por lo que el saber de actores como ingenieros, operarios y previsionistas debería también ser tenido en cuenta.

El relevamiento de conocimiento existente acerca de los ecosistemas de aguas y fondos

sobre plataforma continental de la ZEE uruguaya y aguas internacionales sobre la plataforma extendida, que fuera sintetizado en apartados previos, permite identificar vacíos críticos de información. Este conocimiento y los vacíos de información resultan de especial relevancia, dado el creciente foco nacional e internacional en la intensificación, la diversificación y la regulación de los usos del espacio marino y sus recursos como forma de potenciar una economía oceánica sustentable. En efecto, la actual crisis de biodiversidad y el declive de poblaciones de relevancia pesquera en los sistemas acuáticos tienen su contraparte y se han asociado a los impactos de actividades extractivas, contaminación y cambio climático.

En este marco, la conservación de los océanos es específicamente considerada dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. La estrategia promovida desde las Naciones Unidas y el discurso dominante en los foros asociados de alto nivel como solución a este dilema es la “economía azul”, entendida como la apuesta al crecimiento económico basado en una intensificación de la explotación de los océanos, que, simultáneamente, debería contribuir a mejorar la calidad ambiental y a proveer beneficios sociales globales. Este es un paradigma que identifica en el océano abierto, profundo, una nueva frontera para generar recursos orientados al bienestar humano. Desde esa perspectiva se desarrollan tres líneas de acción: programas de investigación (Década de los Océanos), negociaciones para ampliar las competencias de la Convención sobre el Derecho del Mar a aguas internacionales y programas de financiamiento para el desarrollo de una economía azul.

En el año 2021, con la coordinación de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), las Naciones Unidas anunciaron oficialmente el comienzo de la Década de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sustentable. En este marco, se coordinaron y promovieron iniciativas de investigación oceánica con claro foco en el crecimiento económico basado en el uso de tecnologías novedosas que permitirían una expansión sustantiva en el uso del océano. En paralelo, se apuesta a proveer insumos para generar una gobernanza capaz de lograr el crecimiento buscado sin poner en riesgo el ambiente que le daría sustento.

En particular, diversos análisis identifican que los beneficios económicos derivados de las actividades oceánicas podrían incrementarse en un orden de magnitud y multiplicarse por seis el volumen de alimentos que hoy se extraen del mar.² Estos lineamientos funcionan como un fuerte incentivo para la movilización de finanzas hacia emprendimientos de economía azul —por ejemplo, el Foro Económico Mundial (2022)—, así como para definir y financiar agendas de investigación. Dada la transversalidad en las implicancias de las actividades oceánicas con otros objetivos de la misma agenda y su vínculo explícito con la economía azul, las iniciativas de investigación se complementan con el establecimiento de reglas de gobernanza en alta mar cuyo abordaje está siendo definido, junto al incentivo para la movilización de finanzas, aun ante la falta de información básica relevante (Amon *et al.*, 2022) y evidencia de impactos sustantivos de emprendimientos

2 Información disponible en <https://oceanpanel.org/>

concretos (por ejemplo, minería del océano profundo; Washburn *et al.*, 2023).

El concepto de “economía azul” (así como el de “crecimiento azul” y expresiones similares de uso corriente en la literatura de corriente principal) no deja de presentar un carácter ambiguo, lo cual genera un marco inconsistente que puede habilitar iniciativas contradictorias (Voyer *et al.*, 2018). También se han identificado aspectos problemáticos en sus fundamentos (Brent *et al.*, 2018), en tanto las soluciones promovidas suponen una profundización del marco económico y social que está en la base de la crisis ecológica y social global en la que estamos sumergidos.

El gran atractivo de la visión que conjuga crecimiento económico y sustentabilidad radica en la promesa latente de ser una salida para la actual crisis ambiental-económica-social planetaria. Dicha visión es sintetizada en el lema motivacional de la Década de los Océanos: “el océano que necesitamos para el futuro que queremos”. Esta premisa supone la existencia de una comunidad global integrada por más de 180 países, donde están representadas las más diversas situaciones, culturas y sistemas de creencias y principios, relaciones de poder, vulnerabilidad, etcétera, pero que coincidiría en un mismo ideario, lo suficientemente “puro” (o “ambiguo”), que es hegemónico y que sería, en principio, entendido globalmente de la misma manera. Así, “el océano que necesitamos” representaría un océano cuyas características (consensuadas) efectivamente ya sabemos cuáles son y permitirían alcanzar el futuro deseado (también globalmente homogéneo). En ámbitos de alto nivel (por ejemplo, foros asociados a la UNESCO o la COI), estos atributos se

presentan como consensuados aun sin explicitarse y se omite la discusión de posturas críticas fundamentadas académicamente, al tiempo que en un marco de multisectorialidad se fomenta activamente la participación de actores con gran capacidad de influencia y poder fáctico pero que no responden a estructuras democráticas representativas (por ejemplo, el Foro Económico Mundial).

La presentación de estas posturas hegemónicas sin consideración de alternativas y desde un discurso aparentemente inclusivo con amplio alcance en medios de difusión, tanto políticos como académicos y masivos, tiene como efecto enfocar los esfuerzos hacia una estrategia que se presenta como “la única posible”, lo que, como resultado, desacredita ideológicamente —y no técnicamente— la formación y el alcance de visiones, análisis y enfoques alternativos. El discurso que promueve esta visión también omite evaluaciones profundas acerca de la distribución de costos y la concentración de beneficios, y su posterior configuración en estructuras de poder que profundizan la cooptación del discurso válido. Estos temas han sido discutidos y argumentados, por ejemplo, en cuanto a cómo la geopolítica crítica del cambio climático permite exponer narrativas en términos del nexo “conocimiento-poder” (Chaturvedi y Doyle, 2010). La historia de cómo han evolucionado conceptos fundamentales en el derecho internacional del mar muestra cómo este derecho se ha construido de la mano de los intereses y la influencia de poderes coloniales y su capacidad de incidir en ámbitos diplomáticos, donde se promueven sus intereses a través de elaborados discursos. Por tanto, si bien las ciencias oceánicas, junto con la innovación tecnológica, podrían

efectivamente proveer y ser utilizadas como base para la planificación espacial, el desarrollo de planes de contingencia o mitigación y la reducción de los niveles de impacto ecosistémico, y constituir así un elemento esencial para el manejo oceánico integrado, las condiciones iniciales, las necesidades y las visiones de futuro son efectivamente heterogéneas en los mapas políticos. Especialmente en países donde las tecnologías y los capitales necesarios no están disponibles, son de especial importancia los acuerdos entre el Estado y las entidades privadas (previsiblemente extranjeras, con o sin subsidiaria local), así como la planificación nacional que considere las formas de apropiación y el uso de los beneficios de los nuevos emprendimientos. Lo mismo vale para definir la distribución público-privada de los costos implícitos en generar el conocimiento de base necesario y los costos para el seguimiento de los impactos en la sociedad y en la calidad del ambiente, así como las formas de resolución de conflictos. Estas decisiones deberían estar orientadas por lineamientos emergentes de discusiones amplias e informadas dentro de las comunidades involucradas.

Las formas en que los beneficios de emprendimientos de explotación contribuyen al bienestar social o a la apropiación corporativa depende del tipo de administración que se defina en la dimensión política, como queda claramente ilustrado al comparar los modelos de administración de las reservas de hidrocarburos del Mar del Norte por parte de Noruega y Gran Bretaña (Nelsen, 2007). Esto introduce un eje de equidad y derechos humanos que es necesario considerar en las políticas oceánicas de nuestros países, ya que los pilares invocados internacionalmente

sobre inversión, gobernanza y ciencia no resultan suficientes para alcanzar objetivos de justicia socioambiental y soberanía energética y alimentaria. Toda actividad humana tiene una interacción con el ambiente y sería deseable poder evaluar esa interacción a partir de los compromisos asumidos y con una agenda social adjunta.

Consideraciones finales

A pesar del esfuerzo realizado durante las dos últimas décadas, del importante trabajo de recopilación y curación de datos biológicos que ha existido en la comunidad científica nacional y de la preocupación ambiental y con fines de conservación que manifiestan el Estado y la sociedad en general, la información sobre la ZEE uruguaya sigue presentando grandes vacíos. Los datos existentes derivan básicamente de diversas campañas llevadas adelante a lo largo del tiempo en la zona de estudio, que no han logrado cubrir la ZEE uruguaya en un monitoreo oceanográfico. El enfoque de realizar campañas oceanográficas integradas y sistemáticas que cubran toda la extensión de la ZEE uruguaya, inclusive la de la plataforma, debería estar entre las prioridades de investigación por parte de los diferentes estamentos del Estado.

Ante cualquier escenario de explotación de los fondos marinos dentro de la ZEE, las acciones de conservación deben anticipar las subastas de licitación y la exploración de esas áreas. Generalmente, tales áreas carecen de una evaluación biológica o ecológica y ambiental adecuada previa y es probable, como se vio en este capítulo y en otros de este libro, que alberguen especies únicas y vulnerables. Dados su alto valor, su vulnerabilidad y los

crecientes intereses económicos sobre ella, para la conservación de la ZEE uruguaya es deseable e imperativo un compromiso científico y de partes interesadas coordinado, así como una priorización por las autoridades competentes de nuestro país. Se enfatiza que la definición de programas de investigación que apunten a prever, entender y monitorear los efectos de la creciente actividad humana en el océano deberían considerar instancias de puesta en común del conocimiento entre todos los profesionales y operarios experimentados involucrados en cualquiera de los

aspectos que hacen a la puesta en marcha, el desempeño y la conclusión de operaciones de gran escala (diseño participativo). En el entendido que toda actividad humana tiene un impacto en el ambiente y es necesario considerar componentes de equidad y derechos humanos al diseñar y aplicar políticas relacionadas con el uso del mar, sería deseable considerar su pertinencia desde la óptica de la justicia socioambiental, contemplando una agenda social que priorice también la soberanía energética y alimentaria.

Las referencias bibliográficas se encuentran en un único apartado ubicado al final del libro.

Cómo citar este capítulo: Muniz, P., E. Brugnoli, D. Calliari, N. Venturini y B. Yannicelli, 2024, Síntesis del conocimiento sobre comunidades planctónicas y bentónicas: estructura, funcionamiento y potenciales riesgos, en P. Gristo, G. Veroslavsky y H. de Santa Ana, eds., Territorio marítimo uruguayo: soberanía, naturaleza y recursos: Montevideo, ANCAP, pp. 153-181, doi: 10.70952/a8827tmuc2-4