

# EL GOLFO SAN JORGE COMO ÁREA PRIORITARIA DE INVESTIGACIÓN, MANEJO Y CONSERVACIÓN EN EL MARCO DE LA INICIATIVA PAMPA AZUL

**Palabras clave:** Estudio integral y multidisciplinario, Enfoque ecosistémico, Mar Argentino, Servicios ecosistémicos marinos, Golfo San Jorge.  
**Key words:** Multidisciplinary and integral Study, Ecosystem Approach, Argentine Sea, Marine Ecosystems services, San Jorge Gulf.

El Golfo San Jorge (GSJ) fue incluido como una de las áreas geográficas prioritarias en el marco de la Iniciativa Pampa Azul por ser una de las regiones más productivas y con mayor diversidad del Mar Argentino. La región es clave en el ciclo de vida de los recursos pesqueros más importantes de Argentina y cuenta con áreas protegidas destinadas a la conservación de su biodiversidad y con un alto potencial para el desarrollo turístico. La jurisdicción del GSJ es compartida por las provincias de Chubut y Santa Cruz, mientras que las aguas adyacentes de plataforma están bajo jurisdicción nacional. Este carácter interjurisdiccional, sumado al gran número de instituciones involucradas en su estudio y gestión generan interesantes desafíos en materia de políticas de investigación y manejo. Este artículo pretende dar a conocer la importancia del GSJ, el conocimiento existente acerca del sistema, y la necesidad de construir, ejecutar y sostener un programa de investigación y monitoreo a largo plazo con un foco en los servicios que presta este ecosistema y los impactos de las actividades que allí se desarrollan. Los avances realizados en esa dirección son puestos en el contexto nacional y mundial, no solo por el conocimiento generado sino también por el logro de haber nucleado a varias instituciones del país dando inicio a un programa de investigación multidisciplinario con un enfoque ecosistémico, impulsado desde la iniciativa Pampa Azul.

San Jorge Gulf (GSJ) was included among Areas of priority by the National Initiative Pampa Azul since it is one of the most productive and diverse regions of the Argentine Sea. It is a key region for the life cycle of several species including most important fishery resources, the definition of protected areas of biodiversity conservation interest, and for a potential tourism development. This region is under provincial (Chubut and Santa Cruz Provinces) but also national jurisdiction, and several institutions are engaged in research as well management, so the area represents a challenge for research and management policies. The goal of this article is to acknowledge the importance of GSJ, to present the main results of ongoing research, and highlight the need of building, carrying on and sustaining a research and monitoring program in the long term, focusing on ecosystem services and human impacts. Advances are contextualized in national and international

■ Silvana Dans<sup>1,2</sup>, Adrián Cefarelli<sup>3</sup>, David Galván<sup>1</sup>, María Eva Gongora<sup>4</sup>, Patricia Martos<sup>5</sup>, Martín Varisco<sup>3,6</sup>, Gustavo Alvarez Colombo<sup>7</sup>, Silvia Blanc<sup>8,9</sup>, Patricio Bos<sup>8,9</sup>, Nelson Bovcon<sup>4,10</sup>, Marcela Charo<sup>11</sup>, Mariano Cinquini<sup>8,9</sup>, Carla Derisio<sup>7</sup>, Ana Dogliotti<sup>12</sup>, Gustavo Ferreyra<sup>13</sup>, Manuela Funes<sup>15</sup>, Diego Giberto<sup>14,15</sup>, Cristian Halm, Constanza Hozbor<sup>16</sup>, Alejo Irigoyen<sup>1</sup>, Mirtha Lewis<sup>1,3</sup>, Gustavo Macchi<sup>7,15</sup>, Reinaldo Maenza<sup>17</sup>, Ariadna Nocera<sup>1,2</sup>, Flavio Papparazzo<sup>1,18</sup>, Ana Parma<sup>1</sup>, Juan Pablo Pisoni<sup>1,18</sup>, Igor Prario<sup>8,9</sup>, Noela Sánchez-Carnero<sup>1,19</sup>, Viviana Sastre<sup>20</sup>, Valeria Segura<sup>21</sup>, Ricardo Silva<sup>21</sup>, Agustín Schiariti<sup>7,15</sup>, Brenda Temperoni<sup>7,15</sup>, Mariano Tonini<sup>22</sup>, Analía Tolivia<sup>8,9</sup>, Gaston Trobbiani<sup>23</sup>, Leonardo Venerus<sup>24</sup>, Maria Vernet<sup>25</sup>, Julio Vinuesa<sup>3</sup>, Lujan Villanueva Gomila<sup>1</sup>, Gabriela Williams<sup>1</sup>, Pablo Yorio<sup>1,26</sup>, Marcos Zárate<sup>1</sup>

1. Centro para el Estudio de Sistemas Marinos, CESIMAR-CONICET, Boulevard Brown 2915 (PC9120), Puerto Madryn, Argentina

2. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Boulevard Brown 3051 (PC9120), Puerto Madryn, Argentina

3. Centro de Investigación y Transferencia Golfo San Jorge (CONICET-UNPSJB-UNPA),

frameworks, not only due to the importance of new scientific knowledge achieved, but also for the response and collaboration of several institutions to the need of constructing a multidisciplinary program with an Ecosystem Approach, requested by Pampa Azul.

4. Instituto de Investigación de Hidrobiología, Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB)
5. Universidad Nacional de Mar de Plata (UNMdP), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN), Dpto. de Ciencias Marinas.
6. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Comodoro Rivadavia.
7. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP), Mar del Plata
8. Departamento de Propagación Acústica, Dirección de Investigación de la Armada (DIIV-ARA)
9. UNIDEP (Unidad de Investigación y Desarrollo Estratégicos para la Defensa) (CONICET/MinDef).
10. Secretaría de Pesca de la Provincia del Chubut
11. Departamento Oceanografía, Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires, Argentina.
12. Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), CONICET-Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires C1428EGA, Argentina
13. Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC-CONICET)
14. Laboratorio de Bentos. Proyecto Ecología Pesquera. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP)
15. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC, UNMdP-CONICET)
16. Gabinete Genética Molecular y Microbiología, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP)
17. Gabinete de Oceanografía Física, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP).
18. Instituto Patagónico del Mar, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, IPaM-UNPSJB, Boulevard Brown 3051 (PC9120), Puerto Madryn, Argentina
19. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
20. Laboratorio de Fitoplancton. Instituto de Investigación de Hidrobiología. FCNyCS. UNPSJB. Trelew.

E-mail: [dans@cenpat-conicet.gob.ar](mailto:dans@cenpat-conicet.gob.ar)

## ■ INTRODUCCIÓN

Los océanos suministran alimento y contribuyen a los medios de subsistencia de más de 3000 millones de personas (UNESCO, 2021). Aportan más del 50 % del oxígeno del planeta a través de la fotosíntesis que allí se produce. Además, son aliados esenciales en la lucha contra el cambio climático y una fuente de importantes valores cul-

turales, estéticos y recreativos, a los que se suman nuevos servicios con el potencial de generar importantes beneficios, como la energía renovable, los recursos genéticos marinos, o los minerales de aguas profundas. Históricamente los océanos fueron considerados inagotables, proveedores de recursos percibidos como infinitos. Sin embargo, en la actualidad hay una preocupación creciente acerca del impacto de múltiples acti-

vidades terrestres y marinas sobre la salud de los océanos y sus recursos. Las zonas costeras, que representan el 4% del total de la superficie de tierra y el 11% de la superficie oceánica, contienen más del 30% de la población mundial y dan cuenta del 90% de las capturas de las pesquerías marinas (Barbier, 2017).

La importancia de los océanos y mares y su relevancia para los ob-

jetivos de desarrollo sostenible han hecho que la UNESCO remarque la necesidad de generar conocimiento y de renovar las capacidades de las ciencias para brindar soluciones pertinentes al desarrollo sostenible (El Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible 2021-2030). Esta transformación involucra la participación de diferentes disciplinas, la integración de las ciencias naturales y sociales, así como las artes y las humanidades y la suma de los conocimientos locales (UNESCO, 2021).

Argentina cuenta con un extenso territorio marítimo, con un desarrollo heterogéneo de las actividades económicas basadas en los ambientes marinos, algunas consideradas por debajo de su potencial. El conocimiento de los ecosistemas marinos es aún fragmentario, y la integración de las diferentes disciplinas, necesaria para dar respuesta a problemas de manejo y dar apoyo al desarrollo sostenible, es aún incipiente.

Nuestro país es uno de los más extensos del mundo con más de 2,8 millones de km<sup>2</sup>, y uno de los 25 países con mayor longitud de línea de costa, la cual se puede aproximar a 5000 km, extendiéndose desde el estuario del Río de la Plata hasta el Canal Beagle (Boltovskoy, 2008), a lo que habría que sumarle Antártida e Islas del Atlántico Sur. Además, Argentina posee una extensa plataforma continental que alcanza más de 6,5 millones de km<sup>2</sup>, siendo una de las más grandes del mundo. El efecto combinado de las mareas, el viento predominante del oeste, la topografía del fondo, y la Corriente de Malvinas, que recorre su borde exterior llevando aguas de origen subantártico ricas en nutrientes más allá de los 40°S, dan a la plataforma continental características únicas desde el punto de vista físico, químico y biológico (Boltovskoy,

2008) (Nota al pie 1). Los sistemas frontales que se dan tanto en el talud como en varias zonas de la plataforma media y línea de costa, presentan altas concentraciones de nutrientes, lo que redundará en mayor productividad primaria y secundaria en estas áreas. La principal actividad económica relacionada con el mar es la pesca comercial, cuyos recursos se basan en esta productividad. Pero, además, existen otras actividades como la extracción de petróleo y gas, transporte y turismo.

La generación de conocimiento para el manejo sostenible del mar representa un gran desafío, no solo por la vasta extensión del territorio marítimo de Argentina, sino por la necesidad de un cambio hacia un enfoque ecosistémico requiriéndose de la integración de disciplinas para lograrlo. Existen ya algunos antecedentes de obtención e integración de información sobre algunos aspectos o regiones específicas que representan esfuerzos para centrar el foco en el ecosistema (Nota al pie 2).

Algunas de las limitaciones para el desarrollo de las ciencias dedicadas al mar han sido la escasa articulación interinstitucional, las restricciones presupuestarias y la precariedad de las infraestructuras. Pese a estas limitaciones y disparidades, las principales disciplinas científicas se hallan hoy sólidamente establecidas y constituyen una valiosa plataforma para una futura integración.

La iniciativa Pampa Azul comenzó a implementarse en 2014 con la finalidad de articular las acciones científico-tecnológicas impulsadas desde el Estado Argentino en relación con el mar (Pampa Azul, 2016). A su vez el propósito de esta iniciativa fue respaldado por la sanción de la Ley PROMAR N° 27.167, que establece además un fondo de

financiación permanente para la investigación científico-tecnológica en el Atlántico Sur. Entre sus metas pretende generar conocimientos científicos interdisciplinarios que sirvan como fundamento para la preservación y el manejo sostenible de los bienes marinos. Por lo tanto, se espera que esta iniciativa cree las condiciones y realice las acciones necesarias para la integración de las disciplinas y el cambio de enfoque requerido para el estudio de los ecosistemas marinos.

La selección de áreas geográficas prioritarias ha sido una de las estrategias de la iniciativa, a fin de focalizar los esfuerzos de investigación (Pampa Azul, 2016). Sobre la base de sus características oceanográficas, la importancia de sus ecosistemas y el potencial impacto de las actividades humanas, se han identificado 5 áreas geográficas prioritarias, entre ellas, el Golfo San Jorge (GSJ). Este artículo pretende dar a conocer la importancia de esta región de la plataforma continental argentina, y poner de manifiesto la necesidad de construir, ejecutar y sostener un programa de investigación y monitoreo a largo plazo para avanzar hacia el manejo sostenible de este sistema desde una perspectiva ecosistémica. En primer lugar se desarrollarán algunos conceptos que guían los objetivos de investigación para avanzar en un enfoque ecosistémico. A continuación, se presentarán las razones por las cuales el GSJ se considera área prioritaria y los avances alcanzados en el conocimiento del funcionamiento del sistema. Por último, se plantearán las perspectivas de investigación y monitoreo del GSJ, con la visión de un manejo sostenible.

## ■ EL ECOSISTEMA COMO FOCO DEL MANEJO DE LOS AMBIENTES MARINOS

Al igual que para los ambientes terrestres, el manejo de los ambientes oceánicos y marinos requiere cambios de enfoque y desarrollo de nuevas ciencias (Jorgensen et al., 2007). La declaración de Río con su Agenda 21, en 1992, ha dado un giro respecto de la conservación del ambiente, enfatizando el concepto de sustentabilidad y desarrollo sostenible. Algunos años más tarde, la Convención de la Biodiversidad (CBD) ubicó al concepto de Ecosistema como pilar en los denominados principios para el manejo ambiental, lo que se ha denominado el Enfoque Ecosistémico (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2004). Este enfoque es una estrategia para el manejo integrado de la tierra, el agua, y los recursos vivos, que promueve la conservación y el uso sostenible en forma equitativa (Cooper y Noonan-Mooney, 2013), y coloca a la población humana como parte del ecosistema.

Este cambio de mirada ha puesto al ecosistema y su funcionamiento en el centro de atención. Para el manejo de los ambientes marinos, por lo tanto, la determinación de los límites del ecosistema marino y la definición de sus componentes son pasos esenciales para cualquier iniciativa de estudiar su funcionamiento.

Los océanos y mares contienen una diversidad de ambientes que pueden abarcar desde el borde costero, plataformas continentales y zonas oceánicas profundas. Esta diversidad da lugar a la existencia de diferentes ecosistemas, cuyos límites pueden estar definidos a diferentes escalas espaciales, pero lo más importante es que, para que un ecosistema sea distinguido de otro, tiene

que tener una estructura trófica y un ciclo de materia determinados que lo diferencien. De esta manera, un ecosistema puede ser definido en una gota de agua o en una cuenca oceánica.

En el marco del enfoque ecosistémico, un ecosistema comprende componentes naturales y sociales. Esto ha motivado el desarrollo del concepto de Socioecosistema o Sistema Socioecológico, el cual considera que los sistemas naturales y sociales no funcionan independientemente, sino que son componentes de un mismo ecosistema, existiendo forzantes tanto biogeofísicos como sociales que influyen en su funcionamiento, y que a su vez interactúan entre sí (Redman et al., 2004). Éste es tal vez uno de los grandes desafíos, la interacción entre las ciencias naturales y sociales, dando un marco de referencia general para analizar la sustentabilidad de los ecosistemas (Ostrom, 2009). En nuestro país las investigaciones en ciencias del mar y manejo de recursos oceánicos estuvieron mayormente centradas en las ciencias naturales, y el estudio de los forzantes sociales es muy incipiente.

## ■ EL GOLFO SAN JORGE COMO ÁREA PRIORITARIA

El área prioritaria GSJ, debe su nombre al accidente geográfico Golfo San Jorge, aunque como ecosistema incluye también aguas adyacentes por fuera de sus límites geográficos debido a su relación con los procesos oceanográficos, biológicos, sociales y económicos, como discutiremos más adelante. El GSJ se ubica entre las latitudes de 45° y 47° S y las longitudes 65° y 68° O, y se extiende desde Cabo Dos Bahías en el norte hasta Cabo Tres Puntas en el sur. La "boca" del golfo, entendida como la distancia entre estos dos cabos, es de 244 km (Fig. 1).

El GSJ es una cuenca semiabierto de 40.000 km<sup>2</sup> de área, y es el mayor golfo del litoral marítimo argentino. Millones de años de procesos geológicos y sucesivos avances y retrocesos del mar fueron moldeando su actual fisonomía. Las áreas próximas a los cabos están formadas por rocas volcánicas (basaltos), mientras que las costas interiores son producto de procesos erosivos y de sedimentación. La costa norte se caracteriza por sus numerosos accidentes: caletas, bahías, islas e islotes. La costa centro y sur alterna elevados acantilados y playas principalmente de canto rodado, aunque también es posible hallar amplias playas de arena. Se destacan las llamadas "restingas" conformadas por arcillas consolidadas expuestas por el retroceso de las costas producto de la erosión.

Las profundidades del golfo aumentan radialmente desde la costa hacia el centro, donde se alcanzan las profundidades máximas (100 m) (Fig.1). La profundidad disminuye hacia la "boca" lo que determina que el golfo tenga una forma semejante a una palangana. En la boca, la profundidad varía entre los 80 y 90 m en el norte y centro, y disminuye hacia el sur, oscilando entre 30 y 50 m. Existe en el sector sur un banco de arena prominente (conocido como "la pared") que sigue la isobata de 80 m de profundidad con dirección NNE hasta la latitud media del golfo. Este banco restringe el intercambio de agua entre el golfo y la plataforma adyacente.

Los fondos de la mayor parte del golfo están conformados por arenas finas, limo y arcillas, mientras que las áreas próximas a los cabos presentan fondos formados por arena gruesa, grava y rocas. Debido a que no tiene aportes fluviales, el sedimento llega principalmente por efecto del viento y por fenómenos de gravedad desde los sectores costeros, incluso

episódicamente puede recibir aportes volcánicos. El golfo está sujeto a un régimen de mareas semidiurno, con dos pleamares y dos bajamares al día, con una amplitud media de 4,20 m, dando lugar a un extenso

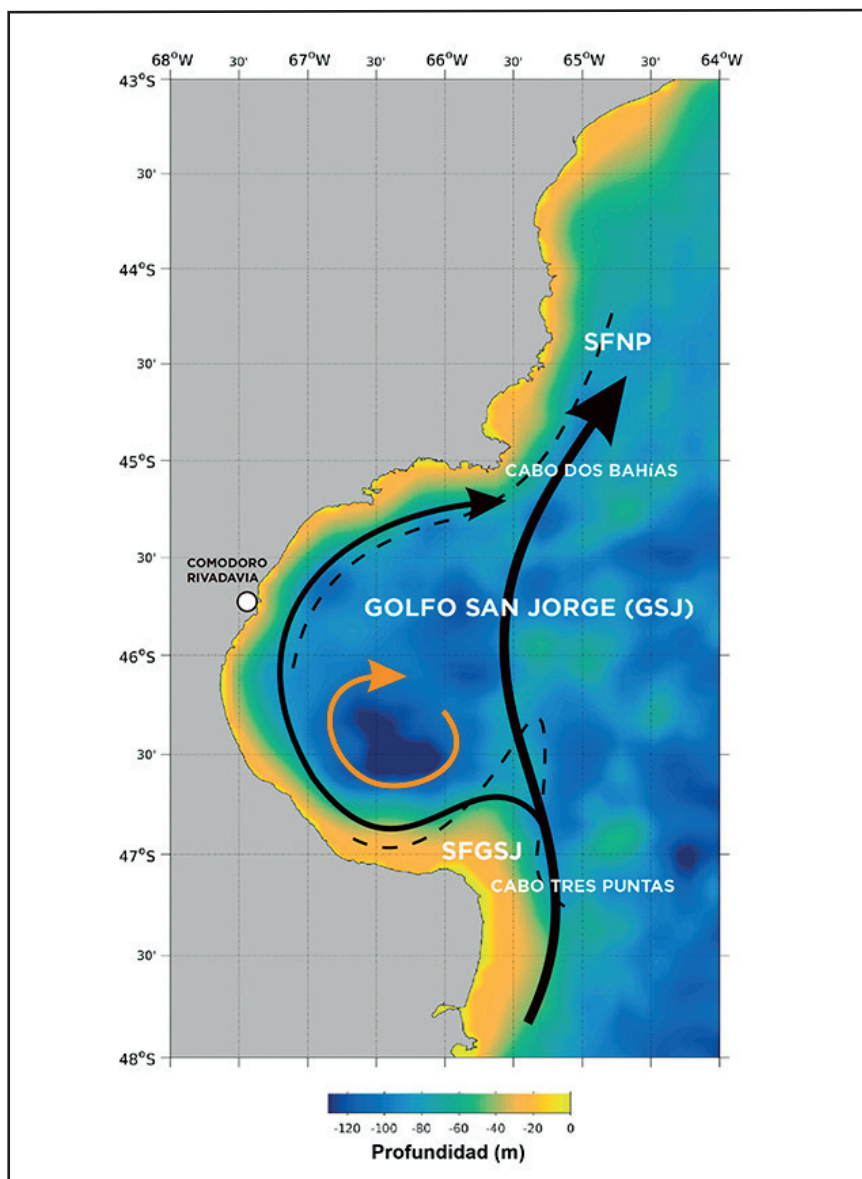
ambiente intermareal comprendido entre las líneas de bajamar y pleamar. En esta región el aporte de energía provista por las mareas está entre los más altos del mundo.

El clima en la región del GSJ responde al tipo Patagónico Semiárido, con características templado-frío, con temperaturas medias de 20 °C en verano y 6 °C en invierno. La velocidad media anual del viento es 32 km/h, cuya dirección prevaleciente es del oeste, y la precipitación media anual es de 250 mm/año.

El GSJ es uno de los socioecosistemas marinos de mayor complejidad del Mar Argentino, tanto por su biodiversidad, por los múltiples servicios que ofrece a la sociedad, tales como la pesca, la explotación y transporte de hidrocarburos, el turismo y la recreación, y por ser fuente de inspiración y parte del acervo cultural (Fig. 2). Otro aspecto que suma complejidad a este sistema es el hecho que la jurisdicción es compartida entre las provincias de Chubut y Santa Cruz, mientras que el sector de plataforma adyacente se encuentra bajo jurisdicción nacional.

El GSJ además posee una alta productividad y heterogeneidad ambiental, lo que lo convierten en un sitio clave para la reproducción y crianza de peces e invertebrados, varios de ellos de importancia comercial como el langostino *Pleoticus muelleri* y la merluza común *Merluccius hubbsi*. En el GSJ habitan por lo menos 120 especies de peces de las 600 registradas para el Mar Argentino, además, las comunidades asociadas al fondo albergan una importante diversidad de invertebrados. La variedad de ambientes litorales, incluidas islas e islotes en el área norte del GSJ, sumado a la alta disponibilidad de alimento, brindan condiciones favorables para la reproducción y alimentación de una comunidad diversa de aves y mamíferos marinos.

El GSJ también es parte de la cuenca petrolífera también deno-



**Figura 1:** Esquema de Corrientes y Circulación en el GSJ. En líneas negras se indica la Corriente Patagónica, de dirección NNE, la cual se divide en dos ramas al llegar al GSJ, una ingresa por el sur del golfo y la otra continúa por la Plataforma. La circulación media anual en el golfo (indicada en línea en amarillo) está caracterizada por un giro ciclónico (horario) principal que se halla delimitado al oeste por una intensa corriente costera y hacia el este por la Corriente Patagónica. Las líneas punteadas ilustran la posición de los dos frentes señalados para la región: Sistema Frontal Norpatagónico (SFNP) y Sistema Frontal del Golfo San Jorge (SFGSJ). La escala de colores indica profundidad en metros. (Gentileza imagen: Dans et al 2020).

minada Golfo San Jorge, la cual ha apuntalado el desarrollo de la industria petrolera de nuestro país. En la actualidad, esta cuenca aporta el 43% del petróleo producido en el país, el cual es transportado vía marítima, por lo que el GSJ también es un escenario clave en el transporte de hidrocarburos. Si bien un tercio de la cuenca se halla sumergida y existen concesiones otorgadas, la explotación *off shore* aún no ha sido llevada adelante.

El GSJ y aguas adyacentes fueron el epicentro de la pesquería de langostino hasta 2015. En sus aguas también se desarrollan la pesquería de merluza común y centolla, *Lithodes santolla*. Estas pesquerías se han desarrollado principalmente a una escala industrial, pero en el borde costero del GSJ también tienen lugar diversas pesquerías artesanales que operan sobre recursos costeros como el pulpo *Enteroctopus megalochyathus*, la centolla, pejerreyes del género *Odontesthes*, el róbalo *Eleginops maclovinus* y el pez gallo *Callorhinchus callorhynchus*.

Las aguas productivas del GSJ albergan una importante diversidad de especies de tiburones, aves y mamíferos, algunas de las cuales migran o se dispersan desde distintas regiones. Varias de estas especies son objeto de conservación de las áreas naturales protegidas Provinciales Punta Marqués, Rocas Coloradas, Parque Natural Provincial Monte Loiza, y del Parque Interjurisdiccional Marino Costero Patagonia Austral. Estas áreas protegidas no solo tienen implicancias en la conservación de la flora, la fauna y el paisaje (entre otros), sino que constituyen un motor para el desarrollo del turismo en la región.

Hasta hace unos años, los esfuerzos de investigación sobre el GSJ han respondido a intereses de sectores productivos específicos (ej. pesca, petróleo), o a la necesidad de protección y conservación de especies y ambientes particulares, sin que existiera una evaluación integrada del ecosistema, ni los canales y mecanismos apropiados para fomentar la interacción entre

disciplinas científicas, instituciones y áreas de aplicación. La actividad pesquera ha motorizado gran parte de las iniciativas de investigación científica en la región, a través de las campañas de evaluación de los diferentes recursos que desarrolla el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP).

En los últimos años, y a partir del reconocimiento del GSJ como un área prioritaria para la investigación científica, se han puesto en marcha iniciativas tendientes a mejorar la caracterización del golfo y comprender su funcionamiento de una manera más integral, motivando la interacción interdisciplinaria e interinstitucional. Ejemplos de estas iniciativas son el Proyecto MARES (Marine Ecosystem Health of the San Jorge Gulf: present status and resilience capacity) iniciado en 2014, y más recientemente el Programa de Investigación y Monitoreo del GSJ (PIMGSJ) en el marco de la iniciativa Pampa Azul. Todos estos esfuerzos de investigación permitieron importantes avances en el co-



**Figura 2:** El Golfo San Jorge es un complejo socioecosistema, resultado de una interacción dinámica entre la naturaleza y la sociedad (Gentileza imagen: Dans et al 2020).

nocimiento del ecosistema del GSJ, y actualmente el PIMGSJ continúa haciendo esfuerzos para cumplir sus objetivos. Pero todavía resta mucho por conocer, más aún si se considera el escenario de cambio climático, la presión antrópica creciente y el carácter dinámico de este socioecosistema.

## ■ AVANCES EN EL CONOCIMIENTO DEL ÁREA PRIORITARIA GSJ

### EL SISTEMA FÍSICO

La circulación de las aguas dentro del GSJ y su conexión con la plataforma patagónica, al igual que sus características de temperatura, salinidad y densidad, afectan el funcionamiento del ecosistema y las actividades económicas que allí se desarrollan. La circulación oceánica se conoce principalmente a partir de modelos numéricos que resuelven las ecuaciones físicas que gobiernan el movimiento del agua, pero sus predicciones necesitan aún ser validadas con observaciones de largo plazo en sitios estratégicos.

La región costera sur de la plataforma patagónica está ocupada por aguas subantárticas modificadas (salinidades menores que 33,9) que ingresan a la plataforma a través del Estrecho de Magallanes (salinidades menores que 32) y del Estrecho de Le Maire (Salinidades menores que 33), reflejando la influencia de aguas poco salinas advectadas desde la región costera del sur de Chile. Esta pluma de baja salinidad denominada Corriente Patagónica, se extiende hacia el noreste a lo largo de la costa y hacia mayores latitudes. Los resultados de modelos numéricos muestran que la Corriente Patagónica, que fluye hacia el NNE, se divide en dos ramas al llegar al GSJ, una ingresa por el sur del golfo y la otra continúa por la plataforma (Fig.1).

Dentro del GSJ, las aguas son influenciadas por el intercambio de calor con la atmósfera, la marea, los vientos locales y el intercambio de masas de agua con la plataforma. Recibe el aporte de masas de agua subantárticas más frías y con menor salinidad en el extremo sur, y no existen aportes significativos de agua dulce.

La circulación media anual del golfo está caracterizada por un giro ciclónico (horario) principal que se halla delimitado al oeste por una intensa corriente costera y hacia el este por la Corriente Patagónica. La variabilidad estacional en el interior está dominada por dos escenarios bien diferenciados. Un escenario de verano, mayormente controlado por la marea y la estratificación, que representa a la circulación media anual. En este modo la mayor penetración de la Corriente Patagónica hace que el intercambio del golfo con aguas externas sea máximo. Durante el escenario de invierno, delineado principalmente por el viento, el giro ciclónico se debilita significativamente y se genera un giro anticiclónico costero que gobierna la mitad sur del golfo con intercambios más débiles y confinados a la región norte del Golfo.

Durante el verano, la columna de agua se divide en capas, donde las aguas más livianas y más cálidas se encuentran en la superficie y las aguas más densas y frías se ubican cerca del fondo. La temperatura media en verano alcanza los 16°C en superficie, siendo mínima en el fondo con valores de 9°C. En esta época, debido al máximo ingreso de calor en superficie, aumenta la temperatura superficial generando un cambio repentino de la temperatura a cierta profundidad denominada termoclina. En la capa de superficie los nutrientes son consumidos por los productores primarios, mientras

que cerca del fondo se producen la regeneración y descomposición, procesos que devuelven nutrientes al mar. La gran diferencia de densidades arriba y abajo de la termoclina impide la mezcla vertical y, como consecuencia, los nutrientes son muy abundantes cerca del fondo y los de superficie llegan a concentraciones muy bajas limitando la productividad primaria. Por otro lado, las corrientes generadas por las grandes amplitudes de marea en interacción con la topografía de fondo favorecen la mezcla alcanzando a homogeneizar toda la columna de agua en sectores someros.

En otoño-invierno cuando la radiación solar disminuye y la fuerza del viento aumenta, las aguas se mezclan y la termoclina desaparece permitiendo el paso de nutrientes a la superficie. Los valores de temperatura y salinidad son similares en toda la columna de agua, con registros que oscilan entre 6 a 9°C sobre todo el golfo. El rango de salinidad varía entre 32.9 al sur del GSJ a 33.5 en el centro y norte del mismo con pocas variaciones estacionales.

Otro fenómeno observado en la costa sudoeste del golfo es la existencia de flujos ascendentes (surgencias), producidos por la acción de vientos del oeste sobre el mar. Estas surgencias de aguas profundas ricas en nutrientes generan la fertilización de aguas superficiales donde se dan mejores condiciones de luz y estabilidad, y de esta manera se incrementa la productividad primaria.

Los extremos norte y sur del golfo se caracterizan por la presencia de sistemas frontales, áreas que separan aguas de características disímiles. El extremo norte recibe la influencia del Sistema Frontal Norpatagónico SFNP (42°30'-45°S), el que se forma en primavera y verano producto de la estratificación térmica y la

elevada disipación de energía mareal existente en el área. El mismo separa áreas costeras homogéneas de aguas más profundas estratificadas. En el extremo sur se desarrolla el Sistema Frontal del Golfo San Jorge SFGSJ, de carácter permanente, que actúa como transición entre las aguas mezcladas y de baja salinidad que ingresan al golfo y las aguas interiores que exhiben estratificación estacional.

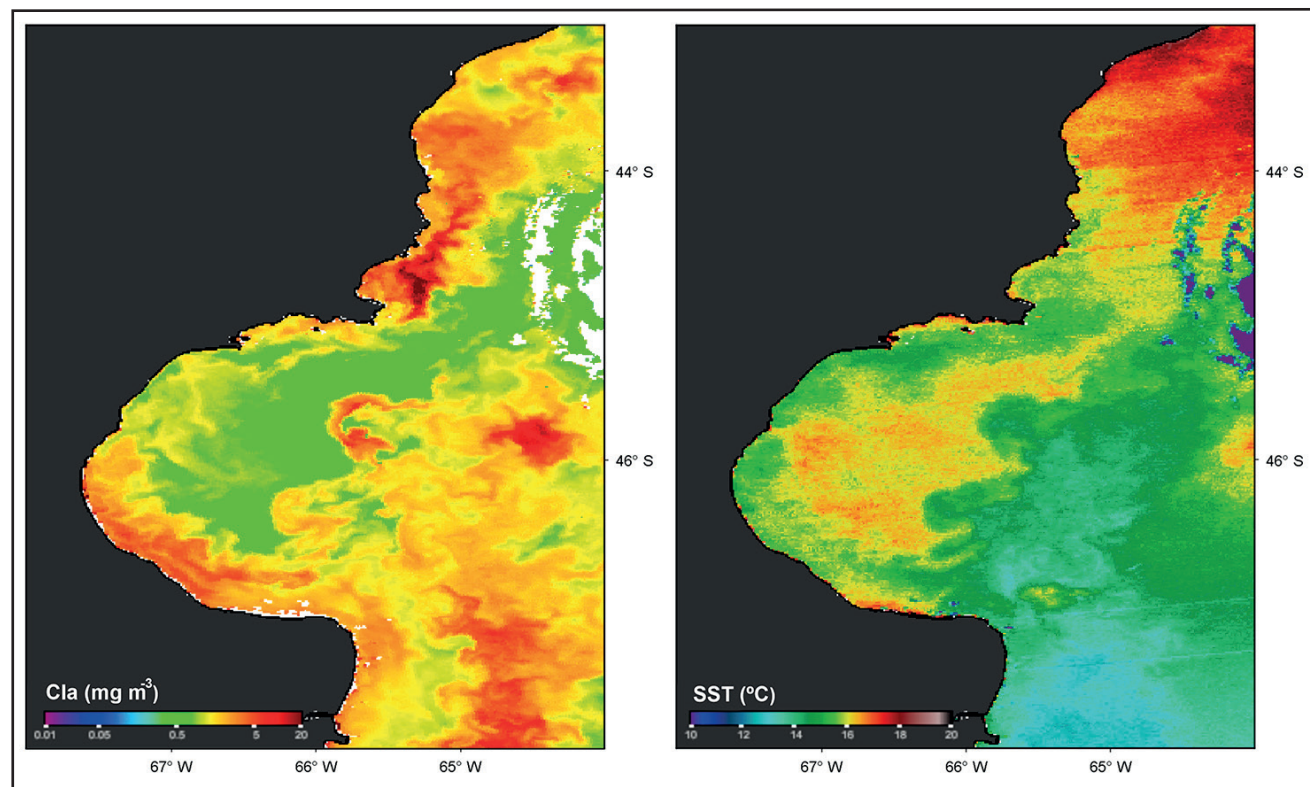
El polvo atmosférico también puede aportar nutrientes que favorecen el crecimiento de los productores primarios. Sin embargo, podría afectar negativamente a los organismos al hacer las aguas más turbias o a través del aporte de contaminantes.

### LA PRODUCTIVIDAD DEL GSJ

La productividad del GSJ está principalmente determinada por la presencia de los sistemas frontales antes descritos. Las interacciones entre la física, la química, la geomorfología y la biología son particularmente intensas en el golfo y, dada la existencia de diferentes ambientes desde el punto de vista fisicoquímico, las comunidades biológicas resultan también diferentes.

En los ecosistemas marinos, la productividad primaria depende casi exclusivamente de la fotosíntesis que realiza el fitoplancton. No obstante, en regiones costeras, las microalgas y macroalgas bentónicas también efectúan considerables aportes a di-

cha productividad. El fitoplancton inicia la ruta de la materia y la energía introduciendo carbono orgánico al medio a través de la fotosíntesis. Una gran parte de este carbono es consumido y reutilizado por otros organismos a través de la trama trófica, o devuelto a la atmósfera a través de los procesos respiratorios de productores y consumidores, mientras que otra fracción es retenida en zonas profundas de la columna de agua y en los sedimentos oceánicos. Así, parte de la energía fijada por los organismos fotosintéticos en el GSJ tiene un importante efecto sobre la productividad de los siguientes niveles tróficos, es decir su productividad secundaria, y sostiene algunos de los principales recursos pesqueros de nuestro país.



**Figura 3:** Concentración de Clorofila-a (izquierda) y Temperatura Superficial del Mar (Derecha) (MODIS-Aqua, 14 de Febrero de 2019) mostrando estructuras horizontales significativas relacionadas con las características oceanográficas generales de GSJ incluyendo frentes de marea a lo largo de la boca y en el extremo noreste del GSJ y la influencia de las aguas provenientes del sur transportadas por la Corriente Patagónica. Credits: NASA Goddard Space Flight Center, Ocean Ecology Laboratory, Ocean Biology Processing Group. Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aqua Ocean Color Data; 2018 Reprocessing. NASA OB.DAAC, Greenbelt, MD, USA. doi: data/10.5067/AQUA/MODIS/L2/OC/2018. Datos consultados el 15/02/2020, mapas creados por Gabriela N. Williams usando el programa SeaDAS. (Gentileza imagen: Dans et al 2020).



Por lo tanto, las variaciones espaciales y temporales de la biomasa fitoplanctónica tienen importantes efectos sobre el funcionamiento de todo el sistema del GSJ. Las concentraciones de clorofila *a* (índice de la biomasa fitoplanctónica) aumentan durante la primavera. En verano las concentraciones de clorofila *a* son relativamente bajas, y esto puede explicarse debido al agotamiento de los nutrientes en las capas superficiales. En otoño, durante los meses de abril y mayo, se registran nuevos incrementos de clorofila *a*, pero de menor magnitud que en primavera. Aparentemente, las floraciones fitoplanctónicas de primavera progresan desde el norte y hacia el sur del golfo, mientras que las floraciones de otoño lo harían en sentido opuesto, de sur a norte. Durante el invierno se registran los valores mínimos de clorofila *a* en todo el golfo.

En los sistemas frontales y en ciertas regiones cercanas a la costa, se identifican áreas con mayor biomasa fitoplanctónica (o concentración de clorofila *a*) (Fig. 3). En el sector sur, el SFGSJ, por ejemplo, influye positivamente sobre la producción primaria del fitoplancton facilitando la disponibilidad de nutrientes de aguas frías y profundas externas al sistema. Por otro lado, la masa de agua de las zonas profundas de la región central del golfo presenta insaturación de oxígeno disuelto, elevada concentración de materia orgánica y alto reciclaje de nutrientes, en un contexto de cierta estabilidad que limita su renovación. El SFNP del sector norte del golfo pondría a disposición del fitoplancton estos nutrientes reciclados en la zona central. Asimismo, existen indicios de que la alta biodiversidad del sector NE del golfo también está asociada a la circulación de mesoescala generada a partir de la interacción de las corrientes de marea con las islas y accidentes topográficos propios de ese sector de la costa.

## COMPONENTES DE LA BIODIVERSIDAD DEL SISTEMA

Un estudio integrado del GSJ quiere entender la estructura y dinámica del ecosistema y los factores que las influyen. En la estructura van a estar implicados los componentes biológicos, es decir, qué especies están presentes, cómo varían sus abundancias en el espacio y en el tiempo, y quién se alimenta de quién, a fin de entender la dirección e importancia de los flujos de materia y energía dentro del golfo y con los ambientes limítrofes.

El fitoplancton, principal componente responsable de la productividad primaria, está integrado por pequeños organismos autótrofos que se encuentran en suspensión en la columna de agua. De acuerdo a las distintas fracciones de talla, se clasifica como picofitoplancton a la fracción inferior a 2  $\mu\text{m}$ , nanofitoplancton a la fracción comprendida entre 2 y 20  $\mu\text{m}$ , y microfitoplancton a la fracción comprendida entre 20 y 200  $\mu\text{m}$ .

Las cianobacterias y los picroeucariotas básicamente integran el picofitoplancton. Su éxito adaptativo radica en su elevada eficiencia en la captación de la luz y en la incorporación de nutrientes a bajas concentraciones, sumado a su baja tasa de hundimiento; todo esto como resultado del pequeño tamaño y una elevada relación superficie/volumen. En el GSJ y áreas adyacentes se reconocieron a las cianobacterias del género *Synechococcus* como destacados representantes de la comunidad fitoplanctónica durante el verano.

Los principales componentes del nanofitoplancton en el GSJ son pequeñas diatomeas, pequeños dinoflagelados desnudos, criptofíceas (flagelados criptomonadales), pra-

sinofíceas del género *Pyramimonas* y primnesiofíceas de los géneros *Chrysochromulina*, *Phaeocystis* y el cocolitofórido *Emiliania huxleyi*.

La fracción del microfitoplancton está compuesta principalmente por diatomeas y dinoflagelados (Fig. 5). Estos dos grupos de organismos constituyen la mayor fuente de producción primaria eucariota en aguas costeras. Las diatomeas pueden ocurrir como células solitarias o células unidas entre sí formando largas cadenas. Entre las especies más conspicuas se encuentran *Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros* spp., *Dactyliosolen fragilissimus*, *Guiardia delicatula*, *Leptocylindrus* sp., *Pseudo-nitzschia* spp., *Skeletonema costatum* y *Thalassiosira* spp.. Entre los dinoflagelados, se destacan los taxa *Alexandrium catenella*, *A. ostensfeldii*, *Ceratium lineatum*, *C. tripos*, *Dinophysis acuminata*, *Gonyaulax* complejo *spinifera*, *Gymnodinium* spp., *Prorocentrum balticum*, *P. micans* y *Scrippsiella* spp. Cabe mencionar que un alto porcentaje de dinoflagelados no mencionados aquí son acloróticos y forman parte del zooplancton.

Dentro del fitoplancton, se pueden encontrar especies tóxicas y/o potencialmente nocivas. La mayoría de las Floraciones Algaes Nocivas (FANs), comúnmente conocidas como mareas rojas, están vinculadas a distintas especies de dinoflagelados. Entre ellas se destaca *Alexandrium catenella*, especie productora de toxinas paralizantes de moluscos (TPM, o PST por sus siglas en inglés), existiendo casos de intoxicación en humanos, algunos fatales, debido al consumo de mariscos filtradores que concentran dichas toxinas. Además, *Dinophysis acuminata* y *D. tripos*, dos especies productoras de toxinas diarreicas de moluscos (TDM o DST) que pueden provocar severas gastroenteritis. Entre 2010 y 2012,

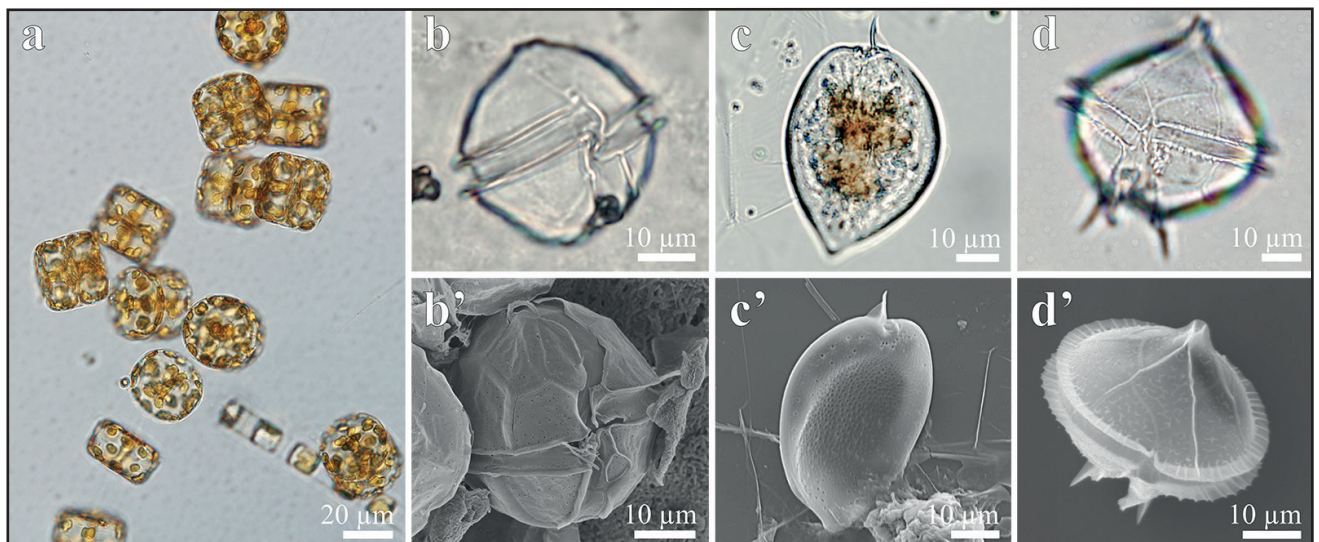
el GSJ fue escenario de numerosos casos de intoxicación, dos de ellos fatales, vinculados a floraciones de *A. catenella*. Esta especie fue recientemente reportada predominante en relación a otros dinoflagelados nocivos en el sur y sureste del GSJ, y fue asociada con altas concentraciones de nutrientes, baja temperatura y baja salinidad. Por otra parte, *D. acuminata* fue relacionada con condiciones más cálidas del sector norte. Además de las especies mencionadas, actualmente en el GSJ se siguen encontrando otras especies indicadas como nocivas en otras partes del mundo.

Otro componente importante son las bacterias heterótrofas planctónicas. Dada la elevada concentración de bacterias en el mar y su eficiencia de asimilación, producto de su reducido tamaño, resultan sustanciales transformadoras del carbono orgánico disuelto en carbono orgánico particulado, en forma de células bacterianas.

El zooplancton está constituido por una gran variedad de protozoos y metazoos que pasan una parte o toda su vida suspendidos en la columna de agua. Son organismos en general muy pequeños, y dada su débil capacidad natatoria, su distribución se encuentra fuertemente condicionada por las corrientes marinas. La comunidad zooplanctónica es altamente diversa en el GSJ e incluye numerosas especies de protozoos, crustáceos, organismos gelatinosos, huevos y larvas de peces, entre otros grupos. Los protozoos más representativos de la fracción más pequeña del zooplancton son dinoflagelados heterótrofos del género *Gyrodinium* y ciliados tales como *Mesodinium rubrum*, tintínicos y oligotricos. Los metazoos más abundantes son los copépodos, los eufáusidos, los anfípodos y algunas especies de ctenóforos y medusas, conocidos en conjunto como "aguas vivas". Son también numéricamente importantes las larvas de crustáceos decápodos y de peces óseos. Estos organismos se distribuyen siguiendo señales del ambiente tales como la

temperatura, la concentración de clorofila *a* (que es indicadora del alimento que consumen), y la presencia de los sistemas frontales que ocurren en los sectores norte y sur del golfo.

Otro gran componente del sistema agrupa a los organismos que viven en el fondo marino o en íntima relación con el mismo. Este ensamble de algas y animales constituye el bentos e incluye a muchas especies de interés comercial, o que son el principal alimento de éstas, como la centolla, el langostino o la merluza. El ambiente bentónico en el GSJ no es homogéneo, y es posible hallar diferentes agrupaciones de organismos asociados a características ambientales particulares definidas por el tipo de sedimento, el contenido de materia orgánica, la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto y la clorofila. Así se puede diferenciar una zona central, con sedimentos finos y alto contenido de materia orgánica, y las zonas próximas a los cabos con sedimentos gruesos y bajo contenido de materia orgánica. En



**Figura 4:** Organismos microplanktónicos. Microscopía óptica (MO). Microscopía electrónica de barrido (MEB). a) Diatomeas del género *Thalassiosira* formando colonias (MO). b y b') Dinoflagelado *Alexandrium catenella*, especie productora de toxinas paralizantes de moluscos (MO y MEB, respectivamente). c y c') Dinoflagelado *Procerentrum micans* (MO y MEB, respectivamente). d y d') Dinoflagelado aclorótico *Protoperidinium pellucidum* (MO y MEB, respectivamente).

los sistemas frontales y zonas costeras donde la productividad primaria es más alta habría una mayor biodiversidad bentónica ("hot-spots") que en el resto del golfo.

La distribución de la macrofauna epibentónica, es decir aquellos organismos que viven sobre el fondo, estaría determinada principalmente por el tipo de sedimento, su contenido de materia orgánica y la concentración de oxígeno en el agua de fondo. Una gran parte de los fondos del golfo está dominada por comunidades de macrofauna con una alta dependencia del reciclaje de materia orgánica. En estas comunidades se destacan la langostilla *Munida gregaria* (Fig. 5), el erizo *Tripylaster philippi* y la almeja *Neilonella sulculata*. En las áreas próximas a los cabos, la comunidad presenta una gran abundancia de organismos filtradores como briozoos o hidrozooos, lo que sugiere una dependencia más directa de la producción primaria.

La fauna de menor tamaño y que vive enterrada en el sedimento, el bentos infaunal, está conformada por invertebrados que constituyen el alimento principal de muchas especies comerciales que desarrollan alguna etapa de su ciclo de vida en el fondo. Estas comunidades están dominadas por poliquetos de la familia Spionidae y Maldanidae, anfípodos Phoxocephalidae y también la almeja *Nuculana sulculata*. También aquí se observa una heterogeneidad ambiental significativa, con grupos característicos habitando la zona central del golfo, y otros propios de las zonas costeras cercanas a los cabos. Recientemente más de 100 especies de nematodos fueron identificadas en sedimentos del GSJ, la mayoría de las cuales serían especies nuevas.

Los ambientes someros rocosos y los intermareales del GSJ son áreas de cría para especies como la cento-

lla y varios otros crustáceos que en su etapa adulta ocupan ambientes más profundos. En las zonas rocosas se destacan los bosques formados por macroalgas como el cachiyuyo *Macrocystis pirifera*, que brindan refugio y alimento a una gran diversidad de especies. La zona de caletas y bahías protegidas de la costa norte se caracteriza por la presencia de praderas del alga roja *Gracilaria gracilis* y de marismas intermareales. Por otra parte, las comunidades costeras de fondos blandos se hallan poco estudiadas y pobremente caracterizadas.

En la columna de agua, desde el fondo hasta la superficie, se encuentran numerosas especies de peces, no menos de 120 especies entre mixines (anguilas babosas), peces cartilaginosos (tiburones, rayas y pez gallo) y peces óseos. Esta diversidad se refleja en que los peces ocupan roles ecológicos muy diversos y habitan todos los ambientes del golfo. En particular, el GSJ es una zona importante para la alimentación, desove y cría de varias especies. Sobre fondos de arena o fango habitan especies de interés comercial como la merluza y los lenguados (ej. *Xysterys rasile* y *Paralichthys isosceles*) junto a numerosas especies de rayas (ej. *Zeoraja brevicauda* y *Psammobatis normani*). En zonas rocosas encuentran refugio especies como el salmón de mar *Pseudoperca semifasciata*, el escrófalo *Sebastes oculatus* (Fig. 5), el mero *Acanthistius patachonicus* y el abadejo *Genypterus blacodes*. También en sitios rocosos costeros y bosques de cachiyuyo se refugian el sapo *Notothenia angustata*, y una gran variedad de especies de pequeño tamaño. Sobre la costa, se encuentran róbalo, peces gallo y pejerreyes. En aguas abiertas se encuentran cardúmenes de anchoíta *Engraulis anchoita*, y pampanito *Stromateus brasiliensis*, especie que se alimenta de medusas y ctenóforos.

Entre los tiburones se encuentran el gatopardo *Notorynchus cepedianus*, un cazador de otros tiburones y mamíferos marinos, el cazón *Galeorhinus galeus*, especie que migra desde aguas brasileñas, y el tiburón azul *Prionace glauca*, siendo especies más difíciles de asociar a un ambiente determinado por su gran movilidad. Sin embargo, los tiburones más abundantes son especies de pequeño tamaño como la pintarroja *Schroederichthys bivius* o el tiburón espinoso *Squalus acanthias*.

En el caso particular de la merluza, dentro del grupo de los peces óseos y uno de los principales recursos pesqueros de Argentina, el GSJ constituye la principal zona de cría para los juveniles menores de un año de edad. El desove de esta especie ocurre mayormente en primavera y verano en aguas adyacentes al norte del golfo, y luego los prerreclutas ingresan al GSJ, donde encuentran condiciones favorables para la alimentación durante la fase juvenil.

En el GSJ, encuentran su límite más austral peces de aguas cálido-templadas que se distribuyen desde la provincia de Buenos Aires o el sur de Brasil. Sin embargo, recientemente se han identificado más de 20 especies de peces que no estaban previamente citadas para el golfo y la mayoría de ellas son típicas de aguas cálido-templadas, como la pescadilla *Cynoscion guatucupa* y el besugo *Pagrus pagrus*. Estos registros llaman la atención sobre un posible proceso de tropicalización ligado al fenómeno de cambio climático global que afecta a los océanos.

En las costas del GSJ anidan 14 especies de aves marinas, en unas 60 colonias conformadas por entre una y siete especies. Las más abundantes son el pingüino de Magallanes *Spheniscus magellanicus* y la gaviota

cocinera *Larus dominicanus*. El GSJ es utilizado además para alimentarse o migrar por al menos otras siete especies de aves marinas, principalmente albatros y petreles. Las aves marinas se alimentan en una gran diversidad de ambientes, desde el intermareal hasta aguas por fuera de los límites del GSJ, capturando una gran variedad de peces e invertebrados marinos, siendo la anchoíta una de las presas principales (Fig. 5). Los intermareales y aguas someras del golfo son también frecuentados por otras 34 especies de aves costeras, varias de ellas playeras migratorias neárticas.

Entre los mamíferos marinos, los lobos marinos de un pelo *Ota-*

*ria flavescens* tienen 25 apostaderos concentrados en las islas de la costa norte del GSJ. Los lobos de dos pelos *Arctocephalus australis* tienen tres apostaderos, compartidos con los lobos de un pelo. Ambas poblaciones se encuentran en crecimiento. Entre las especies de pequeños cetáceos, los delfines oscuros *Lagenorhynchus obscurus* se concentran en la zona norte del GSJ, en distancias a la costa de entre 30 y 60 km, y las toninas overas *Cephalorhynchus commersonii* se concentran en una franja más costera. Se conocen sus tamaños poblacionales pero no sus tendencias. También se pueden encontrar grandes cetáceos, como la ballena franca *Eubalaena australis* y varios rorcuales. Tanto los lobos ma-

rinios como los delfines se alimentan de las presas más abundantes como la merluza, la anchoíta (Fig. 5) y los calamares de aleta corta *Illex argentinus* y patagónico *Loligo gahi*, aunque el lobo de un pelo tendría una dieta más amplia y con mayor consumo de merluza.

### LOS CAMINOS DE LA ENERGÍA: LA TRAMA TRÓFICA

La red de relaciones alimentarias, o trama trófica, del GSJ permite analizar la complejidad del ecosistema y de algunos de los procesos que determinan y gobiernan su productividad (Fig. 6). Estas relaciones se pueden reconstruir a partir del estudio de la dieta de las especies.



**Figura 5:** a) Fondos rocosos característicos de las zonas cercanas a los cabos y escrófalos *Sebastes oculatus* (crédito M. Marcinkevicius), b) Langostilla *Munida gregaria* (crédito M. Marcinkevicius), c) anchoítas *Engraulis anchoita* predadas por aves y mamíferos marinos (Crédito: LAMAMA CESIMAR CENPAT).

Un porcentaje del carbono que fija el fitoplancton a través de la fotosíntesis es excretado y permanece disuelto en la columna de agua, y es consumido directamente por bacterias planctónicas heterótrofas. A su vez, las bacterias son consumidas por individuos del zooplancton, canalizando así una significativa cantidad de energía en la trama trófica planctónica y posteriormente en los niveles tróficos superiores. Este proceso es conocido como "microbial loop" o bucle microbiano.

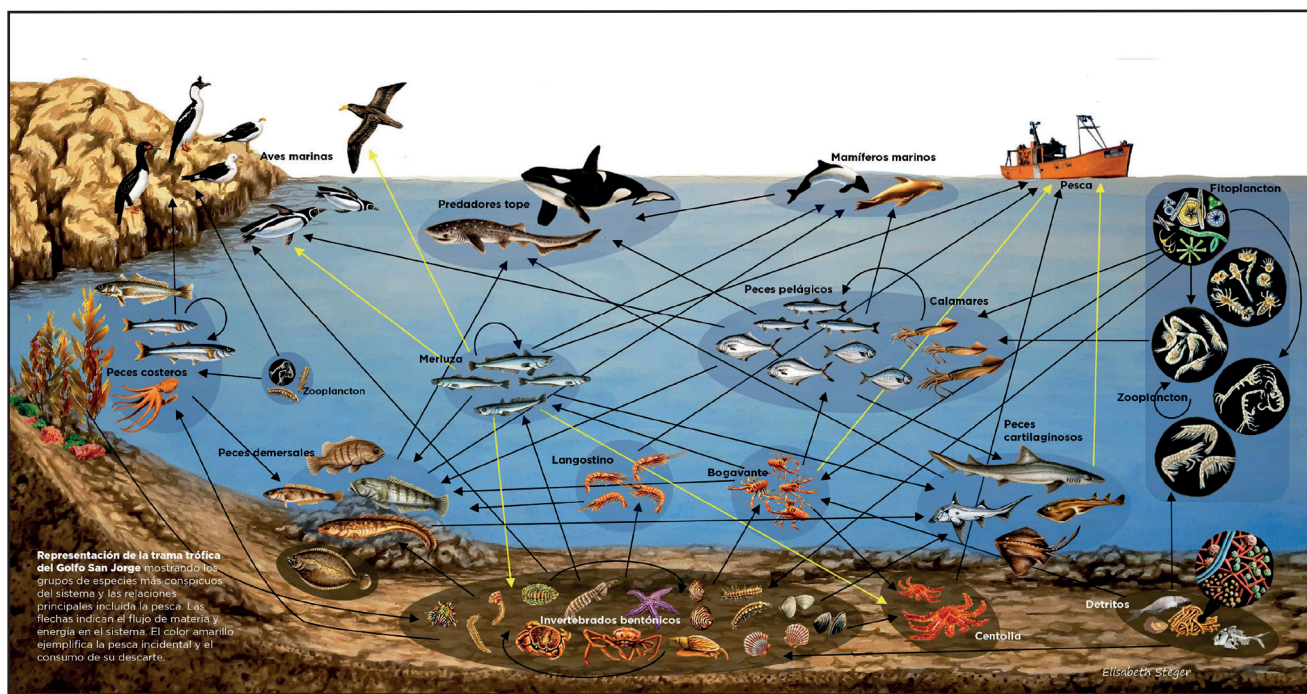
Otra fracción significativa del carbono que fija el fitoplancton está contenida en la materia orgánica particulada (pellets fecales de zooplancton, agregados de células muertas, "nieve marina", etc.) que en parte es exportada a los sedimentos, completando el proceso conocido como "bomba biológica". Durante su desplazamiento a través de la columna de agua y durante su permanencia en el fondo marino, esta materia orgánica sufre trans-

formaciones que dependen de procesos físico-químicos y biológicos, entre ellos la descomposición bacteriana, que devuelve dióxido de carbono y nutrientes al medio. Durante el verano, en la zona central del GSJ, la materia orgánica particulada que se sedimenta hacia el fondo es principalmente de origen fitoplanctónico. Además, la cantidad de carbono presente en esa materia orgánica disminuye con la profundidad de la columna de agua, hecho relacionado con la rápida degradación bacteriana.

El zooplancton cumple un rol fundamental en la trama trófica del GSJ, vinculando al fitoplancton con especies de gran interés comercial. La merluza, el langostino y la anchoíta, por ejemplo, dependen del zooplancton como alimento durante sus etapas tempranas de vida, e incluso en la adultez para su supervivencia y por lo tanto para reclutar a las pesquerías. Al mismo tiempo, algunas especies zooplanctónicas

pueden alimentarse de los huevos y larvas de las especies de niveles tróficos superiores.

La trama trófica del GSJ contiene hasta cinco niveles tróficos, lo cual es alto en términos comparativos frente a otros sistemas. La orca (*Orcinus orca*) es el depredador tope de máximo nivel trófico, seguida por el tiburón gatopardo y ambas especies de lobos marinos. La anchoíta y el bogavante o langostilla son especies clave por ser el principal alimento de muchos peces, aves y mamíferos. Las especies con mayor número de interacciones alimentarias son la merluza, el langostino y la langostilla, especies que combinan ser depredadores versátiles con ser presa de muchas especies. Cabe destacar que las dos principales especies de mayor importancia pesquera son también las especies más conectadas en la trama trófica. Esta característica del sistema muestra claramente la importancia de entender en profundidad el funcionamiento



**Figura 6:** Representación de la trama trófica del Golfo San Jorge mostrando los grupos de especies más conspicuos del sistema y las relaciones principales incluida la pesca. Las flechas indican el flujo de materia y energía en el sistema. El color amarillo ejemplifica la pesca incidental y el consumo de su descarte.

y estructura del GSJ para lograr un manejo sostenible de sus recursos renovables.

Esta reconstrucción de la trama trófica está en gran parte basada en trabajos de dieta de peces realizados en las últimas décadas del siglo XX, pero sabemos que en los últimos años se han producido cambios por la explosión demográfica de la langostilla, la reducción de la abundancia de la merluza y la incursión de especies de aguas más cálidas, lo que requiere actualizar los estudios de dieta.

### **SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL GSJ, ACTIVIDADES HUMANAS, IMPACTOS Y SU MANEJO**

En el GSJ se desarrollan diferentes actividades que generan beneficios económicos para la región y el país, como la pesca, la explotación y transporte de petróleo y el turismo. Como toda actividad antrópica, su desarrollo produce efectos sobre el funcionamiento del sistema, pudiendo modificar su productividad y la sustentabilidad en el tiempo de algunas de ellas. Además, en el borde costero del GSJ se emplazan tres ciudades, Comodoro Rivadavia, Rada Tilly y Caleta Olivia, que suman unos 300.000 habitantes. El funcionamiento de estas ciudades también acarrea diferentes impactos sobre el ecosistema marino del GSJ.

#### *Pesca*

La pesca industrial es sin dudas la actividad de mayor magnitud e impacto entre las que se desarrollan en el GSJ. Esta actividad se centra en dos pesquerías de arrastre: la pesquería de merluza común y la pesquería de langostino, aunque recientemente se ha desarrollado también una pesquería de centolla con trampas. La distribución del esfuerzo de pesca ha sido muy variable en

el tiempo, dependiendo de los rendimientos y regulaciones por parte de las autoridades de aplicación con jurisdicción sobre estas pesquerías (Santa Cruz, Chubut y Nación). En la pesquería de langostino participa una flota congeladora tangonera, integrada por entre 80 y 90 embarcaciones, que históricamente concentraba el esfuerzo pesquero en el GSJ, aunque en los últimos años este esfuerzo se ha desplazado al sector de plataforma en áreas aledañas al GSJ y hacia el norte, frente al litoral de la Provincia del Chubut. En la pesquería de merluza opera una flota fresquera de altura, integrada por entre 20 y 30 embarcaciones de más de 21 m de eslora, que en los últimos años empezó a participar más activamente de la pesquería de langostino por su alto valor comercial. La pesquería industrial de centolla actualmente involucra cinco barcos congeladores de 50 m de eslora, que pescan con unas 4500 trampas, y tres barcos fresqueros de altura con 2000 trampas. En el GSJ también opera una pequeña flota costera conformada por no más de 20 embarcaciones de menos de 21 m de eslora.

Tradicionalmente, el manejo pesquero se enfocó en el recurso objetivo de la pesquería, buscando maximizar los rendimientos sostenibles, paradigma conocido como la ordenación orientada al recurso objetivo. En la década del 90 empezaron a considerarse las interacciones entre las pesquerías y los ecosistemas, y el hecho de que ambos se ven afectados por una variabilidad natural de largo plazo, así como por otros usos distintos de la pesca. Se desarrolló un nuevo paradigma conocido como el enfoque de ecosistemas en la pesca, que aún la visión pesquera tradicional con el enfoque ecosistémico. Este nuevo enfoque en el manejo pesquero requiere tomar en cuenta los efectos de la pesca

sobre el hábitat y sobre los distintos componentes del ecosistema, más allá de regular el impacto sobre las poblaciones blanco, e incorpora los aspectos socio-económicos, institucionales y de participación.

En las pesquerías de merluza y langostino se emplean redes de arrastre demersales que pueden producir alteraciones de los fondos y de las comunidades que los habitan. Entre estos disturbios se puede mencionar el aumento de la mortalidad de los invertebrados, la degradación de los fondos y el incremento de materia orgánica producto del descarte de especies al mar, cuyos efectos sobre la estructura y distribución de estas comunidades están en evaluación.

La pesca industrial de arrastre captura incidentalmente cientos de especies que son en su gran mayoría descartadas. Como dato para dimensionar este hecho se puede mencionar que la flota comercial de arrastre captura, junto a las especies con valor comercial, otras 100 especies de peces en forma incidental. El descarte tiene dos efectos sobre el ecosistema: 1) la muerte de individuos capturados incidentalmente y 2) el aporte de toneladas de animales muertos que van al fondo del mar, favoreciendo la proliferación de especies carroñeras y afectando la composición de la comunidad, y que son alimento de las aves marinas en superficie y de los peces en la columna de agua, con consecuencias en las tramas tróficas. Además, el descarte incluye especies de interés comercial: la principal especie descartada es la merluza, por no ser de interés en el caso de la pesquería de langostino o por su tamaño en el caso de la pesquería de merluza. Las interacciones entre aves y mamíferos marinos con la actividad pesquera también puede conducir a la captura incidental y mortalidad en redes

dirigidas a merluza y langostino (p.e. lobos de un pelo, delfines, pingüino de Magallanes, cormoranes imperiales, pardelas), y mortalidad de aves por colisión con cables (albatros y gaviotas). Esta mortalidad ha variado en el tiempo como consecuencia de cambios en las artes de pesca.

La pesquería de centolla utiliza trampas. Si bien no tiene efectos tan significativos sobre el ecosistema, los principales problemas asociados son la interacción con mamíferos marinos y la pesca fantasma, proceso por el cual una trampa abandonada en el agua continúa pescando. La pesca fantasma representó un problema importante durante los primeros años de esta pesquería. En la actualidad, las trampas cuentan con mecanismos de desactivación que previenen dicho impacto.

En el GSJ también se desarrollan pesquerías de pequeña escala (artesanal y recreativa) que resultan difíciles de monitorear y por lo tanto existe una gran incertidumbre sobre el volumen de capturas. Los recursos pesqueros objetivos de los pescadores artesanales incluyen pulpo colorado, centolla, mejillones (*Mytilus edulis*), sombreritos (*Fissurellidae megatrema*) y varias especies de peces costeros como pejerrey, róbalo, pez gallo, entre otros, que son capturados por recolección costera, con enmalle, con caña desde costa y embarcado, con trampas, o incluso por buceo como el caso del pulpo colorado. También existe incertidumbre sobre el impacto de la pesca deportiva, que se dirige a especies de roca, como el salmón de mar, el escrófalo y el mero, y a especies cartilaginosas. La principal preocupación, que ha motorizado acciones de conservación, radica en la captura de tiburones como el cazón y el gatuazo.

### *Exploración, explotación y transporte de hidrocarburos*

La producción de petróleo representa la principal actividad económica del área. A lo largo de más de 100 años de actividad, la cuenca del GSJ ha sido el área más prolífica en la producción de hidrocarburos de la Argentina. La actividad se ha desarrollado principalmente en tierra, pero existen concesiones de exploración y explotación que cubren un área de casi 20.000 km<sup>2</sup> bajo las aguas del golfo, por lo que la explotación *off shore* es esperable en el futuro cercano. En este contexto, la evaluación de los impactos potenciales sobre el ecosistema es un tema apremiante de investigación.

La explotación y transporte de hidrocarburos traen aparejados riesgos de contaminación, tanto crónica como aguda. El principal riesgo y fuente de contaminación en los ecosistemas marinos patagónicos proviene de la carga/descarga de petróleo y de productos refinados en zonas portuarias, y de su transporte por buques petroleros a lo largo de la zona costera. De hecho, las mayores concentraciones de hidrocarburos en el agua se han registrado en zonas cercanas a las de carga de petróleo crudo o descargas de productos refinados, sumado al riesgo de derrames mayores como el ocurrido en 2007 en el área de Caleta Córdova-Comodoro Rivadavia, cuando 300 m<sup>3</sup> de petróleo alcanzaron la costa, siendo el desastre ambiental más grande en la historia de la región.

El incremento del riesgo de introducción de especies exóticas y los efectos derivados de la prospección sísmica en el mar son otros impactos asociados a la actividad petrolera. El riesgo de invasiones biológicas es atribuible a todo el tráfico naval,

pero en el GSJ la mayor parte del tráfico internacional está vinculado a la actividad petrolera. La introducción de especies exóticas puede alterar la estructura y composición de las comunidades locales. En el golfo están bien documentados el establecimiento del alga *Undaria pinnatifida* y del cangrejo verde *Carcinus maenas*, aunque las consecuencias de su introducción en el ecosistema del golfo aún no han sido del todo comprendidas. En lo que respecta a la prospección sísmica, los efectos de estas prácticas en peces y mamíferos están bien documentados e incluyen cambios de comportamiento, cambios fisiológicos severos e incluso la muerte. Prospecciones sísmicas fueron llevadas a cabo en el golfo en años recientes, sin embargo, las observaciones de los pescadores son la única fuente de información sobre los posibles efectos que tuvo esta actividad.

### *Efluentes cloacales y residuos sólidos urbanos*

Las ciudades de Rada Tilly, Comodoro Rivadavia y Caleta Olivia han basado su crecimiento en la actividad petrolera en tierra dando la espalda al mar. En consecuencia, tienen una escasa y obsoleta infraestructura para el tratamiento de los efluentes domésticos e industriales. Particularmente en Comodoro Rivadavia existen más de 25 efluentes pluviocloacales que vierten residuos cloacales sin tratamiento en sus 37 km de costa. Muchos de estos efluentes son de tipo mixtos e incluyen residuos de la actividad industrial. Estas descargas producen un incremento de la carga bacteriana determinando que la mayor parte de las playas en estas ciudades no sean aptas para uso recreativo ni para la extracción de mariscos para consumo. Estudios recientes en las costas de Comodoro Rivadavia muestran

que la contaminación por efluentes determina cambios en la composición de las comunidades bentónicas en las zonas de descarga de los mismos.

Los residuos sólidos constituyen otra fuente de impacto, la cual se debe en gran medida a la existencia de basurales a cielo abierto (próximos al mar) y a la contribución del viento en la región. La presencia de plástico, sobre todo de microplásticos, en los ecosistemas marinos es una preocupación creciente y está recibiendo mucha atención de la comunidad científica en todo el mundo. Los efectos más conocidos, como los enredos, asfixia e incluso ingesta, son sólo la punta del iceberg, ya que aún no se comprenden del todo los impactos que el plástico produce sobre la vida marina. En los últimos años se han tomado medidas para reducir y/o mitigar esta contaminación pero basta con recorrer las playas próximas a las ciudades para advertir que es un tema que merece más atención de los investigadores, la comunidad y los gobernantes.

### **EL GSJ Y EL CAMBIO CLIMÁTICO**

El cambio climático, cuya principal causa es el calentamiento global (cambio de temperatura media global observado), tiene múltiples

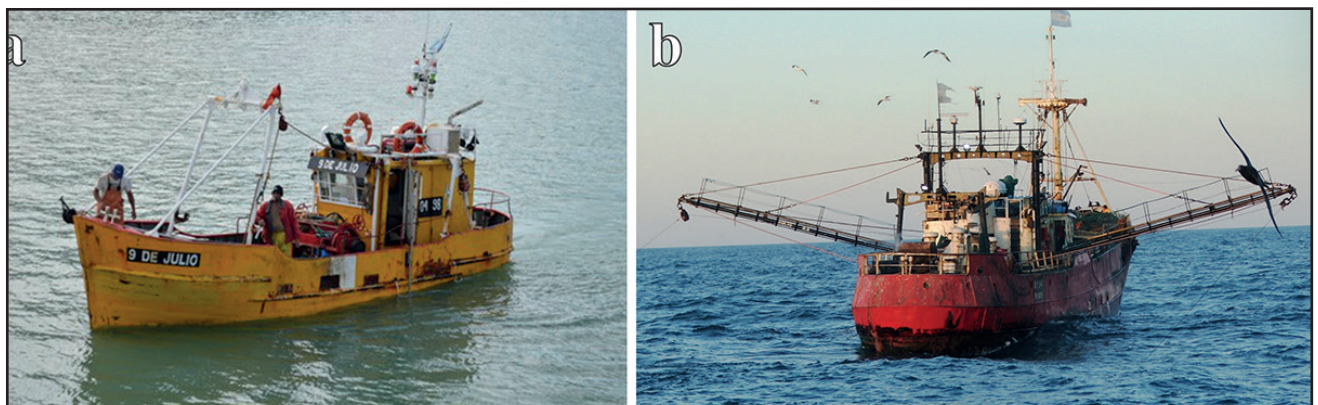
consecuencias negativas en los sistemas físicos, biológicos y humanos, entre otros efectos. El calentamiento puede ser causado por procesos naturales (cambios en la órbita del sol alrededor de la Tierra por ej.) o por las actividades humanas (origen antropogénico). Este último se debe principalmente a las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero, principalmente Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), las cuales generan un desequilibrio energético en el sistema climático de la Tierra con el consecuente incremento en la temperatura media global (Calentamiento Global). Se ha estimado que el calentamiento inducido por el hombre, desde la era industrial, se encuentra entre los  $0.87^\circ\text{C}$  y  $1.25^\circ\text{C}$  (estimación a 2017). Los océanos actúan como reservorios energéticos, absorbiendo en la superficie parte del calor generado por la atmósfera. De esta manera, las capas superficiales de los océanos han experimentado un calentamiento superior al de las más profundas. El océano también juega un papel fundamental en el ciclo del carbono dentro del sistema climático, absorbiendo  $\text{CO}_2$  antropogénico emitido a la atmósfera y mitigando así parte del cambio climático.

En las últimas décadas, sobre la Plataforma Patagónica se han obser-

vado diversos cambios en las condiciones ambientales las cuales son atribuidas, con cierto grado de confianza, al cambio climático. A partir de datos de temperatura superficial del mar en el período 1982-2017, se ha detectado un área de calentamiento entre  $42\text{-}45^\circ\text{S}$  ( $+0.52^\circ\text{C}$ ) y un área de enfriamiento entre  $49\text{-}52^\circ\text{S}$  ( $-0.42^\circ\text{C}$ ). De estos resultados puede observarse sobre el GSJ un leve calentamiento en las proximidades a la costa y hacia el norte del mismo.

Existe evidencia de que la mitad del exceso de calor experimentado en la región oceánica se debe a cambios en su circulación, la cual puede estar relacionada a variaciones en el régimen de vientos. Particularmente, en el Hemisferio Sur y desde la década del 70 se ha identificado un incremento en la intensidad de los vientos Oeste de latitudes medias (el centro y sur de Patagonia se encuentra dentro de esta región) y un corrimiento hacia los polos particularmente durante el verano.

La temperatura superficial del mar y el viento juegan un rol fundamental en el intercambio de  $\text{CO}_2$  entre la atmósfera y los océanos. Estudios de las últimas dos décadas indican que el Mar Patagónico es uno de los mayores sumideros de  $\text{CO}_2$  en el Océano Global, dismi-



**Figura 7:** a) Embarcación de la flota costera que opera en el GSJ b) Embarcación de la flota congeladora tangonera que opera a langostino.



nuyendo en parte la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, pero incrementando la acidez del océano. Las regiones frontales con alta producción primaria producen elevada captura, mientras que en aguas mezcladas cercanas a la costa se da lugar a una fuente neta de CO<sub>2</sub>. Los procesos anteriormente mencionados tendrán una influencia importante en los organismos marinos. Por lo tanto los cambios en la circulación oceánica, la intensidad y la distribución espacial de las tendencias de temperatura superficial del mar y los intercambios de CO<sub>2</sub>, deben ser estudiados en conjunto con posibles cambios en la distribución de las especies.

## ■ EL CONOCIMIENTO PARA EL MANEJO SOSTENIBLE DEL GSJ: PERSPECTIVAS

### LA INVESTIGACIÓN Y MONITOREO A LARGO PLAZO

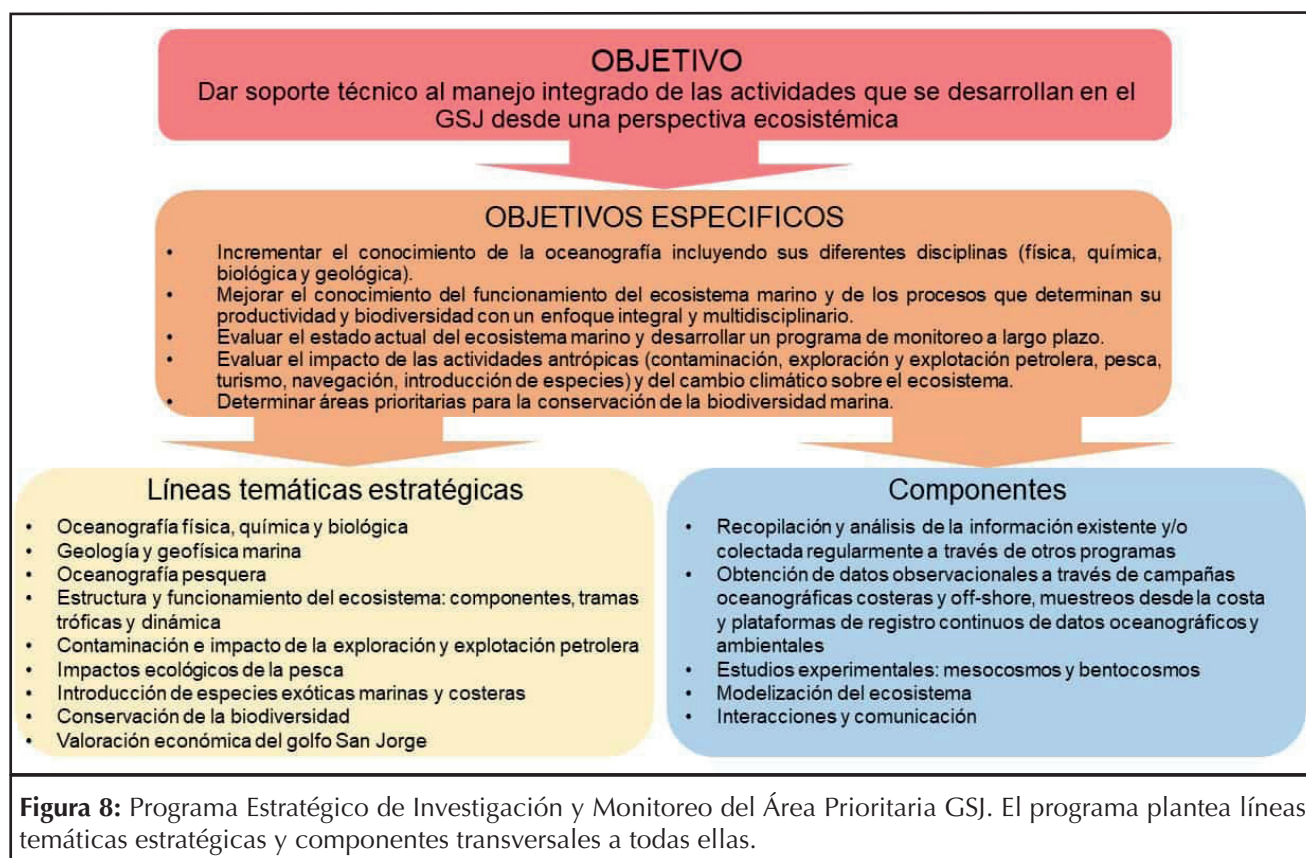
En el marco de la iniciativa Pam-

pa Azul, el Programa de Investigación y Monitoreo del GSJ (PIMGSJ) es fruto del esfuerzo colectivo para avanzar en la definición de formas de trabajo multidisciplinario, de colaboración interinstitucional, y de acceso abierto y uso compartido del material y datos colectados. El objetivo general del PIMGSJ es dar soporte al manejo de las actividades que se desarrollan en el GSJ desde una perspectiva ecosistémica. Para poder alcanzar sus objetivos específicos, el PIMGSJ contempla nueve líneas temáticas estratégicas, y cuatro componentes transversales a todas ellas, ya que la interdependencia de estas múltiples temáticas requiere de un esfuerzo coordinado interinstitucional y multidisciplinario.

El PIMGSJ fue elaborado y actualmente coordinado por un grupo de trabajo (GT GSJ Pampa Azul), conformado por especialistas de las distintas disciplinas, y provenientes de diferentes instituciones naciona-

les. El mismo fue elaborado a partir de una convocatoria amplia de ideas-proyecto, involucrando más de 140 investigadores y profesionales pertenecientes a 25 instituciones de investigación y gestión.

El programa incluye la planificación y realización de campañas oceanográficas integrales, habiéndose realizado ya dos campañas a bordo del B/O Puerto Deseado en 2016 y 2017, y la organización de seminarios anuales con la finalidad de comunicar los avances obtenidos y generar espacios de planificación y discusión entre investigadores de las distintas disciplinas e instituciones involucradas (Cefarelli et al. 2017, Galván et al. 2019, Parma et al. 2018). Recientemente se ha establecido una estación permanente de monitoreo de variables oceanográficas y ambientales cerca de Comodoro Rivadavia, y se están desarrollando bases de datos para albergar los datos emergentes de las campañas oceanográficas.



El estudio de un ecosistema marino complejo como el GSJ y el carácter multidisciplinario e interinstitucional del PIMGSJ requiere de recursos logísticos, humanos y tecnológicos particulares. Paralelamente a la generación de conocimiento acerca de la estructura y funcionamiento del ecosistema, el PIMGSJ impulsa un plan para la obtención y manejo de datos, junto con la adquisición y el uso de tecnologías aplicadas al estudio del mar y la correspondiente capacitación de investigadores y técnicos. Algunos de estos desarrollos contribuyen además al avance de una autonomía tecnológica nacional.

#### *Obtención y Manejo de Datos*

Se establecieron tres tipos de estrategias para la obtención de datos:

(1) Campañas oceanográficas costeras y offshore. Estas campañas

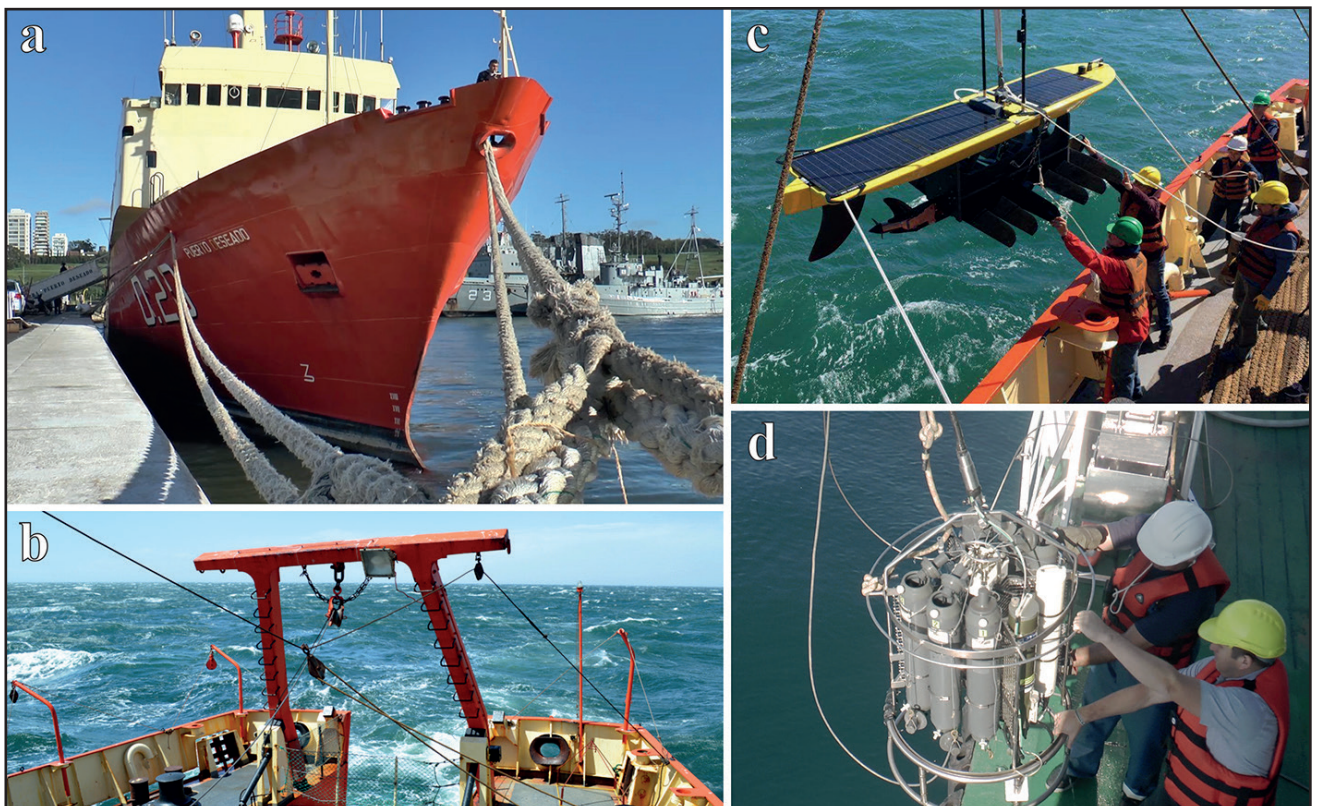
se realizan mediante buques de investigación, y permiten la medición in situ de múltiples variables relacionadas con las condiciones oceanográficas, tanto físicas, químicas como biológicas, la estructura y composición de los fondos, la composición del plancton, la diversidad y distribución del bentos, las relaciones tróficas, y la abundancia y distribución de predadores tope. Esto implica la integración de múltiples disciplinas, la utilización de diferentes equipamientos y muestreadores, y la participación de investigadores y técnicos de diferentes instituciones científicas del país trabajando a bordo.

(2) Muestreos desde la costa. Los muestreos desde la costa están previstos como una forma complementaria de adquisición de datos para preguntas y localidades muy puntuales. Estos muestreos han sido llevados a cabo principalmente en

las costas del norte y centro del GSJ.

(3) Monitoreo continuo de variables oceanográficas y ambientales. Esta estrategia apunta a un monitoreo periódico y continuo que produzca una serie de datos apropiados para estudiar eventos a distintas escalas temporales: horarias, diarias, quincenales, estacionales, interanuales, o incluso mayor si la actividad es sostenida en el tiempo. El GT GSJ elaboró un proyecto para el establecimiento de una primera estación de muestreo permanente, ubicada próxima a Comodoro Rivadavia ( $45^{\circ} 55' S$ ;  $67^{\circ} 20' O$ ) y a partir de esta experiencia, incluir otros sitios estratégicos para la instalación de instrumentos de medición específicos.

El PIMGSJ estableció una política de gestión de datos que permite trabajar de manera multidisciplinaria. Se trabajó en la estandarización de



**Figura 9:** a) y b) Buque Oceanográfico ARA Puerto Deseado c) y d) maniobras con diferentes equipos e instrumental de medición de datos ambientales oceanográficos (Waveglider en c y roseta en d).

lenguajes y formatos en las prácticas de muestreo durante las campañas, se desarrollaron protocolos unificados y se codificaron las actividades para un seguimiento de las muestras desde la colecta hasta el laboratorio. Esta información está disponible en la web.

#### *Uso de tecnologías aplicadas al estudio del mar*

1. Hidroacústica. Esta tecnología permite estimar la abundancia y distribución de los organismos en la columna de agua, en particular de algunas especies de gran interés comercial en el GSJ, y caracterizar los fondos marinos en cuanto a su dureza y topografía.
2. Medición del ruido ambiente submarino. Esta tecnología permite cuantificar los cambios en los niveles de ruido en el GSJ, como consecuencia del incremento de tráfico marítimo y las actividades antrópicas vinculadas a la explotación de los recursos en el mar y su lecho.
3. Dispersión acústica por microalgas. El desarrollo de estas técnicas permite estudiar acústicamente desde una plataforma móvil las poblaciones microplanctónicas, contar con series temporales de datos a largo plazo, y contribuir a la determinación de niveles de contaminación marina y caracterización de floraciones algales.
4. Sensoramiento remoto: imágenes satelitales. La teledetección es una técnica que permite obtener información de la superficie terrestre a partir de la energía electro-

magnética (EM) captada por los sensores remotos. Esto permite identificar diferentes procesos oceanográficos del GSJ, como así también comprender la variabilidad espacial y temporal de las comunidades fitoplanctónicas.

5. Cámaras de video remoto. Los equipos de video remoto están conectados a la superficie, graban y permiten observar desde la embarcación a tiempo real las imágenes que capta la cámara. A partir de las imágenes se pueden extraer datos sobre los hábitats y comunidades de algas y animales.

#### **■ HACIA UN ENFOQUE ECOSISTÉMICO**

Los diversos servicios que el GSJ brinda para la economía regional y nacional dependen en última instancia del estado de salud de sus ecosistemas marinos. La gestión para su uso sostenible y la aplicación de pautas de manejo ambiental adecuadas deben basarse en un sólido conocimiento de la estructura y funcionamiento del ecosistema, en el monitoreo regular de las variables ambientales y biológicas que afectan los procesos productivos, y en la comprensión de las respuestas del ecosistema al impacto de las actividades que en él se desarrollan, incorporando las implicancias del cambio climático.

A partir de la recopilación de información existente, y de nueva información generada en el marco de la Iniciativa Pampa Azul y el PIMGSJ, se alcanzaron resultados relevantes y se amplió el conocimiento científico del ecosistema del GSJ. Asimismo, se identificaron vacíos de conocimiento que se irán resolviendo a medida que el PIMGSJ continúe

avanzando. La identificación de vacíos de información es un paso clave para focalizar la investigación y así mejorar la comprensión del funcionamiento del sistema y establecer indicadores a ser monitoreados.

La consolidación del PIMGSJ permitirá abordar las preguntas pendientes y extender el monitoreo del sistema a mediano y largo plazo. En este marco es importante:

1. Mantener la realización de campañas oceanográficas en épocas estratégicas que posibiliten analizar cambios interanuales, como así también incorporar otras épocas del año para evaluar estacionalidad en los procesos físico-biológicos.

2. Mantener el carácter integral y multidisciplinario en las campañas oceanográficas, cubriendo todos los componentes del ecosistema. Esto es fundamental para el análisis interdisciplinario y la comprensión del funcionamiento del GSJ.

3. Realizar mediciones de parámetros físicos (temperatura, salinidad, corrientes) y químicos (nutrientes, contaminantes) de largo período y sostenidos en el tiempo, mediante la instalación de estaciones fijas en sitios estratégicos. Esta información no sólo es valiosa para comprender el funcionamiento del ecosistema sino que también es útil como herramienta para el monitoreo de la salud del ecosistema.

4. Evaluar los efectos que las actividades antrópicas pueden tener sobre el ecosistema.

Entre los principales desafíos para los años venideros se encuentran aumentar el conocimiento de la estructura y funcionamiento del ecosistema en áreas costeras, y caracterizar y dimensionar las actividades que se desarrollan en el borde

costero, incorporando la dimensión social de las mismas

Como se mencionó a lo largo de este artículo, la generación de conocimiento para el manejo y el uso sostenible de los ambientes marinos requiere innovación de parte de las ciencias. La fortaleza del PIMGSJ es el enfoque integrado y multidisciplinario necesario para avanzar en un enfoque ecosistémico, de acuerdo al paradigma de manejo ambiental planteado. Al igual que los mares del mundo, el GSJ representa un desafío y un modelo tanto para el estudio del funcionamiento de sus ecosistemas, como para su conservación y manejo sostenible. Este desafío implica entre otras cosas lograr el salto del estudio multidisciplinario, al interdisciplinario y por último al transdisciplinario. Es necesario también fortalecer las miradas sociales y económicas, aún muy incipientes. Esta meta requiere impulsar el trabajo integrado de diferentes disciplinas, pero también la formación de recursos humanos acorde a este propósito, a través de programas que brinden el ámbito adecuado para la formación de estudiantes, la formulación de nuevos objetivos y metas, e indefectiblemente bajo planificación y mantenimiento a largo plazo.

## ■ REFERENCIAS

- Barber R.T. (2013) Ocean ecosystems, en *Encyclopedia of Biodiversity* (Second Edition),
- Barbier E.B. (2017) Marine Ecosystems services. *Current biology* Volume 27, Issue 11, 5 June 2017, Pages R507-R510
- Boltovskoy D. (ed.) (2008) Atlas de sensibilidad ambiental de la costa y el Mar Argentino (DVD). Buenos Aires: Grupo de Investigaciones Geoambientales. Proyecto Prevención de la Contaminación Costera y Gestión de la Diversidad Biológica Marina. GEF/ UNDP/ SAyDS/ SHN/ CONICET/ Fundación Vida Silvestre Argentina
- Cefarelli A.O., Lewis M., Varisco M. (Eds) (2017) Libro de Resúmenes del IV Seminario Golfo San Jorge y Mar Austral. Integración institucional y disciplinaria. IDC – CIT GSJ, 6 – 8 Septiembre, 68 pp. ISSN 2618-5334
- Cooper H.D., Noonan-Mooney K. (2013) Convention on Biological Diversity. En *Encyclopedia of Biodiversity*. 2<sup>nd</sup> Edition
- Dans S.L., Cefarelli A.O., Galván D.E., Góngora M.E., Martos P., Varisco M.A. (eds.). (2020) Programa de Investigación y Monitoreo del Golfo San Jorge. Pampa Azul. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Buenos Aires
- Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia (2008) Síntesis del estado de conservación del Mar Patagónico y áreas de influencia, Puerto Madryn, Argentina, Edición del Foro.
- Galván D., Parma A.M., Pisoni J.P. (Eds.) (2019) VI Seminario Golfo San Jorge Libro de Resúmenes. Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR – CONICET), ISSN 2618-5334
- Jorgensen S.E., Fath B.D., et al. (2007) A new Ecology. *Systems Perspective*. Elsevier
- Ostrom 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems
- Pampa Azul (2016) Horizontes Estratégicos para el Mar Argentino. <https://www.pampazul.gob.ar/biblioteca/>
- Parma A.M., Sanchez-Carnero N., Venerus L.A. (Eds.) (2018) Libro de Resúmenes del V Seminario Golfo San Jorge: Avances y retos futuros. Centro para el Estudio de Sistemas Marinos (CESIMAR – CONICET), 22–24 Agosto, 108 p. ISSN 2618-5334
- Piola A.R. (2008) Oceanografía. En Estado de Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia. [En línea]. Puerto Madryn, publicación del Foro, disponible en: <http://www.marpatagonico.org>
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2004) The Ecosystem Approach, (CBD Guidelines) Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity 50 p.
- Redman C.L., Grove J.M., Kuby L.H. (2004) Integrating Social Science into the Long-Term Ecological Research (LTER) Network: Social Dimensions of Ecological Change and Ecological Dimensions of Social Change. *Ecosystems*, Vol. 7, No. 2, pp. 161-171 <http://www.jstor.org/stable/3658606>
- UNESCO (2021) El Decenio de las Naciones Unidas de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible (2021-2030). Plan de Ejecución. <http://ioc.unesco.org/ocean-decade>

## ■ BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

### SISTEMA FÍSICO

- Glembocki N. G., Williams G. N., Góngora M. E., Gagliardini D. A., Orensanz J. M. L. (2015) Synoptic oceanography of San Jorge Gulf (Argentina): A template for Patagonian red shrimp (*Pleuromma muelleri*) spatial dynamics. *Journal of Sea Research*, 95, 22-35.

- Matano R.P., Palma E.D. (2018) Seasonal Variability of the Oceanic Circulation in the Gulf of San Jorge, Argentina. *Oceanography*, vol. 31, no. 4, 2018, pp. 16–24. JSTOR, [www.jstor.org/stable/26544288](http://www.jstor.org/stable/26544288).
- Palma E.D., Matano R.P., Tonini M.H., Martos P., Combes V. (2020), Dynamical analysis of the oceanic circulation in the Gulf of San Jorge, Argentina, *Journal of Marine Systems*, Volume 203, 2020, 103261, ISSN 0924-7963, <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2019.103261>
- Paparazzo F. E., Crespi-Abril A. C., Gonçalves R. J., Barbieri E. S., Villalobos L. L. G., Solís M.E., Soria G. (2018) Patagonian dust as a source of macronutrients in the Southwest Atlantic Ocean. *Oceanography*, 31(4), 33-39.
- Paparazzo F.E., Martinez R. P., Fabro E., Gonçalves R. J., Crespi-Abril A. C., Soria G. R., Barbieri E.A., Almandoz G.O. (2021) Relevance of sporadic upwelling events on primary productivity: The key role of nitrogen in a gulf of SW Atlantic Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 249, 107123. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.107123>
- Pisoni J.P., Rivas A.L., Tonini M.H. (2020) Coastal upwelling in the San Jorge Gulf (Southwestern Atlantic) from remote sensing, modelling and hydrographic data. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 245, 106919.
- Sabatini M.B., Martos P. (2002) Mesozooplankton features in a frontal area off northern Patagonia (Argentina) during spring 1995 and 1998. *Scientia Marina*, 66(3), 215–232. <https://doi.org/10.3989/scimar.2002.66n3215>.
- PRODUCTIVIDAD**
- Carreto J.I., Carignan M.O., Montoya N.G., Cucchi Colleoni A.D. (2007) Ecología del fitoplancton en los sistemas frontales del Mar Argentino. En: Carreto J.I., Bremec C. (eds). *El Mar Argentino y sus recursos pesqueros* 5: 11-13. INIDEP, Mar del Plata, Argentina.
- Rivas A.L., Dogliotti A.I., Gagliardini D.A. (2006) Seasonal variability in satellite-measured surface chlorophyll in the Patagonian shelf. *Continental Shelf Research* 26: 703–720.
- Segura V., Silva R.I., Moira Luz Clara, Martos P., Cozzolino E., Lutz V.A. (2021) Primary production and plankton assemblages in the fisheries ground around San Jorge Gulf (Patagonia) during spring and summer. *Plankton Benthos Res* 16(1): 24–39, 2021
- Williams G.N., Larouche P., Dogliotti A.I., Latorre M.P. (2018) Light absorption by phytoplankton, non-algal particles, and dissolved organic matter in San Jorge Gulf in summer. *Oceanography* 31(4):40–49, <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.409>.
- TRAMAS TRÓFICAS**
- Funes M. (2020) Efectos de la pesca de arrastre sobre la estructura trófica del norte del Golfo San Jorge. PhD thesis. 170 pag. UNMdP, Mar del Plata (Argentina).
- Koen-Alonso M., Yodzis P. (2005) Multispecies modelling of some components of the marine community of northern and central Patagonia, Argentina. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(7), 1490-1512.
- Sánchez M.F., Prenski L.B. (1996) Ecología trófica de peces demersales en el Golfo San Jorge. *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero* 10:57-71.
- Sánchez F., Marí N., Milessi A.C., Roux A., Viñas M.D., Gorini F. (2008) Caracterización ecológica del Golfo San Jorge (Argentina) mediante modelación ecotrófica multiespecífica. Mar del Plata, Argentina: INIDEP.
- COMPONENTES DE LA BIODIVERSIDAD**
- Acha E.M., Ehrlich M.D., Muelbert J.H., Pájaro M., Bruno D., Machinandiarena L., Cadaveira M. (2018) Ichthyoplankton Associated to the Frontal Regions of the Southwestern Atlantic. En: Hoffmeyer M, Sabatini ME, Brandini F, Calliari D, Santinelli NH (Eds), *Plankton ecology of the Southwestern Atlantic. From the Subtropical to the Subantarctic Realm*. Springer International Publishing, pp. 219-246.
- Cepeda G.D., Temperoni B., Sabatini M.E., Viñas M.D., Derisio C.M., Santos B.A., Antacli J.C., Padovani L.N. (2018) Zooplankton Communities of the Argentine Continental Shelf (SW Atlantic, ca. 34°-55°s), An Overview. En: Hoffmeyer M, Sabatini ME, Brandini F, Calliari D, Santinelli NH (Eds), *Plankton ecology of the Southwestern Atlantic. From the Subtropical to the Subantarctic Realm*. Springer International Publishing, pp. 171-199.
- Fabro E., Krock B., Torres A.I., Paparazzo F.E., Schloss I.R., Ferreyra

- G.A., Almandoz G.O. (2018) Toxigenic dinoflagellates and associated toxins in San Jorge Gulf, Argentina. *Oceanography* 31(4): 145–153.
- Massé-Beaulne V. (2017). *Métabolisme de la communauté microbienne et flux de carbone à court terme dans le Golfe San Jorge, Patagonie (Argentine)*. Tesis. Rimouski, Québec, Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski, 126 pp.
- Sastre A. V. (2019) Microalgas marinas tóxicas en aguas costeras de la provincia de Chubut. Consejo Federal Pesquero. 98 p.
- Sastre A.V., Santinelli N.H., Willers V., Solís M.E., Díaz Ovejero S., Pérez L.B., Pérez, A.A., Fajardo M.A., Gracia Villalobos L., Marino, G.R. 2013. Floraciones de *Alexandrium tamarense* y TPM en el Golfo San Jorge. En libro de resúmenes de XXXIV Jornadas Argentinas de Botánica, La Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Schiariti A., Sofía Dutto M., Morandini A.C., Nagata R.M., Pereyra D.Y., Fuente Tapia, F.A., Díaz Briz L., Genzano G. (2018) An Overview of the Medusozoa from the Southwestern Atlantic. En: Hoffmeyer M, Sabatini ME, Brandini F, Calliari D, Santinelli NH (Eds), *Plankton ecology of the Southwestern Atlantic. From the Subtropical to the Subantarctic Realm*. Springer International Publishing, pp. 413-449.
- Schiariti A., Sofía Dutto M., Oliveira O.M., Faillia Siquier G., Puente Tapia F.A., Chiaverano L. (2020) Overview of the comb jellies (Ctenophora) from the Southwestern Atlantic and Sub Antarctic region (32–60°S; 34–70°W). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*: 1-25.
- Yorio P., Frere E., Gandini P., Harris G. (eds.) (1998) *Atlas de la distribución reproductiva de aves marinas en el litoral Patagónico Argentino*. Plan de Manejo Integrado de la Zona Costera Patagónica. Fundación Patagonia Natural y Wildlife Conservation Society. Instituto Salesiano de Artes Gráficas, Buenos Aires. 221 pp.
- ### CAMBIO CLIMÁTICO
- Allen M.R., Dube O.P., Solecki W., Aragón-Durand F., Cramer W., Humphreys S., Kainuma M., Kala J., Mahowald N., Mulugetta Y., Perez R., Wairiu M., Zickfeld K. (2018) Framing and Context. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)] 47-92 (IPCC/WMO).
- Bianchi A.A., Bianucci L., Piola A.R., Pino D.R., Schloss I., Poisson A., Balestrini C.F., (2005) Vertical stratification and air-sea CO<sub>2</sub> fluxes in the Patagonian shelf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110, 1–10.C07003.
- Bianchi, A.A., Pino, D.R., Perlender, H.G.I., Osiroff, A.P., Segura, V., Lutz, V., Luz Clara, M., Balestrini, C.F. & Piola, A.R. (2009) Annual balance and seasonal variability of sea-air CO<sub>2</sub> fluxes in the Patagonia Sea: Their relationship with fronts and chlorophyll distribution. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114, C0301.
- Haustein, K. et al., (2017) A real-time Global Warming Index. *Scientific Reports*, 7(1), 15417, doi:10.1038/s41598-017-14828-5.
- Kahl, L.C., Bianchi, A.A., Osiroff, A.P., Pino, D.R., & Piola, A.R. (2017) Distribution of sea-air CO<sub>2</sub> fluxes in the Patagonian Sea: Seasonal, biological and thermal effects. *Continental Shelf Research*, 143, 18-28.
- Pörtner, H.-O., D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N.M. Weyer [eds.]. (2019) *Technical Summary: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*.
- Risaro D.B., Chidichimo M.P., Piola A.R. (2018) Tendencias y variabilidad de la temperatura superficial del mar en la plataforma patagónica Argentina, X Jornadas Nacionales de Cs del Mar, Buenos Aires, Argentina, Julio 2018. Disponible online en <http://jornadasdelmar2018.exactas.uba.ar/wp-content/uploads/2018/09/Libro-de-Resumenes-X-JORNADAS-AGOSTO2018.pdf>; Premio modalidad oral Estudiantes <https://jornadasdelmar2018.exactas.uba.ar/estudiantes-premiados/>
- Risaro D.B. (2020) Las tendencias de largo plazo de la temperatura superficial del mar alrededor de

Sudamérica y su posible impacto ecológico. Tesis Doctoral en Oceanografía, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina, Nov 2020. 128 pp

#### ■ NOTAS AL PIE

Nota al pie 1: Estas características están dadas por los siguientes factores: el relieve y la profundidad o batimetría del fondo marino, la energía proveniente de la radiación solar y sus variaciones a lo largo de las estaciones, la corriente de Malvinas, que recorre el límite exterior de la plataforma continental, los vientos que actúan sobre la superficie del mar que generan corrientes y mezclan verticalmente la columna de agua, y las mareas, que promueven variaciones significativas del nivel del mar al tiempo que generan corrientes, mezcla vertical y áreas ricas en nutrientes cercanas a la costa (Piola 2008).

Nota al pie 2: Se pueden citar el Proyecto Marino Patagónico (Conservación de la Diversidad Biológica y Prevención de la Contaminación Marina en Patagonia -PNUD ARG02/18), el Proyecto Consolidación e Implementación del Plan de Manejo de la Zona Costera Patagónica para la Conservación de la Biodiversidad (PNUD ARG/02/G31) y el Proyecto Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats (FREPLATA). Entre los documentos técnicos relevantes, se encuentran: El Mar Argentino y sus recursos pesqueros (Boschi, E. E., Editor General; Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, INIDEP), el Atlas de sensibilidad de la costa y el

Mar Argentino (Boltovskoy, D., Editor General), la Situación ambiental argentina 2005 (Fundación Vida Silvestre Argentina) y los informes Tracking Ocean Wanderers (BirdLife International) y Defying Ocean's End (Conservation International). Entre las publicaciones recientes puede citarse el trabajo de Halpern et al.: "A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems", Science 319: 948, (2008). En Foro para la Conservación del Mar Patagónico y Áreas de Influencia. 2008.

#### ■ GLOSARIO

**Desarrollo sostenible:** Desarrollo que cubre las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para cubrir sus propias necesidades

**Convención para la Conservación de la Biodiversidad:** (CBD) es el tratado internacional clave para la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad y para compartir en forma justa y equitativa los beneficios que surgen del uso de los recursos genéticos. Son parte de la Convención 192 países y la Unión Europea.

**Ecosistema:** los organismos vivos (bióticos) y su ambiente o entorno de vida (abiótico) están interrelacionados de manera inseparable e interaccionan unos con otros. Cualquier unidad que incluya todos los organismos, la comunidad biótica, de un área dada que interacciona con su ambiente físico de manera que existe un flujo de energía y reciclados de materiales entre componentes vivos y sin vida (Odum y Warret, 2006)

#### SOCIOECOSISTEMA

1. Un sistema coherente de factores biofísicos y sociales que interac-

túan regularmente de manera resiliente y sostenida;

2. Un sistema que se define en varias escalas espaciales, temporales y organizativas, que pueden estar vinculadas jerárquicamente;
3. Un conjunto de recursos críticos (naturales, socioeconómicos y culturales) cuyo flujo y uso está regulado por una combinación de sistemas ecológicos y sociales; y
4. Un sistema permanentemente dinámico y complejo con adaptación continua.

**Sistemas frontales:** son sectores del mar donde se producen cambios bruscos de temperatura o salinidad asociados a corrientes horizontales y verticales intensas que mezclan y elevan a la superficie los nutrientes disueltos provenientes de aguas profundas.

#### CAMBIO CLIMÁTICO.

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), éste se entiende como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Por otro lado, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) lo define como cualquier cambio en el clima con el tiempo debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas.