

1. INTRODUCCIÓN: MARCO Y CARACTERÍSTICAS DE LA PROPUESTA

El agua es un componente fundamental de los ecosistemas y un recurso estratégico para toda sociedad. En Uruguay el agua y las funciones ecosistémicas asociadas explican el desarrollo de gran parte de las actividades productivas (i.e. agropecuaria, turismo) (i.e., Kruk et al., 2006). Un desarrollo armónico depende de una planificación y manejo compatibles con la conservación de los ecosistemas lo cual resulta del conocimiento sobre el funcionamiento de los mismos (Rodríguez-Gallego et al., 2004; Kruk et al., 2006). Dicho conocimiento es imprescindible para predecir las respuestas de los sistemas a diferentes tipos de intervención o modificación y definir pautas de manejo apropiadas a los objetivos buscados (Scasso et al., 2001). Afortunadamente, la necesidad de lograr un uso responsable del agua sustentable en el largo plazo es ampliamente reconocida en Uruguay incluso fuera de los círculos académicos (MVOTMA, 2004; OSE, 2009).

Las principales alteraciones que afectan a los sistemas acuáticos son la eutrofización y las modificaciones hidrológicas (Mazzeo et al., 2002). Los cambios asociados más importantes son la pérdida de la diversidad y calidad de agua y el aumento de la ocurrencia de organismos nocivos. Estos son problemas ya difundidos en los sistemas acuáticos del Uruguay. Este es el caso de las floraciones de cianobacterias y las especies invasoras que son frecuentes aun en sistemas utilizados como fuente de agua potable (Vidal & Kruk, 2008; Fabre et al., 2010). La combinación de estos procesos y los pronósticos asociados al cambio global hacen aun más graves las perspectivas (Paerl & Hisman, 2009; Huszar et al., 2010).

Para predecir la dinámica de las comunidades biológicas y los ecosistemas es necesario entender los mecanismos que controlan la estructura, ensamblaje y funcionamiento de sus comunidades (Weiher & Keddy, 1995; Le Quéré et al., 2005). Sin embargo, existen muchas especies (i.e. 40000 especies de fitoplancton) y combinaciones de factores condicionantes, incluyendo abióticos y bióticos, y diversas escalas espaciales y temporales (Reynolds, 2006). Asimismo, las distintas especies se diferencian en sus preferencias ambientales y por lo tanto en sus respuestas al ambiente (ej. aumento de nutrientes o temperatura) y efectos en el mismo (i.e. toxicidad, riesgo sanitario). Más aun, con conocimiento completo de todos los aspectos de la biología de las especies los procesos caóticos intrínsecos hacen imposible la predicción detallada (Huisman & Heissing, 2001). Si bien es posible utilizar estimadores globales (e.i. biomasa total) para predecir las respuestas globales (Vollenweider, 1976) estos no consideran las diferentes respuestas y efectos causados por la presencia de distintas especies.

La Ecología funcional se enfoca en las funciones de los organismos y de los ecosistemas y representa el nexo entre los patrones ecológicos y mecanismos que los determinan. La disciplina resume la información sin perder detalles fundamentales sobre los mecanismos y especies involucradas. Esto es logrado considerando las funciones biológicas (i.e. ingestión de alimentos) y ecosistémicas (i.e. producción), así como los rasgos (i.e. tamaño) y grupos funcionales (organismos con rasgos y respuestas similares) en función de los cambios ambientales. En este sentido, la racionalidad que fundamenta esta línea de trabajo es avanzar en el conocimiento de procesos al nivel del ecosistema mediante análisis en niveles de organización inferiores, es decir de los componentes y sus interacciones.

Ciertas características fenotípicas de los organismos tienen una gran influencia sobre las funciones biológicas más fundamentales. Para el fitoplancton por ejemplo, el tamaño (volumen), o la presencia de células diferenciadas (heterocitos) tienen un efecto importante sobre sus tasas de crecimiento o su capacidad para crecer en condiciones nutritivas adversas (Weithoff 2003).

Hipotéticamente, la asociación entre rasgos medibles y funciones biológicas permite definir grupos de organismos con papeles funcionales y respuestas similares. De esta manera es posible desarrollar una clasificación que reduzca la dimensionalidad del problema y utilizando rasgos individuales y su contribución a estructurar las comunidades biológicas.

Quien suscribe ha aplicado estos conceptos al fitoplancton de ecosistemas acuáticos lénticos con el fin de predecir las respuestas comunitarias a los cambios ambientales (Kruk, 2010). De esta manera ha desarrollado grupos funcionales basados en morfología (GFBM) que agrupan a los organismos fitoplanctónicos en base a rasgos morfológicos fáciles de determinar por no especialistas en taxonomía (Kruk et al., 2010). Esta clasificación es fácil de aplicar y mas predecible a partir de las variables ambientales que otras como la tradicional agrupación en grupos filogenéticos (Kruk et al., 2010c).

Los ecosistemas acuáticos y sus organismos constituyen modelos de estudio muy convenientes para explorar el funcionamiento de los sistemas naturales. Particularmente, el plancton tiene un papel funcional fundamental por ser responsables de gran parte de la producción primaria y metabolismo total de los ecosistemas (Arrigo, 2005), determinando la producción de grandes depredadores (e.g., peces, aves), así como afectando directamente el clima global (Falkowski & Oliver, 2007; Litchman & Klausmeier, 2008). Asimismo estos organismos reúnen características que los hacen ideal como modelo de estudio y experimental a escalas de tiempo accesibles al investigador (Litchman & Klausmeier, 2008).

2. OBJETIVOS DE LA PROPUESTA

El objetivo general de esta propuesta es aplicar conceptos de ecología funcional para avanzar en el conocimiento de los procesos reguladores de las funciones en ecosistemas acuáticos, y a su preservación en un marco de variabilidad ambiental y presiones antrópicas crecientes. Esto se logrará desarrollando aspectos ligados a la investigación articulados con la docencia y la extensión, aportando al desarrollo de un equipo de investigación y promoviendo su aplicación.

De incluyen cuatro principales objetivos: 1) continuación de la construcción y validación de grupos funcionales de plancton, 2) análisis de su poder predictivo utilizando experimentos y modelos matemáticos, 3) su aplicación para el desarrollo de herramientas aplicadas 4) y para la evaluación de procesos de ensamblaje comunitario (Figura 1).

1. Grupos funcionales de plancton

Para desarrollar la clasificación en GFBM se utilizaron más de 700 especies de fitoplancton y más de 200 lagos de zonas subpolares a tropicales en ambos hemisferios e incluyendo lagos de variadas características (Kruk et al., 2010). Es fundamental desarrollar los GFBM para otros sistemas acuáticos como los estuarinos y marinos. La aplicación de esta metodología a otros grupos del plancton (zooplancton), también generaría importantes ventajas.

Para lograr este objetivo se ha iniciado el trabajo con especialistas en plancton de sistemas marinos y de transición Dr. D. Calliari (Sección Oceanología), Dra. L. Rodríguez (Sección Limnología) y Dra. C. Alonso (IIBCE), así como especialistas en zooplancton Dra. G. Lacerot (Sección Limnología) y comenzado a desarrollar proyectos y formar estudiantes.

Proyectos en ejecución

2006-2009. Assessment of community structure and seston quality effects on plankton carbon fluxes at two contrasting coastal sites. Comunidad Europea. D. Calliari

2008-2010. Marine microbiology of Uruguayan coastal waters: Microbial diversity and community structure along the Río de la Plata - South Atlantic Ocean. Max Planck. C. Alonso.

2010-2011. L. Nogueira. Pasantía de grado y Beca ANII. Evaluación de fitoplancton nocivo del Río de la Plata en base a su morfología: construcción de grupos funcionales. Tutores C. Kruk, D. Calliari y D. Conde.

Proyectos presentados

2010-2012. C. Carballo. Grupos funcionales de zooplancton: exportación de carbono a los ecosistemas marinos y de agua dulce. Estudiante de maestría PEDECIBA. Tutores D. Calliari, C. Kruk y G. Lacerot. Presentado

a las becas ANII.

Proyectos a desarrollar

2010-2013. Proyecto de tesis de doctorado de Adriana Rodríguez en Fitoplancton y nutrientes en el Río de la Plata con la tutoría conjunta de quien suscribe, F. Rodríguez-García y B. Brena a presentar en el marco del PEDECIBA.

2. GFBM para predicción de fitoplancton: experimentos y modelos matemáticos

Es nuestra intención desarrollar el modelo de GFBM para comprender y predecir los efectos antropogénicos y del cambio climático en la comunidad de fitoplancton y sus especies potencialmente tóxicas tanto formadoras de floraciones como invasoras. Para ello se utilizará a *Cylindrospermopsis raciborskii* como modelo de especie invasora (Vidal & Kruk, 2008). Si bien ya hemos desarrollado un modelo cuantitativo simple para la predicción de la ocurrencia y biomasa de los GFBM a partir de variables ambientales (i.e. nutrientes, mezcla y depredación) (Segura et al., 2010) es necesario avanzar en su complejidad para incorporar otros factores ambientales relevantes como luz y temperatura. Asimismo es necesario validar los resultados con datos independientes y experimentos. Para ello se utilizará información de campo de ecosistemas continentales y marinos y se realizarán experimentos en condiciones controladas de laboratorio con comunidades naturales y cultivos de especies problema.

Con estos fines se está trabajando con especialistas en modelos Dr. Hugo Fort (Instituto de Física), Lic. A. Segura (Oceanología) y especialistas en desarrollo de experimentación y cianobacterias Dra. S. Bonilla y Dr. L. Aubriot (Limnología), MSc. L. Vidal (OSE) y Dra. S. Kosten (Universidad de Wageningen, Holanda) así como trabajando en proyectos y con estudiantes.

Proyectos en ejecución en datos de campo independientes

2008-2012. Tesis de doctorado. MSc. E. Hernández Atilano. Distribución espacio-temporal y de las agremiaciones fitoplanctónicas en ambientes lénticos de Colombia. Universidad de Antioquia. Cotutor C. Kruk.

Proyectos en ejecución en experimentos

2008-2010. Manejo integrado de microalgas nocivas: validación experimental del modelo grupos morfológicos funcionales. Proyecto Fondo Clemente Estable. Responsable: C Kruk.

2009-2010. F. Sarthou. Aproximación experimental de una sucesión autogénica de grupos morfofuncionales fitoplanctónicos. Tesis de grado. Tutor C. Kruk.

2010-2011. F. Sarthou Análisis experimental del efecto de la temperatura y los nutrientes en las floraciones de cianobacterias potencialmente tóxicas. Beca ANII iniciación. Tutor C.Kruk.

Proyectos en ejecución en modelos

2009-2010. A. Segura. Predicción de floraciones de microalgas nocivas mediante modelos matemáticos. Beca ANII Iniciación. Tutores H. Fort, D. Calliari, D. Conde y C. Kruk.

2010. C. Cabrera Efecto de las fluctuaciones del fotoperíodo en la comunidad fitoplanctónica: un enfoque funcional. Tesis de grado y Beca ANII iniciación.

2010-2011. Validación experimental y matemática de un modelo funcional para predecir floraciones de cianobacterias. CSIC Proyectos estudiantiles. Responsables: F. Sarthou, C. Cabrera, L. Nogueira & C. Kruk.

3. Aplicación al desarrollo de herramientas para el monitoreo de fitoplancton

El monitoreo de la calidad del agua es un aspecto central de la gestión de instituciones encargadas de la producción de agua para consumo humano (OSE), o que deben velar por la calidad de este recurso con fines productivos ó recreativos (industrias, gobiernos locales). Nuestro objetivo se orienta a desarrollar un método estandarizado combinando técnicas de microscopía y análisis automático de imágenes (Doyle et al., 2008) para monitorear la calidad de agua utilizando los GFBM. El principal aporte radicará en generar herramientas que permitan procesar un gran número de muestras en tiempo y esfuerzos relativamente bajos y por tanto con bajos costos. Los resultados generados serán interpretación sencilla para que puedan ser utilizados directamente por los gestores. Para ello se trabajara con especialistas en análisis de imágenes Lic. S. Doyle (Area de Biología y Bioinformática, UNGS, Argentina) entre otros.

Proyectos a desarrollar

2011- 2013. Automatización del monitoreo de las floraciones algales. A presentar a los fondos aplicados de

4. Aplicación al estudio de temas más generales

La utilización de herramientas de ecología funcional permite analizar aspectos más generales de la ecología y es en sí misma una disciplina en pleno desarrollo. Por ejemplo, la diversidad funcional (número de grupos o variabilidad de rasgos funcionales) afecta y mantiene los procesos ecosistémicos (Loreau et al., 2001). Asimismo, esta disciplina nos permiten intentar responder una preguntas sobre cuáles son los mecanismos que posibilitan la coexistencia o exclusión de especies en un ecosistema. En el marco de ambos temas hemos trabajado y continuaremos haciéndolo con especialistas de la Universidad de Wageningen Holanda, incluyendo al Prof. Marten Scheffer así como del Museo de Botánica de Rio de Janeiro Brasil incluyendo a la Dra. V. Huszar para desarrollar los siguientes artículos entre otros.

Kruk, C., Lacerot, G., Kosten, S., Costa, L., Peeters, T. H. M. E., Huszar, V.H. M., Mazzeo, N.& M. Scheffer. Functional redundancy of phytoplankton increase towards warmer regions. Donde estudiamos la distribución latitudinal of GFBM de fitoplancton y sus rasgos morfológicos en relación con la riqueza taxonómica y sus factores condicionantes en 83 lagos someros distribuidos desde regiones subpolares a tropicales en América del Sur.

Kruk, C.; Segura, A.; Peeters, E.; Huszar, V.; Costa, S. L.; Scheffer, M. Species that tend to reach high biomass are relatively predictable in phytoplankton. En donde analizamos los factores que pueden afectar la predictibilidad de las especies.

3. ARTICULACIÓN

Estos objetivos se desarrollaran en el marco de la Sección Limnología (IECA) pero participando además de grupos de investigación que nuclean investigadores de distintas Secciones e Instituciones. Estos incluyen El Grupo de Ecología Funcional Acuática (responsable D. Calliari) y el Grupo de Fisiología y Ecología de Fitoplancton de Aguas Continentales (responsable S. Bonilla). Asimismo, se estará participando activamente del Grupo Interdisciplinario en Ecología Acuática de Ambientes Marinos y Continentales (GIEMAC) del CURE Rocha.

Investigación. Se prevé continuar presentando los resultados obtenidos en ccongresos y realizando pasantías en centros de investigación internacionales. Se buscará la presentación a llamados para asegurar la continuidad, estabilidad y eficiencia de las actividades científicas propuestas. Se profundizarán los vínculos con colegas de áreas relacionadas en el país (Dinámica de Sistemas Complejos, Genética) y con Instituciones extranjeras (i.e. Univ. Wageningen, Univ. Antioquia, Museo Botánica Brasil).

Docencia. Se planea seguir participando en el dictado de cursos de grado a distintos niveles en la Facultad de Ciencias así como también en las Licenciaturas del CURE (Maldonado y Rocha). Se continuará participando de cursos de posgrado de PEDECIBA, o en otros ámbitos, presentando las ideas y desarrollos teóricos y empíricos relacionados a la ecología acuática, desde una óptica funcional. Para el primer semestre del año 2011 se participará del curso de Limnología y Oceanografía organizado por F. García-Rodríguez y P. Muniz de la nueva Maestría en Geociencias. Se prevé iniciar la presentación de cursos cortos en la región, siendo la primera oportunidad el *Cursillo: Estadística para fitoplanctólogos* a dar en marzo de 2011 organizado por la Prof. V. Huszar (Museo Nacional de Botánica, Universidad Federal de Rio de Janeiro, Brasil).

Se continuará con la formación de estudiantes de grado e intentará incrementar la tutoría de estudiantes de posgrado luego de la presentación a aspirante a Investigador del PEDECIBA.

Extensión

Será nuestro objetivo contribuir a una mejora en la toma de decisiones en temas relacionados al manejo de los ecosistemas. Para ello se tendrá como objetivo lograr una vinculación fluida con diversos actores externos a la Universidad (gobiernos locales, sector

productivo y ONG's) con vinculación con el uso productivo, o interesados en la conservación de los recursos acuáticos. En este sentido se participará de la organización de un *Taller de Intercalibración de métodos de monitoreo de fitoplancton* entre instituciones relacionadas (i.e. OSE, CARU, DINA) para el año 2011.

4. CRONOGRAMA

Objetivos		2010	2011		2012		2013		2014		2015	
		2S	1S	2S	1S	2S	1S	2S	1S	2S	1S	2S
1) construcción y validación de grupos funcionales de plancton	Fitoplancton estuarino	X	X									
	Zooplancton continental y marino		X	X	X							
2) la validación del poder predictivo de los GFBM	Modelo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Experimentos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Datos independientes				X	X				X	X	
3) Desarrollo de herramientas aplicadas							X	X	X	X	X	X
4) Uso en la evaluación de otros procesos	Diversidad funcional	X	X	X								
	Ensamblaje comunitario						X	X	X	X		

5. BIBLIOGRAFÍA

- Arrigo, K. (2005) Marine microorganisms and global nutrient cycles. *Nature*, 437, 349-355.
- Doyle, S.R., Somma, L.A., Codnia, J., Ure, J.E., L. Romanelli, L. & Momo, F.R. (2008) Recognition of freshwater macroinvertebrate taxa by image analysis and artificial neural networks. In: *BIOMAT 2008 - International Symposium on Mathematical and Computational Biology*. World Scientific Publishing Company (ed. E. R. Mondaini), pp. 132-145. London.
- Fabre, A.; Carballo, C.; Hernández, E.; Píriz, P.; Bergamino, L.; Mello, L.; González, S.; Pérez, G.; León, J. C.; Aubriot, L.; Bonilla, S.; Kruk, C. (2010). El nitrógeno y la relación profundidad de zona eufótica/mezcla explican las floraciones de cianobacterias en lagos subtropicales artificiales de Uruguay. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 5(1): 112-125.
- Falkowski, P.G. & Oliver, M. (2007) Mix and match: how climate selects phytoplankton. *Nature*, 813-819.
- Huisman, J. & Weissing, F.J. (2001) Fundamental unpredictability in multispecies competition. *American Naturalist*, 157, 488-494.
- Huszar, V.; Kosten, S.; Bécares, E.; Costa, S. L.; Van Donk, E.; Hansson, L-A.; Jeppesen, E.; Kruk, C.; Lacerot, G.; Mazzeo, N.; De Meester, L.; Moss, B.; Lürling, M.; Nöges, T.; Romo, S.; Scheffer, M. (2010). Warmer Climate boosts cyanobacterial dominance in lakes. In: S. Kosten (ed.). *Aquatic ecosystems in hot water. Effects of climate on the functioning of shallow lakes*. Tesis de Doctorado. Wageningen, Wageningen University, p. 96-103, ISBN: 9789085856016.
- Kruk, C.; Rodríguez-Gallego, L.; Quintans, F.; Lacerot, G.; Scasso, F.; Mazzeo, N.; Meerhoff, M.; Paggi, J. (2006). Biodiversidad y calidad de agua de 18 pequeñas lagunas en la costa sureste de Uruguay. In: Menafrá R. Rodríguez-Gallego, L. Scarabino F. & D. Conde (ed.). *Para la conservación y el manejo de la costa uruguaya*. Montevideo, Vida Silvestre Uruguay, p. 599-610, ISBN: 9974758920.
- Kruk, C., Huszar, V.L.M., Peeters, E.T.H.M., Bonilla, S., Costa, L., Lürling, M., Reynolds, C.S. & Scheffer, M. (2010) A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology*, 55, 614-627.
- Kruk, C.; Segura, A.; Peeters, E.; Huszar, V.; Costa, S. L.; Scheffer, M., (2010c). Species that tend to reach high biomass are relatively predictable in phytoplankton. In: Kruk, C. (ed.). *Morphology captures function in phytoplankton. A large-scale analysis of phytoplankton communities in relation to their environment*. Tesis de doctorado. Wageningen, Wageningen University, p. 29-46, ISBN: 9789085856177.
- Kruk, C. (2010). *Morphology captures function in phytoplankton. A large-scale analysis of phytoplankton communities in relation to their environment*. Tesis de Doctorado. Universidad de Wageningen, NL. ISBN 978-90-8585-617-7. 117 pp.
- Le Quéré, C., Harrison, S.P., Prentice, I.C., Buitenhuis, E.T., Aumont, O., Bopp, L., Claustre, H., Da Cunha, L.C., Geider, R., Giraud, X., Klaas, C., Kohfeld, K.E., Legendre, L., Manizza, M., Platt, T., Rivkin, R.B., Sathyendranath, S., Uitz, J., Watson, A.J. & Wolf-Gladrow, D. (2005) Ecosystem dynamics based on

- plankton functional types for global ocean biogeochemistry models. *Global Change Biology*, 11, 2016 - 2040
- Litchman, E. & Klausmeier, C.A. (2008) Trait-based community ecology of phytoplankton. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 39, 615-639
- Loreau M, S Naeem & P Inchausti 2004a. Biodiversity and ecosystem functioning. Synthesis and perspectives. Oxford Univ. Press 294p
- Mazzeo, N.; Clemente, J.; García Rodríguez, F.; Gorga, J.; Kruk, C.; Larrea, D.; Meerhoff, M.; Quintans, F.; Rodríguez-Gallego, L.; Scasso, F. (2002). Eutrofización: causas, consecuencias y manejo. In: Domínguez, A. & Prieto, R. G. (ed.). Perfil ambiental del Uruguay. Montevideo, Nordan-Comunidad, p. 39-56
- MVOTMA (2004). Medidas generales de Mitigación y adaptación al Cambio Climático en Uruguay. http://www.presidencia.gub.uy/_web/pages/cambio_climatico.htm
- OSE (2009) Informe del comportamiento de las cianobacterias en el agua bruta de Fray Bentos. In, p. 26. OSE, Montevideo
- Paerl, H.W. & Huisman, J. (2009) Minireview Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports*. 1, 1, 27-37
- Reynolds, C.S. (2006) Ecology of phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge.
- Rodríguez-Gallego, L.; Mazzeo, N.; Meerhoff, M.; Clemente, J.; Kruk, C.; Scasso, F.; Lacerot, G.; Gorga, J.; Quintans, F. (2004). Effects of a water re-circulation system covered by free-floating plants on the Restoration of hypertrophic subtropical lake. *Lakes & Reservoirs Research and Management*, 9: 203-215.
- Scasso, F.; Mazzeo, N.; Gorga, J.; Kruk, C.; Lacerot, G.; Clemente, J.; Fabián, D.; Bonilla, S. (2001). Limnological changes of a subtropical shallow hypertrophic lake during its restoration. Two years of whole-lake experiment. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems*, 11: 31-44.
- Segura, A.; Kruk, C.; Calliari, D.; Fort, H. (2010). Trait-based approach disentangles core features of Phytoplankton succession. In: Kruk, C. (ed.). Morphology captures function in phytoplankton. A large-scale analysis of phytoplankton communities in relation to their environment. Tesis de doctorado. Wageningen, Wageningen University, p. 75-90, ISBN: 9789085856177.
- Vidal, L. & Kruk, C. (2008) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) extends its distribution to Latitude 34°53'S: taxonomical and ecological features in Uruguayan eutrophic lakes. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 3, 142-151
- Vollenweider, R.A. (1976) Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. 1st Ital. Idrobiol.*, 33, 53-83
- Weiher, E. & Keddy, P.A. (1995) Assembly rules, null models, and trait dispersion: new questions from old patterns. *OIKOS*, 74, 159-164
- Weithoff, G. (2003) The concepts of 'plant functional types' and 'functional diversity' in lake phytoplankton - a new understanding of phytoplankton ecology? *Freshwater Biology*, 48, 1669-1675