



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
BAHIA BLANCA - ARGENTINA

DEPARTAMENTO DE: BIOLOGÍA , BIOQUÍMICA Y FARMACIA

CURSO DE POSGRADO:

**El fitoplancton en la plataforma y el talud continental del
Mar Argentino**

CODIGO :

HORAS CLASE		PROFESORA RESPONSABLE
TEORICAS 40	PRACTICAS -	Dra. Valeria Ana Guinder

REQUISTOS El curso está orientado a estudiantes de posgrado, científicos y profesionales que trabajen en temáticas afines a la ecología del plancton y el funcionamiento integrado de los ecosistemas de plataformas continentales y de océano abierto. Se abordarán aspectos sobre la ecología del fitoplancton desde la célula al ecosistema, como así también los aspectos ambientales de características físicas, químicas y biológicas que modulan la producción, composición y distribución fitoplanctónica en el espacio y el tiempo. Preferentemente los alumnos deben tener conocimiento en alguna de las siguientes disciplinas de investigación: biología, ecología, ciencias ambientales, oceanografía física, química y/o biológica.

OBJETIVO GENERAL

Proveer al alumno los conceptos teóricos esenciales sobre la estructura, composición y dinámica del fitoplancton en relación con las características hidrográficas, biogeoquímicas y climáticas en ecosistemas marinos contrastantes. Se discutirán diferentes casos de estudio en la plataforma continental Argentina.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Introducir al alumno a la ecología de los productores primarios del océano y su interacción con el ambiente, desde ecosistemas costeros, frentes y plataformas continentales, hasta el océano abierto.
- Destacar el rol del fitoplancton en la regulación de los procesos biogeoquímicos y los flujos de carbono, en las tramas tróficas, en el sustento de la biodiversidad marina, en la regulación del clima y en la salud y el bienestar de las comunidades humanas.
- Describir los factores físicos, químicos y biológicos que regulan la estructura del fitoplancton desde el nivel celular (e.g. viscosidad, difusión molecular, número de Reynolds, temperatura, salinidad) hasta el nivel de comunidad y ecosistema (disponibilidad de luz y

nutrientes, estructura de la columna de agua, predación del zooplancton, masas de agua y corrientes, calentamiento global, etc.).

- Reconocer los eventos de floraciones (*blooms*) de fitoplancton incluyendo floraciones algales nocivas, y los procesos que los regulan.
- Proveer al alumno las herramientas teóricas para que pueda reconocer los grupos de fitoplancton que dominan el ambiente marino –diatomeas, cocolitofóridos, dinoflagelados, otros flagelados y cianobacterias- y sus principales características eco-fisiológicas de adaptación en ecosistemas contrastantes.
- Integrar el contenido del curso y desarrollar la capacidad para diseñar muestreos a campo, técnicas analíticas y trabajos experimentales para estudiar el fitoplancton a distintas escalas espacio-temporales con diferentes enfoques y objetivos.

PROGRAMA SINTÉTICO

Introducción al fitoplancton marino. Definiciones, rol en el ecosistema, grupos dominantes, distribución de la biomasa, biogeografía de especies y nichos ecológicos, fenología de floraciones, sucesión, muestreos en costa y en embarcaciones oceanográficas, enfoques de estudio a diferentes escalas temporales y espaciales.

Ecofisiología de los grupos dominantes del fitoplancton: diatomeas, dinoflagelados, cocolitofóridos, algas verdes, otros flagelados, cianobacterias. Cómo el ambiente estructura las comunidades microbianas, los flujos de carbono y las tramas tróficas.

Factores físicos, químicos y biológicos que modulan al fitoplancton a nivel celular, poblacional y comunidad en ecosistemas contrastantes. Impactos y riesgos de cambios oceánicos inducidos por el cambio climático, sobre los productores primarios marinos y el funcionamiento integrado de los ecosistemas.

Floraciones algales nocivas de especies productoras de toxinas y su impacto en el ecosistema y sus servicios.

Generalidades hidrográficas y geomorfológicas de la plataforma continental Argentina y su talud, corrientes, masas de agua, zonas de frentes, distribución de la clorofila superficial del mar. Casos de estudio: fitoplancton en el Estuario de Bahía Blanca, zona de Monte Hermoso, plataforma interna y zona estuarial El Rincón, Agujero Azul, frentes de plataforma media y externa del Mar Argentino y talud continental.

La participación especial de los investigadores invitados, quienes integran el consorcio del proyecto de investigación BioMMAR del Pampa Azul junto a la Dra. Guinder, enriquecerá la discusión y el enfoque holístico del plancton y los ecosistemas marinos. Se abordarán temas interdisciplinarios de la oceanografía física, química y biológica como los flujos de carbono

microbiano, experiencias en campañas oceanográficas y monitoreo ambiental periódico llevado a cabo por el INIDEP, ecología del zooplancton y mamíferos marinos en los golfos norpatagónicos, funcionamiento y estructura de las tramas tróficas marinas, hidrografía y forzantes atmosféricos del Mar Argentino, metagenómica del microbioma oceánico, y el plancton bajo distintos escenarios de cambio climático.

PROGRAMA ANALÍTICO (incluir actividades, bibliografía y tipo de evaluación)

Introducción conceptual al curso

El fitoplancton juega un papel central en los ecosistemas marinos siendo el responsable de casi el 50% (50 Gt C/año) de la producción primaria global. Por ser la base de la cadena alimenticia, el fitoplancton modula los ciclos biogeoquímicos de los elementos, la exportación del carbono orgánico desde la zona eufótica al océano profundo y los flujos de energía a través de las redes tróficas pelágicas y bentónicas. Asimismo, mediante la captación de CO₂ atmosférico por fotosíntesis, estos microorganismos tienen un rol central en la regulación del clima regional y global. Las floraciones o blooms de fitoplancton son condiciones esenciales para la pesca y para el acoplamiento bento-pelágico en los ecosistemas costeros y de plataformas continentales. Estos eventos de rápido y significativo aumento de biomasa, ocurren en respuesta a cambios en las condiciones de luz y nutrientes dados por los ciclos estacionales de la radiación, la temperatura y la estabilidad de la columna de agua, mientras que el colapso viene regulado por el agotamiento de los nutrientes y por consumo o grazing del zooplancton. En ambientes templados, las floraciones fitoplanctónicas de primavera y verano son eventos anuales recurrentes, y el estudio de cambios en su fenología, estructura y composición constituye una herramienta clave para el seguimiento de cambios ambientales de origen natural y/o antrópico. El estudio de las respuestas del fitoplancton a perturbaciones antrópicas (e.g. eutrofización, sobrepesca) e hidroclimáticas (e.g. aumento de la temperatura superficial del mar, estratificación térmica) puede ser abordado a campo o en ensayos empíricos. Cambios ambientales afectan directamente a los microorganismos, quienes debido a sus reducidos tamaños celulares (entre ca. 1-100 μm) y sus cortos ciclos de vida, responden con celeridad a perturbaciones ambientales. Asimismo, estos microorganismos que se mueven a la deriva con las masas de agua, responden a leyes biofísicas diferentes a los organismos de mayor tamaño. Evaluar la dinámica y estructura del fitoplancton en relación con el entorno es crítico en el seguimiento de la productividad primaria a escala local, regional y global, y evaluar el uso y disponibilidad de los recursos pesqueros. Para esto es necesario abordar la ecología del fitoplancton en todos sus niveles de organización, desde el individuo, -fisiología, crecimiento, movilidad, tamaño y forma celular-, hasta la comunidad, -estructura, composición específica e interacciones bióticas. El entendimiento de la dinámica espacial y temporal del fitoplancton en el Mar Argentino, uno de los ecosistemas marinos más productivos del océano global, reviste particular interés por los múltiples servicios ecosistémicos que nuestro mar brinda a la sociedad y al equilibrio de los ecosistemas naturales.

1) Introducción al fitoplancton marino: Definiciones y clasificaciones generales de los grupos dominantes del fitoplancton marino. Productividad terrestre vs. marina. Distribución vertical del fitoplancton en la columna de agua y latitudinal. Dinámica espacio-temporal en zonas costeras, frentes marinos y océano abierto. Rol del fitoplancton en los ecosistemas marinos: captura de dióxido de carbono atmosférico y secuestro en océano profundo, ciclos de nutrientes, base de las tramas tróficas, floraciones o blooms de fitoplancton: sucesión, magnitud, fenología. Interacción entre condiciones hidro-cimáticas y la productividad primaria.

2) Factores moduladores del fitoplancton. Diferentes escalas de estudio de la ecología de los microorganismos.

2.1) A nivel celular: viscosidad, difusión molecular, movimiento turbulento, número de Reynolds. Estrategias adaptativas de las células frente a la sedimentación, la turbulencia, la foto-inhibición, la depleción de nutrientes, la turbidez y la predación del zooplancton. Grupos dominantes del fitoplancton en el océano: diatomeas, dinoflagelados, algas verdes, flagelados y cocolitofóridos. Evolución de los grupos, estrategias ecológicas. Interacciones específicas, habilidades competitivas y dominancia de distintos grupos bajo diferentes condiciones ambientales. Diferenciación en el uso de los recursos. Relación superficie/volumen celular, morfología, movilidad, secreción de sustancias, metabolismo de la captura de nutrientes (cinética de Michaelis-Menden), curvas de crecimiento poblacional, curvas P-I y ciclos de vida.

2.2) A nivel comunidad: Condiciones ambientales que estructuran la composición específica, los tamaños y las formas celulares y la funcionalidad trófica microbiana. Regulación bottom-up (disponibilidad de nutrientes y luz) y regulación top-down (presión de pastoreo del zooplancton, selectividad trófica). Efecto directo e indirecto de la temperatura sobre la fenología y biomasa del fitoplancton, la estructura de la columna de agua, las corrientes.

3) Floraciones o blooms de fitoplancton: Definiciones. Factores ambientales que impulsan y colapsan estos eventos a diferentes escalas espacio-temporales. Ejemplos de floraciones en ambientes oligotróficos y eutróficos, someros y profundos y a distintas latitudes. Floraciones estacionales en ambientes templados, recurrencia, variabilidad, tendencias. Floraciones de algas tóxicas, organismos que las provocan, tipos de ficotoxinas y transferencia trófica, efectos sobre la biota y la pesca.

4) Interacciones tróficas y condiciones ambientales: flujos de carbono en la trama trófica planctónica; bomba biológica de carbono, microbial loop, virus,

bacterias y protistas, materia orgánica disuelta, modos tróficos de procariotas y protistas eucarióticos (fotótrofos, heterótrofos y distintos tipos de mixótrofos), pico-, nano- y micro-fitoplancton, micro- y mesozooplancton. Acople y desacople trófico (match-mismatch) y repercusiones en el funcionamiento del ecosistema.

5) Metodologías de estudio de los productores primarios marinos: Diseños de los muestreos a campo y de los ensayos empíricos en laboratorio.

Instrumental de muestreo. Conservación de muestras para análisis cuali- y cuantitativo del fitoplancton por diferentes técnicas analíticas. Recuentos celulares e identificaciones taxonómicas, análisis de especies productoras de toxinas y determinación de ficotoxinas. Determinación de clorofila a y estimación de biomasa fitoplanctónica por sensoramiento remoto. Estudios experimentales: cultivos y mesocosmos.

6) Casos de estudio de ecosistemas contrastantes del Mar Argentino: el fitoplancton del Estuario de Bahía Blanca, el área El Rincón de plataforma interna surbonaerense, frentes de plataforma media y externa, frente del talud continental, el Agujero Azul, etc.

ACTIVIDADES / MODALIDAD

El curso constará de clases teóricas de modalidad presencial en aula con presentaciones proyectadas, preparadas por la docente responsable. La duración del curso será de lunes a sábado (total 40 horas) organizado de la siguiente forma: la Dra. Guinder dictará clases de lunes a miércoles (8 horas diarias distribuidas en 3 hs. por la mañana, una hora de almuerzo y 4 hs. por la tarde); mientras que el jueves (8 horas) y el viernes a la mañana (4 horas), un grupo de siete investigadores invitados presentarán un ciclo de charlas sobre sus líneas de trabajo íntimamente relacionadas con el tema del curso. La Dra. Guinder coordinará y modulará las charlas y la interacción con los alumnos. El viernes a la tarde será libre de clases para que los alumnos lean papers científicos y hagan su presentación y discusión el sábado por la mañana (4 horas) a modo de evaluación final y conclusiones del curso. El curso será dinámico para fomentar la participación de los alumnos en clase, quienes podrán hacer consultas, comentarios, responder preguntas y compartir sus experiencias en sus líneas de trabajo.

Los docentes/investigadores invitados que darán charlas el día jueves y el día viernes por la mañana son:

·**Dr. Martin Saraceno (UBA-CIMA-CONICET).** Circulacion superficial en el Atlantico Sudoccidental a partir de datos de sensoramiento remoto e in-situ.

- Dr. Ricardo Silva (UNMdP, INIDEP).** Monitoreo frecuente de fitoplancton en zonas productivas del Mar Argentino.
- Dra. Celeste López-Abbate (IADO-CONICET).** Flujos microbianos de carbono, virus, procariotas y protistas.
- Dr. Federico Ibarbalz (CIMA-CONICET).** Metagenómica y otras metas del plancton microbiano.
- Dr. Pedro Flombam (UBA-CIMA-CONICET).** El picoplancton y el cambio climático global.
- Dras. Rocío Loizaga y Valeria D'Agostino (CESIMAR-CONICET).** Tramas tróficas marinas, desde el plancton a los predadores tope.

TIPO DE EVALUACIÓN

Asistencia y participación en clase, y discusión/presentación de papers el sábado por la mañana.

BIBLIOGRAFÍA

- Akselman, R., Negri, R. M. (2012). Blooms of *Azadinium* cf. *spinosum* Elbrächter et Tillmann (Dinophyceae) in northern shelf waters of Argentina, Southwestern Atlantic. *Harmful Algae* 19, 30–38.
- Antaclí, J. C., Silva, R. I., Jaureguizar, A. J., Hernández, D. R., Mendiola, M., Sabatini, M. E., & Akselman, R. (2018). Phytoplankton and protozooplankton on the southern Patagonian shelf (Argentina, 47°–55° S) in late summer: Potentially toxic species and community assemblage structure linked to environmental features. *J. Sea Res.*, 140, 63-80.
- Balch W. M., Drapeau D. T., Bowler B. C., Lyczkowski E. R., Lubelczyk L. C., Painter S. C., Poulton A. J. (2014) Surface biological, chemical, and optical properties of the Patagonian Shelf coccolithophore bloom, the brightest waters of the Great Calcite Belt. *Limnol Oceanogr* 59(5): 1715-1732.
- Barlow, R., Lamont, T., Viljoen, J., Airs, R., Brewin, R., Tilstone, G., ... & Harris, C. (2023). Latitudinal variability and adaptation of phytoplankton in the Atlantic Ocean. *Journal of Marine Systems*, 239, 103844.
- Barnett, M. L., Kemp, A. E., Hickman, A. E., & Purdie, D. A. (2019). Shelf sea subsurface chlorophyll maximum thin layers have a distinct phytoplankton community structure. *Cont. Shelf Res.*, 174, 140-157.
- Benoiston, A. S., Ibarbalz, F. M., Bittner, L., Guidi, L., Jahn, O., Dutkiewicz, S., & Bowler, C. (2017). The evolution of diatoms and their biogeochemical functions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 372(1728), 20160397.
- Berasategui A, Dutto S, López Abbate MC, Guinder VA (2021) Plankton ecology and biodiversity in the Bahía Blanca Estuary. En: The Bahía Blanca Estuary. Fiori S, Pratolongo P (Eds.). Springer. ISBN: 978-3-030-66485-5.
- Berghoff, C. F., Pierrot, D., Epherra, L., Silva, R. I., Segura, V., Negri, R. M., Hozbor, M.C., Carignan, M. O. and others (2023). Physical and biological effects on the carbonate system during summer in the Northern Argentine Continental Shelf (Southwestern Atlantic). *J. Mar. Syst.*, 237, 103828.
- Bindoff, N. L., Cheung, W. W., Kairo, J. G., Arístegui, J., Guinder, V. A., Hallberg, R., Hilmi, N. J. M., Jiao, N. and others (2019). Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate, 477-587.

- Boyce, D. G., Frank, K. T., & Leggett, W. C. (2015). From mice to elephants: overturning the 'one size fits all' paradigm in marine plankton food chains. *Ecology Letters*, 18(6), 504-515.
- Carreto, J. I., Montoya, N. G., Carignan, M. O., Akselman, R., Acha, E. M., & Derisio, C. (2016). Environmental and biological factors controlling the spring phytoplankton bloom at the Patagonian shelf-break front—degraded fucoxanthin pigments and the importance of microzooplankton grazing. *Progress in Oceanography*, 146, 1-21.
- Chiswell, S. M., Calil, P. H., & Boyd, P. W. (2015). Spring blooms and annual cycles of phytoplankton: a unified perspective. *J. Plankton Res.*, 37(3), 500-508.
- Cloern JE, Dufford E. 2005. Phytoplankton community ecology: principles applied in San Francisco Bay. *Marine Ecology Progress Series* 285: 11–28.
- Combes, V., & Matano, R. P. (2018). The Patagonian shelf circulation: Drivers and variability. *Prog. Oceanogr.*, 167, 24-43.
- de Oliveira Carvalho, A. D. C., Kerr, R., Tavano, V. M., & Mendes, C. R. B. (2022). The southwestern South Atlantic continental shelf biogeochemical divide. *Biogeochemistry*, 159(2), 139-158.
- De Vargas, C., Audic, S., Henry, N., Decelle, J., Mahé, F., Logares, R., ... & Velayoudon, D. (2015). Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. *Science*, 348(6237), 1261605.
- Edwards M, Richardson A. 2004. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature* 430: 881–884.
- Falkowski PG, Oliver M. 2007. Mix and match: how climate selects phytoplankton. *Nature* 5: 813–819.
- Falkowski, PG, Katz ME, Knoll AH, Quigg A, Raven J, Schofield O. Taylor FJR. 2004. The Evolution of Modern Eukaryotic Phytoplankton. *Science* 305: 354-360.
- Ferronato, C., Guinder, V. A., Chidichimo, M. P., López-Abbate, C., & Amodeo, M. (2021). Zonation of protistan plankton in a productive area of the Patagonian shelf: Potential implications for the anchovy distribution. *Food Webs*, 29, e00211.
- Finkel ZV, Beardall J, Flynn KJ, Quigg A, Rees TAV, Raven JA. 2010. Phytoplankton in a changing world: cell size and elemental stoichiometry. *J. Plankton Res.* 32: 119–137.
- Flombaum, P., Gallegos, J. L., Gordillo, R. A., Rincón, J., Zabala, L. L., Jiao, N., ... & Martiny, A. C. (2013). Present and future global distributions of the marine Cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(24), 9824-9829.
- Franco, B. C., Piola, A. R., Rivas, A. L., Baldoni, A., & Pisoni, J. P. (2008). Multiple thermal fronts near the Patagonian shelf break. *Geophys. Res. Lett.*, 35(2).
- Franco, B. C., Ruiz-Etcheverry, L. A., Marrari, M., Piola, A. R., & Matano, R. P. (2022). Climate change impacts on the Patagonian Shelf break front. *Geophys. Res. Lett.*, 49(4), e2021GL096513.
- Frey, D. I., Piola, A. R., & Morozov, E. G. (2023). Convergence of the Malvinas current branches near 44° S. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 104023.
- Garcia, V. M., Garcia, C. A., Mata, M. M., Pollery, R. C., Piola, A. R., Signorini, S. R, McClain, C. R., & Iglesias-Rodriguez, M. D. (2008). Environmental factors controlling the phytoplankton blooms at the Patagonia shelf-break in spring. *Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res. Pap.*, 55(9), 1150-1166.
- Garzón-Cardona, J. E., Guinder, V. A., Alonso, C., Martínez, A. M., Pantoja-Gutiérrez, S., Kopprig, G. A., Krock, B. & Lara, R. J. (2021). Chemically unidentified dissolved organic carbon: A pivotal piece for microbial activity in a productive area of the Northern Patagonian shelf. *Mar. Environ. Res.*, 167, 105286.
- Glibert, P. M. (2016). Margalef revisited: a new phytoplankton mandala incorporating twelve dimensions, including nutritional physiology. *Harmful Algae*, 55, 25-30.

- Glibert, P. M., & Mitra, A. (2022). From webs, loops, shunts, and pumps to microbial multitasking: Evolving concepts of marine microbial ecology, the mixoplankton paradigm, and implications for a future ocean. *Limnol Oceanogr*, 67(3), 585-597.
- Gonçalves-Araujo, R., De Souza, M. S., Mendes, C. R. B., Tavano, V. M., Pollery, R. C., & Garcia, C. A. E. (2012). Brazil-Malvinas confluence: effects of environmental variability on phytoplankton community structure. *J. Plankton Res.*, 34(5), 399-415.
- Guinder VA, Popovich CA, Perillo GME. 2010. Long-term changes in phytoplankton phenology and community structure in the Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Marine Biology* 157: 2703-2716.
- Guinder VA, Molinero JC. 2013. Climate change effects on marine phytoplankton. En: *Marine Ecology in a Changing World*. Arias AH, Menéndez MC (Eds.) CRC Press/Taylor & Francis, Science Publishers. Capítulo 3: 68-90. ISBN: 978-1-46-659007-6.
- Guinder VA, Molinero JC, López Abbate MC, Berasategui AA, Popovich CA, Spetter CV, Marcovecchio JE, Freije RH (2016). Phenological changes of blooming diatoms promoted by compound bottom-up and top-down controls. *Estuaries and Coasts* 40: 95-104.
- Guinder, V. A., Tillmann, U., Krock, B., Delgado, A. L., Krohn, T., Garzon Cardona, J. E., Metfies, K., López-Abbate, C. and others (2018). Plankton multiproxy analyses in the Northern Patagonian Shelf, Argentina: Community structure, phycotoxins, and characterization of toxic *Alexandrium* strains. *Front. Mar. Sci.*, 5, 394.
- Guinder VA, Malits A, Ferronato C, Martin J, Krock B, Garzón Cardona JE, Martínez A (2020) Microbial plankton configuration in the epipelagic realm from the Beagle Channel to the Burdwood Bank, a Marine Protected Area in Sub-Antarctic waters. *Plos One* 15(5): e0233156.
- Guinder VA, Ferronato C, Segura V, Dogliotti A, Lutz V. Phytoplankton in the Patagonian Shelf-break Front. En: *The Patagonian Shelf-break Front*. Acha M, Iribarne O, Piola A (Eds). Springer Nature.
- Jiao N, Herndl GJ, Hansell DA, Benner R, Kattner G, Wilhelm SW, Kirchman DL, Weinbauer MG, Luo T, Chen F, Azam F. 2010. Microbial production of recalcitrant dissolved organic matter: long-term carbon storage in the global ocean. *Nature Reviews, Microbiology*, 8: 593-599.
- Kahl, L. C., Bianchi, A. A., Osiroff, A. P., Pino, D. R., & Piola, A. R. (2017). Distribution of sea-air CO₂ fluxes in the Patagonian Sea: Seasonal, biological and thermal effects. *Cont. Shelf Res.*, 143, 18-28.
- Legendre L. 1990. The significance of microalgae blooms for fisheries and for the export of particulate organic carbon in oceans. *Journal of Plankton Research* 12(4): 681–699.
- Lewandowska A, Sommer U. 2010. Climate change and the spring bloom: a mesocosm study on the influence of light and temperature on phytoplankton and mesozooplankton. *Marine Ecology Progress Series* 405: 101–111.
- Litchman E, Klausmeier CA, Schofield OE, Falkowski PG. 2007. The role of functional traits and trade-offs in structuring phytoplankton communities: scaling from cellular to ecosystem level. *Ecology Letters* 10: 1170–1181.
- Litchman, E., & Klausmeier, C. A. (2008). Trait-based community ecology of phytoplankton. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 39, 615-639.
- Litchman, E., de Tezanos Pinto, P., Edwards, K. F., Klausmeier, C. A., Kremer, C. T., & Thomas, M. K. (2015). Global biogeochemical impacts of phytoplankton: a trait-based perspective. *J. Ecol.*, 103(6), 1384-1396.
- Mangolte, I., Lévy, M., Haëck, C., & Ohman, M. D. (2023). Sub-frontal niches of plankton communities driven by transport and trophic interactions at ocean fronts. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-471>
- Mann KJ, Lazier JRN. 2006. Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the ocean. Tercera Edición. Blackwell Publishing. 496 pp.
- Margalef R (2007) Turbulence and marine life. *Scientia Marina* 61: 109-123.

- Marrari, M., Piola, A. R., & Valla, D. (2017). Variability and 20-year trends in satellite-derived surface chlorophyll concentrations in large marine ecosystems around south and western Central America. *Front. Mar. Sci.*, 4, 372.
- Martinetto, P., Alemany, D., Botto, F., Mastrángelo, M., Falabella, V., Acha, E. M., ... & Saraceno, M. (2020). Linking the scientific knowledge on marine frontal systems with ecosystem services. *Ambio*, 49(2), 541-556.
- Negri, R., Silva, R., Segura, V., Cucchi-Colleoni, D. 2013. Estructura de la comunidad del fitoplancton en el área de "El Rincón", Mar Argentino (Febrero 2011). *Mar. Fish. Sci. (MAFIS)* 23, 7–22.
- Palma, E. D., Matano, R. P., & Piola, A. R. (2008). A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Stratified ocean response to local and offshore forcing. *J. Geophys. Res. Oceans*, 113(C11).
- Popovich CA, Guinder VA. 2013. EL rol del fitoplancton en los procesos biogeoquímicos en estuarios. En: *Procesos físico-químicos en estuarios*. Freije RH, Marcovecchio JE (Eds.) EdUTecNe, Bahía Blanca, Argentina.
- Piola, A. R., Martínez Avellaneda, N., Guerrero, R. A., Jardon, F. P., Palma, E. D., & Romero, S. I. (2010). Malvinas-slope water intrusions on the northern Patagonia continental shelf. *Ocean Sci.*, 6(1), 345-359.
- Piola, A. R., Franco, B. C., Palma, E. D., & Saraceno, M. (2013). Multiple jets in the Malvinas Current. *J. Geophys. Res.*, 118(4), 2107-2117.
- Ramírez, F. J., Guinder, V. A., Ferronato, C., & Krock, B. (2022). Increase in records of toxic phytoplankton and associated toxins in water samples in the Patagonian Shelf (Argentina) over 40 years of field surveys. *Harmful Algae*, 118, 102317.
- Romero, S. I., Piola, A. R., Charo, M., & Garcia, C. A. E. (2006). Chlorophyll-a variability off Patagonia based on SeaWiFS data. *J. Geophys. Res. Oceans*, 111(C5).
- Rivas, A. L., & Pisoni, J. P. (2010). Identification, characteristics and seasonal evolution of surface thermal fronts in the Argentinean Continental Shelf. *J Mar Syst.*, 79(1-2), 134-143.
- Segura, V., Lutz, V. A., Dogliotti, A., Silva, R. I., Negri, R. M., Akselman, R., & Benavides, H. (2013). Phytoplankton types and primary production in the Argentine Sea. *Mar. Ecol. Prog.*, 491, 15-31.
- Signorini, S. R., Garcia, V. M., Piola, A. R., Garcia, C. A., Mata, M. M., & McClain, C. R. (2006). Seasonal and interannual variability of calcite in the vicinity of the Patagonian shelf break (38 S–52 S). *Geophys. Res. Lett.*, 33(16).
- Smayda TJ. 1997. What is a bloom? A commentary. *Limnology and Oceanography* 42: 1132–1136.
- Smayda TJ. 1998. Patterns of variability characterizing marine phytoplankton, with examples from Narragansett Bay. *ICES Journal of Marine Science* 55: 562–573.
- Smayda, T. J., & Reynolds, C. S. (2003). Strategies of marine dinoflagellate survival and some rules of assembly. *J. Sea Res.*, 49(2), 95-106.
- Smayda, T. J., & Trainer, V. L. (2010). Dinoflagellate blooms in upwelling systems: Seeding, variability, and contrasts with diatom bloom behavior. *Progress in Oceanography*, 85(1-2), 92-107.
- Smith, H. E., Poulton, A. J., Garley, R., Hopkins, J., Lubelczyk, L. C., Drapeau, D. T., Rauschenberg, S., Twining, B. S. and others (2017). The influence of environmental variability on the biogeography of coccolithophores and diatoms in the Great Calcite Belt. *Biogeosciences*, 14(21), 4905-4925.
- Sommer, U. (1999). Competition and coexistence. *Nature*, 402(6760), 366-367.
- Sommer U, Adrian R, De Senerpont Domis L, Elser JJ, Gaedke U, Ibelings B, Jeppesen E, Lüring M, Molinero JC, Mooij WM, van Donk E Winder M. 2012. Beyond the Plankton Ecology Group (PEG) model: mechanisms driving plankton succession. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 43: 429–448.

- Sunagawa, S., Coelho, L. P., Chaffron, S., Kultima, J. R., Labadie, K., Salazar, G., ... & Velayoudon, D. (2015). Structure and function of the global ocean microbiome. *Science*, 348(6237), 1261359.
- Thomas CR (1997) Identifying marine phytoplankton. Academic Press, USA. 858pp.
- Tillmann, U., Gottschling, M., Krock, B., Smith, K.F., Guinder, V.A., 2019. High abundance of Amphidomataceae (Dinophyceae) during the 2015 spring bloom of the Argentinean Shelf and a new, non-toxicogenic ribotype of *Azadinium spinosum*. *Harmful Algae* 84, 244–260.
- Tréguer, P., Bowler, C., Moriceau, B., Dutkiewicz, S., Gehlen, M., Aumont, O., ... & Pondaven, P. (2018). Influence of diatom diversity on the ocean biological carbon pump. *Nat. Geosci*, 11(1), 27-37.
- Valla, D., & Piola, A. R. (2015). Evidence of upwelling events at the northern Patagonian shelf break. *J. Geophys. Res. Oceans*, 120(11), 7635-7656.
- Williamson P, Guinder VA (2021) Effects of Climate Change on Marine Ecosystems. En: The Impacts of Climate Change: A Comprehensive Study of Physical, Biophysical, Social and Political Issues. T. M. Letcher (Ed.); Elsevier. ISBN: 978-0-128223-73-4.
- Winder M, Cloern JE. 2010. The annual cycles of phytoplankton biomass. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 365(1555): 3215–3226.
- Worden A Z, Follows MJ, Giovannoni SJ, Wilken S, Zimmerman AE, Keeling PJ (2015). Rethinking the marine carbon cycle: factoring in the multifarious lifestyles of microbes. *Science*, 347(6223), 1257594.