



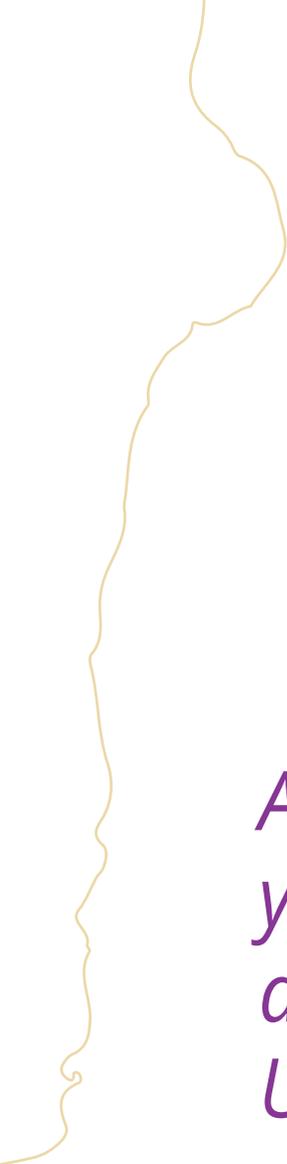
Informe final de proyecto

**Aportes al Plan Director de Agua y
Saneamiento de OSE para el
departamento de Maldonado, Uruguay**

CONVENIO OSE-SARAS



Esta versión corresponde al 15 de noviembre del 2018 y ha sido revisada por Gustavo Méndez, Juan José Lagomarsino, Carla Bruzzone, Martín Castells y Germán Álvarez. Paula Bianchi y Silvana Juri realizaron el diseño gráfico del documento y Manfred Steffen la revisión editorial.



Aportes al Plan Director de Agua y Saneamiento de OSE para el departamento de Maldonado, Uruguay

CONVENIO OSE-SARAS

Autores del reporte: Néstor Mazzeo, Micaela Trimble, Lydia Garrido, Paula De Tezanos, Rafael Terra, Cristina Zurbriggen, Hugo Inda, Carolina Crisci, Juan Pablo Pacheco, Lucía González-Madina, Paula Levrini, Isabel Gadino, Manfred Steffen y Paula Bianchi.

Participantes del proceso de análisis y construcción de escenarios estratégicos: Carla Bruzzone, Martín Castells, Miguel Corbo, Pablo Farcheri, Guillermo Fuica, Saúl Garat, Gonzalo Gómez, Juan José Lagomarsino, Gustavo Méndez y Hugo Trías (OSE y OSE-UGD); Ernesto De Macedo (DINAGUA); Luis Reolón y Elena Rodó (DINAMA); Ana María Martínez (DINOT); Natalia González, Verónica Piñeiro y Federicio Weinsten (SNAACC); Federico Steffenino (Intendencia de Maldonado); Germán Álvarez (Aguas de la Costa); María Eugenia Cabot, Mariana Pérez y Nicolás Silvera (estudiantes de la Licenciatura en Gestión Ambiental- CURE).

Se sugiere citar este documento de la siguiente manera:

OSE-Instituto SARAS. 2018. Aportes al Plan Director de Agua y Saneamiento de OSE para el departamento de Maldonado, Uruguay. Reporte Técnico en el marco del Convenio de Cooperación OSE-SARAS, Maldonado. 43 p.

Contenidos

1 *Resumen*

2 *Introducción*

3 *Metodología*

4 *Problemática, forzantes, dinámica y anticipación*

- 4.1 Fuentes de agua
- 4.2 Transformaciones del uso del suelo y crecimiento poblacional
- 4.3 Gestión de los recursos acuáticos y redundancia
- 4.4 Rehabilitación de las fuentes de agua

5 *Planificación que incorpore el futuro de manera informada*

- 5.1 Proceso de construcción de escenarios transformativos 2030
- 5.2 Escenarios transformativos 2030: supuestos y acciones
- 5.3 Fortalezas, debilidades y desafíos de los escenarios analizados

6 *Consideraciones finales*

7 *Referencias*



Créditos fotográficos:

*Javier Iojes, Jorge Hourcade y Néstor Mazzeo, 2015;
Gabriela Oxillia, 2016; Nestor Mazzeo, 2018 ;*

1

RESUMEN

El presente documento analiza las principales forzantes o impulsores de cambio que condicionan la calidad del agua de ecosistemas del departamento de Maldonado vinculados al suministro de agua potable.



El suministro de agua potable del Departamento de Maldonado involucra la extracción de agua de diversos ecosistemas superficiales y subterráneos. La mayor parte de la población residente y asociada al turismo estival depende de la extracción de agua de Laguna del Sauce, Laguna Blanca, Laguna Escondida y arroyo San Carlos, este último como sistema de apoyo a la planta localizada en Laguna Blanca.

El presente documento analiza las principales forzantes o impulsores de cambio que condicionan la calidad del agua de las fuentes indicadas, con especial énfasis en el suministro de agua potable. El análisis comprende un conjunto de escalas espaciales y temporales, abarcando características actuales, así como su trayectoria histórica. A partir de la información relevada de los principales atributos limnológicos observados y forzantes asociadas, y las interferencias registradas en los procesos de potabilización, se explora posibles escenarios estratégicos de carácter transformacional. Los mismos fueron construidos a partir de metodologías y estrategias que promueven la co-creación de conocimiento vinculado a la identificación de acciones futuras y estrategias asociadas, en un contexto de resolución de problemáticas actuales y anticipación de aquellas que se identifican en el futuro (horizonte 2030). El trabajo involucró técnicos y responsables de la gestión de los recursos acuáticos señalados y aquellos vinculados al suministro de agua potable, así como científicos provenientes de diferentes dominios disciplinares.

Los escenarios estratégicos considerados constituyen un conjunto de alternativas posibles a evaluar en la elaboración del Plan Director de OSE para el Departamento de Maldonado, organizados en función de la complejidad de las acciones involucradas, tanto en el control de las causas de las principales problemáticas observadas como la mitigación de las consecuencias, fundamentalmente en los procesos de potabilización. En cada escenario se analiza las fortalezas, las limitaciones y los desafíos futuros. Por último, se considera la factibilidad en el tiempo de la implementación de cada escenario, de acuerdo a las características actuales del sistema de gobernanza de los recursos acuáticos y los servicios ecosistémicos asociados.

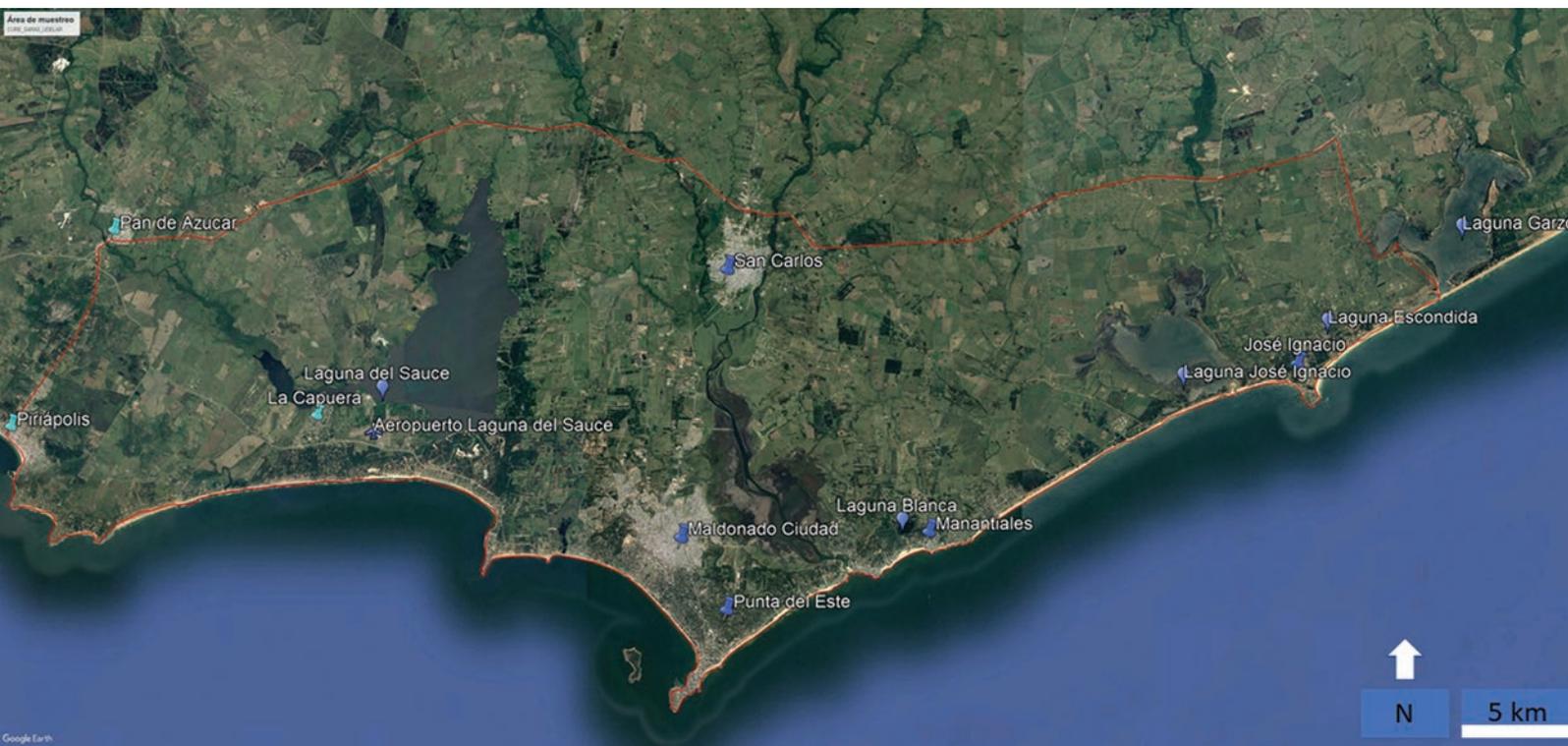
Los escenarios estratégicos considerados constituyen un conjunto de alternativas posibles a evaluar en la elaboración del Plan Director de OSE para el Departamento de Maldonado, organizados en función de la complejidad de las acciones involucradas, tanto en el control de las causas de las principales problemáticas observadas como la mitigación de las consecuencias.

INTRODUCCIÓN



El presente trabajo se inscribe en el Convenio de Cooperación entre la OSE y SARAS con el objetivo de generar diversos aportes para el proceso de elaboración del Plan Director de OSE en el Departamento de Maldonado, vinculado al suministro de agua potable y al saneamiento. El documento analiza factores clave que condicionan el suministro de agua potable en toda el área del Departamento de Maldonado dependiente de los procesos de potabilización con fuente en los siguientes cuerpos de agua: Laguna del Sauce, Laguna Blanca, Laguna Escondida y arroyo San Carlos (Fig. 1).

Fig. 1. Área de estudio y localización geográfica de los cuerpos de agua analizados.



El presente trabajo se inscribe en el Convenio de Cooperación entre la OSE y SARAS con el objetivo de generar diversos aportes para el proceso de elaboración del Plan Director de OSE en el Departamento de Maldonado,



Los aportes fueron elaborados a partir de una perspectiva sistémica, recurriendo al marco teórico de los sistemas socio-ecológicos y el pensamiento resiliente.

Los aportes fueron elaborados a partir de una perspectiva sistémica, recurriendo al marco teórico de los sistemas socio-ecológicos y el pensamiento resiliente (Berkes et al. 2003, Biggs et al. 2015, Brown et al. 2010, Chapin et al. 2009, Folke et al. 2005, Folke 2016, Gunderson y Holling 2002, Scheffer 2009, Walter y Salt 2006). El documento se focaliza en todos aquellos procesos que permiten comprender atributos fundamentales de la calidad de agua de los ecosistemas antes mencionados, con especial atención a las principales interferencias en los procesos de potabilización observadas en las trayectorias históricas recientes y en la actualidad.

Los fenómenos analizados consideran tanto sus causas como sus consecuencias y su gestión en el sentido más amplio del término (es decir manejo, mitigación, rehabilitación y anticipación). Para ello se recurre a diferentes escalas temporales y espaciales de análisis. Finalmente, se consideran posibles trayectorias futuras relacionadas a la mitigación de las consecuencias adversas posibles u observadas en la calidad del agua, así como el control o la eliminación de las causas, contemplando dimensiones clave de los subsistemas naturales, sociales y económicos. En este componente, se contemplan diversas estrategias anticipatorias, de rehabilitación y gestión con un horizonte temporal al 2030.

Los fenómenos analizados consideran tanto sus causas como sus consecuencias y su gestión en el sentido más amplio del término (es decir manejo, mitigación, rehabilitación y anticipación).

METODOLOGÍA



El desarrollo del trabajo contempló los siguientes componentes y etapas:

- + Revisión de las principales características y problemática de la Laguna del Sauce. Se aporta una síntesis de las principales problemáticas identificadas hasta el presente, con énfasis en los impactos generados sobre el suministro de agua potable. Además de la revisión de todos los antecedentes existentes en la materia, tanto desde la perspectiva de la Limnología como la Paleolimnología, el equipo incorporó el análisis de información generada por el laboratorio de OSE-UGD en Laguna del Sauce y los muestreos de calidad de agua realizados en los últimos años en el marco de la cooperación interinstitucional generado en la Comisión de Cuenca de Laguna del Sauce.
- + Síntesis de la información disponible de las principales características ambientales (limnológicas, climáticas) que favorecen la ocurrencia de cianobacterias, recurriendo a la revisión de antecedentes científicos como de información generada en Laguna del Sauce. Se incluyen los aspectos eco-fisiológicos fundamentales de las especies registradas y las potenciales interferencias a nivel de producción de cianotoxinas o problemas de sabor y olor. Además, se abordan posibles alternativas respecto a la mitigación de las interferencias en los sistemas de potabilización.
- + Identificación y fundamentación de las principales estrategias de rehabilitación de sistemas eutróficos conocidas a nivel mundial, con especial referencia al control de los aportes externos de nutrientes, control de la carga interna de nutrientes y técnicas de biomanipulación.
- + Identificación de las principales problemáticas de calidad de agua conocidas en otras fuentes de agua potable del departamento de Maldonado, a saber: Laguna Blanca, Laguna Escondida y arroyo San Carlos.
- + Análisis prospectivo basado en la construcción de escenarios estratégicos al 2030. El trabajo incluye un análisis y reflexión prospectiva a partir de la discusión sistemática sobre escenarios construidos en función de la información científica disponible sobre la naturaleza del problema considerado, así como posibles trayectorias futuras aportadas desde la reflexión e interacción entre gestores, técnicos y académicos.



Las organizaciones sociales, los ámbitos de gestión y la academia exploran diferentes metodologías que usan el futuro para orientar la reflexión y acción (Birkmann et al. 2013, Evans et al. 2008, Mahmoud et al. 2009, Miller y Poli 2010, Miller et al. 2018, Miller et al. 2012, Palacios-Agundez et al. 2013, Peterson et al. 2003, Plieninger et al. 2013, Robinson et al. 2011, Sheppard et al. 2011, Swart et al. 2004, Wesche y Armitage 2014):

- Planificación y visión estratégica (visioning).
- Identificación de futuros deseables (backcasting).
- Construcción de escenarios en la planificación de la adaptación al cambio climático u otros tipos de cambios.
- Anticipación como capacidad de comprender atributos emergentes de problemáticas complejas y ampliar las alternativas de futuros posibles, uso del futuro en el presente a partir de laboratorios con escenarios híbridos transformacionales.

El método de escenarios estratégicos es un proceso exploratorio, reflexivo y estratégico – transformacional - que procura, frente a futuros desafíos, ampliar las alternativas y posibilidades desde el presente, fortaleciendo capacidades y competencias anticipatorias para crear o incidir en las condiciones del cambio (pre y pro actividad). El enfoque es idóneo para manejarse en entornos de complejidad y con diferentes clases de incertidumbre (Berkhout et al. 2002, Brugnach et al. 2008, Lane y Maxfield 2005, Miller 2007, Miller et al. 2018), como la naturaleza del contexto actual y las dinámicas futuras en el cual el Plan Director de OSE para el Departamento de Maldonado procura ser eficaz.

Este método permite que diversos actores, con diferentes intereses, perspectivas, formaciones disciplinares, expliciten modelos mentales del futuro a través de narrativas o imágenes que permitan orientar los esfuerzos colectivos. Se considera clave primero identificar cuáles son los supuestos anticipatorios que se utilizan, ya que estos tienen fuerte relación con la toma de decisión. Los futuros que se imaginan son insumos que informan las decisiones que se toman.

Para las narrativas de escenarios se tuvo en cuenta: (a) articular el uso de sistemas anticipatorios diferentes (preparación, planificación y descubrimiento de la novedad); (b) incorporar conocimientos tanto generales y escalables (mediante métodos estadísticos e información codificada) como aspectos específicos y particulares del conocimiento tácito y local (captado a través de los laboratorios e interacciones personales y en el campo); (c) dar lugar a procesos transformacionales (ya sea en el tiempo y/o como grado de complejidad y cambio de paradigmas). Los escenarios así construidos no son excluyentes, constituyen bases robustas para propiciar procesos transformacionales complejos. La redacción inicial (de aparente simplicidad, diseñada a partir de la estrategia anteriormente indicada) fue el disparador de una intensa y profunda interacción de co-creación (taller de laboratorio de futuros y otros intercambios), proceso que enriqueció y retroalimentó a cada uno de los escenarios, así como la reflexión y análisis prospectivo y anticipatorio que se presenta.

El método de escenarios estratégicos es un proceso exploratorio, reflexivo y estratégico – transformacional - que procura, frente a futuros desafíos, ampliar las alternativas y posibilidades desde el presente, fortaleciendo capacidades y competencias anticipatorias para crear o incidir en las condiciones del cambio (pre y pro actividad).



La construcción de escenarios ha sido modificada para adaptarla a la problemática y propósitos planteados. Incluye las siguientes etapas de acuerdo a Bennet et al. (2016) y Miller (2007):

- Identificación del problema.
- Descripción del sistema, naturaleza, niveles de realidad de las principales forzantes, dinámicas y relaciones causales.
- Identificación de supuestos y sistemas anticipatorios, espacios de posibilidad y escenarios transformacionales.
- Procesos de enriquecimiento de los escenarios (co-creación) con aportes de conocimiento tácito, local e interdisciplinario.
- Análisis estratégico para generar insumos para la toma de decisión y políticas que propicien acciones anticipatorias, proactivas y transformacionales.



La organización del trabajo se estructura de acuerdo a las etapas indicadas en el recuadro adjunto. En primera instancia se identificaron las principales problemáticas y desafíos asociados (se tienen en cuenta los diferentes niveles de realidad de los fenómenos, actores e interrelaciones), forzantes (o impulsores de cambio) y dinámicas. En segundo término, se evaluaron las posibles tendencias futuras. Se crearon e incorporaron nuevos conocimientos, clarificando supuestos y sistemas anticipatorios. Por último, se identificaron futuros y escenarios transformacionales con sus respectivas acciones, políticas y estrategias en un horizonte temporal al 2030.

Las principales fortalezas y limitaciones de la construcción de escenarios (Lankshear y Knobel 2006, Snoek 2003) son:

- No es una predicción del futuro.
- Permite construir narrativas que ilustran algunos escenarios posibles, probables y/o deseables, y en este caso, escenarios transformacionales que facilitan procesos de cambio.
- Facilita una mejor comprensión, promueve la reflexión sobre tendencias actuales y el análisis estratégico de alternativas en el presente para crear otros futuros.
- Constituye un puente entre lo que se imagina y lo que puede llegar a ser. Es un espacio experimental, de interacción comunicativa y de reflexión compartida.
- El método híbrido de escenarios estratégicos (Miller 2007) crea y fortalece capacidades anticipatorias y de uso del futuro para favorecer procesos transformacionales y toma de decisiones mejor informadas.





Durante el desarrollo del proyecto se realizaron dos talleres entre el equipo de trabajo y técnicos de OSE, OSE-UGD, Aguas de la Costa S.A., MVOTMA (DINAMA y DINAGUA), Secretaría de Ambiente, Agua y Cambio Climático e Intendencia Municipal de Maldonado, en el segundo semestre del 2017.



Las organizaciones sociales, los ámbitos de gestión y la academia exploran diferentes metodologías que usan el futuro para orientar la reflexión y acción.

En el primer taller se abordaron los siguientes aspectos:

- Resumen de los aportes del conocimiento disponible en las siguientes dimensiones: calidad del agua y principales controles de la dinámica de las floraciones algales en el sistema Laguna del Sauce; incidencia de la variabilidad climática en la dinámica de las floraciones algales; posibles tendencias futuras de la variabilidad de las precipitaciones, evaporación y régimen de vientos; crecimiento poblacional del Departamento de Maldonado y su expresión territorial, principales características del ordenamiento territorial en la trayectoria histórica reciente. Por último, se analizaron los principales cambios en el sistema de gobernanza de los recursos hídricos, avances, desafíos y barreras.
- Fundamentos, fortalezas y limitaciones de la aproximación prospectiva seleccionada (construcción de escenarios híbridos estratégicos).
- En la segunda parte se analizaron las expectativas de la OSE, se discutieron diferentes estrategias de trabajo, plazos en el tiempo y posibles secuencias de productos que contemplen las demandas de OSE y otros actores clave vinculados en la gestión de los sistemas acuáticos.

A partir de los avances e insumos del primer taller se acordó diseñar una segunda instancia incorporando una metodología de co-creación. En primer lugar, se analizó la eco-fisiología de las floraciones de cianobacterias observadas en Laguna del Sauce y sus posibles interferencias en el suministro de agua potable, así como las principales obras y nuevos tratamientos a incorporar en la planta potabilizadora de Laguna del Sauce. En el marco de un laboratorio de futuros, se trabajó sobre un conjunto de elementos de diagnóstico, hipótesis y supuestos anticipatorios presentados en forma de narrativas de escenarios, a modo de disparadores de la dinámica de taller. Finalmente, se analizaron en profundidad estos insumos junto a la información y conocimientos sobre la problemática en sus diversos niveles (físico – biológico – social-económico), dimensiones transversales y posibles evoluciones. Los aportes se sintetizan en un conjunto de escenarios y conclusiones prospectivas y de anticipación que involucran acciones fundamentalmente a cargo de OSE, y escenarios adicionales que involucran acciones por parte de OSE y del conjunto de instituciones y actores vinculados directa e indirectamente con la gestión de los recursos acuáticos (tanto el manejo de las consecuencias adversas de la calidad del agua como el control de las causas).

4

PROBLEMÁTICA, FORZANTES, DINÁMICA Y ANTICIPACIÓN

En esta sección se analizan las principales características de las fuentes de agua consideradas y los factores externos (forzantes) e internos claves que las determinan. Al mismo tiempo, se profundiza en los vínculos entre los atributos limnológicos y el suministro de agua potable.





4.1 Fuentes de agua

LAGUNA DEL SAUCE

Laguna del Sauce es un sistema con un contenido importante de nitrógeno y fósforo (característico de sistemas clasificados como eutróficos o hipereutróficos), con floraciones algales recurrentes en el cuerpo principal del sistema y un crecimiento excesivo de plantas acuáticas en el sector de Laguna del Potrero.

Laguna del Sauce es un sistema con un contenido importante de nitrógeno y fósforo (característico de sistemas clasificados como eutróficos o hipereutróficos), con floraciones algales recurrentes en el cuerpo principal del sistema (donde se localiza la toma de agua bruta) y un crecimiento excesivo de plantas acuáticas en el sector de Laguna del Potrero (Crisci et al. 2017a, Crisci et al. 2017b, González-Madina et al. 2017, González-Madina et al. 2018, Goyenola et al. 2011, Mazzeo et al. 2010a, Rodríguez et al. 2010) (Fig. 2).

La información paleolimnológica confirma la ocurrencia de un proceso de eutrofización acelerado en el último siglo, resultante del represamiento del arroyo El Potrero en 1947, las transformaciones del uso del suelo y las condiciones climáticas imperantes en los últimos 150 años (Mazzeo et al. 2010a, Mazzeo et al. 2018a). El análisis del contenido de fósforo de los sedimentos superficiales de Laguna del Sauce, revela un incremento de tres a cinco veces en la última década, patrón congruente con la información paleolimnológica antes indicada (Mazzeo et al. 2018a).

La eutrofización es un proceso de enriquecimiento de nutrientes (nitrógeno y fósforo de origen antrópico y/o natural) que condiciona un aumento en la producción y biomasa de productores primarios: cianobacterias, microalgas y/o plantas acuáticas (Mazzeo et al. 2002, Mazzeo et al. 2010b). El incremento de nutrientes de Laguna del Sauce obedece a múltiples factores actuales y a su trayectoria reciente, entre los que se destacan: ausencia o cobertura parcial de sistemas de saneamiento en centros poblados de la cuenca; malas prácticas de fertilización en la agricultura; sobrecarga ganadera y bosteo directamente sobre el cuerpo de agua y sus principales tributarios; fragmentación o eliminación de zonas de amortiguación como humedales y zonas ribereñas (monte ribereño o indígena). El represamiento en 1947 favoreció el entrapamiento de sedimentos y nutrientes en el sistema, claramente reflejado en los análisis paleolimnológicos.

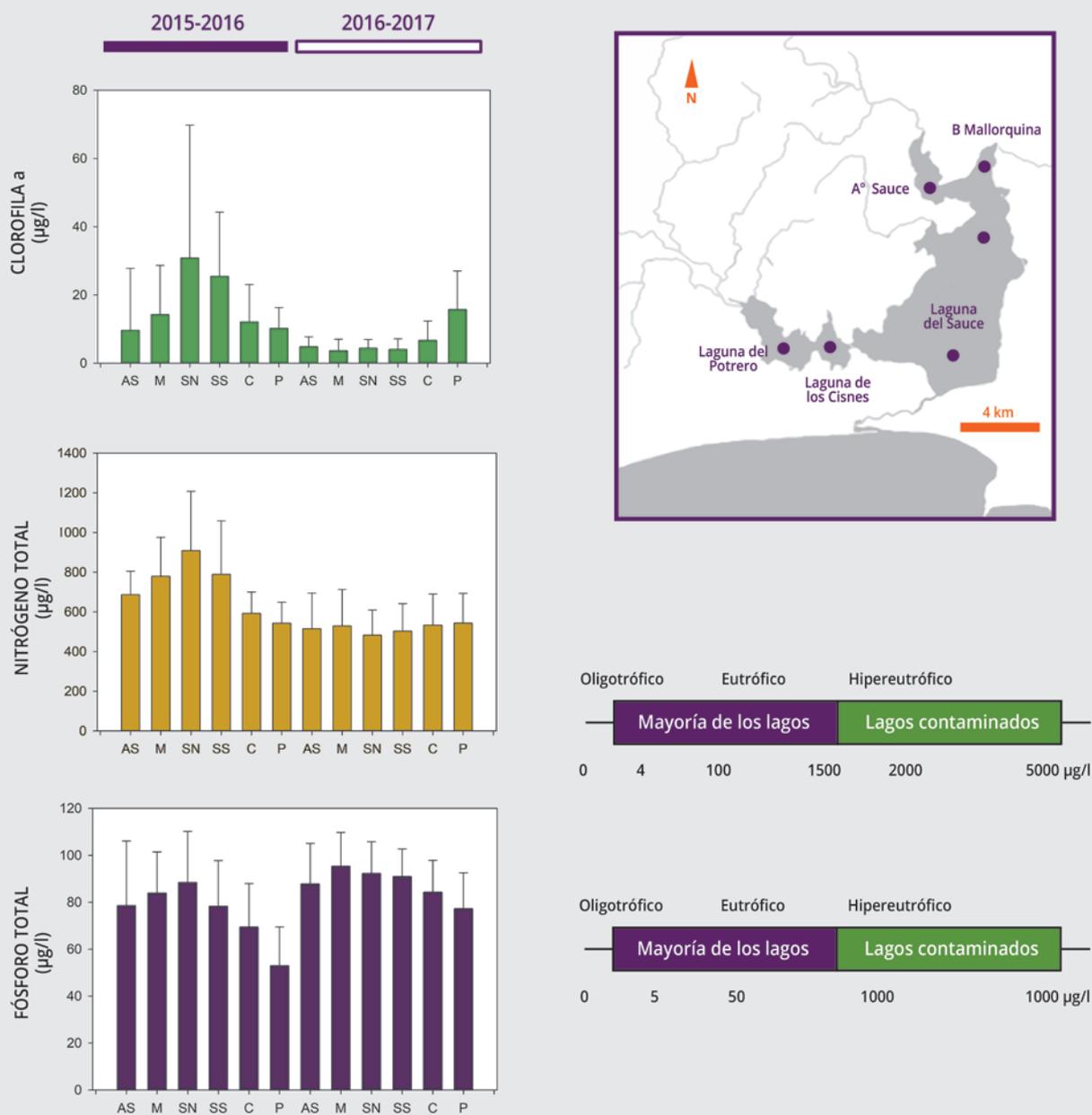


Fig. 2. Variabilidad espacial y temporal de los niveles de clorofila a, nitrógeno total, fósforo total en los subsistemas Laguna del Sauce, Laguna del Cisne y Laguna del Potrero registrados en los períodos estivales de 2015-2016 (verano con nivel de agua bajo) y 2016-2017 (verano con nivel de agua normal). Los gráficos representan los valores medios y la desviación estándar del conjunto de campañas estivales de muestreo (frecuencia: semanal). AS: Arroyo Sauce; M: Bahía Mallorca; SN: Sauce Norte; SS: Sauce Sur; C: Laguna del Cisne y P: Laguna del Potrero. Información generada por los muestreos semanales en el marco de vigilancia de la fuente de agua a cargo de OSE-UGD y el CURE.



El crecimiento del fitoplancton es controlado por un conjunto de recursos (Fig. 3), básicamente nutrientes y la disponibilidad de luz en la columna de agua (transparencia del agua), y por diversos procesos que condicionan pérdidas o remoción de biomasa, por ejemplo herbivoría por parte del zooplancton o bivalvos, sedimentación, exportación de biomasa fuera del sistema por lavado asociado a eventos importantes de precipitación. El tiempo de residencia del agua condiciona varios procesos claves, particularmente la exportación y remoción de biomasa, la dilución o concentración de nutrientes. En períodos con mayor tiempo de residencia y menor profundidad del reservorio existe una mayor probabilidad de resuspensión del sedimento (a igual intensidad de viento la resuspensión es mayor a menor profundidad de la columna de agua). Las floraciones de cianobacterias ocurren preferentemente en condiciones de elevada temperatura, contenido moderado y alto de nutrientes y tiempo de residencia del agua altos (Dolman et al. 2012, Havens y Paerl 2015).

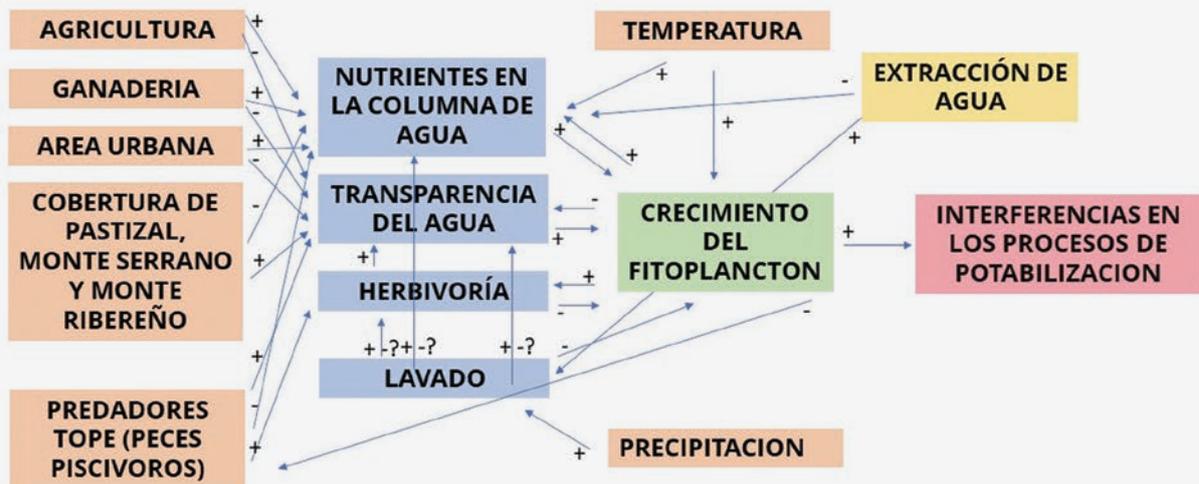


Fig. 3. Principales factores que controlan directa o indirectamente la biomasa algal y de cianobacterias en Laguna del Sauce (fitoplancton). El signo de la interacción se indica en el origen de la flecha de acuerdo al conjunto de estudios realizados en Laguna del Sauce, fundamentalmente Crisci et al. (2017 a y b), Levrini (2018), Mazzeo et al. (2018a). Dos mecanismos de retroalimentación positivos pueden ser visualizados en el esquema. Los nutrientes promueven un mayor desarrollo algal que genera condiciones de hipoxia y anoxia en el sedimento favoreciendo la liberación de fósforo, fenómeno que ocurre en etapas avanzadas del proceso de eutrofización. El mayor desarrollo del fitoplancton disminuye la transparencia del agua y aumenta la variación diaria de la concentración de oxígeno. Ambos factores disminuyen la abundancia de los peces piscívoros y por lo tanto (indirectamente) la presión de herbivoría del zooplancton sobre el fitoplancton. La presencia de predadores tope condiciona varios controles directos del fitoplancton, aumentan la presión de herbivoría (cascada trófica) lo que favorece una mayor transparencia del agua. Al mismo tiempo, la presencia de peces piscívoros disminuye la abundancia de peces bentívoros e indirectamente promueve la menor concentración de nutrientes en la columna del agua al controlar la recirculación de nutrientes asociada a la presencia y actividad de peces bentívoros. En los casos que se indican "+", "-" o "?" corresponden a interacciones que pueden ser positivas, negativas o no comprendidas por el momento, respectivamente. A modo de ejemplo, un aumento de precipitación en cierto rango propicia el lavado del sistema y tiene un efecto de dilución de la concentración de nutrientes en la columna de agua. En caso de precipitaciones muy fuertes puede originar erosión y aporte de materia en suspensión, reduciendo la transparencia del agua. En el caso de suelos con cultivos, la precipitación puede promover la escorrentía superficial y el transporte de nutrientes.

La dinámica temporal de las floraciones algales y de cianobacterias en Laguna del Sauce se encuentra fuertemente vinculada a la variabilidad de la turbidez del agua, es decir, a la disponibilidad de luz en la columna de agua.

La dinámica temporal de las floraciones algales y de cianobacterias en Laguna del Sauce se encuentra fuertemente vinculada a la variabilidad de la turbidez del agua, es decir, a la disponibilidad de luz en la columna de agua (Crisci et al. 2017a, Crisci et al. 2017b) (Figs. 4, 5 y 6). La turbidez en este sistema está controlada por la interacción de la dinámica de vientos (principalmente eventos extremos del cuadrante del SW) y el nivel del reservorio y sus efectos sobre la resuspensión del sedimento. Se observa una variabilidad interanual importante y ausencia de un patrón estacional característico.

Las floraciones de cianobacterias ocurren casi exclusivamente en los meses más cálidos del año e involucran un conjunto diverso de especies de los géneros *Aphanizomenon*, *Dolichospermum*, *Aphanocapsa*, *Microcystis*, *Cuspidothrix*, *Raphidiopsis* y *Cylindrospermopsis raciborskii*. Varias de estas especies cuentan con capacidad de fijación de nitrógeno gaseoso, producción de toxinas y pueden estar potencialmente asociadas a la generación de episodios de sabor y olor (debido a la producción de geosmina o 2 metil-isoborneol). Además, generan estructuras de resistencia que se depositan en el sedimento asegurando la colonización de la columna de agua cuando las condiciones son favorables. *Dolichospermum crassum* produce geosmina, anatoxina y microcistina; *Aphanizomenon cf. gracile* sintetiza geosmina, cilindropermopsina y saxitoxina; *Cuspidothrix issatschenkoi* genera geosmina, cilindropermopsina y saxitoxina; *Microcystis aeruginosa* produce B ciclocitral y microcistina (Jüttner & Watson 2007).

Las floraciones de cianobacterias disminuyen la transparencia del agua y condicionan el acceso de la luz a las plantas acuáticas, algas bentónicas y microalgas. Al mismo tiempo, incrementan el

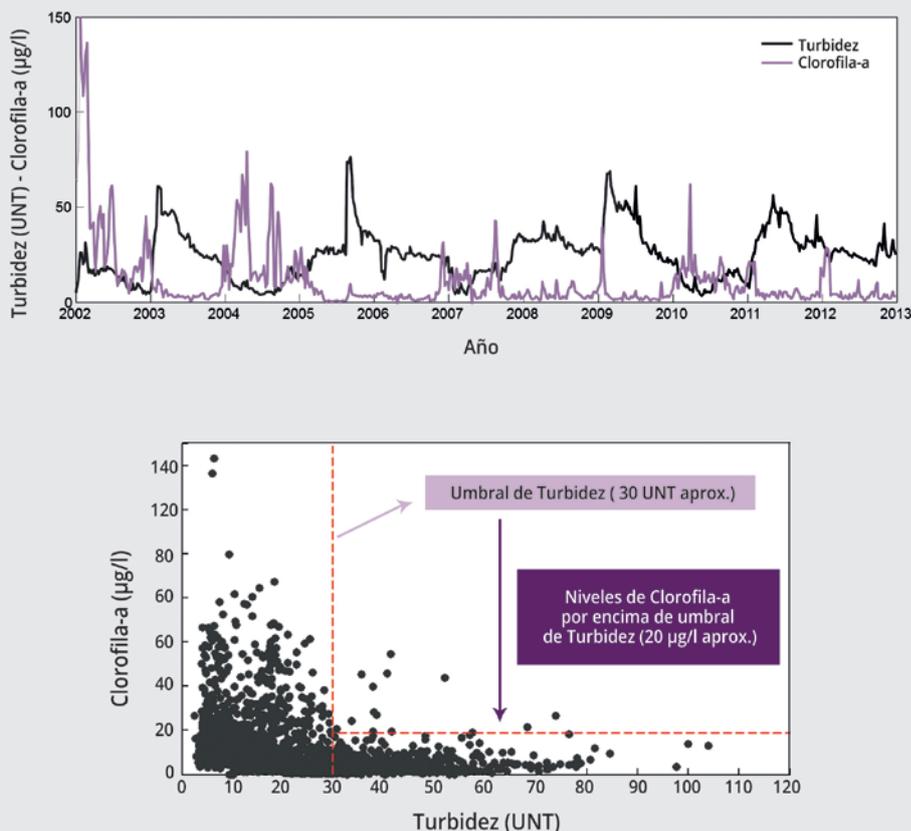
pH, lo que puede provocar efectos subletales a los peces; reducen la concentración de CO₂ disponible afectando la competencia entre grupos del fitoplancton; producen toxinas que pueden generar efectos subletales o tóxicos en peces, zooplancton, macroinvertebrados, aves y vertebrados acuáticos; por último, pueden incrementar su tamaño (de las células y/o colonias y filamentos) reduciendo la presión de consumo por el zooplancton y la transferencia de energía en la trama trófica (Stüken Marin 2010). Durante el colapso de las floraciones se producen condiciones de hipoxia y anoxia, lo que incrementa la concentración de amonio en la columna de agua (Stüken Marin 2010). Las floraciones algales tienen importantes impactos en la economía por los efectos en los sistemas de tratamiento de agua, costos de los programas de monitoreo y vigilancia, medidas de prevención y mitigación, y finalmente efectos en la salud (Merel et al. 2013).

Los incrementos observados de la temperatura en el registro paleolimnológico de las lagunas costeras durante el Holoceno y los aumentos previstos asociados al cambio climático (Bidegain et al. 2013, Del Puerto et al. 2011), favorecen la dominancia de cianobacterias (Kosten et al. 2012, Moss et al. 2011). Los períodos con déficit de precipitación pueden promover las floraciones debido a una reducción de las tasas de pérdida asociados al lavado (en este caso exportación de biomasa fuera del sistema asociado al drenaje por el arroyo El Potrero). El aumento de las precipitaciones acumuladas anuales observado en el registro histórico meteorológico a nivel nacional (Bidegain et al. 2013) puede provocar dos grandes efectos contrapuestos, por un lado, el aumento de las tasas de pérdida de biomasa por lavado, por otro, el incremento del transporte de nutrientes por

escorrentía superficial. La resultante es enteramente dependiente del uso del suelo, de la capacidad de adaptación de los sistemas productivos e incorporación de buenas prácticas en la fertilización y manejo de zonas de amortiguación. Al mismo tiempo, se prevé una mayor variabilidad interanual en el régimen de precipitaciones (Bidegain et al. 2013), es decir los años lluviosos registrarán mayores valores acumulados anuales, sin que ello implique una reducción en la frecuencia ni intensidad de los años secos. En los años secos aumenta el riesgo de floraciones de cianobacterias al incrementar el tiempo de residencia y disminuir las tasas de pérdidas de biomasa. Además, puede ocurrir un efecto concentrador de nutrientes y una mayor exportación de fósforo desde el sedimento a la columna del agua. Es interesante destacar que el clásico efecto concentrador de nutrientes en los períodos de menor precipitación no ha sido comprobado hasta el momento considerando los últimos años de muestreo semanales durante la época estival (ver Fig. 2).

Las floraciones de cianobacterias ocurren casi exclusivamente en los meses más cálidos del año e involucran un conjunto diverso de especies. Varias de estas cuentan con capacidad de fijación de nitrógeno gaseoso, producción de toxinas y pueden estar potencialmente asociadas a la generación de episodios de mal sabor y olor (debido a la producción de geosmina o 2 metil-isoborneol).

Fig. 4. Variabilidad temporal en los niveles de turbidez y biomasa algal (clorofila a) registrados en la toma de agua bruta en el período entre 2003 y 2012 (tomado de Crisci et al. 2017a y b). En el gráfico inferior se ilustra la relación inversa no lineal entre la biomasa algal y la turbidez del agua, y se indican los principales umbrales identificados.



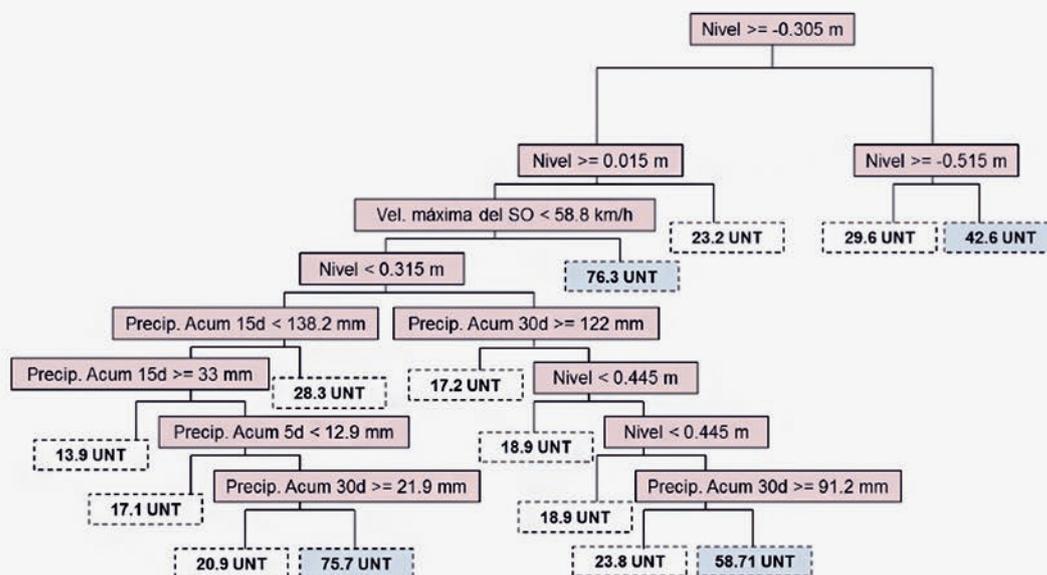


Fig. 5. Principales controles de la variabilidad temporal de la turbidez del agua. Árbol de regresión para predicción de eventos extremos de turbidez (rectángulos celestes) e identificación de las condiciones meteorológicas e hidrológicas que los desencadenan (figura tomada de Crisci et al.2017a y b). Las forzantes consideradas son la velocidad del viento máxima del cuadrante del SO, el nivel del reservorio y la precipitación acumulada en diferentes ventanas temporales.

En los últimos años se han constatado importantes problemas de sabor y olor cuya causalidad no resulta totalmente comprendida hasta el momento. En algunas ocasiones (otoño del 2015) podría estar asociado a cianobacterias bentónicas (en períodos con elevada transparencia del agua). En otras circunstancias, podrían vincularse a microorganismos descomponedores de diferentes fuentes de materia orgánica, por ejemplo, relacionados a colapsos de floraciones de cianobacterias u otros grupos algales o aportes considerables de materia orgánica desde los humedales asociados al arroyo Pan de Azúcar y Sauce.

Las capacidades de potabilización instaladas han presentado un buen desempeño en cuanto a las interferencias físicas (procesos de filtración) en los eventos de floraciones importantes, así como en el control de las cianotoxinas. Sin embargo, se presentaron dificultades por compuestos disueltos que generan mal sabor y olor. En forma sintética, la planta potabilizadora actual presenta un buen desempeño en la remoción de partículas y organismos, y de todos aquellos elementos adsorbidos o formando parte de los mismos. El desafío es retener todos aquellos compuestos que ingresan en forma disuelta (ver más adelante, Escenarios Transformativos 2030, las obras culminadas y en proceso de licitación para mitigar estas consecuencias).

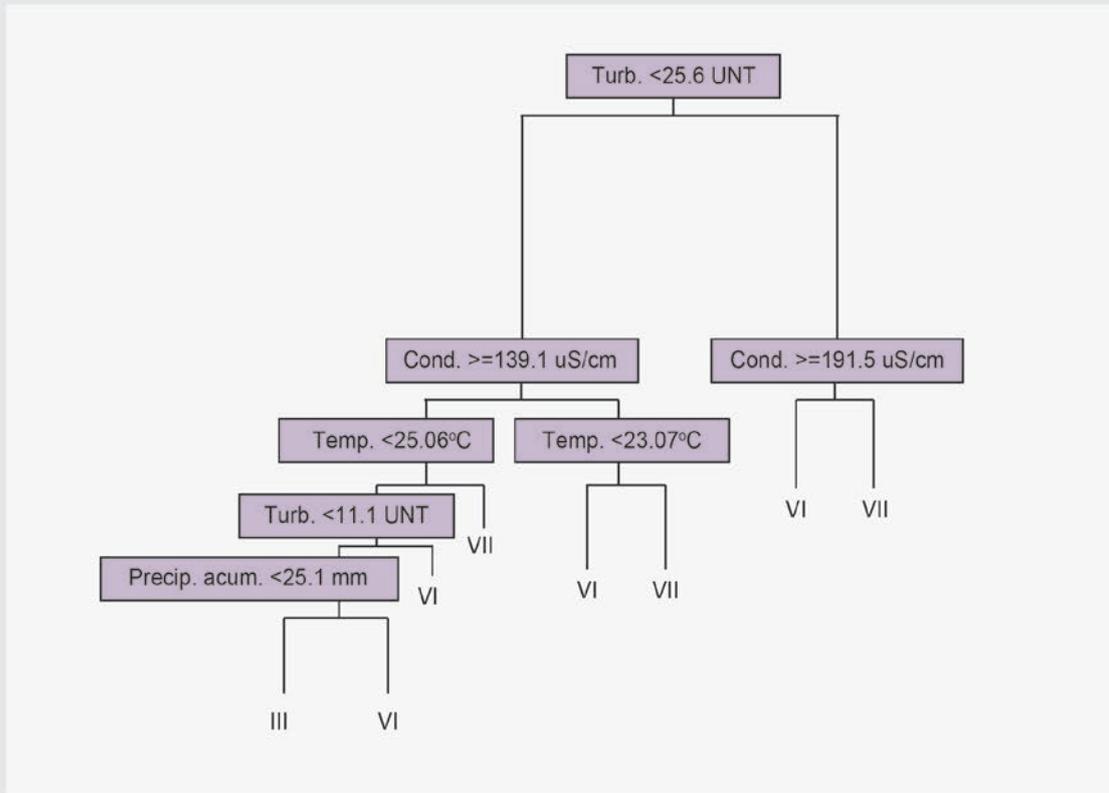


Fig. 6. Principales controles de la variabilidad temporal de la abundancia (biovolumen) de grupos morfo-funcionales del fitoplancton. Árbol de clasificación para predicción de grupos funcionales basados en morfología en función de variables de calidad de agua y meteorológicas (figura tomada de Crisci et al. 2017a y b). Las forzantes consideradas son turbidez, conductividad y temperatura del agua, así como la precipitación acumulada una semana antes del muestreo. Grupo I: pequeños organismos con elevado cociente superficie/volumen (SA) (por ej. Chroococcales, Chlorococcales); Grupo II: organismos pequeños flagelados con exoesqueleto silíceo (por ej. Chrysophyceae); Grupo III: grandes filamentos con aerotopos (por ej. Planktothrix, Anabaena, Cyndrospermopsis); Grupo IV: organismos de tamaño medio, sin atributos funcionales especializados (por ej. Closterium, Monoraphidium, Pediastrum); Grupo V: unicelulares, flagelados de tamaño medio y grande (por ej. Cryptophyceae, Euglenophyceae, Dinophyceae); Grupo VI: organismos no flagelados con exoesqueleto silíceo (i.e., Bacillariophyceae); Grupo VII: colonia mucilaginosas grandes (por ej. Botryococcus, Aphanocapsa, Microcystis). Figura tomada de Crisci et al. 2017a y b.

Laguna del Sauce es un ecosistema que presenta respuestas diferentes en el espacio frente a un mismo factor: aumento de la concentración de nutrientes. Mientras que en el cuerpo principal se observan floraciones fitoplanctónicas, en Laguna del Potrero se constata un crecimiento excesivo de vegetación sumergida y flotante (Mazzeo et al. 2010a, Mazzeo et al. 2018a). El tamaño, morfología y exposición (incluida la orientación y el fetch) de Laguna del Potrero favorecen el establecimiento de la vegetación acuática, condiciones que no ocurren en el cuerpo principal. Al mismo tiempo, el extenso humedal asociado al arroyo Pan de Azúcar, localizado entre la Ruta 9 y Laguna del

Potrero, retiene gran parte del material particulado. Por lo tanto, el agua aportada por este tributario presenta una elevada transparencia, lo que favorece el establecimiento de la vegetación acuática.

Laguna del Potrero tiene un papel clave en la amortiguación de las entradas de nutrientes al sistema, al igual que el humedal asociado al arroyo Pan de Azúcar. En determinadas circunstancias y períodos es muy eficiente en la reducción de los niveles de nitrógeno, lo que favorece indirectamente aquellas especies de cianobacterias que fijan nitrógeno. El segundo tributario en importancia (el arroyo Sauce)

también cuenta con un área bien conservada de humedales entre la Ruta 9 y Laguna del Sauce que promueve procesos de desnitrificación.

Laguna del Sauce ha presentado invasiones biológicas asociadas fundamentalmente al componente de bivalvos bentónicos (Mazzeo et al. 2018a). La almeja asiática (*Corbicula fluminea*) y el mejillón dorado (*Limnoperna fortunei*) juegan un papel muy importante en el consumo del fitoplancton y en el reciclaje de nutrientes. La evidencia científica demuestra que en determinadas circunstancias controlan efectivamente el desarrollo de la biomasa algal. Sin embargo, también se ha demostrado que promueven floraciones de especies que pueden regular la flotación y por lo tanto pueden escapar de la filtración en la interfase agua-sedimento (por ejemplo cianobacterias, ver en mayor detalle Marroni et al. 2014). La filtración elimina potenciales competidores de los grupos fitoplanctónicos no consumidos, así como herbívoros del zooplancton de menor tamaño y menor capacidad de nado. Finalmente, promueve una recirculación más rápida de los nutrientes. En resumen, la interacción de todos estos factores favorece el desarrollo de las especies de microalgas y cianobacterias que escapan del consumo de los bivalvos (Marroni et al. 2014, Marroni et al. 2016). Dentro de este grupo de especies se encuentran varias de las cianobacterias recurrentes en Laguna del Sauce.

El consumo del fitoplancton por parte del zooplancton se encuentra fuertemente limitado en este sistema por la ausencia de herbívoros de gran tamaño debido a la estructura de la comunidad de peces, la cual ejerce una fuerte presión de predación que elimina las especies con mayor impacto en el consumo de las microalgas y cianobacterias (Mazzeo et al. 2010a, Mazzeo et al. 2018a).

Estudios recientes sobre la presencia de residuos de plaguicidas en Laguna del Sauce, en diferentes matrices abióticas (sedimento) y bióticas (peces y bivalvos) del sistema (Stábil 2018), indican la presencia de diversos compuestos (atrazina, metalaxyl, metolacloro, pirimifosmetil, piraclostrobin y trifloxistrobin) en concentraciones muy bajas por el momento (por debajo del límite de cuantificación).

La presencia de residuos de plaguicidas debe ser monitoreado de forma sistemática y robusta, incorporando el conjunto de matrices antes indicada. Estudios preliminares de daños genéticos (micronúcleos y ensayos cometa) en bivalvos nativos de Laguna del Sauce, revela una frecuencia elevada de micronúcleos en *Diplodon parapelopipedon* cuya causa se desconoce por el momento.





Supuestos anticipatorios

El fenómeno de la eutrofización comprende diversos mecanismos de retro-alimentación positiva que intensifican el proceso con el transcurso del tiempo. Estos mecanismos están asociados a la recirculación de nutrientes y a la presión de consumo del fitoplancton (Scheffer 2009). La eutrofización, a medida que evoluciona en escenarios donde no se implementa un control de los aportes externos de nutrientes, asegura una mayor disponibilidad de nutrientes por translocación de nutrientes desde sedimento a la columna de agua, así como una menor presión de consumo fitoplanctónica debido a la desaparición de los herbívoros de mayor tamaño y capacidad de filtración del zooplancton. Al mismo tiempo, las floraciones de varias especies de cianobacterias generan estructuras de resistencia en el sedimento que aseguran su recurrencia en el tiempo cuando las condiciones ambientales son propicias.

Teniendo en cuenta las principales forzantes vinculadas al clima, al aporte de nutrientes y la propia dinámica interna del sistema, es altamente probable que la frecuencia e intensidad de las floraciones de cianobacterias se incremente en el tiempo.

La recuperación de Laguna del Sauce implica alcanzar un menor nivel de nutrientes (correspondiente al estado trófico denominado mesotrofia), lo que disminuye la probabilidad de ocurrencia de respuestas adversas para el suministro de agua potable, por ejemplo, las floraciones de cianobacterias. En caso de controlarse los aportes externos de nutrientes, el sistema presentará diversos mecanismos de resiliencia que condicionan la persistencia de valores medios y altos de nutrientes por un lapso considerable de tiempo (décadas, profundizar en Mazzeo et al. 2018b), por lo que se requieren diversas medidas de manejo interno adicionales (ver más adelante, rehabilitación de fuentes de agua). De acuerdo con lo anterior, incorporar estrategias adicionales de mitigación a las interferencias en el proceso de potabilización del agua potable es clave para controlar o eliminar las interferencias observadas.

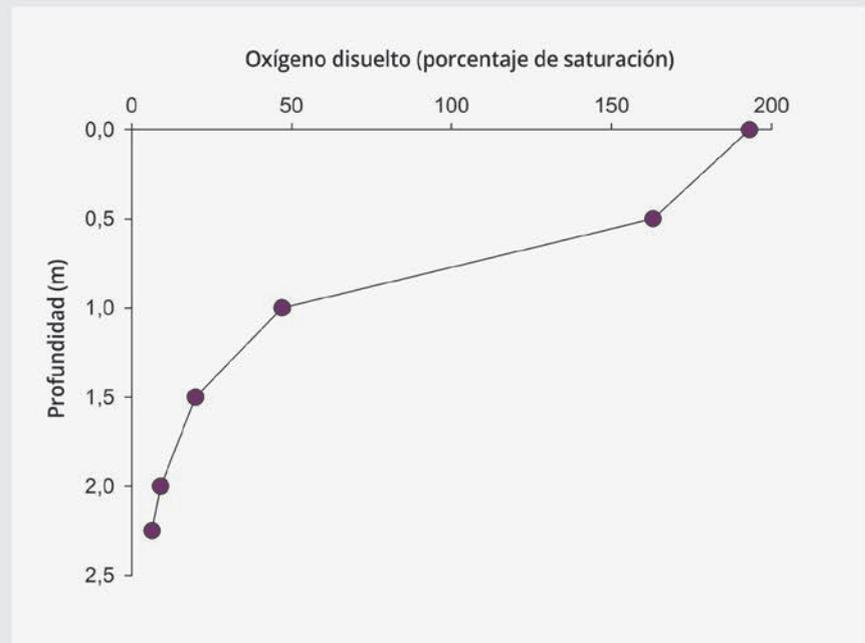
LAGUNA BLANCA

Maldonado presenta tres fuentes de agua potable adicionales: Laguna Blanca (Manantiales), Laguna Escondida (José Ignacio) y arroyo San Carlos. Laguna Blanca es un sistema muy estudiado desde el punto de vista limnológico y paleolimnológico (García-Rodríguez et al. 2004, Gerhard et al. 2016, Goyenola et al. 2011, Iglesias et al. 2007, Iglesias et al. 2008, Iglesias et al. 2011, Iglesias et al. 2016, Iglesias et al. 2017, Kruk et al. 2006, Kruk et al. 2009, Jeppesen et al. 2010, Mazzeo et al. 2003, Mazzeo et al. 2010c, Vanderstukken et al. 2011). Este cuerpo de agua se encuentra en un proceso de eutrofización acelerado, con alternancia de estados o configuraciones ecosistémicas muy contrastantes (cambios de régimen) denominados estados claros y turbios. En el primer caso, el sistema queda dominado por vegetación acuática sumergida y en el segundo por fitoplancton (microalgas y cianobacterias). Actualmente se encuentra en una fase dominada por vegetación sumergida (principalmente *Egeria* densa y *Ceratophyllum demersum*).

Laguna Blanca se encuentra en un proceso de eutrofización acelerado, con alternancia de estados o configuraciones ecosistémicas muy contrastantes (cambios de régimen) denominados estados claros y turbios.



Fig. 7. Perfil de oxígeno registrado en la zona de la toma de agua bruta de Laguna Blanca durante el 11 enero 2017. El gradiente vertical comprende condiciones de sobresaturación en superficie y un marcado déficit de oxígeno en la mitad inferior de la columna de agua.



El crecimiento excesivo de vegetación acuática y la acumulación de biomasa en la superficie durante los meses de verano (particularmente de *Egeria densa*) genera condiciones de anoxia en la interfase agua-sedimento y en gran parte de la columna de agua. Este proceso se debe a la descomposición de la biomasa acumulada en la superficie que se quema al sol, lo cual consume el oxígeno de la columna de agua. La acumulación de biomasa sobre la superficie limita el intercambio gaseoso entre la superficie y la columna de agua (Fig. 7) y no compensa el consumo de oxígeno asociados a los procesos de respiración y descomposición de la materia orgánica del sedimento (este sistema presenta un alto contenido de materia orgánica en el sedimento asociado a la considerable producción de plantas acuáticas).

En las condiciones de hipoxia y anoxia indicadas se solubiliza el hierro y el manganeso, liberándose grandes cantidades de estos elementos, y de fósforo asociado al hierro, desde el sedimento a

la columna de agua. La dinámica de liberación y secuestro del fósforo señalada ilustra en detalle el proceso retroalimentación positivo mencionado que asegura la disponibilidad de nutrientes mientras transcurre el proceso de eutrofización. Al mismo tiempo, en condiciones de hipoxia y anoxia predominan los procesos de descomposición anaeróbicos que puede generar sulfhídrico y metano. Este conjunto de procesos genera múltiples interferencias de sabor, olor y color, observadas principalmente en las épocas estivales. Por último, es importante agregar que la considerable producción primaria de las plantas acuáticas y la descomposición de la biomasa generada condicionan niveles elevados de materia orgánica disuelta en el agua (lo cual se refleja en la coloración amarillenta y rojiza del agua) que puede generar compuestos tóxicos durante los procesos de cloración (trihalometanos, cloroformo, entre otros).

Actualmente el crecimiento excesivo de plantas acuáticas demanda programas de cosechas controladas a efectos de mitigar consecuencias adversas en la calidad del agua. Además de la alta oferta de nutrientes, el sistema presenta una importante protección contra los vientos de todo el cuadrante Sur gracias a las plantaciones de Pinus y Eucalyptus en el sistema dunar costero. Dicha modificación limita la resuspensión del sedimento y genera indirectamente buenas condiciones de transparencia en la columna de agua, lo que asegura una adecuada disponibilidad de luz para los productores primarios. Al mismo tiempo, favorece el crecimiento de la vegetación acuática (tanto sumergida, como flotante y emergente) al disminuir los procesos de rotura o daño de la biomasa por el oleaje.

El sistema de drenaje superficial del sistema se encuentra cerrado la mayor parte del tiempo (atraviesa el barrio cerrado Laguna Blanca y la playa Bikini) por lo que no existen prácticamente pérdidas de biomasa de productores primarios. Adicionalmente, la presión de consumo del fitoplancton es muy limitada en los meses de verano por la estructura del zooplancton y la comunidad de peces (Mazzeo et al. 2003, Iglesias et al. 2007, Iglesias et al. 2008, Iglesias et al. 2011, Iglesias et al. 2016, Iglesias et al. 2017).

Desde el año 2000 a la fecha se han observado varios períodos con muy baja cobertura de vegetación sumergida, particularmente a fines de la década pasada, registrándose importantes floraciones de cianobacterias (por ej. *Cylindropermopsis raciborskii*) que impidieron la utilización de esta fuente de agua por algunas semanas durante la época estival, por lo que el suministro de agua bruta provino del arroyo San Carlos.

La planta de Laguna Blanca presenta un tratamiento de filtración invertido acoplado a filtros de carbón granular que permite mitigar una parte considerable de las interferencias observadas.



Supuestos anticipatorios

Laguna Blanca es un sistema muy productivo que paulatinamente se colmata debido a la acumulación de biomasa de plantas acuáticas. Esto, demanda medidas de manejojucuidosamente diseñadas y planificadas para evitar las consecuencias adversas antes indicadas y el pasaje a una configuración turbia. En ausencia de un manejo interno adecuado del sistema y del uso del suelo en la cuenca asociada, este cuerpo de agua presentará interferencias con mayor frecuencia y probablemente alternancias muy bruscas entre estados claros y turbios, registrándose una mayor variabilidad temporal en atributos clave de la calidad del agua (ver más adelante en la sección Transformaciones del uso del suelo).



En los últimos diez años Laguna Escondida ha presentado un deterioro asociado a distintas intervenciones en sus márgenes, fragmentación y pérdida de la vegetación litoral, la construcción de importantes embalses en sus tributarios, y el manejo del sistema de drenaje por particulares sin control por parte de las autoridades competentes.



LAGUNA ESCONDIDA

Este sistema cuenta con un número sustancialmente menor de estudios. Laguna Escondida fue uno de los sistemas mejor conservados de la costa Atlántica del Uruguay hasta principios de la década del 2000, con los niveles de fósforo más bajos registrados en lagos de la zona costera Atlántica y del Río de la Plata (ca. de 25 ug/l PT en el verano) (Kruk et al. 2006, Kruk et al. 2009). Este cuerpo de agua contaba con una comunidad de peces diversa y presencia de predadores topos como tarariras (*Hoplias malabaricus*). La pequeña bahía en el sector Norte contaba con una comunidad muy diversa de plantas acuáticas. Las aguas de este sistema presentaban una considerable transparencia y coloración asociado a un nivel moderado de sustancias húmicas.

En los últimos diez años este sistema ha presentado un deterioro asociado a distintas intervenciones en sus márgenes, fragmentación y pérdida de la vegetación litoral, la construcción de importantes embalses en sus tributarios, y el manejo del sistema de drenaje por particulares sin control por parte de las autoridades competentes. Todos estos impactos se asocian a un desarrollo inmobiliario y transformaciones del uso del suelo con mecanismos de control y fiscalización en el territorio débiles. En este contexto, la concentración de fósforo se ha incrementado sustancialmente (se duplicó y triplicó dependiendo de la época del año considerada) y se ha observado en los últimos años condiciones de hipoxia o anoxia en gran parte de la columna de agua. El déficit de oxígeno en la interfase agua-sedimento condiciona los mismos procesos e interferencias en el suministro de agua potable analizados en el caso de Laguna Blanca.

Supuestos anticipatorios

Laguna Escondida ilustra la sensibilidad de los cuerpos de agua poco profundos frente a perturbaciones de origen antrópico muy recientes. Revertir la trayectoria reciente requiere de un manejo interno y usos adecuados del cuerpo de agua y de los suelos de la cuenca asociada, compatibles con el suministro del agua potable. La ausencia de ámbitos efectivos de gestión en estos territorios y la rapidez de las transformaciones del uso del suelo generan un considerable desafío a revertir rápidamente. De lo contrario, los efectos adversos en la calidad del agua se agudizarán.



ARROYO SAN CARLOS

El arroyo San Carlos funciona como sistema de respaldo a la planta potabilizadora de Laguna Blanca. Es un sistema acuático que no ha sido estudiado por el momento desde el punto de vista limnológico. La información de control de los procesos de potabilización revela que en períodos de déficit de precipitaciones importantes y con fuertes vientos del cuadrante Sur, el ingreso de agua salobre ha limitado o impedido su utilización en ocasiones muy particulares.

Supuestos anticipatorios considerando el conjunto de fuentes de agua

El conjunto de fuentes de agua de Maldonado presenta (en algunos períodos) características de calidad del agua que generan múltiples desafíos a los procesos de potabilización. En los ecosistemas lénticos se constatan procesos de eutrofización que ocasionan múltiples interferencias en el suministro de agua potable. El sistema actual no ofrece redundancia. El sistema del Sauce puede respaldar una parte de la demanda del sistema abastecida desde Laguna Blanca. Sin lugar a dudas, Laguna Blanca ni Escondida pueden respaldar el sistema de Laguna del Sauce en una situación de crisis aguda.

Es recomendable el análisis conjunto del sistema y la definición de alternativas de complementación. Al mismo tiempo es conveniente implementar estrategias de rehabilitación de los cuerpos de agua antes indicados a efectos de disminuir el riesgo de interferencias con los sistemas de potabilización.



4.2 Transformaciones del uso del suelo y crecimiento poblacional

Maldonado presenta un crecimiento de población superior al resto del país, con un importante componente de migración nacional interna. Este crecimiento demográfico explica gran parte de la densificación de la trama urbana existente y la expansión de ésta por la incorporación de suelos anteriormente rurales. Especial relevancia presentan los núcleos poblados con un notorio aumento de población como La Capuera y El Pejerrey (aledaños a sistema Laguna del Sauce), los cuales carecen de saneamiento con plantas de tratamiento de efluentes (actualmente en fase de construcción).

Simultáneamente, la modalidad de turismo residencial que caracteriza nuestro país, con formas de usos del suelo cada vez más expansivas (chacras turísticas, barrios cerrados, resorts all inclusive) han promovido transformaciones de suelos rurales a suburbanos en grandes sectores, particularmente al sur de la Ruta 9, condicionando el crecimiento de una demanda de servicios básicos muy esparcida en el territorio. La velocidad y magnitud de estas transformaciones (escala espacial, inversión, cantidad de usuarios en breves lapsos de tiempo), sumadas al escaso número de instrumentos de ordenamiento territorial aprobados y/o aplicados hasta el momento, generan un escenario de falta de previsión en la provisión de servicios fundamentales (por ejemplo, agua y saneamiento). En forma sintética, las decisiones territoriales en Maldonado tienen una impronta netamente dirigida a favorecer el mercado inmobiliario e industrias asociadas en el corto plazo, con una muy escasa incidencia de aspectos fundamentales de la sostenibilidad.

La discontinuidad y los cambios de rumbo en los lineamientos y políticas de ordenamiento territorial durante los últimos tres gobiernos departamentales impiden el establecimiento de reglas claras de juego que permitan compatibilizar y generar sinergias entre los diferentes servicios ecosistémicos que provee el territorio y que aseguran su desarrollo socio-económico y la provisión de bienes y servicios claves. Actualmente la dinámica de las transformaciones del uso del suelo está dominada, en gran medida, por la dinámica del mercado con independencia de su sostenibilidad en el tiempo, lo que afecta adversamente a los propios atractores del desarrollo económico actual. Profundizar en Gadino et al. (2018).



Maldonado presenta un crecimiento de población superior al resto del país, con un importante componente de migración nacional interna.

Por otra parte, se constatan importantes transformaciones productivas en los últimos años con similares tendencias a las observadas a nivel nacional. El incremento de las áreas forestadas y de cultivos de secanos en la cuenca de Laguna del Sauce ilustra dicha afirmación (Taveira et al. 2018). Si bien el área de cultivos de secano en la cuenca de Laguna del Sauce es pequeña en relación al área total de la cuenca, ésta se encuentra fundamentalmente en predios vecinos al cuerpo de agua, en algunos casos en suelos de escasa profundidad y con pendientes importantes y por lo tanto alto riesgo de erosión (Fig. 8). En el mismo sentido, transformaciones asociadas a la nueva ruralidad en el entorno de Laguna Escondida (mencionadas anteriormente) demuestran como pocas y simples acciones pueden causar un importante deterioro de la calidad del agua. Laguna Blanca no escapa a esta problemática, observándose cultivo de soja linderos al cuerpo de agua en chacras turísticas, patrón totalmente inesperado.

Los planes de uso y manejo de suelo del MGAP representan un importante avance si efectivamente se aplican y se controlan. Al mismo tiempo, en cuencas destinadas al suministro de agua potable es necesario incorporar buenas prácticas adicionales que regulen la aplicación de plaguicidas y las prácticas de fertilización, principal causa de la eutrofización. Considerando los impactos de la forestación sobre el rendimiento hidrológico en los períodos de déficit de precipitación (Silveira y Alonso 2009, Silveira et al. 2016), resulta clave implementar estrategias de ordenamiento territorial que planifiquen el conjunto de los usos del suelo y de servicios ecosistémicos que sustentan una adecuada calidad del agua.

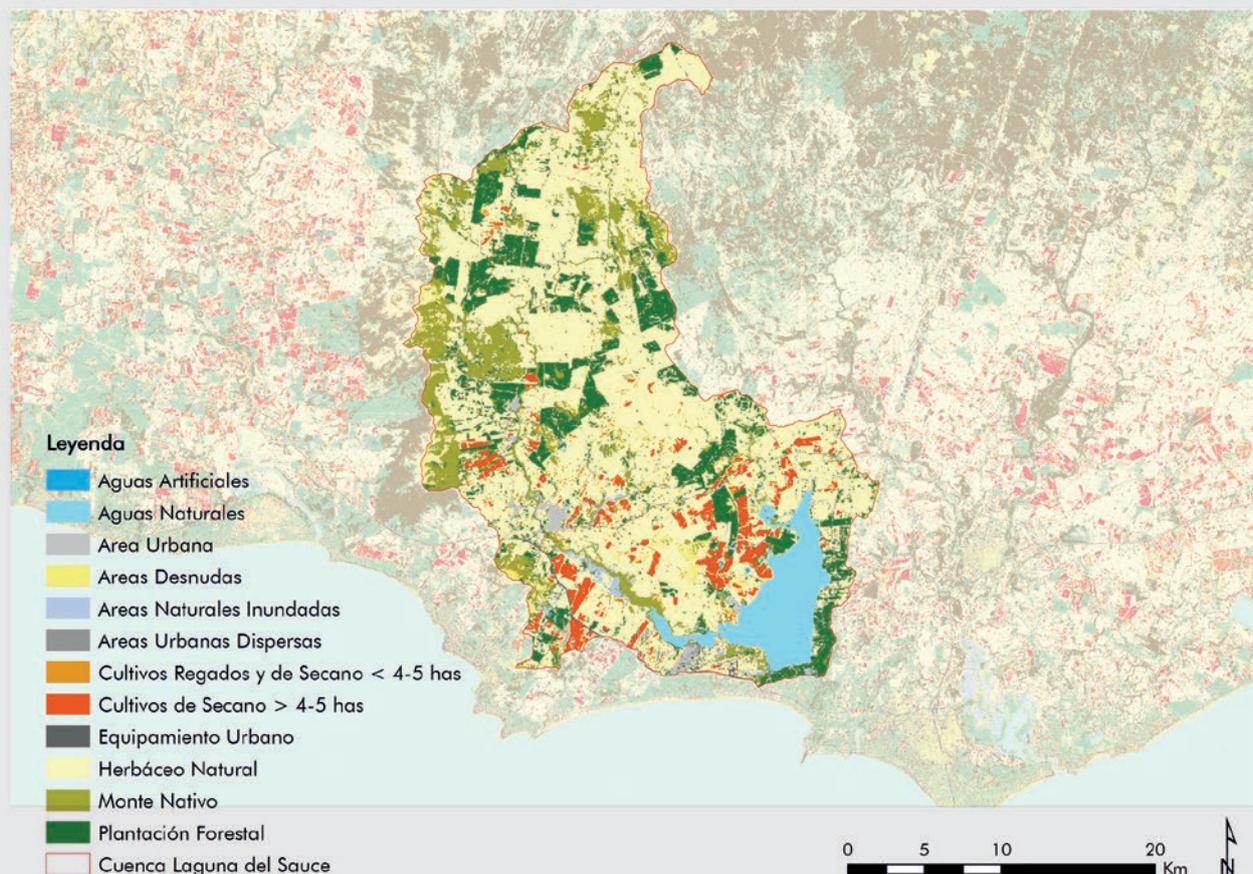


Fig. 8. Principales usos del suelo en la cuenca de Laguna del Sauce y su distribución espacial en el año 2015. Figura tomada de Taveira et al. 2018.



Supuestos anticipatorios

El análisis a largo plazo de los usos del territorio en el departamento de Maldonado tiene un evidente vínculo con el desarrollo de la industria del turismo. Hasta el momento, el departamento promueve las inversiones internacionales inmobiliarias, como forma de mantener la posición alcanzada como destino de élite, así como el trabajo y las finanzas locales. Algunos de los aspectos negativos de los desarrollos que propician las especulaciones inmobiliarias ya son visibles en el territorio: capacidad de carga de los territorios sobrepasada, pérdida de servicios ecosistémicos por el uso turístico en el lugar, fuerte fragmentación socio-territorial, desplazamiento de poblaciones locales (gentrificación verde) (Gadino et al. 2018).

Los usos productivos del suelo vinculados a la agricultura, forestación y ganadería requieren la incorporación de prácticas que eliminen el aporte de nutrientes y residuos de plaguicidas a las principales fuentes de agua potable.

Las transformaciones en curso y el aseguramiento de servicios clave como el suministro de agua potable, requieren la incorporación de la dimensión de sustentabilidad en toda práctica pública o privada, en particular en los modelos o estrategias de desarrollo. El ordenamiento territorial debe ser analizado en clave de sostenibilidad de todos sus aspectos claves, natural, social y económico, superando el predominio de la fragmentación generado por las planificaciones sectoriales y el cortoplacismo.

Los desafíos planteados y la resolución de las externalidades negativas indicadas, requieren avanzar rápidamente sobre definiciones que trasciendan los periodos de gobiernos departamentales, incorporando capacidades y competencias en el uso del futuro, para generar construcciones colectivas de sentido compartido con la comunidad (pobladores permanentes, productores, propietarios, empresarios, actores de gobierno y academia), y la definición de objetivos claros y defendibles, que determinen las acciones a seguir por parte de todos los gestores territoriales.

Una parte considerable de la causalidad vinculada a la problemática de las fuentes de agua potable requiere transformaciones muy importantes en las capacidades de análisis y gestión del territorio. Considerando el horizonte de tiempo de trabajo (2018-2030), resulta esperable que gran parte de las dificultades y limitaciones comentadas perduren durante la mayor parte o todo el período de tiempo analizado.

La modalidad de turismo residencial que caracteriza nuestro país, con formas de usos del suelo cada vez más expansivas (chacras turísticas, barrios cerrados, resorts all inclusive) han promovido transformaciones de suelos rurales a suburbanos en grandes sectores, particularmente al sur de la Ruta 9, condicionando el crecimiento de una demanda de servicios básicos muy esparcida en el territorio.

4.3 Gestión de los recursos acuáticos y redundancia

La gestión del agua en el Uruguay presenta importantes transformaciones en los últimos años, pasando de un modelo de gestión fragmentado, centralizado y jerárquico (conocido como comando y control) a un modelo descentralizado y participativo que incorpora nuevas escalas espaciales de gestión (paradigma denominado gestión integrada) (Mazzeo et al. 2015, Mazzeo et al. 2017, Steffen et al. 2018).

La reforma del artículo 47 de la Constitución aprobado por referéndum en el año 2004, su reglamentación, así como la actual Política Nacional de Aguas, establecen la cuenca hidrográfica como unidad de planificación y formalizan los roles de las instituciones del Estado en el control y gestión de los recursos hídricos. A efectos de implementar las políticas de descentralización, ordenamiento territorial y desarrollo sustentable se crearon las Comisiones de Cuenca y Consejos Regionales de Recursos Hídricos como espacios multi-actorales en los territorios. Además de estas estructuras puentes, recientemente se ha creado la Secretaría de Ambiente, Agua y Cambio Climático como espacio de interacción y coordinación interministerial y entre niveles (principalmente departamental-nacional).

La gestión de los recursos hídricos incluye diversos servicios y usos. El abastecimiento de agua potable a la población, responsabilidad de OSE, es la principal prioridad en la gestión y uso de los recursos acuáticos. Actualmente aun es realizada en forma fundamentalmente centralizada y jerárquica. Los demás usos son determinados según las prioridades que se establezcan por regiones, cuencas hidrográficas y acuíferos.

Para alcanzar la forma de gestión a nivel de cuenca es necesario el concurso de múltiples marcos regulatorios (por ej. sistema de drenaje, captación de aguas pluviales, conservación de ecosistemas en las áreas de recarga de las aguas subterráneas). Sin embargo, las competencias en materia regulatoria corresponden a diferentes organismos del Estado. Uruguay no ha avanzado en un proceso de descentralización de funciones, sino solamente de desconcentración de los organismos centrales. Por lo tanto, muchos problemas y conflictos ambientales se originan y podrían aumentar por no considerar la importancia de la gestión compartida, o al menos, por intentar coordinar los lineamientos estratégicos para alcanzar una gestión ambiental del territorio.

Algunos de los espacios de cooperación o estructuras puente, como la Comisión de Cuenca de la Laguna del Sauce creada en 2010, se han consolidado paulatinamente y mantienen ámbitos de trabajos regulares, persistentes en el tiempo y

La gestión del agua en el Uruguay presenta importantes transformaciones en los últimos años, pasando de un modelo de gestión fragmentado, centralizado y jerárquico a un modelo descentralizado y participativo que incorpora nuevas escalas espaciales de gestión.



La reforma del artículo 47 de la Constitución aprobado por referéndum en el año 2004, su reglamentación, así como la actual Política Nacional de Aguas, establecen la cuenca hidrográfica como unidad de planificación.

con generación de propuestas como el Plan de Acción aprobado en 2011 (Steffen 2012, Beder et al. 2014). Resulta interesante destacar que la implementación del Plan de Acción por parte de los ministerios y direcciones nacionales ocurrió recién en 2015, luego de la crisis ocurrida en el suministro de agua potable acontecida en otoño del mismo año. Por otra parte, los avances en los componentes de comunicación, ordenamiento territorial, control y fiscalización de medidas adoptadas, entre otros, presentan importantes dificultades que perduran en el tiempo.

Las Comisiones de Cuenca son organismos de coordinación y cooperación cuyos ámbitos de acuerdo no son vinculantes, la dinámica del sistema opera únicamente sobre la base del control social, muy limitado por el momento. Asimismo, las instituciones públicas no logran internalizar los roles de las nuevas estructuras puente, ni los importantes cambios introducidos en la normativa de los procesos de toma de decisión. La articulación intra, interinstitucional y entre niveles presenta múltiples dificultades y barreras. En resumen, la resolución de los problemas de eutrofización requiere del concurso y cooperación intra e interinstitucional, desafíos que no logran ser superados en la actualidad. Actualmente, diversas organizaciones sociales y agentes procuran avanzar en la instalación de Comisiones de Cuenca para Laguna Blanca y Escondida, fenómeno interesante de analizar y que comprende fundamentalmente interacciones dentro de la sociedad civil y su aprendizaje en el ámbito de la Comisión de Cuenca de Laguna del Sauce.

La fragmentación en el análisis y toma de decisión es una primera barrera por superar, sin embargo, los sistemas de gestión deben evolucionar para lograr incorporar un manejo adecuado de la incertidumbre y promover el aprendizaje y la mejora constante (Pahl-Wostl 2015). Los cuerpos de agua analizados cuentan con información científica-técnica importante, particularmente Laguna del Sauce y Blanca, generada por la OSE-UGD, OSE, Aguas de la Costa S.A. y la Udelar. En los últimos años se ha incrementado la capacidad de monitoreo, análisis y predicción. Sin embargo, persisten múltiples vacíos de información e incertidumbres considerables. Los avances en el campo del conocimiento han sido sustentados por las instituciones antes indicadas, y la obtención de recursos de diversas agencias de investigación nacionales e internacionales. La considerable dependencia de fondos concursables determina que los avances en el conocimiento generalmente no se acoplen a las demandas del ámbito de gestión, particularmente en los tiempos requeridos. En este sentido, resulta recomendable consolidar un sistema de monitoreo y seguimiento de la evolución de los sistemas que permita dar soporte a la toma de decisión y definir estrategias anticipatorias de interferencias en los procesos de potabilización del agua del conjunto de las fuentes de agua consideradas.



La resolución de los problemas de eutrofización requiere del concurso y cooperación intra e interinstitucional, desafíos que no logran ser superados en la actualidad.



La fragmentación en el análisis y toma de decisión es una primera barrera por superar. Sin embargo, los sistemas de gestión deben evolucionar para lograr incorporar un manejo adecuado de la incertidumbre y promover el aprendizaje y la mejora constante.

El principal desafío en el mediano plazo es promover una rápida transición desde el manejo integrado al manejo adaptativo, incluyendo el co-manejo y la co-producción (Pahl-Wostl 2015). En dicha transición se incorporan y robustecen diversos principios del pensamiento resiliente (Biggs et al. 2015, Folke 2016) y anticipatorio (Miller et al. 2012, Miller et al. 2018):

- Mantener la diversidad y la redundancia.
- Gestionar la conectividad.
- Gestionar variables lentas y retroalimentaciones.
- Fomentar el pensamiento sistémico adaptativo complejo.
- Estimular el aprendizaje.
- Ampliar la participación.
- Promover una gobernanza policéntrica.

Por lo expuesto en la sección Fuentes de Agua, resulta altamente recomendable incrementar la capacidad de redundancia en el sistema a partir de fuentes alternativas que permitan sobrellevar condiciones adversas de calidad del agua, por ejemplo, nuevos reservorios en la cuenca de Laguna del Sauce; extracción de agua subterránea asociada a la cubeta y cuencas de Laguna del Sauce, Laguna Blanca o Escondida; complementación de aportes por los arroyos José Ignacio o Garzón; extracción y desalinización de agua del Río de la Plata. Algunas de estas alternativas implican cambios tecnológicos muy importantes en los últimos años y son esperables importantes innovaciones en un horizonte de 25 años. En este sentido, se entiende muy conveniente contar con un espacio permanente de análisis de alternativas y propuestas que puedan definir nuevas fuentes de respaldo.



Supuestos anticipatorios

La considerable inercia de los sistemas de gestión frente a los nuevos paradigmas obedece a múltiples factores. Podemos destacar el aspecto cultural, condicionado por la distribución de edades de la población del Uruguay y los funcionarios del ámbito público en particular, así como el largo tiempo de vigencia del paradigma anterior. También contribuye a esta inercia la estructura de enseñanza terciaria actual del país, que retroalimenta los análisis fragmentados en la resolución de temas complejos. Para alcanzar un funcionamiento pleno del manejo integrado y lograr avanzar a esquemas más evolucionados que incorporen un mejor manejo de la incertidumbre y el aprendizaje social (manejo adaptativo y sus variantes), implica generar nuevas capacidades y competencias. Para ello se requieren cambios sustantivos tanto en los sistemas de enseñanza como en la voluntad política de resolver dichas problemáticas. El desafío está en contribuir desde todos los lugares a esta necesaria transformación cultural, son necesarios espacios y abordajes que faciliten la construcción colectiva de saberes, el diálogo y la coordinación de la acción de manera plural, diversa y participativa, lo que demanda un esfuerzo orientado a desaprender y reaprender.

Las publicaciones recientes sobre Laguna del Sauce demuestran que se puede incrementar significativamente la capacidad predictiva de ocurrencia de floraciones o cambios bruscos en propiedades físico-químicas claves como la turbidez o el pH (Crisci et al. 2017a y b). Una parte importante de los recursos humanos y de infra-estructura existen ya actualmente. Sin embargo, los recursos humanos relacionados con los avances recientes cumplen una diversidad de tareas y obligaciones en sus respectivas instituciones, por lo que el presupuesto de tiempo destinado al mejoramiento de la capacidad predictiva es limitado y no funcional en el contexto de la problemática planteada. La dinámica futura de la eutrofización, los posibles incrementos de la variabilidad climática, el desconocimiento de aspectos fundamentales (causalidad) de las interferencias de sabor y olor, y la evolución y novedades emergentes de otros factores intervinientes, recomiendan importantes cambios organizacionales que mejoren la capacidad de predicción y anticipación.

Los cambios tecnológicos asociados a los procesos de potabilización del agua presentan una dinámica que requiere monitoreo y seguimiento, con un equipo capacitado y con el tiempo suficiente para realizar la tarea. Es altamente probable que esta dinámica se acelere en el tiempo, por lo que resulta interesante incorporar este aspecto en la estructura de la organización.

4.4 Rehabilitación de las fuentes de agua

La restauración de los ecosistemas implica retornar a una condición previa a la ocurrencia de grandes perturbaciones o disturbios. En el caso de Laguna del Sauce implicaría eliminar el represamiento y la forestación del sistema dunar costero. El retorno a una configuración histórica, propia del manejo de recursos naturales o del manejo ecosistémico (Chapin et al. 2009), plantea considerables inconvenientes en el caso de Laguna del Sauce: una importante reducción del volumen de agua a extraer; modificaciones sustanciales en los sistemas de bombeo del agua bruta; drásticas modificaciones del sistema dunar costero. Por lo expuesto resulta recomendable recorrer estrategias de rehabilitación dentro de un contexto de gestión del ecosistema basado en la resiliencia (Chapin et al. 2009). Dentro de este marco el objetivo es alcanzar una configuración del sistema (no observada en el pasado), que asegure el conjunto de servicios ecosistémicos clave que se desean obtener. Desde esta perspectiva, la gestión no se centra exclusivamente en los sistemas naturales sino en los sistemas socio-ecológicos.

La rehabilitación de Laguna del Sauce, y los otros cuerpos lénticos analizados, requiere en primer lugar el control o la eliminación de las causas que deterioran la calidad del agua. El control de los aportes puntual y difuso de nutrientes es fundamental y constituye el primer paso. Los avances en la construcción de sistemas de saneamiento en el departamento de Maldonado resultan clave, en particular en la cuenca de Laguna del Sauce, lo cual permite controlar en el corto plazo una parte importante de los aportes puntuales de nutrientes. Sin embargo, el control de los aportes difusos representa el mayor desafío en los procesos de rehabilitación de sistemas eutróficos a nivel global (Moss 2008). En este aspecto, se requiere la incorporación de buenas prácticas y el abandono de algunos manejos y prácticas tradicionales, tanto en la agricultura como la ganadería. A modo de ejemplo, una fertilización acorde con los niveles de nutrientes del suelo y la demanda del cultivo, limitar el acceso del ganado directamente a los cursos de agua, el manejo adecuado de la vegetación riparia (ribereña) y zonas de humedales son estrategias fundamentales a implementar.

La acumulación de nutrientes en la trayectoria histórica genera una importante resiliencia del sistema. En simples términos, el sistema puede presentar niveles elevados de nutriente por un lapso prolongado (inclusive décadas) a pesar del control de los aportes puntuales y difusos. De acuerdo a esto, resulta altamente recomendable analizar e implementar estrategias de manejo interno: control de la carga interna de nutrientes; manejo del exceso de biomasa de plantas acuáticas; aplicación de técnicas de biomanipulación; control de la pesca de predadores topes. Las alternativas indicadas permiten acelerar el proceso de recuperación, evitando el transcurso de décadas antes de observar cambios importantes. Algunas de estas técnicas pueden utilizarse adicionalmente como estrategias de shock en circunstancias muy adversas, por ejemplo, el secuestro químico del fósforo. Sin embargo, es importante respetar la secuencia de acciones indicadas a efectos de implementar programas de rehabilitación exitosos y económicamente sostenibles:





La rehabilitación de Laguna del Sauce, y los otros cuerpos lénticos analizados, requiere en primer lugar el control o la eliminación de las causas que deterioran la calidad del agua. El control de los aportes puntual y difuso de nutrientes es fundamental y constituye el primer paso.



1) control del aporte externo de nutrientes, 2) control del aporte interno de nutrientes y 3) biomanipulación y otras alternativas. Las estrategias de rehabilitación pueden consultarse en detalle en Bianchi et al. (2018) y Mazzeo et al. (2018b). Los programas exitosos de rehabilitación requieren de un funcionamiento adecuado y muy diferente a la configuración actual del sistema de gobernanza del agua.

Supuestos anticipatorios

La problemática del sistema de Laguna del Sauce es posible de resolver. Para ello se requiere de una colaboración y cooperación interinstitucional mayor a la limitada del presente. Los recursos económicos necesarios para un avance efectivo en la materia no han sido estimados en su totalidad, así como su financiamiento. La aplicación de las medidas de manejo interno, al igual que el control del aporte externo difuso y puntual de nutrientes, es millonaria en dólares.

El desfase en la priorización de la recuperación de Laguna del Sauce entre el nivel nacional y el departamental en los últimos períodos de gobierno ha dificultado el avance. La trayectoria histórica demuestra que los cambios, por el momento, ocurren asociados a las crisis en el suministro de agua y con una escasa capacidad de anticipación. El cambio de la dinámica antes indicado implica importantes transformaciones políticas y culturales, por lo cual es posible prever una considerable inercia en ausencia de crisis importantes. Es recomendable generar capacidades y competencias anticipatorias endógenas en la estructura organizacional, vinculada a la gestión de los recursos acuáticos, superadoras de la cultura del 'bombero'.

Laguna Blanca y Escondida recién comienzan a recorrer el proceso de gestión integrada observado en Laguna del Sauce. Un número sustancialmente menor de actores, cuencas pequeñas y la experiencia acumulada de Laguna del Sauce pueden facilitar un rápido avance en estos territorios.

La acumulación de nutrientes en la trayectoria histórica genera una importante resiliencia del sistema. De acuerdo a esto, resulta altamente recomendable analizar e implementar estrategias de manejo interno: control de la carga interna de nutrientes; manejo del exceso de biomasa de plantas acuáticas; aplicación de técnicas de biomanipulación; control de la pesca de predadores topos.

5

PLANIFICACIÓN QUE INCORPORE EL FUTURO DE MANERA INFORMADA

El suministro de agua potable en el Departamento de Maldonado plantea desafíos en calidad y en cantidad de agua, así como en la distribución del agua potabilizada. Los problemas de calidad se vinculan fundamentalmente a los procesos de eutrofización y las respuestas de los sistemas naturales a este proceso. También otras forzantes juegan un papel relevante en las respuestas a la eutrofización, particularmente la variabilidad climática, la invasión o introducción de especies, la pesca no controlada, y las transformaciones del uso del suelo y de los sistemas de gobernanza asociados a la gestión de los recursos acuáticos y naturales. La cantidad de agua representa un importante desafío hacia el este del departamento, en particular en las áreas cubiertas por Laguna Blanca y Escondida. La captación adicional del arroyo San Carlos y el intercambio con el sistema de Laguna del Sauce han logrado atender la demanda actual, pero plantea grandes desafíos en el futuro próximo. Los desafíos en el sistema de distribución no son menores teniendo en cuenta la dinámica de crecimiento poblacional, turístico y la debilidad o ausencia de planificación urbana y ordenamiento territorial que pondere el suministro de servicios clave y aspectos fundamentales de sostenibilidad socio-económica. Por último, los eventos de crisis más importantes registrados en el sistema de Laguna del Sauce o en el de Laguna Blanca hasta el momento no ocurrieron de forma simultánea, lo que no se puede descartar en el futuro. Contar con una mayor redundancia de fuentes de agua resulta clave en la planificación al 2030.



La construcción de escenarios procuró alcanzar un doble objetivo. Articular conocimientos de estudios e informes previos con los conocimientos técnicos y la experiencia de los participantes. Identificar los supuestos y sistemas anticipatorios utilizados, a los efectos de una mejor comprensión del problema y de sus soluciones alternativas para orientar acciones y estrategias.

5.1 Proceso de construcción de escenarios transformativos 2030

De acuerdo a las características de la problemática analizada el trabajo de construcción de escenarios se realizó en forma de co-creación de conocimientos desde una visión integral. Dicha aproximación favorece la superación de enfoques reduccionistas que solo analizan el problema desde alguno de sus aspectos específicos. Para enmarcar la problemática en su complejidad sistémica, se realizó un diseño de actividad que permitiera articular el conocimiento científico sistematizado con conocimientos tácitos provenientes de la práctica y saberes específicos de los participantes. Se buscó aportar valor con un encuadre más abarcativo que integrara múltiples facetas relacionadas con la problemática. La construcción de escenarios procuró alcanzar un doble objetivo. Por un lado, articular conocimientos de estudios e informes previos con los conocimientos técnicos y la experiencia de los participantes. Por otro, identificar los supuestos y sistemas anticipatorios utilizados, a los efectos de una mejor comprensión del problema y de sus soluciones alternativas para orientar acciones y estrategias.

La construcción de escenarios procuró facilitar un proceso de discusión sistemática y rigurosa en consonancia con la naturaleza del problema. Los escenarios fueron redactados de manera tal que no fuesen excluyentes, sino para ser entendidos en un contexto de complejidad creciente. El objetivo fue avanzar desde configuraciones más simples, controlables o que se entienden como más inmediatas en su implementación a secuencias evolutivas más complejas, ambiciosas y a procesos que requieren tiempo para su implementación. Finalmente se buscó explicitar los supuestos detrás de cada escenario, así como las acciones, medidas y estrategias asociadas a cada uno, procurando comprender la problemática desde distintas perspectivas, lógicas, experiencias y saberes que permitieran producir insumos para los procesos de toma de decisión.

5.2 Escenarios Transformativos 2030: Supuestos y acciones

A. MITIGAMOS MÁS Y MEJOR

Las acciones de los escenarios A, B y C involucran exclusivamente a la OSE-UGD y OSE. El primer escenario considerado al 2030, denominado A, *business as usual* o mitigamos más y mejor, implica que una parte sustancial de las características fundamentales de la problemática analizada y la estructura del sistema de gestión perduran en el tiempo sin modificaciones. Las acciones en este escenario comprenden la mitigación de las consecuencias adversas de la problemática y una parte de la causalidad. Se trata de incrementar la capacidad de resolución de interferencias en los procesos de potabilización y eliminar parte de los aportes puntuales asociados a efluentes domésticos.

Dado que en la actualidad se han culminado obras importantes en la planta potabilizadora de Laguna del Sauce, como el tanque de carbón activado en polvo a la entrada del sistema, y se ha iniciado el proceso de licitación para la incorporación de ozonización y filtros biológicos, se decidió considerar estas modificaciones dentro del escenario A. La planta de Laguna del Sauce se modificó a principio de los años 2000, pasando a un sistema invertido con flotación del flóculo con microburbujas de oxígeno. Dicha transformación permitió una muy buena performance del sistema de potabilización en la remoción de material particulado y de organismos. El desafío actual es implementar fases y procesos de potabilización del agua adicionales a los existentes que mitiguen las consecuencias adversas de la eutrofización, fundamentalmente las interferencias asociadas a sabor y olor, y presencia de cianotoxinas, particularmente de compuestos disueltos asociados en el agua bruta que generan las interferencias indicadas.

Finalmente, este escenario también incluye la construcción de infraestructura asociada al control de una parte de la causalidad del problema, básicamente incrementando el control de los aportes de efluentes domésticos asociados a los centros urbanos. Ejemplos de esto son los saneamientos de La Capuera, El Pejerrey, Solanas y Portezuelo.

Las acciones en este escenario comprenden la mitigación de las consecuencias adversas de la problemática y una parte de la causalidad. Esto implica aumentar la capacidad de resolución de interferencias en los procesos de potabilización y eliminar parte de los aportes puntuales asociados a efluentes domésticos.

Este escenario también incluye la construcción de infraestructura asociada al control de una parte de la causalidad del problema, básicamente incrementando el control de los aportes de efluentes domésticos asociados a los centros urbanos.

B. SEGUIMIENTO Y ANTICIPACIÓN

A medida que el proceso de eutrofización evoluciona existe una fase en que la variabilidad temporal de un conjunto de respuestas se incrementa en forma notoria. Algunas de las respuestas condicionan modificaciones importantes en los procesos de potabilización, así como la entrada de etapas o alternativas no utilizadas de forma permanente. Además de los aspectos logísticos y operativos, dichas modificaciones tienen un impacto económico relevante. Este escenario se construye a partir del Escenario A, adicionando la construcción de un sistema de seguimiento exhaustivo de las condiciones de la fuente de agua con un esquema protocolizado de alertas tempranas y articulación con los procesos de toma de decisión a nivel de planta potabilizadora.



Tabla 1. Resumen las principales acciones y su incidencia en el control de las causas y mitigación de las interferencias en los procesos de potabilización.

	ACCIONES	CONTROL DE LAS CAUSAS	MITIGACIÓN DE LAS INTERFERENCIAS EN LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN
ESCENARIO A	Incorporación de etapas adicionales en el tratamiento de de potabilización (filtros biológicos y ozono). Construcción de sistema de saneamiento en el sector sur de la cuenca.	Parcial	Ampliamente superior con relación a la situación actual
+			
ESCENARIO B	Construcción de un sistema de seguimiento exhaustivo de las condiciones de las fuentes de agua con un esquema protocolizado de alertas tempranas y articulación con los procesos de toma de decisión a nivel de planta potabilizadora.	Parcial	Mayor capacidad en comparación con el Escenario A
+			
ESCENARIO C	Incorporación de un equipo de trabajo que analice y defina estrategias de redundancia que involucren fuentes de agua adicionales: continentales superficiales, subterráneas o costeras.	Parcial	Mayor capacidad en comparación con el Escenario B
+			
ESCENARIO D	Cada actor o agente cumple el rol asignado formalmente y coopera interinstitucionalmente a efectos de eliminar las causas del problema planteado y la mitigación o eliminación de las consecuencias adversas. Se internalizan los costos económicos adicionales y se resuelve su financiamiento.	Ampliamente superior con relación al Escenario C	Reduce los costos asociados a los procesos de potabilización
+			
ESCENARIO E	Promoción de cambios culturales y del sistema de valores del conjunto de los usuarios, actores y agentes.	Superior con relación al Escenario D	Reduce sustancialmente los costos asociados a los procesos de potabilización, así como de las actividades de contralor y fiscalización.

Este escenario se construye a partir del Escenario A, adicionando la construcción de un sistema de seguimiento exhaustivo de las condiciones de la fuente de agua con un esquema protocolizado de alertas tempranas y articulación con los procesos de toma de decisión a nivel de planta potabilizadora.

C. MAYOR REDUNDANCIA: EXPLORAMOS Y ENCONTRAMOS NUEVAS ALTERNATIVAS

Es recomendable promover e incorporar capacidad de redundancia para enfrentar escenarios donde las condiciones de la calidad del agua en las fuentes del sistema (Laguna del Sauce + Laguna Blanca + Laguna Escondida + arroyo San Carlos) presenten condiciones muy adversas que no puedan ser resueltas con las capacidades de potabilización instaladas. Dado que el horizonte de trabajo es 2030, resulta fundamental analizar una mayor complementación entre las diferentes redes (Aglomeración

Este escenario se construye sobre el B, al que se incorpora un equipo de trabajo que analice y defina estrategias de redundancia que involucren en forma permanente o intermitente fuentes de agua continentales superficiales y subterráneas o costeras.

Central, Este del Arroyo Maldonado, José Ignacio) y la incorporación de nuevas fuentes de agua bruta. Este escenario se construye sobre el B, al que se incorpora un equipo de trabajo que analice y defina estrategias de redundancia que involucren en forma permanente o intermitente fuentes de agua continentales superficiales y subterráneas o costeras.

D. UNA GOBERNANZA AMPLIADA Y PARTICIPATIVA

Este escenario puede construirse sobre cualquiera de las alternativas anteriores. En este caso se requiere una transformación profunda del actual sistema de gobernanza donde cada actor o agente cumple el rol asignado formalmente y coopera interinstitucionalmente a efectos de eliminar las causas del problema planteado. Requiere también la mitigación o eliminación de las consecuencias adversas que afectan la provisión del conjunto de servicios ecosistémicos que aseguran el suministro de agua potable. Finalmente, el sistema incorpora todas las externalidades económicas y resuelve el financiamiento de las mismas.

En este caso se requiere una transformación profunda del actual sistema de gobernanza donde cada actor o agente cumple el rol asignado formalmente y coopera interinstitucionalmente a efectos de eliminar las causas del problema planteado. Requiere también la mitigación o eliminación de las consecuencias adversas.



E. TRANSFORMACIÓN CULTURAL, UNA SOCIEDAD INVOLUCRADA

Es recomendable considerar una variante sobre la base del escenario D, en que la meta de largo plazo, además de mejorar la performance del actual sistema de gestión, promueve cambios culturales, en particular del sistema de valores del conjunto de los usuarios, actores y agentes, se alienta la resolución de las causas y se simplifican los componentes de control y fiscalización.

Los participantes abandonan la supremacía de sus intereses personales y sectoriales en favor de una meta superior: asegurar un adecuado suministro de agua potable.

5.3 Fortalezas, debilidades y desafíos de los escenarios analizados

A. MITIGAMOS MAS Y MEJOR

Las acciones previstas en este escenario mitigan una parte importante de las consecuencias adversas de la problemática vinculadas directamente con el suministro de agua potable. Al mismo tiempo, controlan una parte de la causalidad relacionada con los aportes de nutrientes asociados a efluentes domésticos. Finalmente, permite responder de forma urgente a las expectativas de la sociedad en relación a las funciones de OSE y OSE-UGD, promoviendo la recuperación de la confianza por parte de los usuarios.

El escenario A se inscribe dentro del paradigma de comando-control, por lo que implica un abordaje parcial basado en la ilusión de la superación tecnológica. Surgen las siguientes interrogantes. ¿La incorporación de nuevas fases al tratamiento de potabilización actual permite superar todas las problemáticas de calidad de agua conocidas y aquellas que puedan ocurrir y no han sido observadas hasta el presente? ¿Los tratamientos adicionales con filtros biológicos y ozono serán permanentes o se aplicarán solamente en aquellas condiciones de calidad del agua particulares? En caso de la segunda opción: ¿cuánto tiempo se requiere para alcanzar la mayor eficiencia de los filtros biológicos? ¿Cuántos recursos económicos se ahorran bajo esta modalidad? Se valora positivamente como una primera etapa en un proceso al 2030, pero resulta insatisfactorio desde el punto de vista de la gestión integral de la problemática.

Se considera que este escenario podría ser implementado en un horizonte de tres a cinco años y que debería ser superado en sus limitaciones en un plazo no mayor a diez años. La no superación implicaría el abandono del Plan de Acción trazado por la Comisión de Cuenca y la no incorporación efectiva del conjunto de actores y agentes involucrados en la gestión. Este escenario resulta muy limitado en el control y eliminación de la causalidad principal de la problemática (aporte externo de nutrientes), ya que no incluye acciones y estrategias para el control del aporte difuso. Tampoco ataca un problema fundamental y actual de la gestión: el control y la fiscalización de las medidas acordadas en el Plan de Acción.

Las acciones previstas en este escenario mitigan una parte importante de las consecuencias adversas de la problemática vinculadas directamente con el suministro de agua potable. Al mismo tiempo, controlan una parte de la causalidad relacionada con los aportes de nutrientes asociados a efluentes domésticos.

Se valora positivamente como una primera etapa en un proceso al 2030, pero resulta insatisfactorio desde el punto de vista de la gestión integral de la problemática.

La OSE y la OSE-UGD no se visualizan como los únicos actores en el análisis y gestión de esta problemática y entienden que la implementación del Plan de Acción requiere un rol más activo de otros actores claves: MVOTMA, MGAP, sociedad civil. Debe existir un abordaje que involucre al conjunto de los actores del sistema de gobernanza actual.

En el componente de desafíos, este escenario debería incorporar el manejo hidráulico en el control de las consecuencias adversas de la eutrofización con la infraestructura disponible y explorar la posibilidad de construir una nueva represa que supere las limitaciones actuales. Por otra parte, resulta ineludible explorar el aumento de la capacidad de almacenaje en la Sierra de la Ballena como elemento para descomprimir la exigencia actual sobre el funcionamiento de la planta durante la época estival.

En el proceso de recuperar la confianza de los usuarios se entiende prioritario definir indicadores de calidad del agua simples y públicos que permitan la comprensión general de la problemática y el involucramiento de todos los actores en la resolución de la misma. Por último, se recomienda fomentar el uso racional del agua potable, evitando y penalizando el derroche.

B. SEGUIMIENTO Y ANTICIPACIÓN

Este escenario incrementa la capacidad de respuesta de la planta potabilizadora, lo que genera una mayor capacidad de anticipación a las posibles interferencias. De acuerdo a ello, aumenta la resiliencia de la performance de la planta potabilizadora en escenarios donde atributos de la calidad del agua incrementan su variabilidad en el tiempo, incluso en términos de horas. Ejemplos de este fenómeno son el pH, el contenido de oxígeno disuelto o amonio durante el colapso masivo de una floración algal, los desplazamientos rápidos de floraciones a la zona de la toma de agua por acción del viento. Los importantes cambios de la composición del fitoplancton en lapsos de días o semanas generan importantes desafíos, en particular con el componente de cianobacterias. Este escenario permite reducir los costos operativos ya que determinadas fases de tratamiento se aplican solamente en circunstancias indispensables.

La OSE y la OSE-UGD no se visualizan como los únicos actores en el análisis y gestión de esta problemática y entienden que la implementación del Plan de Acción requiere un rol más activo de otros actores claves: MVOTMA, MGAP, sociedad civil. Debe existir un abordaje que involucre al conjunto de los actores del sistema de gobernanza actual.

Este escenario debería incorporar el manejo hidráulico en el control de las consecuencias adversas de la eutrofización con la infraestructura disponible y explorar la posibilidad de construir una nueva represa que supere las limitaciones actuales. Por otra parte, resulta ineludible explorar el aumento de la capacidad de almacenaje en la Sierra de la Ballena como elemento para descomprimir la exigencia actual sobre el funcionamiento de la planta durante la época estival.



Este escenario aumenta la resiliencia de la performance de la planta potabilizadora en escenarios donde atributos de la calidad del agua incrementan su variabilidad en el tiempo, incluso en términos de horas.

Un sistema robusto de monitoreo y la actualización de la base de datos y análisis permiten evaluar también la eficacia de las medidas del Plan de Acción en el caso que se implementen.

Este escenario también contribuye a incrementar el conocimiento sobre la dinámica de los cuerpos de agua lo cual puede promover el desarrollo de modelos predictivos de corto, mediano y largo plazo. Resulta claves además incorporar nuevos programas de monitoreo de residuos de plaguicidas en matrices que acumulan; utilizar aproximaciones metagenómicas para estudiar el banco de estructuras de resistencia del sedimento; identificar los principales grupos funcionales de microorganismos en los filtros biológicos a instalar y su variabilidad en el tiempo; identificar los principales organismos responsables de la síntesis de metil-isoborneol o geosmina; Estas medidas amplían el análisis de otras problemáticas de calidad del agua que no han sido estudiadas o que pueden emerger en el futuro próximo.

Diversos componentes de monitoreo se han implementado exitosamente en el pasado reciente en el marco de programas de cooperación (algunos de ellos de larga data) entre instituciones del nivel departamental OSE-UGD, CURE, SARAS y apoyos puntuales del nivel nacional a través del MVOTMA o de OSE. Este escenario puede instrumentarse en un lapso de diez años, considerando las investigaciones y desarrollo de algunos componentes fundamentales que por el momento no se inician (por ejemplo, investigaciones a nivel de metagenómica).

Según las estrategias de comunicación utilizadas, este escenario puede promover una mayor confianza o desconfianza de parte de los usuarios del servicio del agua potable. En este sentido, se subraya la ausencia de información clave a nivel público y la falta de profesionalización en la comunicación a los usuarios. Es interesante destacar la siguiente reflexión durante el taller: “en el pasado se monitoreaba menos, se sabía menos de la fuente del agua y del agua potable, no se contaba con los controles actuales, pero el usuario confiaba más en la OSE”. Nuevamente, se enfatiza en la necesidad de diseñar e implementar estrategias de comunicación que permitan recuperar la confianza de los usuarios. En este aspecto y considerando la integración de la OSE-UGD y los usos asociados a la recreación, es fundamental la incorporación de la Intendencia Departamental.

La implementación de este escenario implica financiar costos no contabilizados y asignados a los actores vinculados. En este sentido surgen preguntas claves. ¿Qué recursos materiales y humanos se requieren para construir sistemas robustos de monitoreo, análisis y predicción? ¿Cómo se internalizan las externalidades económicas de la problemática estudiada? Considerando los comentarios previos, un gran desafío es diseñar e implementar un programa de comunicación robusto y transparente. Por último, se destaca la necesidad de profundizar las alternativas que permitan articular la información con la gestión. Esto implica generar sistemas confiables de alertas tempranas y elaborar árboles de decisión.

Este escenario también contribuye a incrementar el conocimiento sobre la dinámica de los cuerpos de agua lo cual puede promover el desarrollo de modelos predictivos de corto, mediano y largo plazo.

Se enfatiza en la necesidad de diseñar e implementar estrategias de comunicación que permitan recuperar la confianza de los usuarios.

C. MAYOR REDUNDANCIA: EXPLORAMOS Y ENCONTRAMOS NUEVAS ALTERNATIVAS

Incorporar una mayor diversidad de fuentes genera mayor resiliencia en el sistema de suministro del agua, particularmente en escenarios donde se presenten simultáneamente interferencias en más de una fuente de agua potable. Al mismo tiempo, promueve una mayor robustez del sistema frente a un crecimiento inesperado de la demanda futura. En este escenario se consideraron diferentes alternativas: construcción de un nuevo embalse en el arroyo Sauce; exploración de fuentes subterráneas próximas a las plantas de potabilización instaladas; utilización de los arroyos José Ignacio o Garzón como sistemas de respaldo en forma similar al arroyo San Carlos; instalación de plantas desalinizadoras; re-utilización del agua tratada por la planta de tratamiento de efluentes en el Jagüel para su utilización en riego y otras demandas.

Este escenario no resuelve los problemas centrales de la problemática actual de las fuentes de agua potable. Para esto debería incorporar estrategias de cuidado del agua y de control de los usos del agua potable. Se entiende además como prioritario diseñar y comunicar prácticas de racionamiento del agua potable en situaciones de crisis.

Se requiere un equipo de trabajo que analice y explore las diferentes fuentes alternativas. OSE cuenta con personal capacitado para esta tarea, pero que no se destina a estas actividades.

¿Solamente la OSE y OSE-UGD deben analizar y definir las alternativas? ¿No debería existir una articulación de las instituciones vinculadas al ordenamiento territorial?

Se considera que es posible implementar este escenario en un horizonte de quince años para lo que deben ser resueltos varios desafíos claves. En primer lugar, se requiere un equipo de trabajo que analice y explore las diferentes fuentes alternativas. Se entiende que OSE cuenta con personal capacitado para esta tarea, pero que no se destina a estas actividades. Surgen aquí las siguientes interrogantes. ¿Solamente la OSE y OSE-UGD deben analizar y definir las alternativas? ¿No debería existir una articulación de las instituciones vinculadas al ordenamiento territorial?

Es importante profundizar los vínculos y las relaciones entre el consumo de agua, los niveles de las fuentes de agua, el tiempo de residencia y la calidad del agua. En este sentido, resulta conveniente definir los volúmenes máximos utilizados de Laguna del Sauce y de las otras fuentes de agua potable. Este aspecto resulta crítico en el caso de Laguna del Sauce por funcionar como fuente principal para el departamento de Maldonado y en ocasiones como sistema de respaldo de la región este del departamento o incluso de una región costera de Canelones. Este tipo de manejo ya existe en Laguna Blanca y su sistema de respaldo (arroyo San Carlos).

D. UNA GOBERNANZA AMPLIADA Y PARTICIPATIVA

En esta configuración se promueve un análisis sistémico, integral y efectivo, que permita el análisis y la gestión de las causas y consecuencias de las problemáticas centrales consideradas. Facilita la transición hacia el manejo integrado y sostenible de los principales recursos acuáticos, incorporando todos los actores y agentes públicos y privados en la gestión. La resolución de las causas puede reducir los costos operativos de la OSE. Simultáneamente, se puede avanzar en un monitoreo continuo del uso del suelo en la cuenca y promover efectivamente planes de uso consensuados y controlables. Finalmente, puede promover transformaciones de usos del suelo compatible con la conservación de los recursos acuáticos al facilitar el intercambio y cooperación entre todos los actores involucrados.

Los participantes del taller consideraron, en su mayoría, que implementar este escenario no es factible en un lapso menor a quince años. Sin embargo, es importante destacar que el Plan



de Acción acordado por la Comisión de Laguna del Sauce en el año 2011 fue implementado luego de la crisis del otoño del 2015. En este sentido, se entiende que las crisis representan ventanas de oportunidad, y por lo tanto resulta conveniente generar aprendizajes de la experiencia y fortalecer capacidades y competencias anticipatorias. Se valora positivamente el análisis de este escenario, no para pronosticar su ocurrencia –ni para ponerle fecha–, sino para promover la reflexión e identificar las posibles acciones y estrategias que promuevan procesos virtuosos y generen sinergias positivas.

Las debilidades de este escenario se identifican en la carencia de un liderazgo claro y en la responsabilidad de asumir los roles de educación fundamentales para promover su puesta en marcha. No alcanza con generar interés en participar. Es imprescindible conocer en profundidad la problemática y comprender cómo se puede contribuir desde cada ámbito.

En esta configuración se promueve un análisis sistémico, integral y efectivo, que permita el análisis y la gestión de las causas y consecuencias de las problemáticas centrales consideradas.

Se valora positivamente el análisis de este escenario, no para pronosticar su ocurrencia –ni para ponerle fecha–, sino para promover la reflexión e identificar las posibles acciones y estrategias que promuevan procesos virtuosos y generen sinergias positivas.

Se identifican los desafíos de evaluar el sistema de gobernanza actual, el rol de las estructuras puentes y asignar recursos a todas las externalidades económicas que no puedan ser cubiertas por los presupuestos históricos de los actores y agentes involucrados.

En este escenario también se identifican los desafíos de evaluar el sistema de gobernanza actual, el rol de las estructuras puentes y asignar recursos a todas las externalidades económicas que no puedan ser cubiertas por los presupuestos históricos de los actores y agentes involucrados. Se recomienda avanzar en el análisis económico que permita evaluar los costos de inversión y operativos de los sistemas de potabilización en relación a la implementación de las medidas del Plan de Acción que revierten la causalidad de la problemática.

Existe consenso en que el actual sistema de gobernanza no funciona si no existe un control social fuerte y constructivo, así como una adecuada interacción y cooperación interinstitucional e inter-nivel. La articulación con los ámbitos de ordenamiento y planificación territorial son fundamentales. Por lo tanto se entiende importante involucrar en la Comisión de Cuenca al Ministerio de Turismo, al Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM), al Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) y a la Oficina de Planeamiento y Presupuesto (OPP).

Por último, se recomienda incorporar el diseño e implementación de las estrategias de rehabilitación condicionadas al control del aporte internos de nutrientes a efectos de acelerar la recuperación de los cuerpos de agua una vez eliminado el aporte externo de nutrientes.

E. TRANSFORMACIÓN CULTURAL, UNA SOCIEDAD INVOLUCRADA

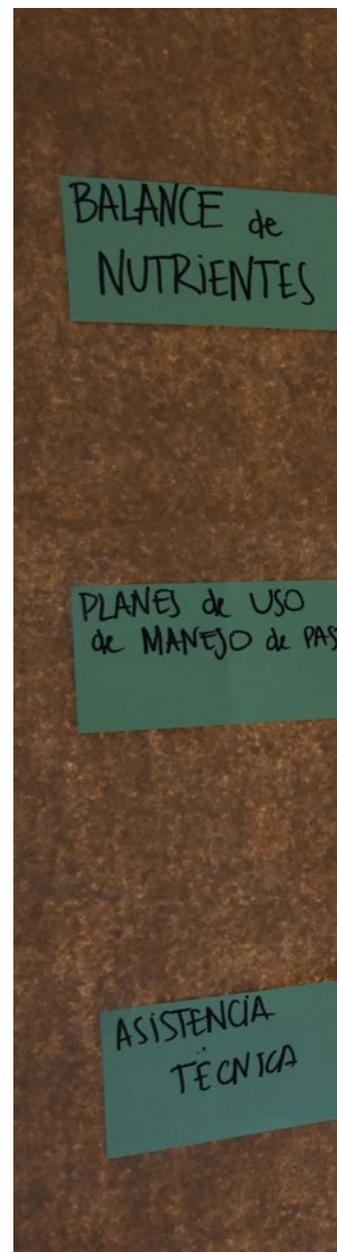
Este escenario se construye sobre el anterior, pero existe un cambio importante en el sistema de valores de los actores y agentes involucrados que promueva la responsabilidad de cada uno en la resolución de la problemática. Todos los participantes abandonan la supremacía de sus intereses personales y sectoriales en favor de una meta superior: asegurar un adecuado suministro de agua potable. Se construye sobre los pilares de educación (con énfasis en el aprendizaje), conocimiento e información.

Dicha configuración permite mayor efectividad en el contralor y su fiscalización ya que las simplifica sustancialmente. Al mismo tiempo, permite una mayor articulación público-privada y promueve una mayor confianza en los ámbitos políticos y de gestión involucrados.

Este escenario implica una profunda transformación social que puede demandar un tiempo considerable. Sin embargo, los cambios culturales son impredecibles y pueden ocurrir rápidamente, si se generan las condiciones propicias (Fernández-Armesto 2016). De forma similar al escenario anterior, resulta conveniente construir los pilares de esta transformación con la mayor prontitud posible. Existe convicción y disposición compartida entre los participantes del taller, que este escenario tiene la fortaleza de generar transformaciones sistémicas integrales, plausibles (deseables y posibles) de propiciar y comenzar a trabajar desde el presente. Existe consenso en que este escenario debería ser la meta final.

Entre los desafíos identificados se destacan la definición de un plan de gestión de la cuenca y de ordenamiento territorial en el menor plazo posible y el diseño de un sistema de incentivos que promueva la implementación de medidas que eliminen la causalidad de la problemática central. Se recomienda además diseñar campañas para la disminución del consumo de agua potable para usos como la jardinería u otros que no requieren procesos de potabilización, y finalmente medidas orientadas a la disminución del consumo per cápita mediante instrumentos como el etiquetado verde o compensaciones en la facturación del suministro de agua

Los participantes abandonan la supremacía de sus intereses personales y sectoriales en favor de una meta superior: asegurar un adecuado suministro de agua potable.



	ACTIVIDAD PRODUCTIVA	FAJLIDAD	ORGANIZACIÓN	NECESIDAD DE AYUDA ECONÓMICA
→ DECLARACIÓN de INSUMOS	B	M/A	ORGANIZACIÓN EN AREA SURABO	NO
→ DOTACIÓN (AJUSTE)	B	B/M	NO	
→ USO de INFORMACIÓN				
→ MEDIDAS a TOMAR				

→ Presupuestación forrajera
 → Rotación Pastoral + dotación
 → Uso adecuado de fuentes SOLUBLES de P.
 → Buenas Prácticas Aplicación Paquerda! + Omigalores!



6

CONSIDERACIONES FINALES

La arquitectura de la gobernanza experimental consiste en cuatro fases (Sabel y Zeitlin 2011): (a) el establecimiento de un marco de objetivos (hoja de ruta) y de criterios para medir su consecución que serían provisionalmente adoptados por alguna combinación de unidades “centrales” y “locales” de gobierno, con la obligada consulta a los actores (stakeholders) más relevantes; (b) las unidades locales que disponen de un amplio margen de discreción para perseguir estos objetivos de la manera que estimen más apropiada; (c) como condición de esta autonomía, las unidades locales deben informar regularmente de su actuación y participar en procesos de peer review donde los resultados son comparados especialmente con aquellos que han utilizado diferentes medios para alcanzar los mismos fines; (d) los objetivos, los criterios y los procedimientos de toma de decisiones son periódicamente revisados por un amplio círculo de actores públicos y privados, dando respuesta a los problemas y alternativas de solución que se han revelado en los procesos de evaluación. Una vez culminado el ciclo se repite.



El modelo dominante de gestión de los recursos acuáticos en Uruguay se basa en enfoques positivistas, racionales, lineales, jerárquicos y segmentados para abordar la complejidad dinámica de los procesos de toma de decisiones.

El modelo dominante de gestión de los recursos acuáticos en Uruguay se basa en enfoques positivistas, racionales, lineales, jerárquicos y segmentados para abordar la complejidad dinámica de los procesos de toma de decisiones. Uno de los grandes desafíos es avanzar hacia una nueva forma de co-creación de conocimiento para la resolución de problemas complejos con enfoques interdisciplinarios y transdisciplinarios que reúnan conocimientos académicos y no-académicos, y diversidad de saberes y lógicas. Cada vez resultan más evidentes las deficiencias de los modos prevalentes de generar, gestionar y circular el conocimiento. Esto no significa que el reduccionismo y el pensamiento sistémico sean alternativas excluyentes. Por el contrario, se trata de aproximaciones complementarias que permiten comprender y gestionar el mundo que nos rodea. El análisis de los problemas complejos requiere un diálogo entre ambas aproximaciones y el concurso y la interacción entre dominios disciplinares como las ciencias naturales, las ciencias sociales, las ciencias de la salud, las ciencias económicas, las ingenierías. Esto solamente será posible si existe una base común para el intercambio: Teoría de Sistemas y en particular de Sistemas Complejos y Adaptativos (Mazzeo et al. 2017).

La distinción entre las fuentes de incertidumbre resulta clave ya que demanda diferentes métodos y aproximaciones para incorporarlas en los procesos de toma de decisión. La incertidumbre epistémica se deriva del conocimiento imperfecto de un sistema, mientras que la ontológica se relaciona con la variabilidad inherente y la imprevisibilidad en el propio sistema (Brugnach et al. 2008, Lane y Maxfield 2005, Walker et al. 2013). La interacción de las incertidumbres

provenientes de diferentes sistemas (sociales, económicos, naturales) ha añadido otra capa de complejidad al incorporar dicha propiedad en la formulación de estrategias, planes o políticas (Drieschova y Fischhendler 2012, Miller et al. 2018). Ésta radica en gran medida en el conocimiento imperfecto del comportamiento humano y en su variabilidad inherente y por lo tanto en la imprevisibilidad de dicho comportamiento. La incertidumbre en los sistemas económicos, sociales y políticos es tanto o más crítica para la formulación de estrategias, planes o políticas que la incertidumbre asociada a los sistemas naturales. El hecho de que haya múltiples actores involucrados en estos procesos, cada uno con sus propios sistemas de creencias, opiniones, supuestos anticipatorios, preferencias e intereses, y por lo tanto sus propias interpretaciones de la misma información, da lugar a un nuevo tipo de incertidumbre: la ambigüedad (Brugnach et al. 2008).

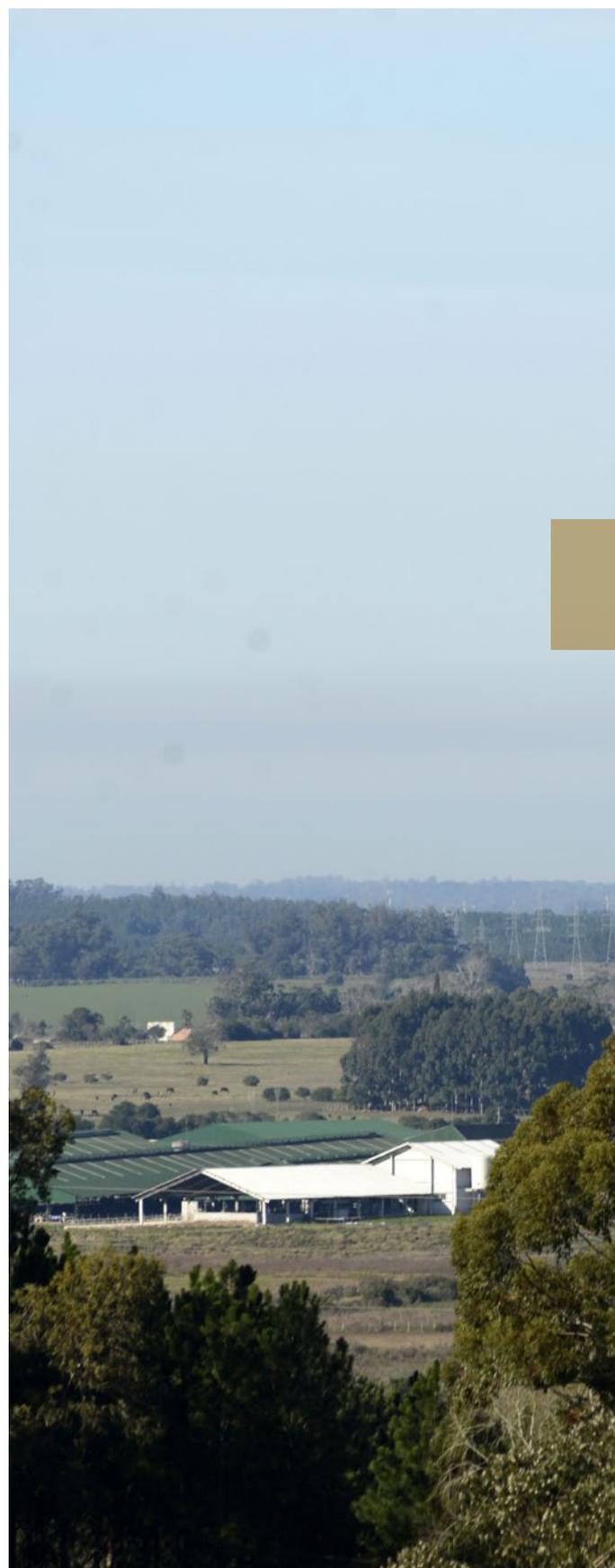
Un primer desafío para abordar la incertidumbre es mejorar la visión anticipatoria para movilizar a la gente y transformar visiones colectivamente co-construidas y vinculadas a la acción. Como señalaran Meadows et al. (1992), "La visión sin acción es inútil, pero la acción sin visión no sabe a dónde ir o por qué ir allí" (1992: 224). La visión desempeña un papel crucial en la construcción del futuro y, cuando se fusiona con el pensamiento crítico, tiene el potencial de conectarse con los motivos y las aspiraciones de las personas y conducir a una acción intencionada e informada (Tilbury y Wortman 2004). El pensamiento de anticipación requiere de imaginación social, de entendimiento crítico desde una perspectiva tanto intelectual como emocional, del diálogo reflexivo que incluya el descubrimiento

La distinción entre las fuentes de incertidumbre resulta clave ya que demanda diferentes métodos y aproximaciones para incorporarlas en los procesos de toma de decisión.

de suposiciones subyacentes a nuestro sistema de valores, y finalmente de la acción colaborativa (Miller 2006, Miller et al. 2018, Jensen y Xun Wu 2016, Tilbury y Wortman 2004, Wiek e Iwaniec 2014). Esto enfatiza desde un encuadre de doble bucle reflexivo de aprendizaje –aprender de cómo aprendemos- (double loop learning, Argyris y Schön 1978), en base a los aprendizajes de las experiencias, para sistematizar y modelarlas (desde un enfoque analógico) como insumos para la retroalimentación en el diseño de políticas públicas (aprendizaje social) desde una gobernanza anticipatoria.

Una visión jerarquizada, centralista y vertical del Estado es incapaz de enfrentarse a las necesidades de flexibilidad, incertidumbre, novedad, experimentación y constante adaptación que requiere la solución de problemáticas como la considerada en el presente trabajo. Una respuesta a ello es el desarrollo de capacidades de experimentación frente a problemas impredecibles y cambiantes, y aprender ejerciendo tolerancia frente a lo desconocido, la incertidumbre y el fracaso. Como condición previa se necesitan cambios en el funcionamiento organizacional (marco normativo, estructural y funcional), así como nuevas capacidades y competencias para avanzar hacia un proceso de descentralización.

La arquitectura de la gobernanza experimental consiste en cuatro fases (Sabel y Zeitlin 2011): (a) el establecimiento de un marco de objetivos (hoja de ruta) y de criterios para medir su consecución que serían provisionalmente adoptados por alguna combinación de unidades “centrales” y “locales” de gobierno, con la obligada consulta a los actores (stakeholders) más relevantes; (b) las unidades locales que disponen de un amplio margen de discreción para perseguir estos objetivos de la manera que estimen más apropiada; (c) como condición de esta autonomía, las unidades locales deben informar regularmente de su actuación y participar en procesos de peer review donde los





gobernanza experimental

reflexión estratégica

uso del futuro



Una visión jerarquizada, centralista y vertical del Estado es incapaz de enfrentarse a las necesidades de flexibilidad, incertidumbre, novedad, experimentación y constante adaptación que requiere la solución de problemáticas como la considerada en el presente trabajo.

resultados son comparados especialmente con aquellos que han utilizado diferentes medios para alcanzar los mismos fines; (d) los objetivos, los criterios y los procedimientos de toma de decisiones son periódicamente revisados por un amplio círculo de actores públicos y privados, dando respuesta a los problemas y alternativas de solución que se han revelado en los procesos de evaluación. Una vez culminado el ciclo se repite.

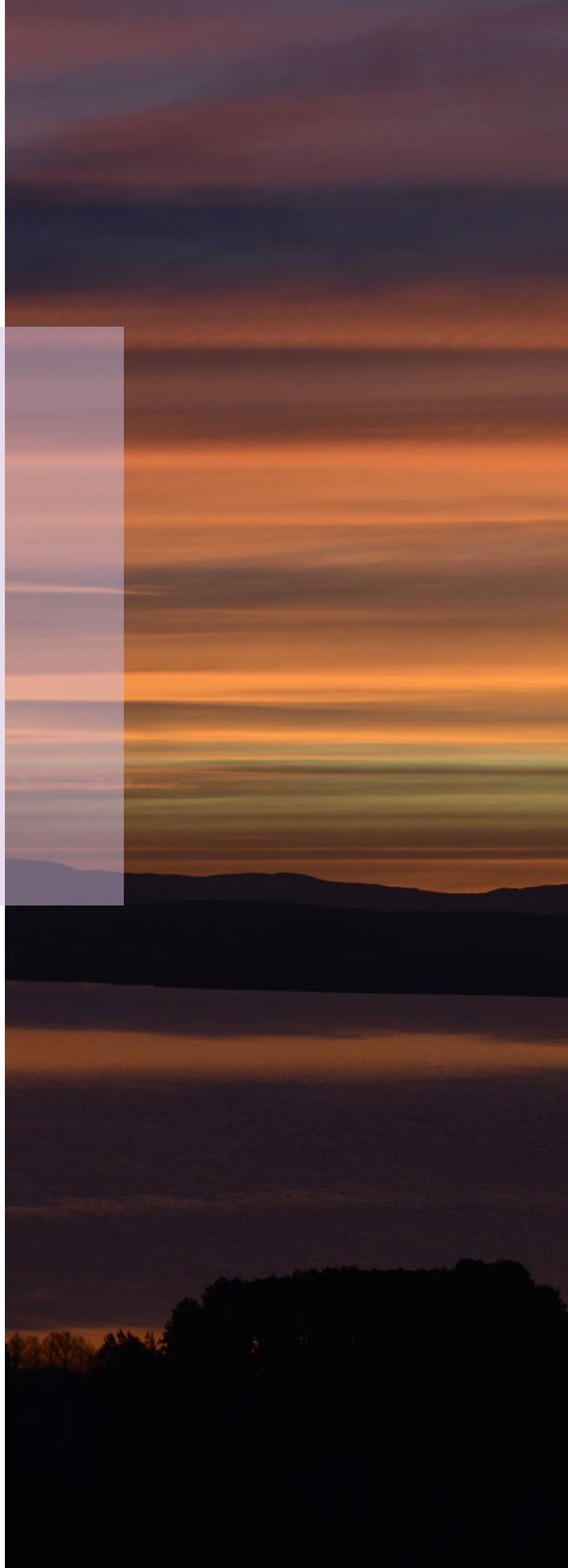
La reflexión estratégica en base a escenarios transformativos es una herramienta útil para examinar y cambiar supuestos y sistemas anticipatorios implícitos en imaginarios futuros, fortaleciendo capacidades y competencias que usan el futuro para descubrir mayores y mejores alternativas en el presente. Si se diseñan como sistemas anticipatorios en base a inteligencia colectiva, involucrando a comunidades locales, se puede tener mayor incidencia sobre las trayectorias de los sistemas socio-ecológicos, identificando acciones y políticas para incrementar las capacidades de adaptación y resiliencia creativa promoviendo procesos de transformación. Constituye una importante herramienta para los procesos de toma de decisión que promueve el aprendizaje, la innovación, la legitimación y la apropiación de las acciones (Miller et al. 2018, Tschakert y Dietrich 2010, Walker et al. 2002, Walker y Salt 2006, Wesche y Armitage 2014).

El uso del futuro a nivel de la toma de decisiones tiene en sí mismo una complejidad relevante. De acuerdo a las investigaciones en sistemas anticipatorios (Rosen 1985, Miller y Poli 2010) se demuestra una fuerte correspondencia entre cómo imaginamos / visualizamos / pensamos / creemos el futuro, y el presente (alternativas) que vemos. Esos imaginarios de futuro son los que orientan en gran parte nuestras decisiones. De esta manera, cada decisión 'abre' un futuro, pero y tal vez esto sea lo más importante, 'cierra' muchos otros posibles. Profundizar en este aspecto es ineludible para ampliar las alternativas de elección en el presente.



El pensamiento de anticipación requiere de imaginación social, de entendimiento crítico desde una perspectiva tanto intelectual como emocional, del diálogo reflexivo que incluya el descubrimiento de suposiciones subyacentes a nuestro sistema de valores, y finalmente de la acción colaborativa.

Cada decisión 'abre' un futuro, pero y tal vez esto sea lo más importante, 'cierra' muchos otros posibles.







Referencias

Andresen, B.B. 2008. Scenario planning and learning technologies. The foundation of lifelong learning. In: IFIP International Federation for Information Processing, Volume 281: Learning to Live in the Knowledge Society; Kendall, M. & Samways, B. (eds). Springer, Boston. pp: 29–36.

Argyris, C. & Schon, D. A. 1978. Organizational learning: A theory of action perspective. Addison-Wesley Series on Organization Development.

Beder, J., Bianchi, P., Cedrés, F., Fuentes, M., Pittaluga, B. & Taveira, G. 2014. Agua potable en Maldonado. Aportes para la gestión en la cuenca de Laguna del Sauce. Taller 3, Licenciatura en Gestión Ambiental. CURE-UdelAR.

Bennett, N.J., Kadfak, A. & P. Dearden. 2016. Community-based scenario planning: a process for vulnerability analysis and adaptation planning to social–ecological change in coastal communities. *Environmental Development Sustainability* 18: 1771–1799

Berkes, F., Colding, J. & Folke, C. 2003. Navigating social-ecological systems: building resilience for complexity and change. Cambridge University Press, Cambridge.

Berkhout, F., Hertin, J. & Jordan, A. 2002. Socio-economic futures in climate change impact assessment: Using scenarios as ‘learning machines’. *Global Environmental Change* 12(2): 83–95.

Bianchi, P., Taveira, G., Puente, R., Steffen, M., Gadino, I., Barindelli, N., Inda, H., Goyenola, G. & Mazzeo, N. 2018. Estrategias de rehabilitación de Laguna del Sauce desde la perspectiva del Ordenamiento Territorial. En: Aportes para la rehabilitación de la Laguna del Sauce y el Ordenamiento Territorial de su cuenca. Bianchi, P., Taveira, G., Steffen, M. & Inda, H. (eds). Diseño gráfico: Bianchi, P. & Taveira, G. Diseño fotográfico: Orxilia, G. & Bianchi, P. Instituto SARAS2, Bella Vista, Maldonado.

Bidegain, M., Crisci, C., del Puerto, L., Inda, H., Mazzeo, N., Taks, J. & R. Terra. 2013. Variabilidad climática de importancia para el sector productivo. En: *Clima de cambios, nuevos desafíos de adaptación en Uruguay*. Compilación. Oyhantcabal W., Sancho D. & M. Galvan (eds). FAO. pp: 43-99

Biggs, R., Schlüter, M. & Schoon, M.L. (eds). 2015. Principles for building resilience. Sustaining ecosystem services in social-ecological systems. Cambridge, Cambridge University Press.

Birkmann, J., Cutter, S.L., Rothman, D.S., Welle, T., Garschagen, M., Ruijven, B., O’Neill, B., Preston, B.L., Kienberger, S., Cardona, O.D., Siagian, T., Hidayati, D., Setiadi, N., Binder, C.R., Hughes, B. & Pulwarty, R. 2013. Scenarios for vulnerability: Opportunities and constraints in the context of climate change and disaster risk. *Climatic Change* 133: 53.

Brown, V.A., Harris, J.A. & Russel, J.Y. (eds). 2010. Tackling wicked problems through the transdisciplinary imagination. Earthscan. London, Washington.

- Brugnach, M., Dewulf, A., Pahl-Wostl, C., & Taillieu, T. 2008. Toward a relational concept of uncertainty: About knowing too little, knowing too differently, and accepting not to know. *Ecology and Society*; 13(2), 30.
- Chapin, III F.S., Folke, C. & Kofinas, G.P. 2009. A Framework for Understanding Change. En: Principles of ecosystem stewardship, Resilience-based natural resource management in a changing world. Chapin III F.S., Folke, C. & Kofinas, G.P. (eds.). Springer Science+Business Media. 2009. : 3-28.
- Crisci, C., Terra, R., Pacheco, J.P., Ghattas, B., Bidegain, M., Goyenola, G., Lagomarsino, J.J., Méndez, G., Mazzeo N. 2017a. Multi-model approach to predict phytoplankton biomass and composition dynamics in a eutrophic shallow lake governed by extreme meteorological events. *Ecological Modelling* 360: 80–93
- Crisci, C., Goyenola, G., Terra, R., Lagomarsino, J.J., Pacheco, J.P., Díaz, I., González-Madina, L., Levrini, P., Méndez, G., Bidegain, M., Ghattas, B. & Mazzeo N. 2017b. Ecosystem dynamics and water quality: monitoring strategies for the management of Sauce Lake (Maldonado, Uruguay) services. *INNOTECH* 13: 46 - 57
- del Puerto, L., García-Rodríguez, F., Bracco, R., Blasi, A., Inda, H., Mazzeo, N. & Rodríguez, A. 2011. Evolución climática Holocénica para el Sudeste del Uruguay: Análisis multi-proxy en testigos de lagunas costeras. En: *El Holoceno en la zona costera del Uruguay*. García Rodríguez, F. (Compilador). Unidad de Comunicación de la UdelaR. Montevideo. pp: 117-154
- Dolman, A.M., Rücker, J., Pick, F.R., Fastner, J., Rohrlack, T., Mischke, U. & Wiedner, C. 2012. Cyanobacteria and cyanotoxins: the influence of nitrogen versus phosphorus. *PLoS ONE* 7(6): e38757.
- Drieschova, A., & Fischhendler, I. 2012. A toolkit of mechanisms to reduce uncertainty in international water treaties. Jerusalem: The Hebrew University of Jerusalem. CLICO project.
- Evans, K., de Jong, W., & Cronkleton, P. 2008. Future scenarios as a tool for collaboration in forest communities. *Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society* 1(2): 97–103.
- Fernández-Armesto, F. 2016. *Un pie en el río. Sobre el cambio y los límites de la evolución*. Turner Noema, Madrid.
- Folke, C. 2016. "Resilience (Republished)". *Ecology and Society* 21(4):44.
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. 2005. Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources* 30: 441–473.
- Gadino, I., Barindeli, N. & Goñi, A. 2018. Ordenamiento y planificación territorial en el contexto de la gestión integrada de cuencas. En: *Aportes para la rehabilitación de la Laguna del Sauce y el Ordenamiento Territorial de su cuenca*. Bianchi, P., Taveira, G., Steffen, M. & Inda, H. (eds). Diseño gráfico: Bianchi, P. & Taveira, G. Diseño fotográfico: Orxilia, G. & Bianchi, P. Instituto SARAS, Bella Vista, Maldonado.
- García-Rodríguez, F., Sprechmann, P., Metzeltin, D., Scafati, L., Melendi, D.L., Volkheimer, W., Mazzeo, N., Hiller, A., Tümping Jr, W. & Scasso F. 2004. Holocene trophic state changes in relation to sea level variation in Lake Blanca, SE Uruguay. *Journal of Paleolimnology*. 31: 99-115.
- Gerhard, M., Iglesias, C., Clemente, J., Goyenola, G., Meerhoff, M., Pacheco, J.P., Teixeira de Mello, F. & Mazzeo N. 2016. What can resting egg banks tell about cladoceran diversity in a shallow subtropical lake? *Hydrobiologia* 798(1): 75–86



González-Madina, L., Pacheco, J.P., Mazzeo, N., Levrini, P., Clemente, J., Lagomarsino, J.J. & Fosalba, C. 2017. Environmental drivers of phytoplankton with focus on potentially toxic cyanobacteria in a shallow lake used as drinking water source: Sauce Lake, Maldonado, Uruguay. *INNOTEC* 13: 26 – 35

González-Madina, L., Pacheco, J.P., Yema, L., de Tezanos, P., Levrini, P., Clemente, J., Crisci, C., Lagomarsino, J.J., Méndez, G., Fosalba, C., Goyenola, G. & Mazzeo, N. Drivers of cyanobacteria dominance, composition and nitrogen fixing behavior in a shallow lake with alternative regimes in time and space, Laguna del Sauce (Maldonado, Uruguay). *Hydrobiologia* <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3628-6>

Goyenola, G., Iglesias, C., Mazzeo, N. & Jeppesen E. 2011. Analysis of the reproductive strategy of *Jenynsiamultidentata* (Cyprinodontiformes, Anablepidae) with focus on sexual differences in growth, size and abundance. *Hydrobiologia* 673:245–257

Gunderson, L. H., & Holling, C. S. (eds.). 2002. *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems*. Island Press, Washington, D.C.

Hamilton, M. C., Thekdi, S. A., Jenicek, E. M., Harmon, R. S., Goodsite, M. E., Case, M. P., Karvetsjki, C.W. & Lambert, J.H. 2013. Case studies of scenario analysis for adaptive management of natural resource and infrastructure systems. *Environment Systems & Decisions* 33(1): 89–103.

Havens, K.E. & Paerl, H.W. 2015. Climate change at a crossroad for control of harmful algal blooms. *Environmental, Science and Technology* 49: 12605–12606

Iglesias, C., Goyenola, G., Mazzeo, N., Meerhoff, M., Rodó, E. & Jeppesen E. 2007. Horizontal dynamics of zooplankton in subtropical Lake Blanca (Uruguay) hosting multiple zooplankton predators and aquatic plant refuges. *Hydrobiologia*: 584: 179-189.

Iglesias, C., Mazzeo, N., Goyenola, G., Fosalba, C., Teixeira de Mello, F., García, S., Ballabio, R. & Jeppesen E. 2008. Field and experimental evidence of predation role of *Jenynsia multidentata* *Jenynsia* (Cyprinodontiforme, Anablepidae) on zooplankton structure in subtropical ecosystems. *Freshwater Biology* 53: 1797–1807.

Iglesias, C., Mazzeo, N., Meerhoff, M., Lacerot, G., Clemente, J.M., Scasso, F., Kruk, C., Goyenola, G., García-Alonso, J., Amsinck, S.L., Paggi, J.C., José de Paggi, S. & Jeppesen E. 2011. High predation is of key importance for dominance of small-bodied zooplankton in warm shallow lakes: evidence from lakes, fish enclosures and surface sediments. *Hydrobiologia* 667: 133-147

Iglesias, C., Meerhoff, M., Johansson, L.S., González-Bergonzoni, I., Mazzeo, N., Pacheco, J.P., Teixeira-de Mello, F., Goyenola, G., Lauridsen, T.L., Søndergaard, S., Davidson, T.A. & Jeppesen, E. 2016. Stable isotope analysis confirms substantial differences between subtropical and temperate shallow lake food webs. *Hydrobiologia* 784 (1): 111–123

Iglesias, C., Jeppesen, E., Mazzeo, N., Pacheco, J.P., Teixeira-de Mello, F., Landkildehus, F., Fosalba, C., Clemente, J.M. & Meerhoff, M. 2017. Fish but not macroinvertebrates promote trophic cascading effects in high density submersed plant experimental lake food webs in two contrasting climate regions. *Water* 9, 514.

Jensen, O. & Xun Wu, X. 2016 Embracing uncertainty in policy-making: the case of the water sector. *Policy and Society* 35(2):115-123.

Jeppesen, E., Meerhoff, M., Holmgren, K., González-Bergonzoni, I., Teixeira-de Mello, F., Declerck, S.A., De Meester, L., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Bjerring, R., Conde-Porcuna, J.M., Mazzeo, N., Iglesias, C., Reizenstein, M., Malmquist, H.J., Liu, Z., Balayla, D. & Lazzaro X. 2010. Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia* 646: 73-90

Jüttner, F. & Watson, S. Biochemical and ecological control of geosmin and 2 methylisoborneol in source waters. *Applied and Environmental Microbiology* 73(14): 4395-406.

Kosten, S., Huszar, V.L.M., Bécares, E., Costa, L.S., 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. 2012. Warmer climate boosts cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology*. 18: 118-126.

Kruk, C., Rodríguez-Gallego, L., Quintans, F., Lacerot, G., Scasso, F., Mazzeo, N., Meerhoff, M. & Paggi J.C. 2006. Biodiversidad y calidad de agua de 18 pequeñas lagunas en la costa sureste de Uruguay. En: Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya. Menafrá, R., Rodríguez-Gallego, L., Scarabino, F. & Conde, D. (eds). *Vida Silvestre Uruguay*, Montevideo. pp: 599-610.

Kruk, C., Rodríguez-Gallego, L., Meerhoff, M., Quintans, F., Lacerot, G., Mazzeo, N., Scasso, F., Paggi, J., Peeters, E. & Scheffer, M. 2009. Determinants of diversity in subtropical shallow lakes (Atlantic coast, Uruguay). *Freshwater Biology* 54 (12): 2628-2641

Lane, D.A & Maxfield, R.R. 2005. Ontological uncertainty and innovation. *Journal of Evolutionary Economics*. Springer, Berlin.

Lankshear, C. & Knobel, M. 2006. *New literacies. Everyday practices and classroom learning*. Second edition. Open University Press. McGraw-Hill Education, Berkshire.

Levrini, P. 2018. Análisis espacio-temporal de las propiedades físico-químicas en la red de tributarios de la cuenca de Laguna del Sauce (Maldonado) y su relación con controles naturales y de origen antrópico. Tesina final de la Licenciatura en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias-UdelaR.

Mahmoud, M., Liu, Y., Hartmann, H., Stewart, S., Wagener, T., Semmens, D., Stewart, R., Gupta, H., Dominguez, F., Hulse, D., Letcher, R., Rashleigh, B., Smith, C., Street, R., Ticehurst, J., Twery, M., van Delden, H., Waldick, R., White, D. Winter L 2009. A formal framework for scenario development in support of environmental decision-making. *Environmental Modelling and Software* 24(7):798-808

Marroni, S., Iglesias, C., Mazzeo, N., Clemente, J.M., Teixeira de Mello, F. & Pacheco J.P. 2014. Alternative food consumption of native (*Diplodon parallelipedon*) and non-native (*Corbicula fluminea*) bivalves from a subtropical eutrophic lake: patterns and possible consequences on eutrophication processes. *Hydrobiologia*. 735:263-276

Marroni, S., Mazzeo, N., Pacheco, J.P., Clemente, J. & Iglesias, C. 2016. Interactions between bivalves and zooplankton: competition or intraguild predation? Implications for biomanipulation in subtropical shallow lakes. *Marine and Freshwater Research* 67:1-8

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. En: Domínguez, A. & R.G. Prieto (eds.). *Perfil Ambiental*, Nordan-Comunidad, Montevideo. pp: 39-55.

Mazzeo, N., Rodríguez-Gallego, L., Kruk, C., Meerhoff, M., Gorga, J., Lacerot, G., Quintans, F., Loureiro, M., Larrea, D. & García-Rodríguez, F. 2003. Effects of *Egeria densa* Planch beds in a shallow lake without piscivorous fish. *Hydrobiologia* 506-509:591-602.



Mazzeo, N., García-Rodríguez, F., Rodríguez, A., Méndez, G., Iglesias, C., Inda, H., Goyenola, G., García, S., Fosalba, C., Marroni, S., Crisci, C., del Puerto, L., Clemente, J., Pacheco, J.P., Carballo, C., Kröger, A., Vianna, M., Meerhoff, M., Steffen, M., Lagomarsino, J.J., Masdeu, M., Vidal, N., Teixeira de Mello, F., González Bergozoni, I. & Larrea D. 2010a. Estado trófico de Laguna del Sauce y respuestas asociadas En: Bases técnicas para el manejo integrado de Laguna del Sauce y cuenca asociada. Steffen M. & Inda H. (eds). Universidad de la República y South American Institute for Resilience and Sustainability Studies (SARAS). pp: 31-51.

Mazzeo, N., Rodríguez, A., Fort, H. & Scheffer, M. 2010b. Eutrofización de lagos o reservorios poco profundos. En: Bases técnicas para el manejo integrado de Laguna del Sauce y cuenca asociada. Steffen M. & Inda H. (eds). Universidad de la República y South American Institute for Resilience and Sustainability Studies (SARAS). pp: 19-29.

Mazzeo, N., Iglesias, C., Teixeira-de Mello, F., Borthagaray, A., Fosalba, C., Ballabio, R., Larrea, D., Vilches, J., García, S., Pacheco, J.P., Jeppesen, E. 2010c. Trophic cascade effects of *Hoplias malabaricus* (Characiformes, Erythrinidae) in subtropical lakes food webs: a mesocosm approach. *Hydrobiologia* 644:325-335

Mazzeo, N., Steffen, M., Inda, H., Goyenola, G., Clemente, J., Teixeira de Mello, F., Iglesias, C., Pacheco, J.P. & Sciandro, J. 2015. Navegando una transición múltiple. En: Recursos hídricos: usos, tecnologías y participación social. *Café Tertulia, Colección 2/3. Espacio Interdisciplinario*. pp: 29-36.

Mazzeo, N., Zurbriggen, C., Trimble, M., Bianchi, P., Gadino, I. & Steffen, M. 2017. Sostenibilidad ambiental del Uruguay: aportes desde el pensamiento resiliente. R Monográfico. *Revista de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo*. Mayo Sustentable: 28-31

Mazzeo, N., Lagomarsino, J.J., Méndez, G., Teixeira de Mello, F., Goyenola, G., Crisci, C., Pacheco, J.P., Juan Clemente, Stábile, F., Fosalba, C., Levrini, P., Inda, H., González-Madina, L., De Tezanos, P., Marroñi, S. & Iglesias, C. 2018a. ¿Cuál es el estado trófico de Laguna del Sauce? En: Aportes para la rehabilitación de la Laguna del Sauce y el Ordenamiento Territorial de su cuenca. Bianchi, P., Taveira, G., Steffen, M. & Inda, H. (eds). Diseño gráfico: Bianchi, P. & Taveira, G. Diseño fotográfico: Orxilia, G. & Bianchi, P. Instituto SARAS, Bella Vista, Maldonado.

Mazzeo, N., Goyenola, G., Puentes, R., Teixeira de Mello, F., Clemente, J., Iglesias, C., Pacheco, J.P., Inda, Crisci, C. & Soledad Marroni, S. 2018b. ¿Cuáles son las posibles estrategias de rehabilitación de la Laguna del Sauce? En: Aportes para la rehabilitación de la Laguna del Sauce y el Ordenamiento Territorial de su cuenca. Bianchi, P., Taveira, G., Steffen, M. & Inda, H. (eds). Diseño gráfico: Bianchi, P. & Taveira, G. Diseño fotográfico: Orxilia, G. & Bianchi, P. Instituto SARAS, Bella Vista, Maldonado.

Meadows, D.H., D. L. Meadows D.L. & Randers, J. 1992. *Beyond the limits: confronting global collapse, envisioning a sustainable future*. Post Mills, Chelsea Green.

Merel, S., Walker, D.B., Chicana, R., Snyder, S.A., Baurés, E. & Thomas, O. 2013. State of knowledge and concerns on cyanobacterial blooms and cyanotoxins. *Environmental International* 59:303-325

Mahmoud, M., Liu, Y., Hartmann, H., Stewart, S., Wagener, T., Semmens, D., Stewart, R., Gupta, H., Dominguez, D., Dominguez, F., Hulse, D., Letcher, R., Rashleigh, B., Smith, C., Street, R., Ticehurst, J., Twery, M., van Delden, H., Waldick, R., White, D. & Winter, L. A formal framework for scenario development in support of environmental decision-making. *Environmental Modelling & Software* 24: 798-808

Miller, R. 2006. *From trends to futures literacy: Reclaiming the future*. Melbourne, Seminar Series Papers No. 160/Centre of Strategic Education.

- Miller, R. 2007. Futures literacy: A hybrid strategic scenario method. *Futures* 39: 341–362
- Miller, R. & Poli, R. 2010. Foresight. Anticipatory systems and the philosophical foundations of future studies. *Emerald* 12(3): 1-4
- Miller, R., Rossel, P. & Jorgensen, U. 2012. Future studies and weak signals. A critical survey. *Futures* 44: 195–197
- Miller, R., Poli, R., Rossel, P. & Simard, N. 2018. Transforming the future, anticipation in the 21 st century. Routledge-UNESCO Co-publication.
- Moss, B. 2008. Water pollution by agriculture. *Philosophical Transaction of Real Society. Serie B* 363: 659–666
- Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R.W., Jeppesen, E., Mazzeo, N., Havens, C., Lacerot, G., Liu, Z., De Meester, L., Paerl, H. & Scheffer M. 2011. Allied attack: climate change and eutrophication. *Inland Waters* 1: 101-105
- Pahl-Wostl, C. 2015. *Water Governance. Concepts, Methods, and Practice.* Springer International Publishing Switzerland
- Palacios-Agundez, I., Casado-Arzuaga, I., Madariaga, I., & Onaindia, M. 2013. The relevance of local participatory scenario planning for ecosystem management policies in the Basque Country, Northern Spain. *Ecology & Society* 18(3): 7.
- Peterson, G. D., Cumming, G. S., & Carpenter, S. R. 2003. Scenario planning: A tool for conservation in an uncertain world. *Conservation Biology*, 17(2), 358–366.
- Plieninger, T., Bieling, C., Ohnesorge, B., Schaich, H., Schleyer, C., & Wolff, F. 2013. Exploring futures of ecosystem services in cultural landscapes through participatory scenario development in the Swabian Alb, Germany. *Ecology and Society*, 18(3).
- Robinson, J., Burch, S., Talwar, S., O’Shea, M., & Walsh, M. 2011. Envisioning sustainability: Recent progress in the use of participatory backcasting approaches for sustainability research. *Technological Forecasting and Social Change* 78(5): 756–768.
- Sabel Ch. & Zeitlin J. 2011. Experimentalist Governance. In: *The Oxford Handbook of Governance* David Levi-Faur (ed). Oxford, University Press.
- Scheffer, M. 2009. *Critical transition in nature and society.* Princeton, Princeton University Press.
- Schwenker, B. & Wulf, T. (eds). 2013. *Scenario-based strategic planning. Developing Strategies in an uncertain world.* Springer, Fachmedien Wiesbaden
- Sheppard, S. R. J., Shaw, A., Flanders, D., Burch, S., Wiek, A., Carmichael, J., et al. 2011. Futurevisioning of local climate change: A framework for community engagement and planning with scenarios and visualisation. *Futures* 43(4): 400–412.
- Silveira, L. & Alonso, J. 2009. Runoff modifications due to the conversion of natural grasslands to forests in a large basin in Uruguay. *Hydrological Processes* 23: 320 – 329
- Silveira, L., Gamazo, P, Alonso, J. & Martínez, L. 2016. Substitution of natural grasslands by Eucalyptus plantation and its effects on groundwater recharge and water budget in the west region of Uruguay. *Hydrological Processes* 30(20):3596-3608



Snoek, M. 2003. The Use and Methodology of Scenario Making. *European Journal of Teacher Education* 26 (1): 123-135.

Stábile, F. 2018. Presencia de plaguicidas y estructura de la red trófica del sistema Laguna del Sauce: hacia el desarrollo de estrategias de biomonitorio. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, PEDECIBA-UdelaR.

Steffen, M. 2012. Barreras que limitan la conservación de servicios ecosistémicos: análisis del caso de Laguna del Sauce. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. UdelaR.

Steffen, M., Inda, H., Bianchi, P., Puente, R., Taveira, G., Teixeira de Mello, F., Goyenola, G., Méndez, G., Lagomarsino, J.J., Clemente, J., Nin, M. & Mazzeo, N. Avances, desafíos y oportunidades en el actual sistema de gobernanza En: Aportes para la rehabilitación de la Laguna del Sauce y el Ordenamiento Territorial de su cuenca. Bianchi, P., Taveira, G., Steffen, M. & Inda, H. (eds). Diseño gráfico: Bianchi, P. & Taveira, G. Diseño fotográfico: Orxilia, G. & Bianchi, P. Instituto SARAS, Bella Vista, Maldonado.

Stücken Marin, K. S. 2010. Physiogenomics of *Cylindrospermopsis raciborskii* and *Raphidiopsis brookii* (Cyanobacteria) with Emphasis on Evolution, Nitrogen Control and Toxin Biosynthesis. Doctoral thesis. Faculty of Biology and Chemistry, University Bremen, Germany.

Swart, R. J., Raskin, P., & Robinson, J. 2004. The problem of the future: Sustainability science and scenario analysis. *Global Environmental Change, Part A: Human and Policy Dimensions* 14(2): 137-146.

Taveira, G., Bianchi, P., Fuentes, M., Díaz, I. & Inda, H. ¿Cuáles son los principales usos del suelo actuales y tendenciales en la Cuenca de Laguna del Sauce? En: Aportes para la rehabilitación de la Laguna del Sauce y el Ordenamiento Territorial de su cuenca. Bianchi, P., Taveira, G., Steffen, M. & Inda, H. (eds). Diseño gráfico: Bianchi, P. & Taveira, G. Diseño fotográfico: Orxilia, G. & Bianchi, P. Instituto SARAS, Bella Vista, Maldonado.

Tilbury, D. & Wortman, D. 2004. *Engaging People in Sustainability*. Commission on Education and Communication, IUCN. Gland, Switzerland and Cambridge.

Tschakert, P., & Dietrich, K. A. 2010. Anticipatory learning for climate change adaptation and resilience. *Ecology and Society*, 15(2), 11. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss2/art11/>

Vanderstukken, M., Mazzeo, N., Van Colen, W., Declerck, S.A.J. & Muylaert, K. 2011. Biological control of phytoplankton by the subtropical submerged macrophytes *Egeria densa* & *Potamogeton illinoensis*: a mesocosm study. *Freshwater Biology* 56(9): 1837-1849

Walker, B., Carpenter, S., Anderies, J., Abel, N., Cumming, G., Janssen, M. A., et al. 2002. Resilience management in social-ecological systems: A working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* 6(1): 14-30.

Walker, B. H., & Salt, D. A. 2006. *Resilience thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world*. Island Press, Washington, DC.

Walker, W. E., Haasnoot, M., & Kwakkel, J. H. 2013. Adapt or perish: A review of planning approaches for adaptation under deep uncertainty. *Sustainability* 5(3): 955-979.

Wiek, A. & Iwaniec, D. 2014. Quality criteria for visions and visioning in sustainability science". *Sustainability Science* 9(4): 497-512.

Wesche, S. D., & Armitage, D. R. 2014. Using qualitative scenarios to understand regional environmental change in the Canadian North. *Regional Environmental Change* 14(3): 1095-1108.

Noviembre, 2018



SARAS²
South American Institute for
Resilience and Sustainability Studies

