

INFORME - LAGUNA DEL DIARIO

2014

Estrategia para la rehabilitación del estado ecológico
de la laguna





PASO 1

Cosecha de las
macrófitas sumergidas



PASO 2

Control del aporte
de nutrientes



PASO 3

Restablecimiento de la
entrada de agua marina



Los Expertos



Prof. Alberto Basset
Universidad de Salento

Alberto Basset es Catedrático de Ecología en el Departamento de Ciencias Ambientales y Biológicas y Tecnologías de la Universidad de Salento en Lecce, Italia. Basset se ha interesado en la ecología de poblaciones y comunidades, centrándose en la organización de la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas; actualmente su principal interés radica en la organización, conservación y el manejo de la biodiversidad, en ecosistemas de aguas de transición, particularmente de lagunas. Ha publicado más de 100 artículos revisados por expertos internacionales y participa en varios grupos internacionales de investigación para el manejo sostenible de los ecosistemas de las lagunas y la implementación de las Directivas de la UE en la Ecorregión del Mediterráneo y del Mar Negro.

Basset ha sido miembro de los Consejos de varias Sociedades Científicas, siendo uno de los fundadores de la Red Italiana de Investigación de Lagunas y de la Federación Euromediterránea de Lagunas. Actualmente es Presidente de la Sociedad Italiana de Ecología y vice-Presidente de la Federación Ecológica Europea. También es miembro del consejo editorial de *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *Transitional Water Bulletin*, y *Frontiers in Marine Science* (Conservación Acuática: Ecosistemas de Agua Dulce y Marina, Boletín de Aguas de Transición, y las Fronteras en Ciencias Marinas.)



Prof. John M. Baxter
Scottish Natural Heritage, Escocia

Asesor Principal - Marino (incluyendo Coordinador Nacional de Respuestas a Derrames de Petróleo) para el Scottish Natural Heritage, asesores independientes del Gobierno escocés para la conservación de la naturaleza. John es un biólogo marino con amplia experiencia y conocimiento especializado en la interpretación y comunicación de la ciencia, aplicando los resultados para proporcionar asesoramiento práctico e implementación de las medidas de conservación. Ha estado involucrado en la implementación de una serie de Directivas Europeas claves, tales como la Directiva sobre Hábitats y la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina, así como también la legislación nacional, tal como la Ley Marina (Escocia) que ha comprendido el desarrollo de una red de Áreas Marinas Protegidas en Escocia.

John tiene amplia experiencia y conocimientos de los mamíferos marinos y las comunidades bentónicas internareales y submareales para las implicancias del cambio climático y la acidificación de los océanos. John es Jefe Editor - Marino de la revista

Los Expertos

internacional *Aquatic Conservation – Marine and Freshwater Ecosystems* (Conservación Acuática - Ecosistemas Marinos y de Agua Dulce) y también ha publicado en numerosas oportunidades incluyendo la co-edición del Atlas Marino de Escocia. John es miembro del Comité Especial del Reino Unido sobre Sellos y es Presidente de *UK Marine Climate Change Impacts Partnership* (Asociación de Expertos en Impactos del Cambio Climático de la Marina del Reino Unido), así como el Vicepresidente del *Ocean Acidification International Reference User Group* (Grupo Internacional de Referencia del Usuario para la Acidificación de los Océanos). Es profesor honorario de la Universidad de Heriot Watt y un lector honorario en la St. Andrews University.



Dr. Graham R. Daborn Profesor Emérito en Acadia University

Dr. Graham Daborn es graduado de Keele University (Reino Unido-Licenciatura 1966) y de Alberta University (Canadá-Maestría en Ciencias 1969; Doctorado 1973) y ha enseñado Biología en Acadia University de 1973 al 2004.

Fue Director fundador del *Acadia Centre for Estuarine Research* (ACER) (Centro Acadia para Investigación Estuarina), creado en 1985 para centrar la atención en ambientes estuarinos como la Bahía de Fundy. De 2004 a 2007 fue Director de la Academia para el Medio Ambiente en la Acadia University. Desde 2002 hasta 2011 Graham sirvió como líder temático o como Co-Presidente del Comité de Gestión del Programa de la Red de Aguas de Canadá, una Red de Centros de Excelencia nacional dirigido a comprender las Implicaciones Ambientales del Agua Limpia.

Índice

Resumen ejecutivo	9
1. Planteamiento del problema	13
1.1 Conocimiento existente	14
1.2 Opciones preliminares para la rehabilitación	16
2. Aspectos fundamentales	17
2.1 Biodiversidad de la Laguna del Diario	17
2.2 Manejo del agua y los residuos	18
2.3 Fortalecimiento de la concientización y compromiso públicos	19
4. Opciones de rehabilitación	23
4.1. Opción 1 – Opción nula – “Dejar tal cual está”	24
4.1.1 Ventajas	24
4.1.2 Desventajas	24
4.1.3 Evaluación general	24
4.2 Opción 2 - Restaurar la conexión entre la laguna y la zona marina costera	24
4.2.1 Opción 2a-Renaturalización estructural	25
4.2.1.1 Ventajas	25
4.2.1.2 Desventajas	25
4.2.2 Opción 2b-Renaturalización funcional	25

4.2.2.1 Ventajas	26
4.2.2.2 Desventajas	26
4.2.3 Evaluación global	27
4.3 Opción 3 - Aumento de la exportación de nutrientes y materia orgánica de la laguna y disminución del aporte externo de nutrientes y materia orgánica	27
4.3.1 Opción 3a - Control de la vegetación sumergida y emergente por recolección mecánica	28
4.3.1.1 Ventajas	28
4.3.1.2 Desventajas	29
4.3.2 Opción 3b Control de la vegetación emergente y sumergida combinada con el control del aporte de nutrientes	29
4.3.2.1 Ventajas	29
4.3.2.2 Desventajas	29
4.3.3 Opción 3c - Control de la vegetación sumergida y emergente y control de la carga externa e interna de nutrientes	29
4.3.3.1 Ventajas	30
4.3.3.2 Desventajas	30
4.3.4 Evaluación global	30
4.4 Análisis comparativo de las opciones de rehabilitación 2 y 3	30
5. Investigación y Monitoreo	33
5.1 Información de las bases de datos	33
5.2 Régimen hidrológico	33
5.3 Régimen de sedimentos	34
5.4 Calidad del agua	34

Resumen ejecutivo

La Laguna del Diario es una laguna costera altamente modificada localizada en el Departamento de Maldonado, que ha experimentado un cambio significativo como resultado de actividades antropogénicas en el correr del último siglo.

La preocupación principal es la considerable eutrofización resultante de una combinación de: a) la entrada de nutrientes desde la cuenca hidrográfica; b) los cambios en el uso de la tierra (silvicultura y urbanización); y c) el cierre de la salida de la laguna para la construcción de la carretera de la costa (Rbla. C. Williman - anteriormente Ruta 10). El resultado ha sido la evolución hacia una laguna costera rica en nutrientes, altamente productiva que está experimentando una rápida sucesión hacia un humedal. Los recientes cambios en la transparencia del agua en el extremo más próximo al mar de la laguna se han convertido en una preocupación debido a las floraciones de cianobacterias, que pueden tener consecuencias para la salud humana. Además, el crecimiento de las plantas emergentes y sumergidas está restringiendo los usos recreativos de la laguna.

La Universidad de la República (Mazzeo et al. 2008) iniciaron un importante estudio en 2008 del entorno ambiental de la laguna, los procesos de cambio desde 1955, y las perspectivas para la remediación. Se consideraron tres posibles respuestas a la rápida velocidad de degradación de la laguna:

- ⇒ Control de la vegetación sumergida por recolección mecánica.
- ⇒ Control de la vegetación sumergida en combinación con el control del aporte de nutrientes.
- ⇒ Control de la vegetación sumergida y del aporte de nutrientes en combinación con el control de la carga interna de nitrógeno y fósforo.

Con el fin de asistir a las autoridades locales a decidir sobre un curso de acción apropiado, se llegó a un acuerdo entre la Intendencia, la Universidad de la República y la Universidad de St Andrews en Escocia, para establecer un comité de expertos científicos que examine el problema y asesore acerca de su resolución. Este informe es el resultado de dicho examen.

Cualquier opción de remediación aprobado debe apuntar a alcanzar una serie de objetivos de conservación, de ordenamiento territorial y de gestión:

- ⇒ Detener y preferentemente revertir, la creciente eutrofización de la laguna.
- ⇒ Mantener y posiblemente mejorar su biodiversidad.
- ⇒ Mejorar la calidad del agua con el fin de disminuir los problemas de salud pública y mejorar el potencial recreativo.
- ⇒ Mejorar la calidad del medio ambiente para los residentes y visitantes por igual.
- ⇒ Desarrollar y apoyar la concientización pública de la riqueza y el valor estético de la laguna.
- ⇒ Mejorar la imagen de la región de Maldonado como un destino ejemplar y atractivo para los turistas.

El Comité de Expertos ha considerado cuatro posibles soluciones a la situación en la Laguna del Diario:

I. La Opción Nula: no hacer nada.

II. Restablecer la conexión entre la laguna y la zona marina costera (por ejemplo, apoyando la carretera en un puente o la instalación de una gran alcantarilla).

III. Reducir la velocidad de eutrofización de la laguna mediante la disminución del aporte de nutrientes y sedimentos, y retirando las plantas sumergidas y emergentes.

IV. Revertir el estado trófico actual combinando la recolección de plantas, el control del aporte de nutrientes y, posiblemente descargando el extremo más próximo al mar de la laguna con agua marina.

De estas opciones, el Comité de Expertos recomienda la más amplia intervención (IV supra) como la única alternativa para mejorar en el largo plazo el estado ecológico de la laguna, y que proporcionará una serie de beneficios adicionales para los residentes, visitantes y la industria del turismo, y la imagen de la región y el país.

La opción recomendada responde a las necesidades de acciones de mitigación a corto plazo, la prevención de una mayor degradación, y las acciones de remediación y recuperación a largo plazo necesarios para la conservación de la salud del ecosistema de la Laguna del Diario. Por lo tanto, la intervención recomendada está organizada en etapas sucesivas, con recomendaciones claves para cada paso con el fin de evitar resultados ineficientes o incluso negativos.

PASO 1 - La recolección de macrófitas sumergidas tiene que ser mantenida e incluir la recolección de macrófitas emergentes; esta acción permite el retiro de la carga interna de nutrientes en el largo plazo, mientras que se diseñan e implementan intervenciones más eficaces para controlar el aporte externo de nutrientes y el tiempo de residencia.

Cuando el aporte de nutrientes y el tiempo de retención de agua se controlen, probablemente ya no será necesario el restablecimiento de un equilibrio en el balance de nutrientes en la laguna mediante la recolección de macrófitas emergentes y sumergidas. La actividad de recolección debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ⇒ El rol de las macrófitas sumergidas en las redes alimentarias de la Laguna del Diario, tiene que ser aclarado con el fin de evitar impactos negativos en la biodiversidad. Los peces, gasterópodos y aves son especies herbívoras importantes que contribuyen tanto en la exportación de nutrientes de la laguna, y la diversidad de la laguna, que tiene que ser protegida, mientras se recolecta la biomasa de macrófitas;
- ⇒ Las macrófitas compiten con el fitoplancton por los nutrientes y la luz; la recolección tiene que evitar la creación de una ventaja competitiva para el fitoplancton que resulta en el dominio de las especies de fitoplancton que podría aumentar la eutrofización y los temas de salud pública;
- ⇒ El rol de las macrófitas emergentes para la reproducción de gasterópodos y de aves en la Laguna del Diario se debe evaluar para optimizar el aprovechamiento de la biomasa de macrófitas emergentes;
- ⇒ El tiempo durante el año y el alcance espacial de la recolección tienen que ser planeados teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores con el fin de maximizar la exportación de nutrientes de la laguna;
- ⇒ el uso de la biomasa vegetal extraída en la producción de energía podría ser una solución para compensar el costo de la recolección.

PASO 2 - Control del aporte de nutrientes a través de renaturalización y el manejo de la pequeña corriente que entra en la Laguna del Diario, y la construcción y el manejo de los humedales artificiales en la cuenca de la laguna. Esta acción requiere tiempo para lograr su plena realización, pero cuando el control es plenamente operacional, tendrá efectos positivos fuertes y permanentes en la salud de los ecosistemas de la Laguna del Diario. En cuanto a esta acción, se recomienda que:

- ⇒ La operación de control del aporte de nutrientes se base en un modelo de la carga óptima de nutrientes a la Laguna del Diario que se traduce en una reducción de la eutrofización, mientras mejora la biodiversidad en el ecosistema de la laguna.

PASO 3 - El restablecimiento de la entrada de agua marina a la Laguna del Diario, disminuyendo el tiempo de residencia del agua y aumentando la exportación de nutrientes hacia el mar. El tiempo y la cantidad de entrada de agua marina en la laguna tienen que ser estimados y modelados teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ⇒ la estratificación de agua dulce y agua marina en la laguna tiene que ser evitada con el fin de evitar el riesgo de hipoxia o anoxia del sedimento;
- ⇒ los efectos potenciales de la entrada de agua marina y el aumento de la salinidad sobre la flora y la fauna de la laguna tienen que ser controlados con el fin de evitar los impactos negativos.

Con el fin de respaldar las acciones de rehabilitación arriba mencionadas, deberán realizarse lo siguiente:

- ⇒ Durante el transcurso de la intervención para la recuperación, se debe considerar la posibilidad de oxigenar artificialmente los sedimentos en áreas que presenten signos de fuertes eventos de hipoxia o anoxia.
- ⇒ Compilar una bibliografía exhaustiva de los informes y las fuentes de datos relativos a la Laguna del Diario.
- ⇒ Realizar estudios básicos para cubrir importantes vacíos de conocimiento ecológico con el fin de garantizar que los resultados de la acción de rehabilitación estén dando los resultados deseados. Este tipo de estudios incluye: diversidad y distribución de los organismos bentónicos; diversidad y extensión del área de macrófitas emergentes; el rol de las macrófitas emergentes como peces y el hábitat de las aves; y la composición y las propiedades de los sedimentos.
- ⇒ Establecer una red de estaciones de monitoreo para medir los niveles de precipitación, agua superficial y subterránea para proveer el perfeccionamiento constante de los modelos hidrológicos existentes.
- ⇒ Establecer un programa de monitoreo de la calidad del agua con el fin de hacer frente a los posibles problemas de salud.
- ⇒ Realizar un estudio de las tendencias actuales en el uso del suelo y del uso del suelo en la cuenca.
- ⇒ Involucrar a la comunidad local en las actividades de supervisión y mejorar la educación y concientización del público.

1. Planteamiento del problema

La Laguna del Diario es una laguna costera altamente modificada localizada en el Departamento de Maldonado, que ha experimentado un cambio significativo como resultado de actividades antropogénicas en el correr del último siglo.

La preocupación principal es la considerable eutrofización resultante de una combinación de: a) aporte externo de nutrientes desde la cuenca hidrográfica; b) los cambios en el uso de la tierra (silvicultura y urbanización); y c) el cierre de la salida de la laguna para la construcción de la carretera de la costa (Rbla. C. Williman - anteriormente Ruta 10). El resultado ha sido la conversión de lo que era anteriormente una pequeña laguna, probablemente una laguna intermitente o arroyo costero, en una laguna que rápidamente se está colmatando por el crecimiento de macrófitas y la acumulación de sedimentos. Los recientes cambios en la transparencia del agua en el extremo más próximo al mar, se han convertido en motivo de preocupación debido a las floraciones de cianobacterias, que pueden tener consecuencias para la salud humana. Además, el crecimiento de plantas emergentes y sumergidas está restringiendo los usos recreativos de la laguna. Los cursos de agua naturales son unidades del ecosistema que responden

tanto a perturbaciones internas como externas. La cuenca hidrográfica (o cuenca de captación) de la Laguna del Diario tiene una extensión de más de 43 km². Originalmente sin árboles, la cuenca fue modificada por extensas plantaciones de pinos y eucaliptos que se iniciaron en el siglo 19. En el siglo 20, la urbanización alrededor de la ciudad de Maldonado ha impactado progresivamente en la cuenca, influyendo tanto en la entrada de nutrientes como en el escurrimiento superficial. Al parecer no hubieron observaciones registradas de preocupación ambiental inmediatamente luego de que en 1955 el afluente del arroyo fue cerrado

por la calzada construida para la carretera Rambla C. Williman. Los primeros bancos de vegetación considerables de vegetación se registraron en 2001; en el 2006 éstas habían llegado a ser dominantes en la parte alta de la laguna, y un crecimiento considerable de la vegetación sumergida fue evidente en gran parte de la laguna. Como resultado de estas preocupaciones, la Universidad de la República (Mazzeo et al. 2008) inició un importante estudio en 2005-2006. El punto central del estudio fue el entorno ambiental, los procesos de cambio desde 1955, y las posibilidades de remediación.

Los cambios en la Laguna del Diario son la respuesta de los ecosistemas naturales a las actividades humanas en la cuenca hidrográfica, como ser la forestación y el desarrollo urbano

1.1 Conocimiento existente

El estudio realizado por la Universidad de la República destacó la posición de la geología y el entorno ambiental de la Laguna del Diario, en base a la información existente, documentada, y a las nuevas investigaciones. La cuenca hidrográfica o de drenaje subyace sobre roca cristalina, principalmente gneis, recubierta en la mayoría de las zonas de montaña por depósitos aluviales, y debajo de la laguna por los sedimentos generados en este tipo de ambientes. Por lo tanto, gran parte de la topografía superficial se compone de material fácilmente erosionable que, cuando es expuesto, se transporta hacia el cuerpo de agua. Gran parte de la entrada de sedimentos deriva de la cuenca, y puede estar asociada con las diferentes prácticas del uso de la tierra, incluida la agricultura y la extracción de tosca. Cuando se despeja la tierra (por ejemplo, durante la silvicultura o para la construcción), también existe el potencial para que grandes cantidades de limo ingresen a la laguna, especialmente bajo condiciones de inundación. Estudios palaeolimnológicos basados en un núcleo de sedimentos tomado del lecho de la laguna, han permitido una interpretación preliminar de los cambios de la cuenca durante los últimos 5.300 años. El análisis del núcleo permite la datación por ^{14}C de los sedimentos más profundos y antiguos, mientras que el análisis mediante ^{210}Pb y ^{137}Cs permite la interpretación de los acontecimientos más recientes. Los resultados indican que existía una laguna costera en esta ubicación cerca de 5.000 años, pero durante los últimos 4.000 años la cuenca hidrográfica o colectora había sido ocupada mayormente por un arroyo o riachuelo en lugar de una laguna. Los índices de sedimentación en la laguna han cambiado de manera significativa: alrededor de 40 cm de sedimento acumulado durante los últimos 4.000 años, mientras que casi 25 cm se han asentado en los últimos 60 años - a saber, desde la terminación de la calzada. Los análisis químicos del

núcleo indican que la señal de materia orgánica aumentó significativamente luego de la reforestación de la cuenca en el siglo 19, y que ha habido un aumento constante de nitrógeno y fósforo en los sedimentos desde que se completó la calzada en 1955. Del mismo modo, los fósiles de diatomeas en el núcleo indican un cambio de especies marinas-salobres a especies de agua dulce-salobre o gorda en los últimos 50 a 60 años.

Entre 1990 y 2005 se llevaron a cabo estudios sobre el régimen hidrológico de la cuenca hidrográfica basado en la información de La Dirección Nacional de Hidrografía.

Durante ese tiempo, el nivel de agua de la laguna variaba entre un máximo de 2,94 m por encima del cero oficial y un mínimo de 0,17 m. En general, la variación en el nivel de agua se correlaciona con la precipitación, a excepción de eventos periódicos de lluvias intensas durante los cuales la mayor parte del influjo de agua se derrama hacia el mar. Ocasionalmente, las condiciones de sequía (por ejemplo, otoño 2000) y la intervención humana también han cambiado la correlación entre el nivel de la laguna y las precipitaciones. El modelado hidrológico de la Universidad de la República no capta toda la variación observada en los niveles de agua debido a la información

comparación con los datos empíricos que no se explican por los errores en la estimación de las extracciones de agua o los índices de infiltración. El modelado se podría mejorar mediante la adición de más y mejores datos, particularmente a través del monitoreo continuo de los niveles de agua en la laguna, en el agua subterránea en la cuenca hidrográfica o colectora, y en los vertidos o descargas al mar. La demanda del modelado hidrológico efectivo para la planificación de la rehabilitación del ecosistema de la laguna destaca la necesidad de un monitoreo más exhaustivo de la cuenca hidrográfica o colectora. Los ecosistemas acuáticos pueden presentar estados alternativos de acuerdo a los niveles de nutrientes. En un estado, la vegetación sumergida y emergente secuestran los nutrientes (especialmente el fósforo), compitiendo eficazmente con el fitoplancton en el agua, y reduciendo al mínimo la turbulencia, lo que condiciona aguas muy transparentes. Este estado, que se asocia comúnmente con los bajos a moderados niveles de nutrientes, presenta una trama trófica en la cual los peces mantienen el control efectivo de zooplancton, que a su vez controla el fitoplancton mediante el pastoreo. El estado alternativo, se encuentra típicamente en condiciones de nutrientes enriquecidos (es decir,

La recolección de macrófitas sumergidas puede cambiar el ecosistema de la laguna a una comunidad dominada por fitoplancton que tiene implicaciones en la calidad del agua y en la salud humana

limitada acerca de la descarga de agua de agua hacia el mar, y las dificultades para estimar los índices de infiltración y demanda humana. Además, el modelo tiene déficits que varían de 10.000 a 300.000 m³/mes en

eutróficos), está dominado por el fitoplancton - especialmente por las cianobacterias que pueden capturar el nitrógeno de la atmósfera - que conduce a una alta productividad, alta turbidez en el agua, mala calidad

del agua, y grandes fluctuaciones en los niveles de oxígeno que pueden restringir o eliminar muchas especies de peces y el zooplancton.

El estudio de Mazzeo et al. (2008) indica que la Laguna del Diario ilustra estos dos estados. Tras el cierre de la salida pre-existente en el año 1955, los sedimentos y nutrientes que llegan a la

inició en 2006, y en 2007 se redujeron sustancialmente *Myriophyllum* y *Potamogeton*, especialmente en el extremo más próximo al mar.

La combinación de alta productividad orgánica, sombreado y la mezcla vertical reducida en la columna de agua conduce a grandes variaciones

un problema para la salud pública. Del mismo modo, la eliminación de la vegetación sumergida resulta en una disminución en la abundancia del zooplancton al eliminar el refugio contra la depredación de peces.

El examen de la fauna de peces utilizando una combinación de técnicas de reconocimiento (por ejemplo, redes de enmalle, pesca eléctrica) produjo 17 especies, cinco de las cuales son consideradas depredadoras potenciales de peces, las otras se alimentan principalmente de zooplancton. Aunque numéricamente las que se alimentan de plancton fueron más abundantes, las grandes especies potencialmente piscívoras representaban la mayor parte de la biomasa (entre el 62 y el 82%). La relativamente alta diversidad de especies de peces parece estar relacionada con la diversidad de hábitats, a pesar de que la laguna ya no está abierta al mar. El mantenimiento de esta diversidad de hábitat será una consideración importante para cualquier estrategia de rehabilitación. Es evidente que existe una considerable información con respecto a la Laguna del Diario, y se resume en el documento de la Universidad de la República y en la literatura publicada y no publicada (por ejemplo, tesis de maestrías y doctorados) disponible. Sin embargo, todavía existe una falta de conocimiento luego de un análisis de la literatura existente y la necesidad de actualizar la información que influirá en la decisión con respecto a la rehabilitación de la laguna.

Particularmente, carecemos de información detallada sobre la avifauna de la laguna, su distribución temporal y el uso del espacio y preferencias alimenticias; por otra parte, la información actualizada de los invertebrados bentónicos y la abundancia y distribución de la fauna de peces, luego de los cambios en curso en el estado ecológico de la laguna y la composición y abundancia de la fauna de aves, son relevantes para afinar el diseño de cualquiera de las opciones de rehabilitación consideradas.

Estas brechas tendrán que ser cubiertas para una resolución satisfactoria del problema.

La Laguna del Diario es actualmente un ecosistema costero diverso y productivo que se deteriorará en el futuro si no se adoptan acciones de remediación

laguna de la cuenca hidrográfica fueron retenidos, permitiendo el crecimiento de las plantas acuáticas enraizadas, especialmente *Zizaneopsis bonariensis*, *Schoenoplectus californicus*, *Typha latifolia*, *T. dominguensis* y *Scirpus giganteus*, a lo largo de la línea de la costa en la parte alta de la laguna. No parece haber habido ningún monitoreo del crecimiento de la vegetación emergente, pero es evidente que el rápido crecimiento de la vegetación emergente contribuyó a aclarar el agua al atrapar sedimentos entrantes y disminuyendo la turbulencia.

La calidad del agua se mantuvo elevada, lo que permite a la laguna actuar como una fuente de agua potable hasta la década de 1970. A partir de 2003, se produjo un rápido crecimiento de la vegetación sumergida en gran parte de la laguna, con la sustitución de *Potamogeton pusillus*, que es tolerante con alta turbidez, por *Myriophyllum quitense* y *Potamogeton illinoensis*, que son competidores superiores bajo condiciones de alta transparencia. La cobertura con plantas sumergidas alcanzó prácticamente el 100% del área de la laguna de aguas abiertas en el 2006, minimizando la mezcla vertical de la columna de agua y aumentando la temperatura superficial del agua. La recolección de plantas sumergidas se

en la saturación de oxígeno, con sobresaturación ocasional (> 100%), cerca de la superficie y déficit en la parte inferior. En la primavera de 2006 hubo casos de hipoxia y anoxia incluso en áreas con vegetación de la laguna, con evidencia de producción de sulfuro de hidrógeno que resulta de la descomposición de la materia orgánica en la parte inferior. Con el retiro de la vegetación sumergida, las diferencias en la saturación de oxígeno entre la superficie y las aguas profundas han disminuido. Es evidente a partir de la química del agua y los sedimentos, que en las últimas décadas la laguna se volvió cada vez más eutrófica, alcanzando un estado hiper-eutrófico en la primavera de 2006. Las disminuciones sustanciales en las concentraciones de nitrógeno y fósforo siguientes a ese momento estaban asociados con el mecanismo de absorción del fitoplancton como un sistema transformado a un estado dominado por fitoplancton. Con anterioridad al 2006, el fitoplancton estuvo dominado por diatomeas, pero en la primavera de 2006 la comunidad cambió a la dominación de clorofitas y cianobacterias. Algunos de estos últimos son potencialmente tóxicos (por ejemplo la *Oscillatoria limosa*, *Microcystis aeruginosa*, y *Anabaena planktonica*), y por lo tanto representan

1.2 Opciones preliminares para la rehabilitación

En su informe, Mazzeo et al. (2008) consideraron tres posibles respuestas a la rápida degradación de la laguna:

1. Control de la vegetación sumergida por la recolección mecánica.
2. Control de la vegetación sumergida en combinación con el control de la aportación de nutrientes.
3. El control de la vegetación sumergida y aporte de nutrientes en combinación con el control de la carga interna de nitrógeno y fósforo.

Estas opciones apuntaron principalmente a la detención del proceso continuo de eutrofización de la laguna, la restauración de la calidad del agua, y la mejora de su uso potencial. Las pruebas del estudio mostraron que la simple recolección mecánica cambia el estado trófico de la laguna, lo que aumenta la turbidez, favoreciendo las floraciones de cianobacterias que representan posibles problemas de salud. Dado el potencial de una rápida regeneración de macrófitas, esta opción tiene el riesgo de que tendría que ser continua. Las más importantes intervenciones (n° 2, 3 arriba) ofrecen un mayor potencial para detener e incluso revertir el proceso de eutrofización, pero sería inevitablemente más costoso, y de la misma manera podría tener que ser una actividad continua, con una mínima rentabilidad financiera.

Con el fin de asistir a las autoridades locales a decidir sobre un curso de acción apropiado, se llegó a un acuerdo entre la Intendencia, la Universidad de la República y la St. Andrews University en Escocia, para establecer un comité de expertos científicos que examine el problema y asesore acerca de su resolución. Este informe es el resultado de dicho examen.

2. Aspectos fundamentales

En esta sección se hace hincapié en los principales problemas de conservación que deben abordarse en la restauración de la Laguna del Diario y la cuenca hidrográfica circundante, así como se identifica las oportunidades para incrementar las opciones de recreación y el compromiso en el manejo y explotación sostenible de la laguna.

En todas estas consideraciones, es importante recordar que todos los sistemas naturales son dinámicos y están en constante cambio y adaptación a las condiciones prevalecientes. Los cambios en las condiciones de la laguna en los últimos 60 años son la prueba de estos procesos naturales que son impulsados por una serie de fuerzas que incluyen: el enriquecimiento de nutrientes de la cuenca o área de captación, los cambios en los niveles de agua, el cierre definitivo de la conexión de la laguna con el mar y variaciones vinculadas al cambio climático.

Es posible diseñar acciones para detener y revertir algunos de estos cambios que ayudarán a restaurar la laguna a una condición más de aguas abiertas, pero siempre existe la posibilidad de imprevistos que puedan frustrar las medidas adoptadas. Sin embargo, con la implementación de un plan de medidas secuencial y ordenado y un adecuado monitoreo,

La laguna es reconocida como un hábitat importante para las aves (alrededor de 150 especies), se recomienda como un buen sitio para la observación de aves

es muy probable que la condición de la laguna se pueda mejorar con el tiempo.

Este proceso comienza desde un diagnóstico del estado ecológico de la laguna considerado como adecuado, pero el rápido aumento de la cobertura de la vegetación emergente y sumergida y la ocurrencia de floraciones de cianobacterias estivales demandan la aplicación de estrategias de rehabilitación.

2.1 Biodiversidad de la Laguna del Diario

Se han realizado una serie de reconocimientos o estudios en los últimos años que han catalogado ciertos elementos de la biodiversidad de la laguna, pero no hay una lista de especies o mapa del hábitat integral actualizado de la laguna y humedales adyacentes. La laguna ya está reconocida como un importante hábitat para una gran variedad de especies de aves con alrededor de 150 especies diferentes en la zona, y se recomienda como buen sitio para la observación de

aves. Con el fin de planificar una estrategia de rehabilitación, es importante que todos los datos relevantes se compilen en una sola base de datos y se planifique un programa estructurado de estudios topográficos. Esto no sólo será importante para informar al detalle acerca de las medidas correctivas, sino también para actuar como referencia a partir de la cual se pueden medir los cambios en el futuro, sobre la base de las acciones tomadas.

La identificación de la laguna como un lugar clave dentro del Proyecto de Ordenamiento Territorial de la Aglomeración Central de Maldonado (San Carlos-Maldonado-Punta del Este), refuerza la necesidad de una acción urgente y positiva para ayudar a restaurar el balance general de la laguna. El plan regional reconoce la necesidad de que la zona sea protegida y reconocida como un sitio de importancia nacional. Uruguay es un país signatario de la Convención de

Mantener / incrementar la diversidad de peces

Ramsar y se recomienda que se considere cuidadosamente la opción de compilar un caso para proponer la Laguna del Diario y sus alrededores como Humedal de Importancia Internacional conforme a la Convención.

Una serie de objetivos clave puede ser identificada, la definición precisa de éstas que se acuerden sobre la base de los resultados del estudio de referencia:

- ⇒ Mantener/incrementar la abundancia y diversidad de aves de cría y aves visitantes de invierno.
- ⇒ Mantener / incrementar la diversidad de peces.
- ⇒ Reducir la extensión de la cobertura de macrófitas emergentes.
- ⇒ Reducir la abundancia y extensión de las macrófitas sumergidas.

Mantener / incrementar la abundancia y diversidad de aves de cría y pájaros visitantes de invierno

2.2 Manejo del agua y los residuos

El crecimiento exuberante de las macrófitas sumergidas y emergentes, y el desarrollo de las floraciones de fitoplancton en los últimos años son una clara indicación de un ambiente enriquecido en nutrientes. Las fuentes de este enriquecimiento ya se han discutido y hay una clara necesidad de reducir la carga de nutrientes dentro de la laguna y su cuenca hidrográfica con el fin de revertir la rápida expansión de macrófitas y la pérdida de superficie de aguas abiertas.

La entrada de agua dulce a la laguna proviene de tres fuentes principales: las lluvias, a partir de dos o tres pequeños arroyos, y de las aguas subterráneas. La carga de nutrientes de estas dos últimas fuentes no está clara, pero la fuente principal más probable es a través de la filtración de aguas subterráneas a partir del desarrollo urbano en expansión alrededor de la laguna. Esto puede abordarse mejor ligando la mayoría

Reducir la extensión de la cubierta de macrófitas emergentes

de estas casas a la nueva red de alcantarillado. Las actividades de agricultura y ganadería en la cuenca son limitadas, por lo tanto no se considera un contribuyente importante de nutrientes.

La principal fuente de nutrientes la conforman aquellos reciclados por la acronecrosis anual de las macrófitas y la consiguiente acumulación de sedimentos en el lecho de la laguna. Es evidente que esta acumulación de sedimentos ricos en nutrientes se ha producido a un ritmo de alrededor de 2.0-2.5mm por año durante los últimos 60 años, es decir, desde que se perdió la conexión con el mar con la construcción de la carretera. La pérdida de esta conexión resultó en una situación en la cual los sedimentos no han sido capaces de escapar y por lo tanto se ha acumulado a lo largo de los años. El principal objetivo debe ser reducir la carga de nutrientes dentro

Reducir la abundancia y extensión de las macrófitas sumergidas

de la laguna y esto se puede lograr a través de una serie de actividades:

- ⇒ Reducción de las entradas a la laguna ligando las diversas casas en la cuenca de captación de la laguna al sistema de alcantarillado.
- ⇒ Corte continuo y extracción completa de las macrófitas sumergidas.
- ⇒ Corte y extracción de las macrófitas emergentes al final de la estación de crecimiento.
- ⇒ Extracción del sedimento acumulado en los últimos 60 años.

⇒ Restablecimiento de un régimen de descarga de agua salada en el extremo más próximo al mar.

Los objetivos establecidos pueden estar asociados con las siguientes actividades:

⇒ Una reducción en la carga de nutrientes en el agua según incrementos anuales acordados.

⇒ La extracción a través del corte de una cantidad acordada de macrófitas sumergidas de áreas determinadas de la laguna y su inmediata extracción del área de la laguna.

⇒ Una reducción en la profundidad de los sedimentos por una cantidad acordada.

⇒ La extracción sobre una base anual de un área fijada de macrófitas emergentes periféricas.

⇒ Una reducción en la frecuencia y extensión de floración de algas.

2.3 Fortalecimiento de la concientización y compromiso públicos

El proceso de restauración de la laguna presenta una excelente oportunidad para el compromiso o participación de la totalidad de la comunidad local, no sólo por el beneficio por la mejora del medio ambiente, sino también porque participan en el proceso de la toma de decisiones y el monitoreo de las características de interés.

Las oportunidades para la concientización y compromiso públicos son significativas:

⇒ Establecimiento de un grupo de ornitólogos locales para ayudar a monitorear las poblaciones de aves.

⇒ Desarrollo de servicios para promover la experiencia de la observación de la vida silvestre con la construcción de sitios de observación y comités de interpretación.

⇒ Participación de los niños de las escuelas locales y la inclusión de los proyectos en el currículo nacional.

⇒ Oportunidades para proyectos de colaboración entre los



*Desarrollo de instalaciones
para incrementar la
experiencia de observación
de la vida silvestre*

investigadores de la universidad nacional con sede en Maldonado e institutos de otros países.

- ⇒ Desarrollo de un sentimiento de orgullo en su entorno local.
- ⇒ Mejores oportunidades recreativas, como vela, kayak y pesca.
- ⇒ Amplia representación en el manejo de la laguna incluyendo funcionarios locales, investigadores, miembros de la asociación de residentes, ONG, grupos de usuarios.
- ⇒ Promoción del programa como un estudio de un caso práctico de las mejores prácticas.

3. Oportunidades

La degradación de Laguna del Diario representa una oportunidad para comprender el valor de un sistema muy singular en la región.

El turismo es un importante contribuyente a la economía a nivel departamental como nacional, el mantenimiento de un buen estado medioambiental es un elemento crítico de la atracción de la zona, que ha dado a Punta del Este un lugar bien conocido como balneario internacional de veraneo de primera categoría. Según los datos estadísticos oficiales más recientes (Instituto Uruguay XXI), en 2013, 2.8M de turistas visitaron Uruguay, y gastaron U\$S 1.878 M. Por lo tanto, el turismo extranjero es una de las contribuciones más importantes a la economía, representa el 7% del PIB y genera casi 100.000 puestos de trabajo. Maldonado, a través de su principal "Aglomeración Central San Carlos-Maldonado-Punta del Este" participa con aproximadamente 42% de esta actividad económica.

Maldonado ofrece sitios naturales muy atractivos y diversos, fácilmente interconectados dentro de una corta distancia: playas marítimas, espacios rurales,

colinas, bosques, lagunas y desarrollos inmobiliarios de lujo. La Laguna del Diario, ubicada estratégicamente en la entrada de la Bahía de Maldonado separada del Río de la Plata por la principal calzada costera que conecta Montevideo con Punta del Este, continúa sometiéndose a un severo proceso de degradación ecológica. Este sitio ofrece diariamente a miles de ciudadanos y viajeros por igual, una vista única de uno de los más imponentes paisajes costeros, de la naturaleza en su plenitud.

La laguna continúa experimentando un proceso de eutrofización, y a menos que se implementen estrategias de rehabilitación, la laguna intensificará este proceso, dando lugar a una serie de consecuencias negativas, tales como aromas hediondos, cada vez más frecuentes las floraciones de algas tóxicas, y los problemas de salud pública asociados. Estas consecuencias actuarán como un elemento disuasorio para los turistas

y para las futuras oportunidades de desarrollo. Por otro lado, una condición mejorada de laguna puede tener efectos

positivos en la economía local.

A continuación se describen algunos de los beneficios positivos:

- ⇒ Un resultado exitoso para la remediación de la laguna permitirá la expansión de los usos recreativos existentes, que en la actualidad se limitan a una pequeña concesión de embarcaciones cerca de la calzada en el extremo más próximo al mar de la laguna. La natación está prohibida periódicamente en esta parte accesible de la laguna debido a problemas de salud. Si la laguna se recupera, estas actividades podrían aumentar.
- ⇒ Debido a que la laguna es tan productiva, albergando una gran variedad de aves, por ejemplo, sería simple desarrollar caminos de interpretación y puntos de

observación que faciliten la observación de la vida silvestre, y actuaría como un incentivo positivo para los visitantes. El ecoturismo es una actividad económica cada vez mayor en todo el mundo y existen muchos ejemplos de empresas exitosas en otros lugares que podrían ayudar a informar sobre el desarrollo en la laguna. Una laguna recuperada con éxito representaría un activo con el potencial de atraer a visitantes a distancia, sobre todo si se han realizado esfuerzos para proporcionar educación pública sobre la posibilidad de recuperación de los daños del medio ambiente

ofreciendo paneles descriptivos, folletos, o visitas guiadas.

⇒ Las políticas nacionales y regionales tienen como objetivo representar a Uruguay como un país con una fuerte conciencia ambiental, según lo indicado por su apoyo a las iniciativas de conservación internacionales, como la Convención de Ramsar. Es evidente que una Laguna del Diario degradada no respalda esa imagen, mientras que un sistema de laguna recuperada puede ser utilizado para enviar el mensaje de que los uruguayos se preocupan por su entorno y están dispuestos a comprometer

esfuerzos para protegerla.

- ⇒ La rehabilitación de humedales dañados es de interés internacional, y se están realizando esfuerzos considerables en otros países para este fin.
- ⇒ Las habilidades que se desarrollarán entre los jóvenes profesionales en Uruguay, como resultado de la rehabilitación de la Laguna del Diario les permitirá participar y ayudar a otros países con problemas similares, lo que ayuda a elevar el perfil de la comunidad científica en Uruguay.

La rehabilitación del humedal es de interés internacional y se están efectuando esfuerzos considerables en otros países para ese fin



4. Opciones de rehabilitación

La Laguna del Diario requiere de intervenciones inmediatas de rehabilitación a fin de mejorar la calidad del agua, estabilizar su estado ecológico, mantener y mejorar la gran biodiversidad de plantas y animales que todavía está albergando.

Las secciones anteriores de este informe, que tratan del contexto ambiental y socio-económico, han puesto de relieve dos puntos claves:

- ⇒ la laguna aún mantiene una gran diversidad de plantas y animales, especialmente aves; pero,
- ⇒ ya está mostrando signos de desequilibrio, que llevarán en el tiempo, a un punto de inflexión en su estado ecológico del cual será muy difícil la recuperación.

La acumulación de sedimentos en el fondo (20-25cm en los últimos 60 años en comparación con 40 cm en los 4000 años anteriores), la expansión de la vegetación emergente, el aumento del crecimiento de la vegetación sumergida, así como el aumento de la concentración de nutrientes, son todos signos de una falta de equilibrio en la laguna entre la entrada y la salida de nutrientes y de materia orgánica.

La recuperación de un nivel de equilibrio en la dinámica de la materia orgánica y los nutrientes en el ecosistema de la Laguna del Diario, manteniendo o incrementando el nivel actual de la diversidad biológica y la calidad general del paisaje cultural, es un requisito previo y de la más elevada prioridad de cada opción de rehabilitación.

Tras los resultados de un estudio detallado del ecosistema de la Laguna del Diario por parte de la Universidad de la República (Mazzeo et al 2008), se han planteado dos grandes opciones

de rehabilitación, potencialmente complementarios:

- ⇒ restaurar la conexión entre la laguna y la zona marina costera, zona marina costera, revirtiendo una de las causas más importantes de acumulación de sedimento y nutrientes; y
- ⇒ aumentar la exportación de nutrientes y materia orgánica de la laguna y disminuir el aporte externo de nutrientes y materia orgánica.

Un recuperado equilibrio en el balance de nutrientes, manteniendo la diversidad biológica, es un requisito indispensable y de la más elevada prioridad de cada opción de rehabilitación

Opción 1 – Opción nula – “Dejar tal cual está”

En esta sección, teniendo en cuenta las opciones y los objetivos señalados en la sección 2.2 del presente informe, analizamos, evaluamos y discutimos las ventajas y desventajas de estas opciones de rehabilitación, así como de la opción nula ‘dejar tal cual está’, y sacar conclusiones preliminares sobre su adecuación comparativa y absoluta para resolver los problemas socio-ecológicos que plantea la situación actual y la trayectoria esperada del ecosistema de la Laguna del Diario. Todas las opciones de rehabilitación centradas en la recuperación del equilibrio del funcionamiento del ecosistema de la Laguna del Diario cuentan con los siguientes requisitos:

- ⇒ impedir por completo las acciones que conducen a la alteración física de la superficie de la laguna y la zona de humedales asociados - como la construcción de terraplenes, modificaciones del lecho del arroyo o cualquier otra alternación que determine pérdida de hábitat, aumento de sedimentación y alteración del régimen hidrológico;
- ⇒ las acciones de rehabilitación están en plena consonancia con la legislación medioambiental local y nacional y con los planes territoriales y de desarrollo local; y
- ⇒ las acciones de rehabilitación frente a la necesidad de adaptación al cambio climático global y / o la mitigación de sus efectos, aunque en el sudeste de América del Sur se espera que los cambios climáticos sean pequeños, en los próximos 25-50 años¹.

4.1. Opción 1 – Opción nula –

¹ IPCC-WG1, 2013; 1°C-1, aumento de 5°C en la temperatura 20%-30% posible aumento en las precipitaciones (gran incertidumbre).

“Dejar tal cual está”

La opción “dejar tal cual está” se basa en la hipótesis de que la Tierra es un sistema un sistema con capacidad de auto-regulación (es decir Hipótesis Gaia, Lovelock, 1979) y los ecosistemas tienen un gran potencial para la adaptación y la resiliencia.

Sin embargo, esta hipótesis no concuerda con el concepto de un “ecosistema cultural” que incorpora conceptos de estado(s) del ecosistema(s), servicios de ecosistemas y beneficios sociales deseados que promueven el desarrollo sostenible y el bienestar humano. La estabilización de la duna costera, la interrupción permanente de la conexión entre la Laguna del Diario y la zona marina costera, y el cambio en el uso de la tierra con la urbanización y la degradación asociada del medio físico, son fuertes cambios de dirección que impulsarán al ecosistema a una rápida degradación y colapso.

Los actuales índices de acumulación de sedimentos y la invasión de macrófitas de los espacios de aguas abiertas anteriores están impulsando a la Laguna del Diario a un estado intermedio de una laguna anóxica poco profunda y pequeña, que llevaría finalmente al estado final de un ecosistema terrestre. Continúa siendo larga la escala de tiempo para el colapso total (es decir, 100-150 años), mientras que las señales de degradación progresiva y el cambio del estado deseado [de alta calidad tanto de paisajes ecológicos y culturales y el alto nivel de los servicios de aprovisionamiento y recreativos (sensu Reid, Mooney et al., 2005). -Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Convenio de restauración y conservación sustentable del la Laguna del Diario y su cuenca, 2007 - documento inédito)] ya son detectables.

4.1.1 Ventajas

La única ventaja de la opción nula “dejar tal cual está”, es que no involucra (por el momento) ningún costo adicional para la rehabilitación de la laguna

4.1.2 Desventajas

La desventaja general de la opción nula es que en última instancia provocará costos ecológicos y económicos a todos los componentes de la sociedad. La degradación del ecosistema se producirá a un ritmo cada vez más rápido; el colapso eventualmente ocurrirá, y los altamente valiosos servicios de los ecosistemas de la Laguna del Diario desaparecerán. Según la estimación disponible del valor de los servicios ecosistémicos de la laguna (Costanza et al., 1997), el colapso de los servicios de los ecosistemas en la Laguna del Diario provocará una pérdida estimada de cientos de miles de dólares por año.

4.1.3 Evaluación general

Simplemente la opción nula no es sostenible y debe ser rechazada. Los costos ecológicos, culturales y socio-económicos de no emprender ninguna acción de rehabilitación se consideran inaceptables.

4.2 Opción 2 - Restaurar la conexión entre la laguna y la zona marina costera

Las lagunas son ecosistemas-ecotonos multidimensionales entre la tierra, las aguas interiores y el mar, que se caracterizan por fuertes gradientes internos impulsados principalmente por las fuerzas hidráulicas de la marea,

las olas y la descarga del río (Basset et al., 2013). De acuerdo con la fuerza absoluta y relativa de las fuerzas hidráulicas, las lagunas se clasifican en lagunas con fugas, restringidas u obstruidas (Kjerfve, 1994).

Antes de la construcción de la carretera a través de su boca, la Laguna del Diario era una laguna obstruida típica, cerrada en la costa por un banco de arena, que se abría de tanto en tanto, ya sea por la presión de las olas o por la presión del agua dulce. Esta condición la muestran los datos sobre la acumulación de sedimentos en los últimos 4000 años, la cual aumentó luego de la consolidación del banco de arena con la construcción de la Ruta 10 (fuente: Mazzeo et al. 2008).

En las condiciones actuales con el nivel del agua en la Laguna del Diario consistentemente más alto que el nivel de la marea alta (fuente: Mazzeo et al. 2008), la conexión entre la laguna y el mar se mantiene sólo como una salida de la laguna hacia el mar, siendo manejada con el fin de atenuar las oscilaciones de profundidad del agua en la laguna, exportando el exceso de agua dulce al mar. De acuerdo con la tipología y la historia del ecosistema de la laguna, la restauración de la conexión entre la laguna y el mar es una clara acción de renaturalización, que se puede realizar de diferentes maneras. Aquí se consideran en detalle dos maneras, que podemos llamar renaturalización estructural y renaturalización funcional, respectivamente, ya que tienen diferentes ventajas y desventajas. La primera renaturalización requiere de una intervención en el banco de arena por debajo de la Ruta 10 (o en la Ruta 10) para volver a abrir la boca de la Laguna del Diario y dejarla que siga el comportamiento natural del banco de arena de laguna obstruida. La segunda renaturalización requiere de la intervención hidráulica de bombear agua marina a la laguna a través de las tuberías existentes, dejándola que vaya al mar nuevamente desde una puerta en la parte inferior del sistema del banco de arena; no modifica sustancialmente la infraestructura que actualmente constituye la salida de la

Opción 2 - Restaurar la conexión entre la laguna y la zona marina costera

Laguna del Diario al mar, simplemente se mueve la puerta de conexión actual de la superficie a un nivel de agua profunda.

4.2.1 Opción 2a-Renaturalización estructural

La acción de reconectar la laguna y los ecosistemas marinos es posible, pero requerirá la construcción de un puente o de una gran alcantarilla por debajo de la Ruta 10, dejando que los procesos de sedimentación y las fuerzas hidráulicas cierren y abran la nueva boca de la laguna periódicamente. Esta acción cambiará el estado ecológico actual de la Laguna del Diario, ya que la superficie de la laguna disminuye drásticamente y oscilará en gran medida entre períodos de libre intercambio con el mar y períodos en que estará cerrada. En consecuencia, los parámetros abióticos, así como la mayoría de los componentes estructurales y funcionales de la laguna seguirán estas oscilaciones.

4.2.1.1 Ventajas

La Laguna del Diario recuperará su estado original de laguna obstruida y en los períodos de apertura, la marea retirará el exceso de sedimento de la laguna y garantizará las buenas condiciones ecológicas. En el período de comunicación interrumpida con el mar, el ecosistema sufrirá un cambio progresivo hacia condiciones más de agua dulce, pero se prevenirán las condiciones eutróficas actuales por la escala temporal relativamente corta del proceso o por la apertura artificial del banco de arena si se requiriera eventualmente.

4.2.1.2 Desventajas

Dado que el nivel de agua de la Laguna del Diario es actualmente de 1.0m -1.5m por encima del nivel de mar promedio, en el período de apertura, la laguna desaparecerá casi por completo dejando el sistema como un pequeño arroyo mareal. La mayor parte de la flora y fauna actual, incluida la fauna de aves especialmente rica también se reducirá drásticamente en abundancia y diversidad y sufrirá un cambio en la composición de especies debido a los cambios en la salinidad. Las oscilaciones de la superficie de la laguna y de la salinidad evitarán un cambio en el uso de la tierra de los terrenos ganados al mar y afectarán negativamente el elevado nivel de biodiversidad que actualmente caracteriza a la Laguna del Diario. Además, la acción sería muy costosa debido a los trabajos necesarios para la construcción del puente sobre la Ruta 10 para reemplazar la calzada actual.

4.2.2 Opción 2b-Renaturalización funcional

La reconexión de la laguna con el mar se puede lograr sin cambiar drásticamente la salida hidráulica existente de la Laguna del Diario, introduciendo una entrada artificial de agua marina en el extremo más próximo al mar. Dado que el agua marina es más pesada que el agua dulce, tiende a hundirse por debajo del agua dulce, creando condiciones meromícticas halinas; en consecuencia, será necesario cambiar el flujo de salida de agua de la laguna desde la superficie a la capa inferior de la laguna del Diario con el fin de eliminar esta capa. Esta solución ya se ha abordado en los documentos y estudios disponibles (Mazzeo et al. 2008) en un contexto diferente y reconsiderado aquí a fin de lograr la

circulación del agua en el extremo más próximo al mar que influirá en la circulación del agua en toda la Laguna del Diario.

4.2.2.1 Ventajas

La renaturalización funcional de la laguna proporcionará una serie de consecuencias positivas para el estado ecológico general de la Laguna del Diario que se pueden resumir en términos de dos aspectos principales:

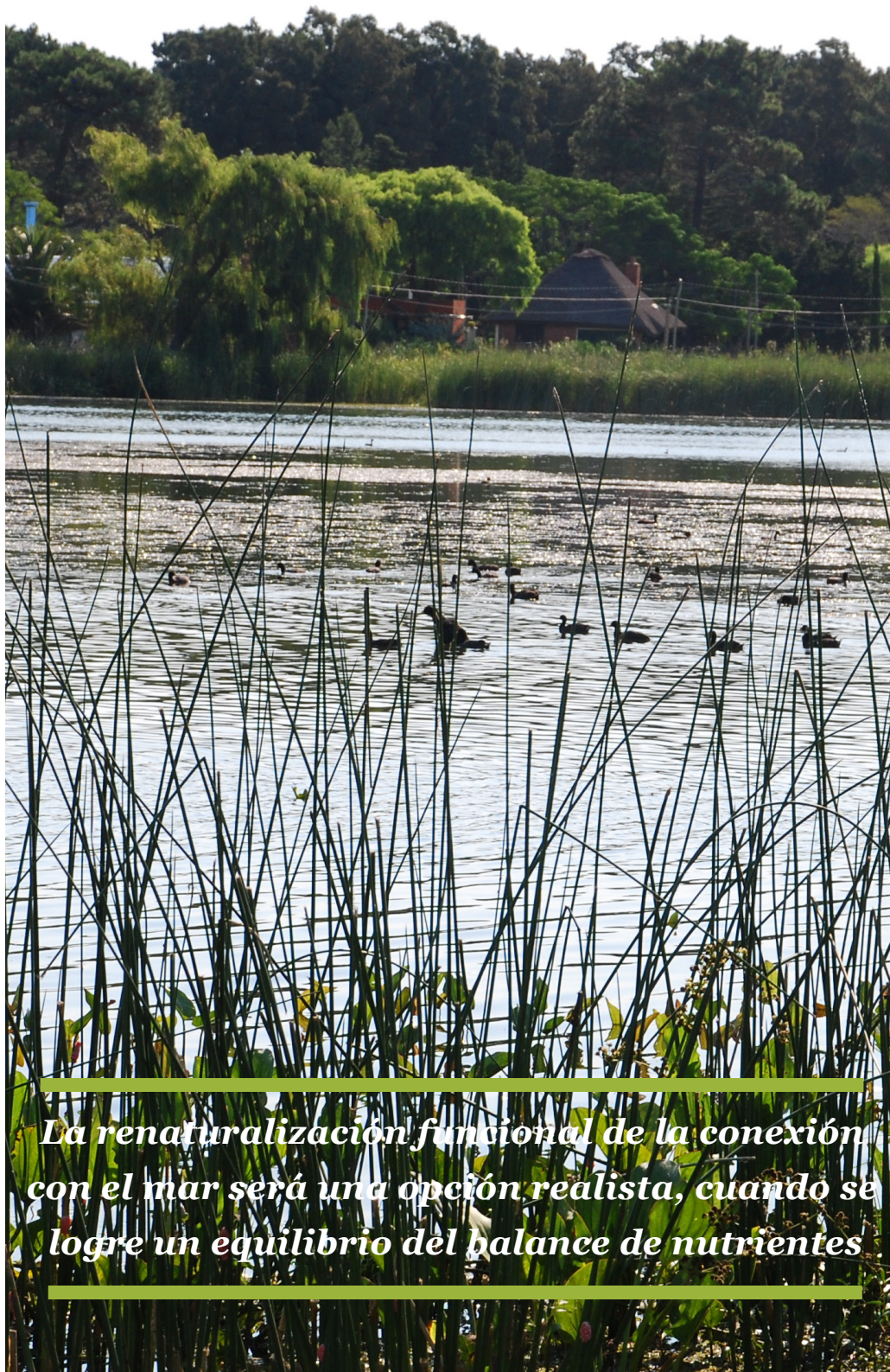
- ⇒ balance de nutrientes y materia orgánica; y
- ⇒ biodiversidad y funcionamiento del ecosistema.

En cuanto al primer punto, la entrada de agua marina, que es más oligotrófica (es decir, tiene menos nutrientes en ella) que el agua de la laguna, servirá para disminuir la concentración de nutrientes en la laguna, aumentar la circulación de agua, y disminuir el tiempo de residencia del agua. Por otra parte, la producción de agua de la capa inferior aumentará la eliminación tanto de nutrientes como de materia orgánica y eliminará las capas de agua marina del fondo, lo que evita o mitiga la estratificación. El efecto de la eliminación de la materia orgánica es probable que sea local, pero teniendo en cuenta el aumento de la circulación del agua debido a la salida de agua del fondo, afectará gradualmente a la mayor parte de los hábitats de la laguna.

En cuanto al segundo punto, la entrada de agua marina también volverá a crear un gradiente de ligera salinidad natural en la Laguna del Diario, creando nuevos hábitats, nuevos espacios de nichos y condiciones para más especies que coexistirán en la laguna. Por lo tanto, se espera que la biodiversidad global aumente debido al incremento de la heterogeneidad del hábitat.

4.2.2.2 Desventajas

La renaturalización funcional tiene costos relacionados con la estación de bombeo necesaria para la introducción de agua marina a la laguna y para la reestructuración de la infraestructura



La renaturalización funcional de la conexión con el mar será una opción realista, cuando se logre un equilibrio del balance de nutrientes

que conecta a la laguna con el medio ambiente marino con el fin de tener la salida del agua de la capa inferior. Para cuantificar estos costos es necesario analizar la posibilidad de adaptar la estación de bombeo existente de la vieja planta de tratamiento de aguas residuales que está cerca del extremo más próximo al mar de la Laguna del Diario. A la renaturalización funcional le llevará tiempo exportar los sedimentos al ecosistema marino vecino a una escala mayor que la local y constituirá un riesgo de ocasionar condiciones meromíticas debido a la estratificación del agua dulce sobre un nivel de agua marina más pesado; causaría desoxigenación del sedimento, liberaría nutrientes y aumentaría la eutrofización. Sin embargo, este riesgo se puede minimizar mediante la creación de condiciones de mezclado en la entrada del agua marina y modelando y manejando la circulación del agua y el equilibrio en la entrada-salida.

4.2.3 Evaluación global

La renaturalización estructural de la Laguna del Diario es una opción de rehabilitación que producirá impactos mucho más negativos que positivos a nivel de los ecosistemas y el paisaje. Por lo tanto, sugerimos su rechazo. La renaturalización funcional es una opción realista de rehabilitación, que tendrá un impacto positivo en la dinámica de los nutrientes, aumentando la producción de nutrientes y en la biodiversidad. Sin embargo, la eficacia de la renaturalización funcional de la conexión de la Laguna del Diario con el mar en el estado ecológico no puede evaluarse plenamente en ausencia

de estimaciones robustas del aporte de nutrientes y materia orgánica y proyecciones de los escenarios futuros de entradas de nutrientes.

La acción de renaturalización puede ser demasiado débil para compensar en el corto o en el largo plazo el aporte de nutrientes y materia orgánica, simplemente frenando el problema de eutrofización, mientras no se resuelva el problema

4.3 Opción 3 - Aumento de la exportación de nutrientes y materia orgánica de la laguna y disminución del aporte externo de nutrientes y materia orgánica

El impacto de la eutrofización de la laguna en el estado general del ecosistema ha sido bien descrito en la literatura científica (por ejemplo, Zaldivar et al., 2007), así como los riesgos relacionados del estado de transición hacia estados no deseados (por ejemplo Orfanidis et al., 2008). La recuperación de la eutrofización es un proceso de dos pasos de re-equilibrio de la entrada y salida de nutrientes y carga orgánica y de reducción de la disponibilidad global de nutrientes. El tiempo requerido y los caminos del cambio son inciertos debido a la histéresis del ecosistema (Scheffer et al, 2001; Reynolds, 2002).

La reducción de la aportación de nutrientes se logra a través de acciones integradas:

- ⇒ Eliminación de las entradas de aguas residuales domésticas.
- ⇒ Control y reducción de entradas asociadas a ríos, arroyos y aguas subterráneas.
- ⇒ Control de los aportes difusos

mediante diseño del paisaje.

- ⇒ Control de la carga interna de nutrientes.

No es posible ni conveniente, ni siquiera sabio, apuntar al control absoluto de los aportes externos de nutrientes y materia orgánica. La aportación de desperdicios de hojarasca alóctona de bosques naturales en la cuenca hidrográfica es un ejemplo de "aportación de verdes", no es susceptible su reducción total; sin embargo, esta aportación difusa de "verdes", requiere al menos de cuantificación.

Las salidas de nutrientes y materia orgánica de los ecosistemas lagunares ocurren comúnmente a través de:

- ⇒ La conexión de la laguna con el mar.
- ⇒ La dinámica de la cadena alimentaria y la depredación por parte de organismos terrestres y marinos.
- ⇒ Los ciclos de vida de anfibios e insectos.

Los dos últimos mecanismos, que extraen nutrientes de la Laguna del Diario, describen los caminos a través de los cuales los ecosistemas lagunares exportan nutrientes hacia los ecosistemas terrestres y marinos, pero es probable que el flujo de nutrientes que éstos pueden involucrar en la Laguna del Diario sea demasiado bajo para lograr un equilibrio en el balance de nutrientes y materia orgánica en la laguna con las condiciones actuales. Sin embargo, se puede lograr el aumento de la exportación de nutrientes, manteniendo y posiblemente acrecentando estas salidas naturales.

Opción 3 – Aumentar la exportación de nutrientes y materia orgánica de la laguna y disminuir el aporte de nutrientes y materia orgánica

Otras acciones que pueden aumentar las salidas de nutrientes y materia orgánica implican el manejo de la vegetación sumergida y emergente y el retiro de los sedimentos del fondo.

Los documentos ya disponibles sobre la rehabilitación de la Laguna del Diario han considerado tres acciones integradas para lograr un equilibrio entre la entrada y la salida de nutrientes y materia orgánica en la Laguna del Diario y juntos disminuir las entradas. Estas propuestas ya están expresadas en la Sección 1 de este informe y tienen en cuenta el manejo de la vegetación sumergida y los sedimentos orgánicos. Aquí, los integramos con el manejo de la vegetación emergente y presentamos un análisis de sus ventajas y desventajas en el contexto de todos los componentes que afectan la dinámica de los nutrientes y la materia orgánica de la Laguna del Diario.

4.3.1 Opción 3a - Control de la vegetación sumergida y emergente por recolección mecánica

La recolección mecánica de la vegetación sumergida y emergente es uno de los medios más comunes de manejo de nutrientes en lagos de agua dulce y ecosistemas lagunares. La explotación humana de macroalgas y algas marinas en todo el mundo difiere en gran medida por la cultura local (Harnedy y Fitzgerald, 2013). El material vegetal retirado de la laguna podría proporcionar beneficios adicionales por su uso en los procesos de producción de energía. Sin embargo, puesto que la composición química de la vegetación sumergida varía con las especies, los hábitats, la madurez y las condiciones ambientales (Ito y Hori, 1989), la elección del manejo relativo al enfoque optimizado a ser adoptado para el uso de las biomásas de algas tiene que ser evaluado caso por caso, luego de un chequeo físico-químico completo de los tejidos.

El manejo de la vegetación sumergida requiere considerar algunas cuestiones

claves que podrían dar lugar a efectos negativos en cascada:

- ⇒ La vegetación sumergida representa una proporción significativa de la productividad lagunar y afecta a los componentes críticos de las redes tróficas. Las especies herbívoras claves en la Laguna del Diario incluyen peces, aves y gasterópodos, que también contribuyen a la exportación de nutrientes y materia orgánica de la laguna.
- ⇒ La vegetación sumergida compite con el fitoplancton por los nutrientes y estas interacciones potencialmente podrían verse afectadas mediante el manejo de la biomasa de la vegetación sumergida; un cambio de vegetación sumergida a fitoplancton en grandes áreas de la laguna es probable que conduzca a la transición del estado de los ecosistemas a uno menos deseable y a un menor nivel de equilibrio.
- ⇒ La vegetación sumergida es sensible a la turbidez, que podría incrementarse mediante la recolección, reforzando el riesgo destacado en el punto anterior.

En cuanto a la vegetación emergente, el mejor momento para la recolección de la vegetación ribereña es durante las primeras etapas de crecimiento en la primavera y principios del verano, cuando se produce la máxima velocidad de crecimiento vegetativo (Bartoli y Viaroli, 2006), y a finales de verano y principios de otoño, justo antes del final de la temporada de crecimiento y el inicio de la senescencia vegetal. El manejo de la vegetación emergente también requiere la consideración de algunas cuestiones claves que podrían dar lugar a efectos negativos en cascada:

- ⇒ La vegetación del litoral es un hábitat de anidación importante para diversas especies de aves. La recolección de la vegetación requiere de un programa de retiro de plantas que se ha diseñado en las escalas temporales y espaciales necesarias para dar

cabida a la actividad de anidación de las aves.

- ⇒ La vegetación del litoral es también un hábitat clave para la incubación de insectos y la reproducción de caracoles. Ambas funciones tienen que ser consideradas y protegidas en la actividad de corte vegetal. Este punto debe ser considerado seriamente en la Laguna del Diario, donde el caracol – la interacción entre el caracol y el milano - es una vía principal de salida de nutrientes a través de las interacciones de las redes alimentarias.

4.3.1.1 Ventajas

Las ventajas de esta acción son claras: es decir, el retiro de biomasa de macrófitas sumergidas y emergentes aumenta la salida de nutrientes y materia orgánica del ecosistema de la laguna.

Por otra parte, se puede utilizar la biomasa de las plantas recolectadas para la producción de biocombustibles y otros tipos de producción de energía. Es bien comprendida la eficiencia energética del proceso de extracción de aceite a partir de cultivos artificiales de microalgas (Mata et al, 2010) debido al alto contenido en lípidos en las especies unicelulares (Spolaore et al, 2006; Rango de 4% a 20% en peso seco). En contraste, existen pocos datos de la eficiencia de la extracción de macroalgas y fanerógamas. A pesar de ello, las macroalgas crecen naturalmente en ecosistemas eutróficos costeros produciendo grandes cantidades de biomasa sin ningún esfuerzo humano (Lenzi et al, 2003; Bastianoni et al, 2008; Giovani et al, 2010.).

Las ventajas que se pueden obtener a partir de la utilización de dichos recursos tiene dos aspectos:

- ⇒ La explotación o 'cultivo' de las biomásas de macrófitas sumergidas o emergentes evita costos ecológicos, económicos y energéticos que resulta de la degradación de la laguna y el

Análisis comparativo de la rehabilitación - opciones 2 y 3 -

colapso eventual de la laguna.

- ⇒ La recuperación de energía a partir de la biomasa de macrófitas ofrece la oportunidad de transformar un costo considerable en ingresos. Una gran proporción de aceites extraíbles de macroalgas se utiliza para la producción de bioetanol (Borines et al, 2013; Tan et al, 2013.) y biodiesel (Belarbi et al, 2000; Chisti, 2007). Respecto al bioetanol, se llevaron a cabo varios estudios para optimizar la producción de macroalgas incluyendo la optimización de pre-tratamientos de biomasa para mejorar la eficiencia de la producción.

4.3.1.2 Desventajas

El manejo de las macrófitas sumergidas y emergentes tiene que tomar en cuenta diversos aspectos planteados al principio de esta sección. La única desventaja de un proceso de manejo de macrófitas bien realizado es la necesidad de repetir la acción, no sólo a lo largo del año, sino para los años siguientes hasta que se alcance un resultado positivo. Sin el control de los aportes externos, la acción del retiro de la biomasa vegetal de la laguna tiene un riesgo intrínseco de producir sólo resultados parciales. Las acciones de recolección tienen un costo, y la repetición de las acciones durante años requiere de un compromiso prolongado de la administración de fondos o de los donantes de fondos.

4.3.2 Opción 3b Control de la vegetación emergente y sumergida combinada con el control del aporte de nutrientes

El control del aporte de nutrientes es una prioridad clave en el manejo cuando

el uso de la tierra en las cuencas de aguas continentales, como ser lagos de agua dulce y lagunas, involucra actividades humanas cada vez más generalizadas e impactantes. Laguna del Diario tiene una relativamente pequeña cuenca hidrográfica, caracterizada por arroyos y cañadas en lugar de grandes ríos, y aún con una relativamente baja densidad de asentamientos urbanos. En este caso se puede lograr el retiro de nutrientes con las siguientes acciones de renaturalización o 'manipulación de la naturaleza verde':

- ⇒ Manejo de los cursos de agua, con la eliminación del exceso de acumulación de materia orgánica del fondo de los arroyos y aumento de la descarga del arroyo a la laguna con posibles efectos positivos en el tiempo de residencia del agua.
- ⇒ Renaturalización de la vegetación terrestre a lo largo de los corredores del arroyo y el control de las prácticas agrícolas y ganaderas con el fin de minimizar la descarga difusa de nutrientes a la Laguna del Diario.
- ⇒ Creación de humedales artificiales controlados a lo largo de las vías fluviales como ser cañaverales para controlar y reducir el transporte de materia orgánica en los ecosistemas lagunares aguas abajo.

4.3.2.1 Ventajas

Esta opción conducirá al sistema hacia la recuperación de un equilibrio entre la entrada y la salida de materia orgánica y nutrientes.

4.3.2.2 Desventajas

Añade los costos de construcción de humedales controlados en la cuenca hidrográfica y los costos del manejo de los arroyos y otros cursos de agua

menores, a los costos de la recolección de vegetación sumergida y emergente. Esta acción es una acción permanente que requiere inversiones a largo plazo para los costos operacionales, que son de todos modos bastante bajos en comparación con los costos de inversión.

4.3.3 Opción 3c - Control de la vegetación sumergida y emergente y control de la carga externa e interna de nutrientes

Tanto en lagos de agua dulce como en las lagunas, cuando el control de la entrada externa de nutrientes y materia orgánica no impulsa suficientemente al ecosistema a un estado más deseable y menos eutrófico, el control de las cargas internas se convierte en una alternativa operativa o en una acción complementaria a seguir. Existen diferentes acciones disponibles de acuerdo con las características fisiográficas del ecosistema específico considerado y a su real estado ecológico.

Existen tres acciones principales a considerar para la Laguna del Diario:

- ⇒ Dragar sedimentos superficiales, mediante el uso de plataformas móviles absorbiendo sedimentos con bombas de alto rendimiento y que funcionan operando con la característica de baja profundidad de la Laguna del Diario.
- ⇒ Construir una nueva capa artificial en el fondo, enterrando los nutrientes y la materia orgánica en el sedimento real de la laguna por debajo de una capa artificial impermeable.
- ⇒ Oxigenar los sedimentos en la zona más crítica de la laguna, con las mismas

REHABILITATION OPTIONS	ADVANTAGES			RISKS			COSTS		
	Env	Soc	Eco	Fai	Dam	Unc	Inv	Ope	Ove
Restoring connection with the sea									
a Structural re-naturalisation	■			■	■	■	■	■	■
b Functional re-naturalisation	■	■				■	■	■	■
Restoring nutrient balance and reducing loads									
a Harvesting lagoon vegetation	■	■	■	■			■	■	■
b Reducing external inputs	■	■		■			■	■	■
c Reducing internal inputs	■			■	■		■	■	■
c1 Dredging	■			■	■		■	■	■
c2 Burying sediments	■	■		■	■	■	■	■	■
c3 Oxygenating sediments	■	■		■			■	■	■

Table 4.1 - Análisis comparativo de las posibles opciones de rehabilitación para los ecosistemas de la Laguna del Diario. La oscuridad de los colores son proporcionales al valor para la categoría respectiva de las ventajas, los riesgos o costos

■	■	■	■
HIGH	MEDIUM	LOW	V. LOW

técnicas / equipos utilizados en las explotaciones piscícolas intensivas continentales.

Cada una de estas acciones tiene ventajas y desventajas que necesitan ser analizadas con respecto a las características del ecosistema específico considerado. Por lo tanto, pesamos estas acciones aquí con referencia al ecosistema de la Laguna del Diario.

4.3.3.1 Ventajas

El control de la carga interna a través de las dos primeras acciones (dragado, sellando los sedimentos del fondo), además del manejo de la biomasa vegetal y el control del aporte de nutrientes, tendrán un efecto inmediato en la calidad del agua; sin embargo, también puede tener efectos negativos sobre la biodiversidad, que se discutirá en la sección siguiente. La tercera acción producirá efectos positivos sobre la calidad del agua, pero en un lapso de tiempo más largo.

4.3.3.2 Desventajas

Las tres acciones tienen costos que deben añadirse a los ya considerados para el manejo de la biomasa vegetal y el control de la entrada externa. Los costos varían

mucho entre las acciones, siendo el más alto el de la reconstrucción de una capa de sedimento en el fondo de la laguna y el más bajo el de la oxigenación de las zonas lagunares seleccionadas que son más propensas a eventos de hipoxia o anoxia. Los costos operativos de la acción de oxigenación pueden reducirse en gran medida si se logra la electricidad requerida utilizando la energía solar. El costo de dragado depende del área y la profundidad de la actividad de dragado; pero la distribución vertical de los nutrientes en los sedimentos tiene que ser considerada cuidadosamente con el fin de evitar la creación de efectos opuestos a los deseados. Por otra parte, el dragado y la construcción de una nueva capa de sedimento en el fondo, son actividades invasivas, afectando la producción en la capa inferior de productores microscópicos y plantas sumergidas que actualmente mantienen una impresionante diversidad de fauna. Ambas actividades requieren la modelización detallada de la estructura de la red alimentaria de la Laguna del Diario para notificar la intervención; en el caso de la construcción de una nueva capa de sedimento en el fondo, también se requiere una modelización detallada para restaurar las comunidades bentónicas.

4.3.4 Evaluación global

Opción 3 describe varias acciones críticas que permitirán la recuperación de un deseable estado ecológico para la Laguna del Diario. Los comentarios detallados sobre los procedimientos metodológicos sugeridos a fin de minimizar el riesgo de fracaso y optimizar un proceso de manejo adaptativo se describen en las siguientes secciones. El control de la carga de nutrientes interna sería útil para acelerar el proceso de rehabilitación y necesitaría ser implementado luego de que se observan los primeros signos de recuperación. Sugerimos que se tenga en cuenta el dragado de las zonas particularmente vulnerables como una segunda opción. La construcción de una nueva capa inferior sobre el sedimento existente no es una opción requerida para la Laguna del Diario.

4.4 Análisis comparativo de las opciones de rehabilitación 2 y 3

En la definición y planificación de la intervención para la rehabilitación de la Laguna del Diario, las ventajas, los riesgos y los costos de las distintas opciones posibles, deben analizarse comparativamente

considerando las respuestas tanto a corto como a largo plazo del ecosistema. Se requieren efectos positivos a corto plazo de la intervención prevista con el fin de evitar una mayor degradación de los ecosistemas de la Laguna del Diario, evitando así la necesidad de intervenciones de rehabilitación más drásticas y costosas en el futuro. La estrategia de rehabilitación necesita centrarse en la recuperación a largo plazo de las nuevas condiciones de equilibrio que permitan el logro de condiciones ecológicas de alta calidad (ventaja ambiental de la intervención (ENV en la Tabla 4.1)), así como el estado deseado de los ecosistemas.

A la luz de las ventajas a corto y largo plazo, de los diferentes tipos de riesgos y costos, la opción nula debe rechazarse y se debe planificar una intervención en el corto plazo. Una de las opciones de rehabilitación que se tienen en cuenta en el presente informe, a saber, la renaturalización estructural de la conexión de la Laguna del Diario con el mar, también ha de ser rechazada. La construcción de una nueva salida de la laguna, estructuralmente volviendo a conectarla

con el océano, provocará grandes cambios en el ecosistema de la Laguna del Diario y lleva al ecosistema lejos de la situación deseada para el contexto socio-económico actual de la zona (alto riesgo de fracaso en atraer ventajas sociales y económicas a la zona). De hecho, cuando la conexión esté abierta al mar, la Laguna del Diario perderá la mayor parte de su superficie, con efectos en cascada negativos sobre la capacidad de carga y energética, la organización y biodiversidad. Cuando la salida esté cerrada, la Laguna del Diario recuperará casi por completo su superficie actual y la capacidad de carga, mientras se recupera a un ritmo más lento y con un grado de histéresis de su organización y de biodiversidad.

Por lo tanto, la Laguna del Diario recuperará su estado natural de oscilación estructural y funcional de acuerdo con las condiciones de apertura/cierre de la característica de salida de una laguna obstruida (sensu Kjerfve, 1994). Tal comportamiento de la laguna está en conflicto con el

estado socio-económico deseado de un ecosistema sano, con una biodiversidad alta y "visible", especies representativas y condiciones de equilibrio estables a una escala temporal mucho más corta que las condiciones dinámicas de equilibrio de lagunas obstruidas, particularmente cuando la superficie de la laguna oscila drásticamente entre las condiciones de apertura y cierre.

El establecimiento de una conexión funcional de la Laguna del Diario con el mar, con una circulación artificial de agua marina en el extremo costero de la laguna traerá potencialmente importantes ventajas en el estado ecológico de la Laguna, disminuyendo el tiempo de renovación del agua y, en consecuencia, reduciendo los efectos negativos de la carga de nutrientes y aumentando la heterogeneidad de la Laguna del Diario sin perder la mayor parte de su superficie, con efectos en cascada negativos sobre la capacidad de carga y energética, la organización y biodiversidad. Cuando la salida esté cerrada, la Laguna del Diario recuperará casi por completo



*La restauración de la laguna
presenta una excelente oportunidad
para la participación de toda la
comunidad local*

su superficie actual y la capacidad de carga, mientras se recupera a un ritmo más lento y con un grado de histéresis de su organización y de biodiversidad.

Como experimento de manipulación del nivel del ecosistema, cambiando la salinidad promedio de la Laguna del Diario y los gradientes de salinidad, hay riesgos de una dinámica caótica dentro de los ecosistemas, que pueden estimarse pero no minimizarse, sobre todo si sería la primera y única intervención de rehabilitación en la Laguna del Diario, requiriendo considerables entradas de agua marina para disminuir los niveles de nutrientes en la Laguna y aumentar el índice de recambio de agua. La probabilidad de éxito de una intervención de renaturalización funcional de la conexión de la Laguna del Diario con el mar será mucho mayor si se realizaran experimentos controlados a pequeña escala cuando el estado de la Laguna ya esté experimentando mejoras significativas debido a las acciones de intervención en el balance de nutrientes y cargas.

Al establecer las prioridades entre las opciones de rehabilitación propuestas en las secciones 4.2 y 4.3 y que figuran en el cuadro 4.1, una cuestión importante es asegurarse respuestas positivas a corto plazo necesarias para evitar un mayor deterioro del estado ecológico de la Laguna del Diario durante la implementación de otros componente de infraestructura que generarán efectos positivos a largo plazo. La recolección de la biomasa vegetal en la Laguna del Diario proporciona respuestas ambientales y sociales positivas con los costos operativos que pueden ser parcialmente cubiertos mediante recompensas económicas por el uso de la biomasa vegetal exportada.

Por lo tanto, el análisis comparativo de las opciones de rehabilitación propuestas indica como primera prioridad, la optimización de la recolección continua actual de las macrófitas sumergidas y extendiéndola

a macrófitas emergentes. Sin embargo, la recolección de la biomasa vegetal necesita acciones integradoras con la entrada de nutrientes a fin de lograr un equilibrio de nutrientes en la Laguna del Diario, mientras que la carga de nutrientes globales disminuye.

Las opciones de rehabilitación, incluyendo la reducción de las cargas de nutrientes, tanto externas como internas, produce efectos positivos a largo plazo sobre las condiciones ambientales de la Laguna del Diario. Entre las opciones que se describen en la sección 4.3 y que figuran en el cuadro 4.1, la reducción de las entradas de nutrientes externos tiene las mayores ventajas ambientales y sociales, ya que las características de la cuenca hidrográfica de la Laguna del Diario permiten la reducción sustancial de entradas externas de nutrientes con la intervención que figura en la sección 4.3.2. Por otra parte, estos tipos de intervención sólo han reducido los riesgos hipotéticos de fracaso y no hay ningún riesgo de implicaciones negativas sobre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas.

La integración de la recolección de biomasa vegetal en la Laguna del Diario con la reducción de las entradas externas representan una solución coherente para revertir las actuales condiciones de degradación de la Laguna del Diario hacia un equilibrio menos eutrófico en el balance de nutrientes y un estado ecológico más deseable. Por lo tanto, una mayor intervención drástica en el ecosistema de la laguna destinada a reducir las entradas de nutrientes internos no parece ser necesaria.

De hecho, tanto el dragado de las áreas a nivel local con el mayor contenido orgánico de sedimentos y cubriendo los sedimentos del fondo con una nueva capa de fondo artificial tiene un fuerte impacto sobre las comunidades bentónicas, incluidas la flora y la fauna bentónica, con riesgo de un mayor deterioro a corto plazo del estado ambiental de la laguna. Por otra parte, requiere altos costos de inversión y operativos. Sólo la oxigenación mecánica de sedimentos podría ser una opción viable

para acelerar y reforzar las respuestas a nivel de ecosistemas positivos a corto plazo para la recolección de biomasa vegetal. La oxigenación mecánica de sedimentos es alcanzable en la Laguna del Diario, la cual es lo suficientemente poco profunda para responder de manera positiva, y podría reducir sustancialmente el flujo de nutrientes, especialmente de fósforo, de los sedimentos en las zonas con alta concentración de materia orgánica en las capas de sedimentos superficiales.

Una propuesta para la rehabilitación de la Laguna del Diario, integrando las diferentes opciones a lo largo de una escala de tiempo definido de intervención, se da en el Sección «Recomendación» del presente informe.

5. Investigación y Monitoreo

Es fundamental comprender los cambios que se producen en Laguna del Diario. Conocemos diversos aspectos de la dinámica del sistema, sin embargo varios aspectos fundamentales permanecen desconocidos.

Con el fin de permitir el desarrollo de un plan de manejo adaptativo razonable para rehabilitar la laguna, y para adaptarse a los cambios climáticos futuros es fundamental llenar estas brechas de conocimiento. Se requiere una combinación de investigaciones, que puede ser de relativamente corta duración, y de monitoreo a más largo plazo para el seguimiento de los procesos de cambio y la eficacia de remediación. En esta sección se describen algunas de las principales necesidades, y se indica cuando es factible, la agencia o el personal que podría ser contratado para tal fin.

5.1 Información de las bases de datos

El informe de la Universidad de la República se basa en una revisión y análisis de los esfuerzos de investigación pre-existentes, junto a una nueva investigación, orientada a la evaluación. Es muy probable que existan otros datos históricos en los informes gubernamentales, bancos de datos y

documentos de investigación que podrían ampliar la base existente de conocimientos científicos y socioeconómicos. Con el fin de maximizar el valor de los esfuerzos del pasado, y para evitar la duplicación innecesaria, debe llevarse a cabo un proyecto a corto plazo para buscar y registrar las fuentes de datos existentes. Este es un proyecto adecuado para los estudiantes universitarios.

5.2 Régimen hidrológico

La Universidad de la República ha desarrollado un modelo que intenta describir los flujos de agua (superficial y subterránea) dentro y fuera de la laguna. Mientras que el modelo en sí es sólido, los datos disponibles para hacer uso de su potencial predictivo son limitados. Un elemento particularmente importante se refiere

La rehabilitación de la Laguna requiere que los vacíos de conocimiento existentes en materia de propiedades y procesos del ecosistema sean cubiertos por investigación y monitoreo adicionales

La comprensión e interpretación del proceso de rehabilitación requiere de un modelo de ecosistema integral

a las aguas subterráneas, lo que contribuye a la laguna por filtración, pero también es parte del suministro interno de nutrientes. La contribución de las aguas subterráneas a la laguna, sin duda, varía en diferentes partes de la cuenca hidrográfica, y se espera que cambie su rol en el futuro bajo la influencia de los cambios climáticos. Del mismo modo, los canales de agua superficiales afluentes transportan cantidades variables de agua dulce, sedimentos y nutrientes a la laguna, especialmente a raíz de las tormentas, pero éstos no son monitoreados actualmente.

Una red de piezómetros, presas, pluviómetros, etc, ya sea monitoreados mediante sensores modernos, o mediante visitas periódicas, proporcionaría los datos necesarios para ejecutar los modelos hidrológicos con eficacia, y apoyar futuras decisiones de manejo. Esto resultaría en un proyecto adecuado de colaboración entre investigadores universitarios y personal de la Intendencia.

5.3 Régimen de sedimentos

La información actual sobre los sedimentos en la laguna es extremadamente escasa, basada sustancialmente en un único núcleo en el canal medio. El conocimiento de la actual carga de sedimentos, sus propiedades (por ejemplo, los contaminantes, la estructura, la movilidad, etc), es fundamental para la evaluación de las necesidades de rehabilitación, sin importar qué opción de remediación se adopta. Se requiere un estudio más exhaustivo de los sedimentos depositados en la laguna. La Universidad de la República tiene el equipo y el personal para llevar a cabo esta tarea.

5.4 Calidad del agua

Como se indica en el informe de la Universidad de la República, la calidad del agua puede cambiar rápidamente bajo la influencia de los cambios en los ecosistemas, los cambios estacionales y climáticos, y los esfuerzos de remediación. El monitoreo de la calidad del agua es un elemento crucial en cualquier esquema adaptativo de manejo de la remediación. Se deben mantener las actividades de monitoreo actuales relacionadas con los temas de salud pública, pero también deben ser mejoradas en términos de frecuencia de muestreo y número de localizaciones. Los parámetros de preocupación incluyen: bacterias coliformes, algas potencialmente tóxicas, concentración de nutrientes, pH, alcalinidad, concentración de sedimentos, etc.

Esta actividad se ajustaría dentro del mandato del personal de la Intendencia, pero ya que los datos son valiosos para otras razones aparte de las de salud pública, se requiere un proyecto de colaboración con la Universidad de la República

5.5 Uso de la tierra

Los problemas de la laguna están relacionados con los continuos cambios que se producen en el uso de la tierra en la cuenca hidrográfica: sobre todo el aumento de la urbanización, el transporte, el turismo, la agricultura, etc. Estas actividades - incluyendo un proyecto de relleno por uno de los propietarios de tierras en la costa sur de la laguna - representan amenazas progresivas a la estabilidad del ecosistema de la laguna, y el éxito de cualquier esfuerzo de rehabilitación. Es necesario eliminar la construcción descontrolada y no autorizada o los cambios en el uso de la tierra. En la actualidad no está claro para nosotros (el Comité de Expertos) si

se están monitoreando las tendencias en el cambio del uso de la tierra y, en caso afirmativo, si los datos son suficientemente conocidos y utilizados para proporcionar la predicción efectiva de las condiciones futuras que afectarían la sostenibilidad del ecosistema de la laguna. Si no lo están, se deberá realizar un estudio de este tipo, seguido de revisiones periódicas. Esto podría lograrse sólo con el personal de la Intendencia, o en colaboración con investigadores de la Universidad.

5.6 Flora

Mientras que recientes investigaciones llevadas a cabo por la Facultad pretenden dar a conocer un inventario y una estimación de la biomasa para la vegetación sumergida, no parece que lo mismo haya sido aplicado para la vegetación emergente. Se debe continuar trabajando con las plantas sumergidas, para supervisar tanto los efectos de corte como de cualquier otro esfuerzo de remediación. Se requieren estudios similares para los juncales que en la actualidad ocupan una gran parte de la laguna original. El retiro de algunos de los sedimentos y materia orgánica acumulados en las áreas de vegetación emergente ayudará a reducir la materia orgánica acumulada y la carga de nutrientes en la laguna (potencialmente revertir la tendencia actual de aumento continuo), aumentar la diversidad de hábitats y permitir un mejor manejo del intercambio de agua. El monitoreo de la vegetación emergente se puede realizar mediante fotografías aéreas o por satélite (por ejemplo Tassi et al., 2007), utilizando drones o aviones no tripulados, o más económicamente mediante estudios de campo. En este último caso, las organizaciones no gubernamentales podrían participar en los estudios anuales aumentando la concientización y el interés participativo en la laguna y cualquier proceso de rehabilitación.

El documento de la Universidad de la República, no da a conocer información sobre la diversidad florística de la vegetación emergente. Esto debe ser remediado mediante un estudio multi-estacional

a corto plazo, que sirviera de base para la planificación de las estrategias de rehabilitación a largo plazo.

Las poblaciones de algas necesitan ser monitoreadas regularmente debido a sus cortos ciclos de vida, a su rápida respuesta a las condiciones ambientales y a las preocupaciones de salud pública. Es necesario continuar con las investigaciones preliminares reportadas por la Universidad de la República, incluyendo las mediciones periódicas de la productividad.

5.7 Fauna

El estudio de la Universidad de la República, y los artículos publicados asociados y documentos inéditos, como los informes y tesis, producidos por los equipos de investigación de las universidades, proporcionan una buena base de conocimientos para la evaluación del estado ecológico y los factores claves de la situación actual en la Laguna del Diario, como se ha puesto de manifiesto en las secciones anteriores de este informe. Sin embargo, se requieren nuevos conocimientos e información actualizada para describir el potencial de conservación de las diferentes opciones y describir los caminos de cambio y el potencial de remediación de la laguna en su conjunto. Los temas de alta prioridad son: la actualización de la población de peces y el estudio de la distribución; el diseño de un programa de temporada de monitoreo usando redes, trampas y técnicas de electropesca para todas las regiones de la laguna; la actualización del estudio de bentos y un diseño de muestreo estratificado para el seguimiento a largo plazo; y sobre todo, el diseño y la implementación de un programa de monitoreo de las aves. Los programas de monitoreo para los peces y las aves podrían ofrecer buenas oportunidades para el reclutamiento de miembros de la comunidad y desarrollo de proyectos ciudadanos científicos.



***La rehabilitación de la laguna,
manteniendo su productividad y
biodiversidad, tendrá un beneficio
general para la industria del
turismo en su conjunto***

5.8 Interacciones del ecosistema

La comprensión e interpretación del proceso de rehabilitación de un sistema de laguna eutrófica requiere un modelo de ecosistema integral. Muchos de estos modelos existen, cuyo propósito es describir por ejemplo, las interacciones alimentarias, las respuestas de la población a los cambios ambientales (etc.), pero éstos no se han aplicado a la Laguna del Diario. Tomará varios años adquirir la información necesaria para establecer los modelos, pero el objetivo de lograr una comprensión holística de los procesos ecosistémicos requiere que esto sea llevado a cabo. Esto permitirá a las agencias de manejo que evalúen el progreso y midan el éxito de las acciones de rehabilitación.

5.9 Implicaciones socioeconómicas

Los cambios en la productividad y diversidad de la laguna crearán oportunidades y costos económicos. Una razón principal para seleccionar la opción adecuada para la rehabilitación de la Laguna del Diario es desarrollarla como un activo de apoyo a la industria turística de la región de Maldonado - o al menos para minimizar el efecto negativo potencial si el actual proceso de degradación continuase. La rehabilitación de la laguna, el mantenimiento de su productividad y diversidad biológica, tendrá un beneficio general para el sector turístico en su conjunto, pero es difícil definir o cuantificar ese beneficio con precisión. Sin embargo, una laguna rehabilitada probablemente se convertirá en un centro de nuevas formas de uso recreativo; observación de aves, natación, canotaje, etc, y bien puede apoyar el desarrollo de servicios de alojamiento (hoteles) cercanos. A fin de evaluar los beneficios económicos de esta actividad, que compensarán parte de los costos de la rehabilitación, se recomienda que se realice de inmediato el estudio de los posibles beneficios socioeconómicos.

6. Recomendaciones

La recomendación fundamental es establecer un programa de acción correctiva para revertir el actual proceso de eutrofización mediante el control de la entrada de nutrientes, aumentando la exportación de nutrientes y retirando parte de la carga de nutrientes existentes en la laguna. Estas acciones (que se describen en la opción 3 anterior) se lograrán principalmente mediante la cosecha de macrófitas existentes sumergidas y emergentes, posiblemente complementado dragando y / o descargando el agua marina.

La intervención recomendada se organiza en pasos sucesivos, con recomendaciones claves para cada paso para evitar resultados ineficientes o incluso negativos.

PASO 1 – La recolección de macrófitas sumergidas tiene que ser mantenida y desarrollada en el marco de la recolección de macrófitas emergentes; esta acción permite el retiro del exceso de carga interna y externa de nutrientes en el corto plazo, mientras que se diseña e implementa una intervención más eficaz en la entrada de nutrientes y en el tiempo de retención del agua de la laguna. Cuando la entrada de nutrientes y el tiempo de retención de agua está bajo control, probablemente ya no será necesario el establecimiento de un equilibrio en el balance de nutrientes en la laguna mediante la recolección de macrófitas emergentes y sumergidas.

La intervención recomendada es organizada en dos pasos sucesivos con recomendaciones claves para cada uno de ellos con el fin de evitar resultados negativos

La actividad de recolección ha de tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

⇒ el conocimiento ecológico de las redes alimenticias a base de macrófitas sumergidas ya existe en la Laguna del Diario (por ejemplo, Mazzeo et al 2008; Vianna, tesis de grado); sin embargo, tiene que aclararse mejor el papel de las macrófitas sumergidas en las

redes alimentarias de la Laguna del Diario, con el fin de evitar impactos negativos en la biodiversidad. Los peces, los gasterópodos y las aves son especies de herbívoros relevantes que contribuyen tanto a la exportación de nutrientes de la laguna, como a la biodiversidad de la laguna, que tienen que ser protegidos, mientras que se realiza la recolección de la biomasa de

El objetivo es un medio ambiente de alta calidad con alta diversidad biológica proporcionando beneficios recreativos y estéticos a la región

macrófitas;

- ⇒ las macrófitas compiten con el fitoplancton por los nutrientes y la luz; la recolección tiene que evitar la creación de una ventaja competitiva para el fitoplancton que resulte en el dominio de las especies de fitoplancton que podría aumentar la eutrofización y los efectos negativos;
- ⇒ el rol de las macrófitas emergentes para la reproducción de gasterópodos y aves en la Laguna del Diario tiene que ser evaluado para optimizar la recolección de la biomasa de macrófitas emergentes;
- ⇒ el momento durante el año y la extensión espacial de la recolección tienen que ser planificados teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores con el fin de maximizar la exportación de nutrientes de la laguna;
- ⇒ la utilización de la biomasa vegetal retirada para la producción de energía podría representar una solución para compensar el costo de la recolección.

PASO 2 – Control de la entrada de nutrientes a través de la Renaturalización y el manejo del pequeño arroyo que entra en la Laguna del Diario, y la construcción y el manejo de los humedales artificiales en la cuenca hidrográfica de la laguna. Esta acción requiere tiempo para lograr su plena realización, pero cuando el control está en pleno funcionamiento tendrá fuertes efectos positivos y permanentes en la salud de los ecosistemas de la Laguna del Diario. En cuanto a esta acción, se recomienda que:

- ⇒ la operación de control de entrada de

nutrientes esté basada en un modelo de óptima carga de nutrientes a la Laguna del Diario que se traduce en una reducción de la eutrofización, mientras que se mejora la biodiversidad en el ecosistema de la laguna;

- ⇒ se implemente un plan para el cambio en el uso de la tierra y en el desarrollo urbano en la vertiente de la cuenca hidrográfica de la Laguna del Diario con acciones de manejo y de políticas destinadas a garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y el logro de un buen estado ecológico para el ecosistema de la laguna.

PASO 3 - El restablecimiento de una entrada de agua marina en la Laguna del Diario, disminuyendo el tiempo de residencia del agua y el aumento de la exportación de nutrientes hacia el mar. La sincronización y la cantidad de entrada de agua marina en la laguna tiene que ser estimado y modelado teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ⇒ la estratificación de agua dulce y de agua marina en la laguna tiene que ser evitado con el fin de evitar el riesgo de hipoxia o anoxia de los sedimentos;
- ⇒ los efectos potenciales de la entrada de agua marina y el aumento de la salinidad sobre la flora y la fauna de la laguna tiene que ser monitoreado a fin de evitar impactos negativos.

Con el fin de apoyar las acciones de rehabilitación por encima de los siguientes asuntos también tienen que:

- ⇒ Compilar una bibliografía exhaustiva de informes y fuentes de datos

relativos a la Laguna del Diario.

- ⇒ Realizar estudios básicos para cubrir importantes vacíos de conocimiento ecológico con el fin de garantizar que los resultados de la acción de rehabilitación estén dando los resultados deseados. Dichos estudios comprenden: la diversidad y distribución de los organismos bentónicos; la diversidad y la extensión del área de macrófitas emergentes; el papel de las macrófitas emergentes como hábitat de peces y aves; y la composición y las propiedades de los sedimentos.
- ⇒ Establecer una red de estaciones de monitoreo para medir los niveles de precipitación, agua superficial y subterránea para proporcionar el perfeccionamiento constante de los modelos hidrológicos existentes.
- ⇒ Establecer un programa de monitoreo de la calidad del agua con el fin de hacer frente a los posibles problemas de salud.
- ⇒ Realizar un estudio de las tendencias actuales en el uso de la tierra y el desarrollo de la cuenca hidrográfica.
- ⇒ Comprometer a la comunidad local a ayudar con las actividades de monitoreo y aumentar la educación y sensibilización del público.

Todas estas recomendaciones apuntan a la rehabilitación a largo plazo del ecosistema de la laguna. El objetivo es inducir cambios en la laguna que con el tiempo producirán un entorno sostenible y de alta calidad, que presente una alta diversidad biológica, y proporcione beneficios recreativos y estéticos a la región. Debido a la naturaleza dinámica de los ecosistemas naturales, el realizar cualquier cambio tiene un riesgo inherente de iniciar respuestas ecológicas inesperadas, como lo demuestra el crecimiento de las cianobacterias luego de la recolección de las plantas sumergidas. En consecuencia, dichos cambios deben ser seleccionados sobre la

base de la mejor información científica disponible, y luego modificados en caso necesario en el tiempo mientras el monitoreo de los indicadores importantes del ecosistema indican que los resultados deseados son, o no son, alcanzados. El enfoque corresponde al manejo adaptativo, en el cual, el resultado final deseado sólo se puede lograr mediante la adaptación inteligente de las medidas de rehabilitación a medida que se despliega el proceso de rehabilitación. Si es exitoso, hay muchas razones para esperar que los costos de rehabilitación, finalmente, sean devueltos a través de los beneficios socioeconómicos obtenidos.

Agradecimientos

“La actividad global que ha llevado a la realización de nuestro estudio e informe sobre las opciones de rehabilitación de la Laguna del Diario ha sido posible gracias al apoyo de la St. Andrews University, la Universidad de la República Uruguay, la Facultad de Ciencias, el Centro Universitario de la Region Este, la Intendencia Departamental de Maldonado, la Union Vecinal de Punta Ballena y Lagunas del Sauce y del Diario y la Traductora Publica Nicole Lannes Peirano.

También hemos contado con el apoyo y la amistad de muchos miembros de estas instituciones y queremos dar las gracias aquí a Malcolm MacCormack, Néstor Mazzeo, Alfredo Pacheco, Jorge Hourcade, Jhoanna Fernández, Federico Steffenino, Diego Glejberman, Douglas Mundie, Hector Laca, Claire Eatock por toda la información, documentos y conocimientos que ponen a disposición de nosotros, permitiéndonos obtener una comprensión adecuada del funcionamiento de la laguna en el muy corto tiempo requerido por el proyecto.

Se debe un especial agradecimiento a Malcolm MacCormack, que ha abierto a nosotros su casa en la costa de la Laguna del Diario, lo que nos permite “vivir la laguna” durante todo el período de nuestra estancia en el Uruguay y transferiéndonos su profundo amor y preocupación por la Laguna del Diario que ha inspirado nuestro trabajo hacia la decisión por la opción óptima de rehabilitación permitiendo que la Laguna del Diario restaure y establezca su buen estado ecológico, manteniendo e incrementando su diversidad de plantas y animales.”

Finalmente, agradecemos a Sara Montinaro por llevar a cabo el diseño gráfico y la edición de este informe.

Referencias

- Bartoli, M., Viaroli, P. 2006. Zone umide perfluviali: processi biogeoquímicos, funciones ecológicas, problemas de gestión e conservación. *Biología Ambiental* 20: 43-54.
- Basset, A., Barbone, E., Elliott, M., Li, B-L, Jorgensen, S.E., Lucena-Moya, P., Pardo, I., Mouillot, D. 2013. A unifying approach to understanding transitional waters: fundamental properties emerging from ecotone ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 132: 5-16.
- Bastianoni, S., Coppola, F., Tiezzi, E., Colacevich, A., Borghini F., Focardi S. 2008. Biofuel potential production from the Orbetello lagoon macroalgae: A comparison with sunflower feedstock. *Biomass and Bioenergy* 32: 619-628.
- Belarbi, E-H., Molina, E., Chisti, Y. 2000. A process for high yield and scaleable recovery of high purity eicosapentaenoic acid esters from microalgae and fish oil. *Enzyme and Microbial Technology* 26: 516-529.
- Borines, M.G., de Leon, R.L., Cuello, J.L. 2013. Bioethanol production from the macroalgae *Sargassum* spp. *Bioresource Technology* 138: 22-29.
- Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25:294-306.
- Convenio de restauración y conservación sustentable de la Laguna del Diario y su cuenca, 2007 – unpublished document
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van der Berlt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Giovani, A., Mari, E., Specchiulli, A., Cilenti, L., Scirocco, T., Breber, P., Renzi, M., Focardi, S.E., Lenzi, M. 2010. Factors affecting changes in phanerogams distribution patterns of Orbetello Lagoon, Italy. *Transitional Waters Bulletin* 4: 35-52.

- Bartoli, M., Viaroli, P. 2006. Zone umide perfluviali: processi biogeochimici, funzioni ecologiche, problemi di gestione e conservazione. *Biologia Ambientale* 20: 43-54.
- Basset, A., Barbone, E., Elliott, M., Li, B-L, Jorgensen, S.E., Lucena-Moya, P., Pardo, I., Mouillot, D. 2013. A unifying approach to understanding transitional waters: fundamental properties emerging from ecotone ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 132: 5-16.
- Bastianoni, S., Coppola, F., Tiezzi, E., Colacevich, A., Borghini F., Focardi S. 2008. Biofuel potential production from the Orbetello lagoon macroalgae: A comparison with sunflower feedstock. *Biomass and Bioenergy* 32: 619-628.
- Belarbi, E-H., Molina, E., Chisti, Y. 2000. A process for high yield and scaleable recovery of high purity eicosapentaenoic acid esters from microalgae and fish oil. *Enzyme and Microbial Technology* 26: 516-529.
- Borines, M.G., de Leon, R.L., Cuello, J.L. 2013. Bioethanol production from the macroalgae *Sargassum* spp. *Bioresource Technology* 138: 22–29.
- Chisti, Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25:294-306.
- Convenio de restauracion y conservacion sustentable del la Laguna del Diario y su cuenca, 2007 – unpublished document
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van der Berlt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Giovani, A., Mari, E., Specchiulli, A., Cilenti, L., Scirocco, T., Breber, P., Renzi, M., Focardi, S.E., Lenzi, M. 2010. Factors affecting changes in phanerogams distribution patterns of Orbetello Lagoon, Italy. *Transitional Waters Bulletin* 4: 35-52.
- Harnedy, P.A., Fitzgerald, R.J. 2011. Extraction of protein from the macroalga *Palmaria palmata*. *LWT - Food Science and Technology* 51: 375-382.
- Ito, K., Hori, K. 1989. Seaweed: chemical composition and potential food uses. *Food Review International* 5: 101-144
- Kjerfe, B. 1994. *Coastal lagoons processes*. Elviesier Amsterdam NL
- Lenzi, M., Palmieri, R., Porrello, S. 2003. Restoration of the eutrophic Orbetello lagoon (Tyrrhenian Sea, Italy): water quality management. *Marine Pollution Bulletin* 46: 1540-1548.
- Lovelock, J.E. 1979. *Gaia A new look at life on Earth* Oxford University Press.
- Mata, T.M., Martins, A.A., Caetano, N.S. 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 217–232.
- Mazzeo, N., et al.(2008). *Diseño de estrategias para recuperar Laguna del Diario de acuerdo a sus usos actuales*. Universidad de la Republica (UdelaR)
- Odum E.P. 1989. *Ecology and our endangered life-support systems*. Sinauer Associates Inc. Mass.
- Orfanidis S., Reizopoulou S., Basset A. 2008. Transitional states in transitional and coastal waters. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18S: 1-3
- Reid, W.V., Mooney, H.A. et al., 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington DC
- Reynolds C.S. 2002. Resilience in aquatic ecosystems – hysteresis, homeostasis and health. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 5: 3-17.
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A., Folke, C., Walker, B. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature* 413: 591-596.



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY

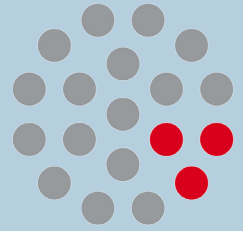


FACULTAD DE
CIENCIAS

UDELAR | fcien.edu.uy



Intendencia
de **Maldonado**



CURE

Centro Universitario
de la Región Este



SMRU MARINE

understand • assess • mitigate

