



**Aportes para la rehabilitación  
de la Laguna del Sauce y el  
ordenamiento territorial de su cuenca**



## Aportes para la rehabilitación de la Laguna del Sauce y el ordenamiento territorial de su cuenca

Instituto Sudamericano para Estudios sobre Resiliencia y Sostenibilidad (SARAS<sup>2</sup>) - 2018.

Edición: Paula Bianchi, Germán Taveira, Hugo Inda y Manfred Steffen.

Fotografías: Gabriela Oxilia (2016), Hugo Inda (2015), Néstor Mazzeo y Jorge Hourcade (2013).

Diseño: Paula Bianchi y Germán Taveira.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE SIGLAS	6	Manejo de la vegetación acuática	74
PREFACIO	9	Control de cianobacterias por ultrasonido	75
RESÚMENES DE CAPÍTULOS	10	Referencias	78
CAPÍTULO 1. ¿QUÉ ES LA EUTROFIZACIÓN?	25	<b>CAPÍTULO 5. ORDENAMIENTO Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL EN EL CONTEXTO DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE CUENCAS</b>	81
Referencias	31	Proceso de construcción del territorio local	82
SOBRE EL SISTEMA LAGUNA DEL SAUCE	32	Marco normativo nacional y departamental	85
CAPÍTULO 2. ¿CUÁL ES EL ESTADO ECOLÓGICO DE LAGUNA DEL SAUCE?	35	Desafíos del marco jurídico - institucional	92
Distribución de peces: 24 especies capturadas con redes	37	Estado del arte y caminos a recorrer	93
Referencias	42	Tipología de los procesos de participación	96
SOBRE LA CUENCA DE DRENAJE	44	Referencias	97
CAPÍTULO 3. ¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES USOS DEL SUELO ACTUALES Y TENDENCIALES EN LA CUENCA DE LAGUNA DEL SAUCE?	47	<b>CAPÍTULO 6. ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN DE LAGUNA DEL SAUCE DESDE LA PERSPECTIVA DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL</b>	99
Referencias	59	Certezas, riesgos e incertidumbres	100
CAPÍTULO 4. ¿CUÁLES SON LAS POSIBLES ESTRATEGIAS DE REHABILITACIÓN DE LA LAGUNA DEL SAUCE?	61	Alternativas optimas vs satisfactorias	101
¿Cómo controlar el aporte externo de nutrientes?	64	Opción nula	101
Plantas de tratamiento para el control de aportes puntuales	64	Opción de rehabilitación	101
Nuevas prácticas de fertilización en los agroecosistemas	64	Control del aporte externo: oportunidades, dificultades y desafíos	102
Conservación, creación y manejo de áreas de amortiguación o zonas buffer	66	Aportes puntuales	104
Zonas de exclusión del ganado sobre los cuerpos de agua	67	Aportes difusos	104
¿Cómo controlar la carga interna de nutrientes?	68	Control de la carga interna de nutrientes	107
Remoción del sedimento	69	Medidas adicionales para acelerar el proceso de recuperación	108
Aislamiento físico del sedimento	69	Referencias	108
Aislamiento químico del sedimento	69	<b>CAPÍTULO 7. AVANCES, DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES EN EL ACTUAL SISTEMA DE GOBERNANZA</b>	111
Lavado del sistema	71	Transición del comando-control hacia el manejo integrado	116
¿Qué otras medidas existen para acelerar el proceso de rehabilitación?	71	Desde el manejo integrado al adaptativo	117
Bio manipulación: control de la pesca artesanal y remoción de peces planctívoros	72	Mapeo de servicios ecosistémicos y valoración económica	119
Cultivo de bivalvos	74	De la administración de crisis a la rehabilitación, prevención y precaución	122
		Referencias	126

## ÍNDICE DE SIGLAS

$\mu\text{g/L}$  – Microgramos/Litro

ANP – Administración Nacional de Puertos

CONEAT - índice estructurado por el Ministerio de Agricultura y Pesca y la Comisión Nacional de Estudio Agro económico de la Tierra (CO.N.E.A.T.)

DICOSE - División Contralor de Semovientes

DIEA - División de Estadística Agropecuarias

DINAGUA – Dirección Nacional de Aguas

DINAMA – Dirección Nacional de Medio Ambiente

DINAMIGE – Dirección Nacional de Minería y Geología

DINARA – Dirección Nacional de Recursos Acuáticos

DINOT – Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial

DNH – Dirección Nacional de Hidrografía

DNI - Dirección Nacional de Industrias

IDM – Intendencia Departamental de Maldonado

IMPO - Dirección Nacional de Impresiones y Publicaciones Oficiales

INE – Instituto Nacional de Estadísticas

LOTDS – Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible

MDN – Ministerio de defensa Nacional

MGAP – Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca

MI – ministerio del interior

MIDES – Ministerio de Desarrollo Social

MIEM – Ministerio de Industria, Energía y Minería

MSP – Ministerio de Salud Pública

MTOP – Ministerio de Transporte y Obras Públicas

MVOTMA – Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

NTU - del inglés Nephelometric Turbidity Unit unidad nefelométrica de turbidez

OPP - Oficina de Planeamiento y Presupuesto

OSE – Obras Sanitarias del Estado

OSE-UGD - Obras Sanitarias del Estado - Unidad de Gestión Desconcentrada de Maldonado

PNN – es el mismo que prefectura nacional naval?

PNN – Prefectura Nacional Naval

RENA – Dirección General de Recursos Naturales

SINAE – Sistema Nacional de Emergencias

SNIG – Sistema nacional de información ganadera

SOHMA – Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada

UDELAR – Universidad de la República

Ursea – Unidad Reguladora de Servicios de Energía y Agua

USGS - United States Geological Survey (Servicio Geológico de los Estados Unidos)

UTE - Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas

# Resumen de capítulo 1

## ¿Qué es la eutrofización?

*Paula Bianchi, German Taveira, Guillermo Goyenola,  
Magdalena Fuentes, Manfred Steffen & Néstor Mazzeo.*

*Aportes para la rehabilitación de la Laguna del  
Sauce y el ordenamiento territorial de su cuenca*

## RESUMEN

La eutrofización es un proceso de enriquecimiento de nutrientes (generalmente nitrógeno y fósforo) en un sistema acuático. La respuesta del sistema ante esa mayor disponibilidad de nutrientes es el crecimiento de plantas acuáticas y/o floraciones de algas microscópicas o cianobacterias.

Este fenómeno genera cambios tanto en la estructura como en la función del ecosistema que pueden limitar o eliminar los bienes y servicios brindados por estos, como el suministro de agua potable.

La eutrofización se caracteriza por presentar una dinámica no lineal, umbrales y transiciones bruscas. El funcionamiento de estos procesos presenta algunas características contra-intuitivas que provocan una discrepancia entre la percepción humana y el funcionamiento de los sistemas naturales. Esta discrepancia se expresa en dos errores frecuentes:

- Asumir que los sistemas humanos y naturales pueden ser tratados en forma independiente.
- Asumir que la respuesta de los ecosistemas al uso humano es lineal, predecible y controlable.

Ambos errores son consecuencia de una concepción fragmentada y lineal de la realidad, en la que se presume que los fenómenos son reversibles y los sistemas naturales responden de forma predecible a la presión humana.

# 1

## ¿QUÉ ES LA EUTROFIZACIÓN?

*Paula Bianchi, German Taveira, Guillermo Goyenola, Magdalena Fuentes, Manfred Steffen & Néstor Mazzeo.*

### Mensajes clave

- La eutrofización es un proceso de enriquecimiento de nutrientes, generalmente nitrógeno y fósforo, en un sistema acuático.
- La eutrofización es la principal alteración de la calidad del agua a nivel global y nacional.
- Las causas de la eutrofización obedecen a múltiples factores tanto naturales como de origen antrópico.
- El aporte antropogénico de nitrógeno y fósforo se origina en el manejo inadecuado de la fertilización, el acceso directo del ganado a los cuerpos de agua, a la ausencia de saneamiento o la presencia de sistemas de saneamiento sin tratamiento terciario.
- Ante una elevada concentración de nutrientes el sistema acuático genera una serie de mecanismos que pueden desembocar en floraciones de algas microscópicas o cianobacterias y/o un crecimiento excesivo de plantas acuáticas.
- Las floraciones algales o de cianobacterias generan múltiples interferencias con los sistemas de agua potable, desde problemas físicos hasta la presencia de cianotoxinas o compuestos que producen problemas de olor y sabor.

*Bianchi, P., Taveira, G., Goyenola, G., Steffen, M. & Mazzeo, N. 2018. ¿Qué es la eutrofización? En P. Bianchi, G. Taveira, H. Inda, & M. Steffen, eds. Aportes para la rehabilitación de la Laguna del Sauce y el ordenamiento territorial de su cuenca. Maldonado: Instituto SARAS: 25–31.*



## ¿Qué es la eutrofización?

La calidad del agua se define en función de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas. Al mismo tiempo, la evaluación de la calidad es enteramente dependiente del uso y los servicios ecosistémicos que se pretende obtener. A modo de ejemplo, las actividades de recreación y suministro de agua potable demandan los niveles más exigentes de calidad del agua.

Dentro de los múltiples factores que afectan de forma negativa la calidad del agua, los aportes de nutrientes y contaminantes desde la cuenca de drenaje suelen ser los más frecuentes. Igualmente, la introducción de especies exóticas, la sobrepesca y la pérdida o fragmentación de hábitat (por ejemplo, desaparición de humedales), pérdida de biodiversidad, pueden contribuir al deterioro del recurso (Jackson et al. 2001, Baron et al. 2002, Zedler y Kercher 2005, Dudgeon et al. 2006). Sin embargo, la eutrofización, proceso de incremento en la entrada de nutrientes a un sistema acuático, generalmente nitrógeno y fósforo, constituye la principal causa de interferencias o pérdida de servicios ecosistémicos claves. Esto sucede tanto a nivel nacional como global (Scheffer et al. 1993, Smith 2003, Heisler et al. 2008, Conley et al. 2009, Smith y Schindler 2009), y repercute directamente sobre el bienestar humano (Fig.1.1)

El aporte externo de nitrógeno y fósforo se origina en el manejo inadecuado de la fertilización en los agroecosistemas, el acceso directo del ganado a los cuerpos de agua, ausencia de saneamiento o la presencia de sistemas de saneamiento sin tratamiento terciario (Schindler 2006, Carpenter et al. 2016). Como consecuencia, se genera un aumento en la abundancia y biomasa de los productores primarios, lo que altera el funcionamiento del ecosistema en su conjunto.

En el medio acuático, los productores primarios comprenden dos grandes grupos: macro y microformas (Img. 1.1 – 1.2). El primero incluye macroalgas y plantas acuáticas vasculares; el segundo, microalgas y cianobacterias. El predominio de uno u otro grupo depende de un conjunto de factores reguladores, los que determinan que algunos sistemas queden dominados por plantas acuáticas y otros por microalgas o cianobacterias, estos estados pueden alternarse en el tiempo y en el espacio. El área de incidencia del viento, la turbidez del agua, la presencia o ausencia de peces o mamíferos herbívoros, la ocurrencia de bivalvos filtradores y el tiempo de retención hidráulica son los principales factores que, en presencia de una elevada carga de nutrientes, pueden regular la predominancia de un grupo u otro. En términos



Img. 1.1 Planta acuática flotante libre del género *Salvinia* (helecho) presente en la desembocadura del Arroyo del Sauce. Las macroformas incluyen una considerable diversidad de macroalgas, briófitas, helechos y plantas con flor (angiospermas). La diversidad biológica puede agruparse en cuatro formas de vida: plantas enraizadas emergentes (juncos), enraizadas flotantes (ninfeas), enraizadas sumergidas (ortiga del agua, *Ceratophyllum*) y flotantes libres (camalotes y lentejas de agua). Foto: Gabriela Oxilia.



Img. 1.2 Muestra fitoplanctónica colectada en Laguna del Sauce durante el verano de 2016 con una considerable diversidad de microformas. El filamento de células localizada a la izquierda corresponde a diatomeas del género *Aulacoseira*, la colonia en la sección superior pertenece al grupo de las clorofitas (*Oocystis*) y la célula en el centro es un ejemplo de carofita (*Closterium*). Los dos primeros representan formas de vidas multicelulares en contraposición a *Closterium*, unicelular. La diversidad de especies en Laguna del Sauce presenta una importante variación temporal, desde períodos con pocas especies (generalmente asociados a floraciones de cianobacterias) a fases con ensambles de 20 o más especies ocurriendo simultáneamente. Foto: Juan Pablo Pacheco.

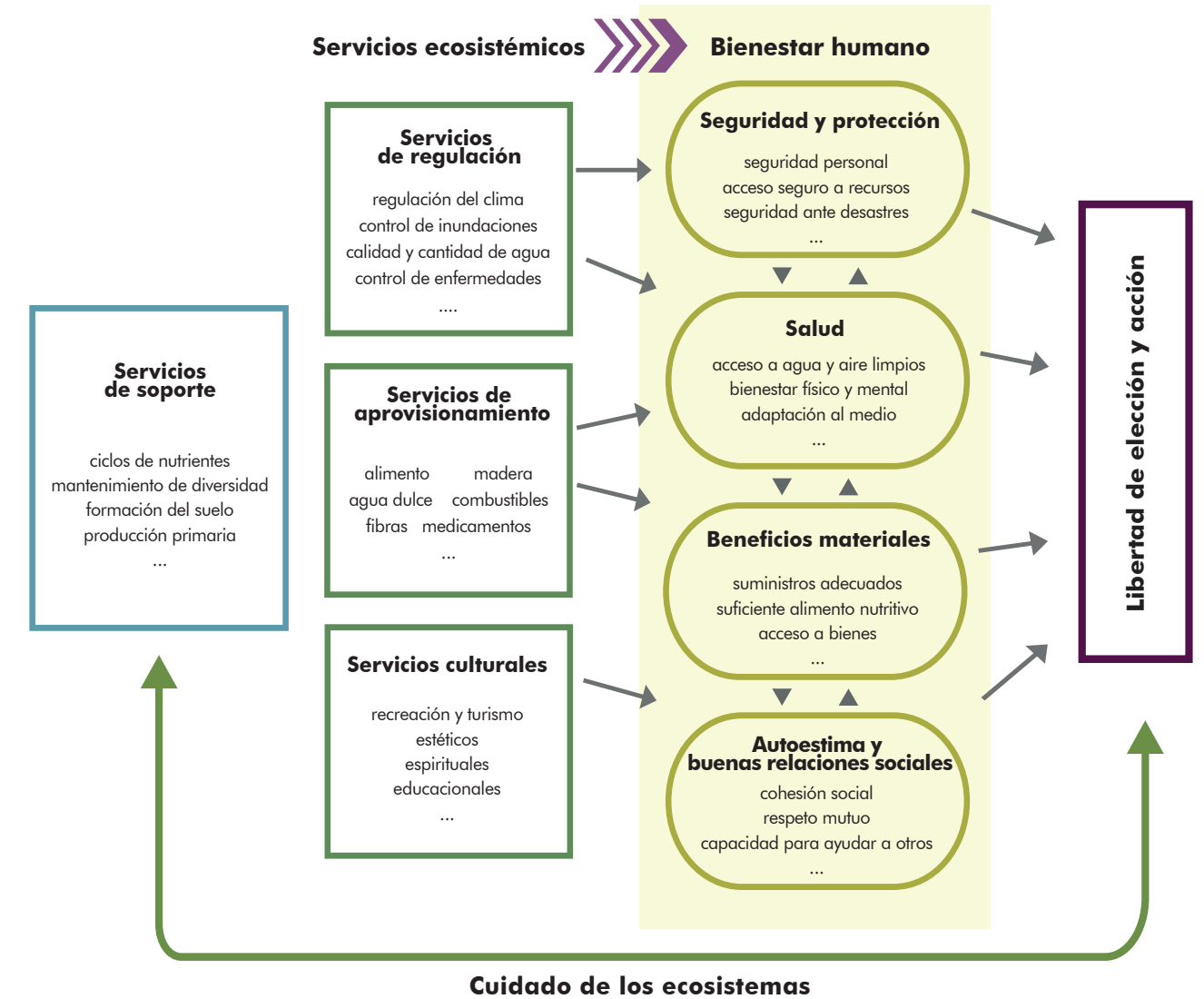
simples, el sistema acuático puede adquirir conformaciones diferentes como respuesta a una misma causa: el aumento del aporte externo de nutrientes (Scheffer et al. 1993, Scheffer y Van Nes 2007).

Las múltiples conformaciones que puede adoptar un sistema acuático frente a un mismo factor, generan dificultades en la comprensión y gestión de la eutrofización. Sin embargo, su dinámica temporal suele presentar desafíos aún mayores. La eutrofización registra una dinámica no-lineal y cambios de régimen bruscos a partir de ciertos umbrales (Scheffer et al. 1993). Esto quiere decir que, a cambios similares en las concentraciones de nutrientes en el agua, se observan respuestas muy disímiles en la abundancia y biomasa de los productores primarios (Fig.1.2). Un aspecto clave a comprender es la histéresis. Este fenómeno determina que los umbrales que desencadenan las respuestas más adversas sean diferentes a los umbrales a partir de los cuales se recupera dicho sistema. Por lo tanto, rehabilitar un sistema eutrófico implica alcanzar cargas de nutrientes menores a las que desencadenaron el problema.

Al mismo tiempo, el fenómeno de eutrofización presenta efectos diferidos tanto en el tiempo como en el espacio, característica que requiere de una combinación en las escalas de análisis para su comprensión. Las consecuencias que observamos en un momento dado son el resultado de décadas de efectos antrópicos acumulados. Su recuperación puede tardar varios años, aunque exista un control absoluto de los aportes externos de nutrientes en el corto plazo. A nivel espacial, una actividad localizada de forma distante al cuerpo de agua, pero dentro de la cuenca de drenaje, puede constituir un aporte considerable de nutrientes asociado al transporte por escorrentía superficial o subterránea de materia y energía.

Por lo tanto, el análisis de todas las actividades antrópicas a nivel de cuenca es un punto de partida

ineludible en la gestión y rehabilitación de recursos acuáticos. En este sentido, el ordenamiento territorial juega un papel clave en la prevención y rehabilitación de los fenómenos de eutrofización. La rehabilitación de Laguna del Sauce (que asegure en el tiempo un adecuado suministro de agua potable) presenta importantes desafíos, ya que plantea la necesidad de implementar estrategias en el corto, mediano y largo plazo tanto en el medio urbano como en el rural.



**Fig. 1.1** Servicios ecosistémicas y sus vínculos con el bienestar humano. Los servicios ecosistémicas se definen como los bienes y servicios que las personas obtienen de los ecosistemas. Estos se clasifican en servicios de aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte que mantienen a los demás. Todos ellos afectan directamente el bienestar humano; los cambios que experimentan estos servicios pueden afectar la seguridad, las necesidades de materiales básicas, la salud, las relaciones sociales y culturales. Los componentes del bienestar condicionan directa e indirectamente las libertades de elección y acción de las personas, las que a su vez afectan estas libertades a través del cuidado que brindan a los ecosistemas. Tomado y adaptado de Chapin et al. (2009).



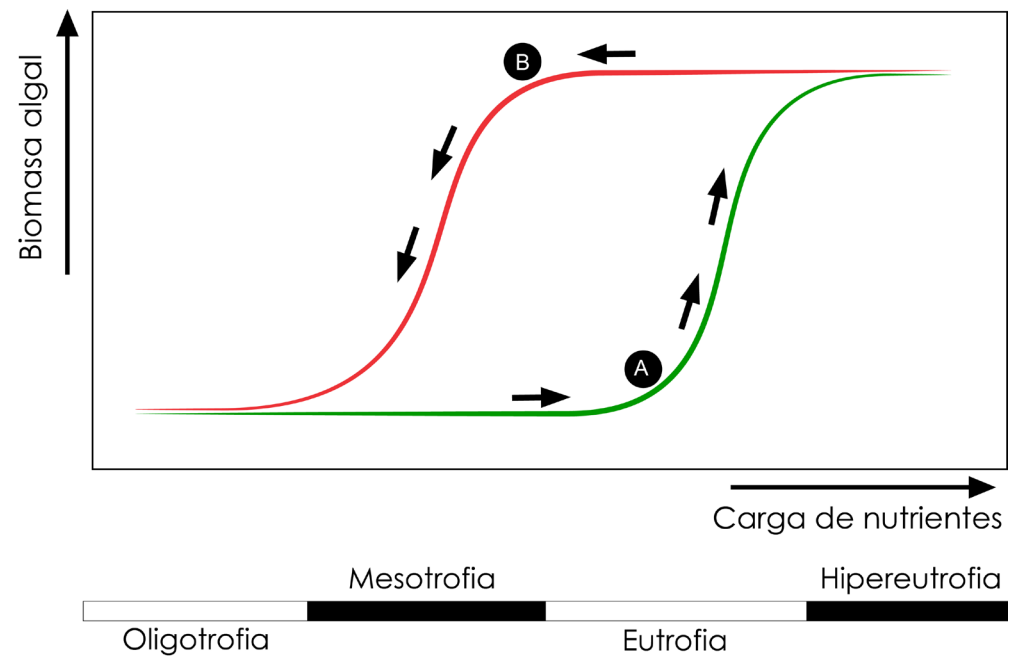


Fig. 1.2. Histéresis y umbrales. Los ecosistemas en lugar de cambiar de forma lineal (continua y gradual) pueden presentar cambios bruscos (inesperados y muchas veces irreversibles) a partir de ciertos umbrales. Este tipo de comportamiento opera en el caso de la eutrofización, donde a cambios similares en las concentraciones de nutrientes en el agua, se observan respuestas muy disímiles.

Una vez que el sistema ha sufrido un cambio de estado, tiende a permanecer en él, aun cuando se revierta la variación del parámetro de control y se lo lleve a su valor previo a la transición, fenómeno conocido como histéresis. Esto determina que los umbrales que desencadenan las respuestas más adversas sean diferentes a los umbrales a partir de los cuales se recupera dicho sistema. Por lo tanto, para rehabilitar un sistema eutrófico se debe llegar a cargas externas menores de nutrientes a las que desencadenaron el fenómeno.

La grafica incluye la variación de la biomasa fitoplanctónica ( $y$ ) en función de la carga de nutrientes ( $x$ ). A medida que esta última aumenta (línea verde) el sistema no experimenta cambios. Una vez alcanzada una determinada carga (A), el sistema cambia de forma brusca (traspasa un umbral) que desencadena un crecimiento desmedido de fitoplancton. Una vez alcanzado un estado de aguas turbias, dominado por microalgas y/o cianobacterias, la recuperación del sistema implica reducir las cargas de nutrientes a niveles inferiores (B) respecto a aquellos que desencadenaron el proceso. Tomado y adaptado de Scheffer & Carpenter (2003).



## Referencias

- Baron, J.S., Poff, N.L., Angermeier, P.L., Dahm, C.N., Gleick, P.H., Hairston, N.G., Jackson, R.B., Johnston, C.A., Richter, B.D. & Steinman, A.D. 2002. Meeting ecological and societal needs for freshwater. *Ecological Applications* 12(5): 1247–1260.
- Carpenter, A.S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N., Applications, S.E. & Aug, N. 1998. Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Ecological Applications* 8(3): 559–568.
- Chapin, F.S., Folke, C. & Kofinas, G.P. 2009. A Framework for Understanding Change. En C. Folke, P. G. Kofinas, & S. F. Chapin, eds. *Principles of Ecosystem Stewardship: Resilience-Based Natural Resource Management in a Changing World*. Springer New York: 3–28.
- Conley, D.J., Paerl, H.W., Howarth, R.W., Boesch, D.F., Seitzinger, S.P., Havens, K.E., Lancelot, C. & Likens, G.E. 2009. Ecology. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus. *Science* 323(5917): 1014–5.
- Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D.J., Lévêque, C., Naiman, R.J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiasny, M.L.J. & Sullivan, C.A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81(2): 163–182.
- Heisler, J., Glibert, P.M., Burkholder, J.M., Anderson, D.M., Cochlan, W., Dennison, W.C., Dortch, Q., Gobler, C.J., Heil, C.A., Humphries, E., Lewitus, A., Magnien, R., Marshall, H.G., Sellner, K., Stockwell, D.A., Stoecker, D.K. & Suddleson, M. 2008. Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus. *Harmful Algae* 8(1): 3–13.
- Jackson, R.B., Carpenter, S.R., Dahm, C.N., McKnight, D.M., Naiman, R.J., Postel, S.L. & Running, S.W. 2001. Water in a changing world. *Ecological Applications* 11(4): 1027–1045.
- Scheffer, M. & Carpenter, S.R. 2003. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Trends in Ecology & Evolution* 18(12): 648–656.
- Scheffer, M., Hosper, S.H., Meijer, M.L., Moss, B. & Jeppesen, E. 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in ecology & evolution* 8(8): 275–9.
- Scheffer, M. & Van Nes, E.H. 2007. Shallow lakes theory revisited: Various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia* 584(1): 455–466.
- Schindler, D.W. 2006. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. *Limnology and Oceanography* 51(1,2): 356–363.
- Smith, V.H. 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems a global problem. *Environmental Science and Pollution Research* 10(2): 126–139.
- Smith, V.H. & Schindler, D.W. 2009. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology & Evolution* 24(4): 201–207.
- Zedler, J.B. & Kercher, S. 2005. Wetland Resources: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability. *Annual Review of Environment and Resources* 30(1): 39–74.