

SEMARNAT

SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



LAGOS Y SUS CUENCAS CONSTRUYENDO LA GOBERNANZA



Con el apoyo de la Alianza
RÍO ARRONTE
FUNDACIÓN



Cuadernos de divulgación ambiental
Lagos y sus cuencas, construyendo la gobernanza
Número 8. Serie manejo de cuencas

DR © **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales**

Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable

Av. Ejército Nacional 223, Col. Anáhuac, Del. Miguel Hidalgo, 11320, Ciudad de México.
www.gob.mx/semarnat

Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas (REMEXCU)

www.remexcu.org/

Instituto Corazón de la Tierra, A.C.

Calle Paseo de los Filósofos 1175, interior 209, Colinas de la Normal,
44270, Guadalajara, Jalisco.
www.corazondelatierra.org.mx/

Refugia, Centro para la Conservación de la Ecobiodiversidad, A.C.

Norte 87ª, número 36, Col. Clavería, Del. Azcapotzalco, 02080, Ciudad de México.

Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional (CIEMAD-IPN)

Calle 30 de junio de 1520 s/n, Col. La Laguna Ticomán, Del. G.A. Madero, 07340, Ciudad de México.
www.ciemad.ipn.mx/

Red de Socioecosistemas y Sustentabilidad (RedSocioecos)

www.redsocioecos.org/

WWF México

Av. México 51, Col. Hipódromo, Del. Cuauhtémoc, 06100, Ciudad de México.
www.wwf.org.mx

Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P.

Boulevard Adolfo López Mateos 2009, piso 1, Col. Los Alpes, Del. Álvaro Obregón, 01010, Ciudad de México.
www.fgra.org.mx/

International Lake Environment Committee (ILEC)

1091 Oroshimo-cho Kusatsu-shi, Shiga 525-0001, Japón.
www.ilec.or.jp/en/

Coordinación del proyecto Cuadernos de divulgación ambiental: Felipe Nemer Naime, Eva Susana Conzuelo González, Javier Lara Arzate, Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADSU).

Coordinación de contenidos de la Serie manejo de cuencas: Eduardo Ríos Patrón, Ignacio Daniel González Mora y Raúl Vera Alejandre (REMEXCU).

Investigación y texto por el Grupo de Trabajo "Lagos y sus Cuencas" de la REMEXCU: Alejandro Juárez Aguilar (coordinador), Marina de la Vega Salazar, Laura Dávalos Lind, Ignacio Daniel González Mora, Eduardo Ríos Patrón, Raúl Vera Alejandre, Leticia Oseguera Figueroa, Pierre Mokondoko Delgadillo, Anuar Iram Martínez Pacheco, Alberto Gómez-Tagle Chávez y Enrique Mora Heredia.

Diseño: Oswaldo Daniel Ortigoza Espejel.

Primera edición: 2018.

ISBN: en trámite.

Índice

Lagos, espejos del mundo

1. ¿Qué distingue a los lagos?	12
2. Lagos. Sus habitantes, funciones y servicios	23
3. Lagos y sus cuencas, unidad indivisible	34
4. Gobernanza en lagos: los seis pilares	49
5. Manejo de cuencas lacustres, retos y oportunidades	59
Conclusiones	61
Fuentes	65



Foto: Alejandro Juárez.

Lagos, espejos del mundo

“...Qué . . . , ¿no oyen llorar al lago?,
¿a las olas que se quejan?,
¿se merece tan mal pago?,
¿de su amor por qué se alejan?...”

*Fragmento del poema al lago de Pátzcuaro,
de Gonzalo Ramos Aranda.*

Los lagos son inicio y fin, principio y vínculo indisoluble con la historia, la cultura y los valores de la sociedad que, como espejos, reflejan, cual mudos testigos, nuestra relación con el territorio, y nuestra capacidad de colaboración y cooperación para mantener o mejorar los bienes y servicios que recibimos de tan importantes ecosistemas acuáticos. Son principio, pues la misma agua de su maravilloso espejo corre desde las partes altas de las montañas en una unión indisoluble de la cuenca y su lago; y es fin porque es destinatario de los impactos acumulados y de su capacidad de absorberlos.

Los lagos son espejo, reflejo viviente y complejo de las interrelaciones y relaciones entre la vida y el desarrollo, de las decisiones de hoy y el bienestar de mañana; son pues, uno de los últimos reductos de agua dulce que tenemos; representan una fuente de inspiración pero también mensaje fiel de nuestras decisiones individuales y colectivas, así como hábitat de la gran biodiversidad de especies terrestres y acuáticas, pasajeras o permanentes, conformando nuestra identidad y patrimonio natural.

Los lagos son expresión genuina del ciclo hidrológico, y son también reflejo de la interacción entre el suelo, la vegetación, la vida y la dinámica hidrológica a partir de la estructura y funcionamiento de toda la red de ríos y arroyos que confluyen a un solo punto -el lago-, en una misión de almacenar agua y conformar hábitats cincelada en tiempos geológicos, y otra más reciente de mantener la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos para la vida de las personas y los ecosistemas, mientras las presiones a su degradación extensiva se intensifica y se exagera en un contexto de cambio climático.



Panorámica del Lago de Cuitzeo ubicado en los estados de Michoacán y Guanajuato. Se muestra el impacto de una de las dos carreteras que cruzan completamente al segundo lago más grande de México. Foto: Nancy Ortiz Alejandre.

La multidireccionalidad y el relativo largo tiempo de retención de sus flujos de agua integran en forma compleja el funcionamiento de estos ecosistemas acuáticos con la dinámica socio-ecosistémica de la cuenca y su lago, condicionadas estas interacciones con el origen o edad del lago, el clima, la salinidad y la estratificación (JICA-ILEC, 2008) o la dinámica de flujos de materia, vida y energía dentro del cuerpo de agua; estas características únicas hacen de cada lago, laguna o cuerpo de agua artificial entes vivos, genuinos e irrepetibles en su funcionamiento, su capacidad de respuesta e integración social, económica, cultural y ecosistémica, generando únicas formas de construcción de la colaboración y cooperación para el manejo y gestión integral.

Pero esta compleja cooperación se distorsiona ante la multiplicidad de visiones y se amplifica con las variadas y acumulativas presiones derivadas del uso y aprovechamiento no sostenible de los recursos naturales a una creciente población con mayores necesidades, en ocasiones integrada a sistemas de consumo-desecho que implican impactos locales, en el propio lago, en las comunidades ribereñas, en la cuenca en su conjunto o bien a nivel regional o global.

Estos espejos de México y del mundo se encuentran en riesgo en mayor o menor medida por las sistemáticas prácticas no sostenibles pesqueras y agrícolas, la introducción de especies invasoras, la contaminación a través de descargas directas de agua residual o industrial, la acumulación de sedimentos producto de la erosión y deforestación de la cuenca, la contaminación difusa de agroquímicos y nutrientes, o por la sobreexplotación de acuíferos y agua superficial afectando la composición química, física y el funcionamiento biológico de los ecosistemas acuáticos y teniendo un impacto en la salud de las comunidades y en la calidad y cantidad de bienes y servicios que reciben.



Atardecer frente al Lago de Pátzcuaro desde Ucazanastacua, en la región purépecha en el estado de Michoacán, México. Foto: Nancy Ortiz Alejandre.

Esta publicación nace con el arranque del **Grupo de Trabajo “Lagos y sus Cuencas”** que reside en la **Red Mexicana de Cuencas (REMEXCU)**. Este Grupo se enfoca a difundir la importancia del manejo y gestión integral, desarrollar una línea base de los lagos y sus cuencas en México, así como impulsar la colaboración y cooperación, reconociendo la unicidad y complejidad para la búsqueda de la gobernanza en cada lago, fomentando el impulso de casos de implementación específica de la Gestión Integral de Cuencas Lacustres¹. Es también esta publicación un punto de partida rumbo

¹ En inglés: Integrated Lake Basin Management (ILBM), es una metodología que apoya a los gestores del cambio en los lagos y a las partes interesadas en lograr un manejo sostenible. Su aplicación en México se ha focalizado en la cuenca Lerma Chapala, en particular en el lago de Chapala. Es fomentada por el International Lake Environment Committee Foundation (ILEC)

a la 18a Conferencia Mundial de Lagos² a realizarse en México en el año 2020.

Para homogeneizar y divulgar conceptos básicos en torno a la gestión y manejo integral de cuencas y en alianza editorial con el Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU), de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Red Mexicana de Cuencas (REMEXCU)³ *Lagos y sus cuencas, construyendo la gobernanza* se integra a la serie “Manejo de cuencas” en la cual se han publicado a la fecha los cuadernos: I) **Cuencas** hidrográficas, fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión, II) **Ríos** libres y vivos, introducción al caudal ecológico y reservas de agua, III) **Suelos**, bases para su manejo y conservación, IV) **Adaptación al cambio climático**, fundamentos desde el manejo de cuencas y el fortalecimiento de capacidades, V) **Economía** y medio ambiente, reflexiones desde el manejo de cuencas, VI) **Servicios ecosistémicos**, fundamentos desde el manejo de cuencas y VII) **Riesgos hidrometeorológicos**, una mirada desde el manejo de cuencas.

Lagos y sus cuencas, construyendo la gobernanza explora las características distintivas de los lagos, detallando la importancia de sus habitantes y sus funciones, así como la relevancia del enfoque integral y de los pilares para conseguir y consolidar la gobernanza. El texto concluye con una reflexión sobre los retos que se nos presentan para enfrentar los problemas de cada lago y su cuenca.

Un propósito de esta publicación es describir un lenguaje común relacionado con estos maravillosos ecosistemas acuáticos y

² El International Lake Environment Committee Foundation (ILEC) organiza las Conferencias Mundiales de Lagos (World Lake Conference), las cuales se iniciaron en 1984 con la Shiga Conference on Conservation and Management of World Lake Environment realizada en el lago Biwa, en Japón. Aquí más información: <http://www.ilec.or.jp/en/wlc>

³ Para saber más de la Red Mexicana de Cuencas visita <http://www.remexcu.org/>

contribuir como un primer eslabón a la construcción de procesos colaborativos y participativos hacia la gobernanza y la sustentabilidad de nuestros lagos, lagunas -naturales o artificiales- para proteger nuestro patrimonio natural y sus servicios ecosistémicos en México. Sus autores, participantes del Grupo de Trabajo de “Lagos y sus Cuencas” de la REMEXCU, invitamos a docentes, estudiantes, investigadores, servidores públicos y a toda la sociedad a leerla, conocer más y difundirla.

¡Conoce para proteger, conoce para valorar! ¡Participa!

1. ¿QUÉ DISTINGUE A LOS LAGOS?

“El agua es la fuerza motriz de la naturaleza”.

Leonardo Da Vinci.

Los lagos son cuerpos de agua estancada considerados como sistemas lénticos⁴ o leníticos debido a que no presentan movimiento ni continuo ni en una dirección, y éste se da en relación a las condiciones del clima, las estaciones del año y la temporada de lluvias. También en estos ecosistemas acuáticos se produce una acumulación de materiales y su evolución se realiza *in situ* (en el sitio), (ver recuadro: *Y... ¿qué son los sistemas lóticos y lénticos?*).

Los lagos son maravillosos sistemas vivos cuya dinámica se relaciona con los flujos de energía y materia determinando hábitats, procesos y funciones específicas a partir de su origen y manejo.

La mayor fuente de energía hacia los lagos es la radiación solar. Gran parte de la energía solar calorífica es de longitud de onda larga en la porción del infrarrojo, y sólo el agua superficial de los lagos

⁴ Léntico del latín *lentus* que significa lento. Lenítico: de agua estacionaria, de agua estancada, de agua quieta

absorbe la radiación; por ejemplo, la longitud de onda⁵ de 750 nm es absorbida en el primer metro de profundidad y solo el 1 por ciento es transmitida a 2 metros de profundidad en agua pura. La absorción de luz se incrementa por la materia disuelta y suspendida en el agua.

La capacidad calorífica del agua⁶ es mayor que la del aire, lo que permite la acumulación de la energía luminosa como calor, por lo que los rangos de temperatura diurnos y anuales son menores en el agua que en el aire, lo que hace que los **ambientes acuáticos sean más estables en temperatura** (Reid y Wood, 1976).

⁵ Longitud de onda de la luz. La distancia existente entre dos crestas o valles consecutivos es lo que llamamos longitud de onda y describe cuán larga es la onda. Una longitud de onda larga corresponde a una frecuencia baja, mientras que una longitud de onda corta corresponde a una frecuencia alta. Por ejemplo, la longitud de onda de la luz roja es de alrededor de 645-700 nm; las frecuencias más bajas y, por lo tanto, de longitudes de onda más largas que el rojo se denominan infrarrojas y no son visibles por el ojo humano. Ver: https://www.ecured.cu/Longitud_de_onda y <https://es.wikipedia.org/wiki/Luz>

⁶ El calor específico es la cantidad de calor que se necesita por unidad de masa para elevar la temperatura un grado Celsius. El calor específico del agua es 1 caloría/gramo °C = 4,186 julios/gramo °C, que es más alto que el de cualquier otra sustancia común. Por ello, el agua desempeña un papel muy importante en la regulación de la temperatura. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/spht.html>

Y... ¿qué son los sistemas lóticos y lénticos?

Con frecuencia en el ámbito del manejo de cuencas se utilizan los términos lótico y léntico, ¿pero qué significan?

De manera breve podemos decir que un **sistema lótico** es aquel ecosistema acuático cuyas aguas se encuentran fluyendo permanentemente y de forma unidireccional, por efectos principalmente de la gravedad, desde un tramo de cabecera o parte alta, pasando por un tramo medio hasta la parte o tramo bajo, presentando características físicas, químicas y biológicas en cada tramo, siendo ejemplo de ello los ríos que todo el año tienen escurrimientos (permanentes o perennes), los arroyos por los que sólo durante época de lluvias escurre el agua (estacionales), así como algunos manantiales que presentan las características antes mencionadas.

Por su parte los **sistemas lénticos** son ecosistemas acuáticos en donde el agua se encuentra almacenada, por ejemplo los lagos, lagunas, presas e incluso pequeños embalses utilizados para su almacenamiento durante el periodo de lluvias. La ausencia de una corriente unidireccional es la característica principal de los lagos, lagunas y embalses, todos ellos sistemas lénticos.

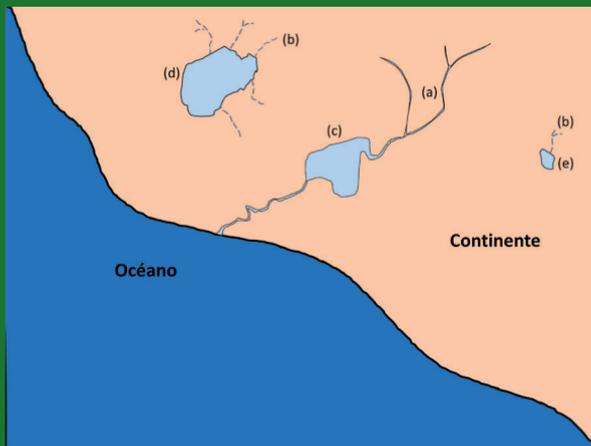


Un lago o sistema léntico (izq.) y un río o sistema lótico (der.)
Fotos: Marina de la Vega (lago) y Nancy Ortiz A. (río).

La tasa de permanencia de una molécula de agua es mayor en un sistema léntico que en uno lótico. El principal eje de organización de las condiciones físico-químicas (temperatura, oxígeno, nutrientes) y biológicas (distribuciones de plantas y animales) en los sistemas lénticos es el vertical, mientras que en los sistemas lóticos es el longitudinal.

Además, en algunos casos un cuerpo de agua lótico se puede encontrar relacionados con un cuerpo léntico, por ejemplo el río Lerma desemboca en la laguna de Chapala, la cual a su vez drena hacia el río Santiago para desembocar finalmente en el océano Pacífico, en las costas de Nayarit, no sin antes transitar por la presa de Aguamilpa.

Figura 1. Representación de los cuerpos de agua lóticos como son los ríos perennes (a) y los cauces intermitentes (b), y los cuerpos lénticos que incluyen a los lagos y presas asociados con ríos (c), los formados en cuencas endorreicas (d) y pequeños embalses rurales utilizados para captar agua de lluvia (e).



Elaboración: Raúl Vera Alejandre.

ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA

Las interacciones físicas químicas y biológicas de los lagos están reguladas por el ciclo anual de **temperatura**. En las zonas templadas el agua puede aumentar más de 4°C a través de la columna de agua de los lagos en primavera y verano, reduciéndose la densidad del agua de la superficie, esto puede dificultar la mezcla vertical del agua del lago y formar un gradiente a lo largo de la columna de agua. Por la acción del viento en la superficie de los lagos y las fluctuaciones de la temperatura atmosférica, el agua superficial se mezcla fuertemente y la temperatura se mantiene relativamente uniforme debajo de esta zona formando **estratos**. Una capa media llamada **Termóclina o Metalimnium** es caracterizada por una rápida caída de temperatura. Epilimnium es la zona superficial por arriba del metalimnium y el **Hipolimnium** es la capa más profunda caracterizada por bajas temperaturas y baja penetración de luz (figura 2). La importancia de la estratificación térmica radica en la separación de la zona superior y de la zona inferior del lago durante el verano a través de las diferentes densidades del agua.

Figura 2. Estratos que se observan en la columna de agua y perfiles verticales de los parámetros físicos y químicos en lagos durante la estratificación térmica.



Modificado de Okada, 1992). T= temperatura.

El decremento de la radiación solar y la temperatura atmosférica en otoño causan una pérdida de calor de la superficie del agua, que resulta en el incremento de la densidad favoreciendo la mezcla vertical del agua entre las superficies más pesadas de agua y las capas más ligeras del fondo. La caída gradual de temperatura atmosférica incrementa la profundidad de la zona de mezcla. Finalmente se mezclan todas las profundidades del lago. Este periodo es llamado “periodo de circulación” (Konopka, 1993; Okada, 1992). Esta dinámica de mezcla y circulación causada por la temperatura genera una tipología de lagos (ver recuadro siguiente).

Temperatura, estratificación y clasificación de lagos

En los lagos, a partir de la densidad del agua y el clima de la región se determinan su dinámica térmica y la circulación vertical y, por consiguiente, el comportamiento físico y biológico del cuerpo de agua. De esta forma existe una clasificación de los lagos por el número, frecuencia y tipo de períodos de estratificación térmica durante el año.

Dimícticos: lagos típicos de las zonas templadas, en los que ocurren dos circulaciones al año en primavera y en otoño. Dos períodos de estratificación y dos de mezcla a lo largo de un año.

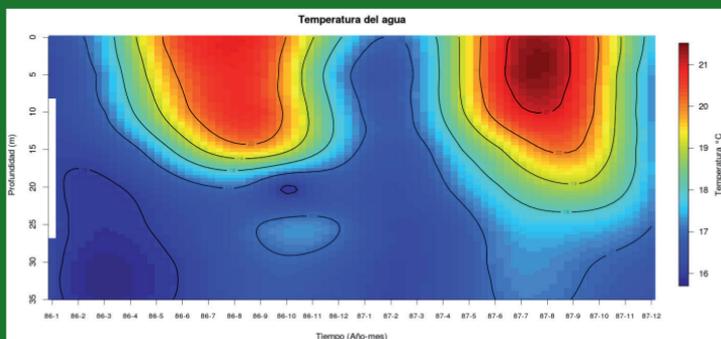
Monomíctico: o lagos cálidos, también llamados lagos subtropicales con una circulación en primavera después de la estratificación y termoclina en verano, cuando las aguas superficiales (epilimnion) se calientan y las del fondo (hipolimnion) permanecen frías. Una sola mezcla en el año.

Oligomícticos: que son típicos de los lagos tropicales con mayor intensidad y duración de insolación durante el año, la circulación ocurre raramente en periodos irregulares debido a que la densidad del agua disminuye de forma desproporcionada cuando aumenta la temperatura.

Polimícticos: en los que la mezcla es continua, la estratificación no se desarrolla debido a que la temperatura es uniforme; esto ocurre en lagos someros en zonas cálidas y templadas (Reid y Wood 1976). Las aguas se mezclan vertical y completamente muchas veces al año. No se alcanza nunca una estratificación completa. El viento produce la mezcla de las aguas. Distribuidos en latitudes templadas y cálidas del planeta, no existe helada invernal.

Hay otros lagos en zonas polares que permanecen cubiertos de hielo, llamándose amícticos (sin mezcla).

Figura 3. Estratificación térmica del lago de Zirahuén en el centro de México en su parte más profunda entre 1986 y 1987. Ejemplo de un lago monomíctico mexicano. El periodo de mezcla se presenta en invierno-primavera (diciembre a abril).



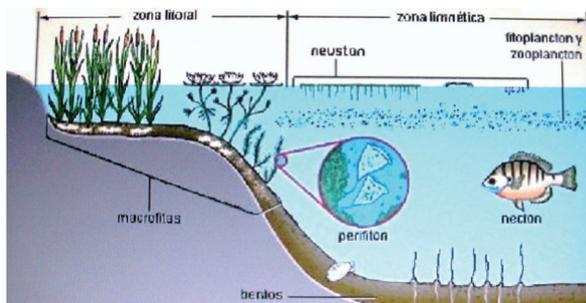
Elaboró: Alberto Gómez-Tagle Chávez.
Fuente de datos (Bernal-Brooks, 1988).

PRODUCTIVIDAD DE LOS LAGOS

El mundo orgánico de los lagos es muy diverso, lo mismo que en el océano se destacan cuatro grupos: el Bentos, el Plancton, el Pleuston y el Necton⁷. Por las condiciones del hábitat, en el lago se distingue la zona litoral (la franja costera), la zona abisal o bentónica (la parte profunda) y la zona pelágica o limnética (el grueso del agua).

La luz que penetra en la columna de agua es aprovechada por el fitoplancton a través de la fotosíntesis, conformando la base de la cadena alimenticia del lago. La intensidad de la luz que penetra a la columna de agua decrece en la medida en que aumenta la profundidad, igualmente la fotosíntesis decrece a lo largo de la columna de agua. La zona donde hay penetración de luz y fotosíntesis se llama **eufótica o productiva** y, la zona más baja donde no hay penetración de luz es llamada zona **afótica o zona de descomposición** (ver siguiente figura).

Figura 4. Distribución de los organismos en los lagos.



Fuente: Cortés, 2012.

⁷ Plancton (organismos que viven en suspensión y se trasladan pasivamente), bentos (organismos que viven en el fondo, ya sean móviles o inmóviles), necton se aplica al conjunto de los organismos que nadan activamente en las áreas acuáticas, pleuston organismos que viven sobre la superficie del agua como insectos y plantas flotantes. Ver: <https://es.wikipedia.org/wiki/Necton>

La zona pelágica se caracteriza por las grandes diferencias verticales en la distribución de la vida; predomina el plancton, muy desarrollado en los lagos. En la capa superior de la zona pelágica (*epilimnion*) abunda el oxígeno, y es la más poblada. En la capa de transición (*metalimnion*) predominan las bacterias. En la zona bentónica con escaso contenido de oxígeno y temperaturas relativamente bajas (hipolimnion) imperan los animales que prefieren el fango, las bacterias y los hongos (Konopka, 1993; Lago EcuRed, 2018).

La actividad biológica de los organismos produce en el lago un continuo ciclo de nutrientes. La cantidad de actividad biológica en un lago depende de la cantidad de energía disponible para la fotosíntesis y por la maquinaria bioquímica que puede ser construida a partir de la materia disponible (nutrientes) regulado por los ciclos biogeoquímicos⁸ (Korman y Rich, 1994; Reid y Wood, 1976).

Los lagos proporcionan hábitat para plantas y animales acuáticos y semiacuáticos e incrementan la diversidad del paisaje. La ubicación de México y su topografía accidentada han favorecido el desarrollo de una gran diversidad de cuerpos de agua, así como una biota diversificada y rica en especies nativas contribuyendo con la gran diversidad biológica característica del país (De la Vega-Salazar, 2003).

⁸ El término Ciclo Biogeoquímico deriva del movimiento cíclico de los elementos que forman los organismos biológicos (bio) y el ambiente geológico (geo) e interviene un cambio químico. Pero mientras que el flujo de energía en el ecosistema es abierto, puesto que al ser utilizada en el seno de los niveles tróficos para el mantenimiento de las funciones vitales de los seres vivos se degrada y disipa en forma de calor, no sigue un ciclo y fluye en una sola dirección. El flujo de materia es cerrado ya que los nutrientes se reciclan. La energía solar que permanentemente incide sobre la corteza terrestre, permite mantener el ciclo de dichos nutrientes y el mantenimiento del ecosistema. Por tanto, estos ciclos biogeoquímicos son activados directa o indirectamente por la energía que proviene del sol. Se refiere en resumen al estudio del intercambio de sustancias químicas entre formas bióticas y abióticas (Korman y Rich, 1994). Ver: <https://www.lenntech.es/ciclos-biogeoquimicos.htm>

Y... ¿qué es la eutroficación?

La eutroficación es definida como el enriquecimiento del agua con nutrientes inorgánicos necesarios para plantas, siendo los principales el nitrógeno y el fósforo. El término oligotrófico se emplea para clasificar a los lagos cuando el agua está clara en verano y eutrófico si el agua está turbia por la presencia de algas. Los lagos también pueden ser clasificados por su grado de eutroficación.

Cuadro 1. Grado de Eutroficación en lagos y principales características

Característica	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hiperutrófico
Concentración de nutrientes	Baja	Media	Alta	Muy alta
Productividad primaria	Baja	Media	Elevada	Muy elevada
Turbidez	Baja, aguas claras	Baja a media	Aguas turbias principalmente en el fondo	Aguas turbias en toda la columna de agua
Sedimentos	De tipo inorgánico	Predomina inorgánico	Predominan orgánicos	Muy abundantes y orgánicos
Oxígeno en el agua	Alta	Muy alta por fotosíntesis	Baja en el fondo por degradación de materia orgánica	Baja en toda la columna de agua, se puede presentar anoxia
Diversidad de especies	Alta	Alta	Media a Alta ^b	Media a Baja ^c
Abundancia de especies	Baja	Alta	Muy Alta	Media a alta

Notas: ^a-falta de oxígeno, ^b-desaparecen especies sensibles a la degradación, ^c-predominan especies tolerantes a la degradación ambiental.

Por convención se asume que el límite entre oligo y mesotrófico es de 100 gramos de carbono producido, por metro cuadrado de superficie de lago, por año, en tanto que 300 gramos de carbono producido, por metro cuadrado de superficie de lago, por año, se considera el límite entre meso y eutrófico. Estos límites están a debate y se han agregado otros factores para determinar el estado trófico con mayor precisión y adecuado al origen, latitud y elevación del lago.

Algunos cuerpos de agua son naturalmente eutróficos, sin embargo muchas de las actividades humanas aceleran el transporte de los nutrientes y pueden acelerar la eutroficación de los lagos, que se asocian con el deterioro de la calidad del agua al incrementar la turbidez y sedimentación de materia orgánica al fondo y causar la pérdida de profundidad del lago (Okada, 1992).

SEDIMENTACIÓN

El estancamiento del agua favorece la precipitación de las sustancias al fondo de los lagos formando una capa semi-sólida en el fondo que se conoce como sedimento. Los sedimentos que se acumulan en el fondo de los lagos son el asiento potencial de fragmentos de rocas, suelos y la precipitación de las sustancias químicas orgánicas e inorgánicas que entran a los sistemas acuáticos. Desde el inicio y a través de su existencia, la composición del fondo del lago es influenciado por numerosos factores, por lo que la composición de los sedimentos puede variar mucho. Cuatro factores principales determinan la naturaleza y composición del fondo de los lagos:

- **Edad.** Los lagos jóvenes tienen fondos rocosos y arenosos con poca acumulación de sedimentos de materia orgánica. Conforme los lagos maduran se acumulan grandes volúmenes de sedimentos.
- **Tamaño.** Mayor área superficial de los lagos permite mayor acción de las olas, que erosionan las costas y suman el material erosionado a los sedimentos del fondo.
- **Latitud y clima.** Las temperaturas estacionales y su duración están correlacionadas con la latitud. En latitudes bajas caracterizadas por mayor temperatura y mayor duración de luz diaria tienen largas estaciones de crecimiento de fitoplancton

y frecuentemente contienen gran cantidad de materia orgánica en el fondo. La precipitación anual local y su intensidad y variación estacional también pueden alterar la naturaleza del fondo del lago, debido a que produce fluctuaciones del nivel del agua y por acarrear nuevos sedimentos.

- **Suelos y formación de rocas subyacentes.** Los lagos ocupan cuencas en suelos arenosos o en formaciones geológicas que pueden ser fácilmente fracturados acumulando estos depósitos en el fondo (Reid y Wood, 1976).

2. LAGOS, SUS HABITANTES, SUS FUNCIONES Y SERVICIOS

“Olvidamos que el ciclo del agua y el ciclo de la vida son uno”.

Jacques Yves Cousteau.

Los lagos no son entidades estáticas, son espejos que reflejan una red de interacciones muy complejas. Estas interacciones son determinadas por: el tipo de suelo (arcilloso, arenoso, etc.), las propiedades químicas inherentes a la molécula del agua (por ejemplo el contenido de oxígeno o el pH), las propiedades físicas del agua como la densidad y el movimiento, así como la estructura de la cuenca y su manejo, el origen (tectónico, volcánico, etc.), el clima y la localización geográfica, por mencionar solo algunas. Estas propiedades interactúan con los organismos que habitan el cuerpo de agua. Las propiedades exclusivas de cada lago y su cuenca modifican a los organismos que la habitan y los organismos a su vez modifican las propiedades del lago. Como consecuencia, cada lago presenta características distintivas y particulares que lo convierten en un ecosistema único, dinámico y en extremo fascinante.

Existe una ciencia dedicada al estudio de las propiedades de los lagos y sus interacciones y es llamada **Limnología**, la cual es una rama de la Ecología que busca integrar la física, química y biología

del agua con su entorno incluyendo las actividades humanas. La Limnología necesita de muchas disciplinas y su impacto va más allá del cuerpo de agua, incluye aspectos como eutroficación, producción de agentes tóxicos de origen biológico, estudio de patógenos en el agua, producción higiénica de alimentos, y salud pública, entre otros.

La Limnología ayuda a entender el funcionamiento específico de cada lago, sus procesos y la relación de éstos con los impactos de las actividades antropogénica para proponer soluciones hacia su manejo sostenible.

Al analizar las propiedades de los lagos en México y en el mundo, los limnólogos han determinado una serie de características como fundamentales para iniciar el estudio de éstos y definir similitudes y diferencias. Estas diferencias y similitudes se agrupan a través de la comparación entre variables como el **clima** que incluye desde temperatura ambiente, precipitación y viento hasta la contribución de nitrógeno del aire al agua debido a descargas eléctricas; **el origen** que determina la geología del vaso y la cuenca (topografía), lo cual influye desde la cantidad de sedimento arrastrado al vaso hasta el aporte de nutrientes, residuos y materiales tóxicos. **El uso del suelo**, ya que el tipo de cobertura vegetal, la existencia de zonas rurales, urbanas o industriales, determinarán el tipo de aporte al lago y los impactos al mismo. En nuestro país existen lagos muy diversos en zonas tropicales o templadas, algunos situados a nivel del mar y otros a elevaciones considerables; sin embargo, todos tienen habitantes con variaciones en el grado de sus interacciones, pero con funciones similares, éstos son los **organismos productores, consumidores y recicladores o desintegradores**: habitantes de nuestros lagos cuyo funcionamiento adecuado es condición para mantener un buen estado de salud del lago. Estos grupos de organismos dependen unos de otros, están interrelacionados y se mantienen unos a otros, en una cadena que determina también la unicidad del lago. Igualmente, estos grupos, el agua y la cuenca, se interrelacionan y modifican unos a otros. Conozcamos un poco más de ellos.

LOS PRODUCTORES

En todos los ecosistemas, en éste caso los lagos, los productores abarcan un numeroso grupo de organismos “verdes” que contienen clorofila. La clorofila es un pigmento que les confiere el color verde y que es la maquinaria que procesa la energía de la luz del sol, la incorpora a elementos simples como carbono, nitrógeno y fósforo, para al final del proceso producir materia orgánica o biomasa. Por depender completamente de la energía solar, este grupo se encuentra en la superficie del agua hasta donde penetra aproximadamente el 1 por ciento de la luz del sol y se le denomina autotrófico.

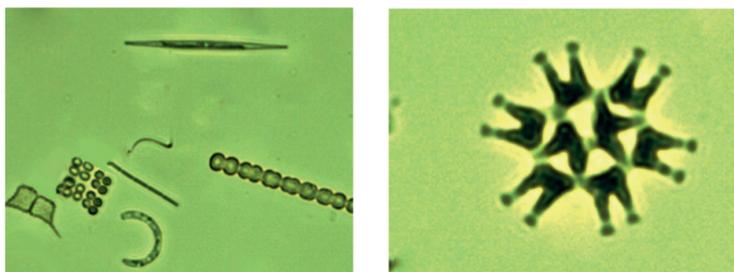
El grupo de productores es comúnmente denominado “algas o fitoplancton”. Las algas en los lagos son microscópicas, pueden presentar una sola célula o un grupo de células, pero siempre de tamaño microscópico. La cantidad de clorofila presente en relación a otros pigmentos es lo que les confiere su color. Por eso el color que vemos en el agua es un reflejo de las algas dominantes en el grupo de fitoplancton. El proceso de utilizar energía del sol, bióxido de carbono y agua para transformarlos en carbohidratos simples es conocido como fotosíntesis. Así, el fitoplancton con muy pocos elementos sencillos como son aire, agua (y nutrientes que contiene) y sol produce materia orgánica o biomasa. Esta a su vez será utilizada por los consumidores directamente como alimento.

En sistemas equilibrados, lo que se produce es consumido y los lagos se consideran en buen estado de salud. Existen ocasiones en que se produce más de lo que se consume debido a un aporte desmedido de nutrientes al agua, causando una producción masiva de biomasa que le da color verde al agua, incluso en ocasiones es posible ver flotando masas de algas en el agua. Al existir un desequilibrio en el proceso de producción el resto de comunidades, consumidores, transformadores, recicladores son a su vez afectados. El nivel de afectación estará determinado por la severidad del desequilibrio.

Todo el funcionamiento lacustre está interconectado.

Los factores que influyen y controlan el tipo y fisiología de los productores son muchos. Sin embargo, al presentarse un desequilibrio es importante determinar los factores fuera de control, ya que la repercusión será muy amplia: en el uso de agua de consumo humano, en la producción de alimento desde peces hasta productos agrícolas, en la presencia de químicos tóxicos o de patógenos. En pocas palabras: la calidad del agua disminuye y, por tanto, su usabilidad por el hombre.

Productores, fitoplancton o algas.



Microfotografías: Owen T. Lind.

LOS CONSUMIDORES

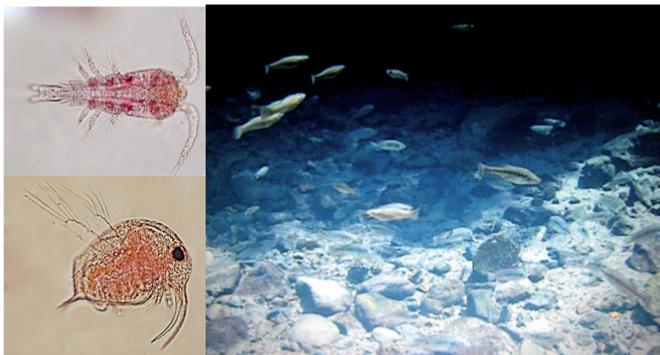
¿Quiénes son? En la sociedad humana son quienes consumen los productos elaborados por el productor. En todos los ecosistemas, en este caso los lagos, son los consumidores del producto proveniente del fitoplancton (de la fotosíntesis) y lo constituyen un variado grupo de animales que incluye desde los microscópicos, como el zooplancton, hasta de mayor tamaño, como los peces; la variedad incluida en este grupo es enorme.

Dentro de los consumidores a su vez encontramos dos grupos mayores, los que consumen materia orgánica disuelta en el agua y la que está en forma particulada. Su manera de alimentarse es muy variada y va desde la absorción de la materia disuelta, el pastoreo,

la depredación y la desintegración de partículas. Debido a que estos organismos no están limitados por la luz se les puede encontrar distribuidos por todo el lago; sin embargo, todos ellos necesitan respirar oxígeno. Las adaptaciones que presentan les permite abundar en zonas particulares como la superficie, la orilla, el fondo, e incluso en los sedimentos.

Los consumidores a diferencia de los productores tienen la capacidad de nadar y trasladarse en busca de alimento y otras condiciones favorables como la presencia de oxígeno, incluso actuar como depredadores o huir de sus depredadores. Algunos de ellos también presentan variadas capacidades visuales y olfativas. Siendo los peces el grupo más avanzado entre los consumidores y con el que estamos familiarizados. Debido a que el pez es alimento humano se considera muy importante el estado de salud de este consumidor en particular. La calidad (salud) de los peces dependerá de la calidad del zooplancton, la cual depende a su vez del tipo de algas que consume; en pocas palabras: de la calidad del agua en el lago. Como se mencionó con anterioridad: **todo está interrelacionado.**

Consumidores, Zooplancton.
Consumidores, Peces.



Microfotografías: Owen T. Lind.
Fotografía Marina de la Vega.

LOS RECICLADORES/DEGRADADORES

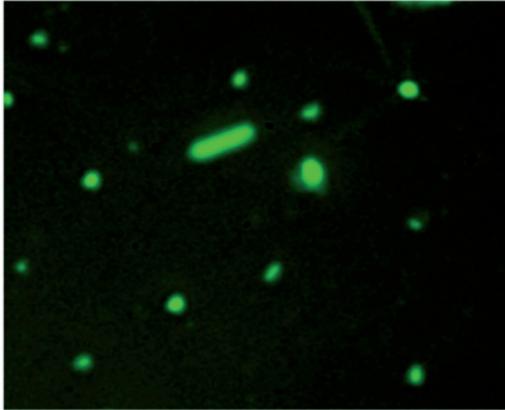
¿Quiénes son? En la sociedad humana son quienes recogen y/o transportan la materia no utilizada por el consumidor (el desperdicio). En todos los ecosistemas, en este caso los lagos, los recicladores del sobrante, ya sea proveniente de los productores o de los consumidores, están constituidos por bacterias, hongos e invertebrados. Su función es vital para la sobrevivencia de los productores y consumidores.

Al descomponer la materia orgánica no utilizada por los consumidores la transforman de su estado complejo (proteínas, carbohidratos, grasas) en elementos sencillos como nitrógeno, fósforo, carbono, entre otros. Transforman materia orgánica en inorgánica. Esta volverá a ser utilizada por el fitoplancton (algas) para producir materia nueva, la que será aprovechada por los consumidores.

Los recicladores/degradadores pueden encontrarse distribuidos en todo el lago, orilla y cerca del fondo. A diferencia de los consumidores, aquí se presentan dos grupos: los aeróbicos que necesitan oxígeno para funcionar (para descomponer la materia orgánica) y los anaeróbicos que pueden funcionar sin la presencia de oxígeno. La presencia de materia orgánica muerta en abundancia (alta producción y bajo consumo) puede ocasionar un alto uso de oxígeno, incluso puede agotarse debido a la descomposición. Esta condición es denominada **anoxia** y tiene muy serias consecuencias para todo el lago, incluso para las poblaciones humanas. La anoxia perjudica a todos los organismos en el lago, incluyendo a las personas.

Sin la actividad de los recicladores/degradadores los productores no obtendrían la materia prima para elaborar materia orgánica y los restos orgánicos no consumidos se acumularían en el fondo del lago. La vida no sería posible.

Degradadores, Bacterias.



Microfotografía: Owen T. Lind.

LA INTEGRACIÓN DE ESTOS GRUPOS, CÓMO INFLUYEN UNOS EN OTROS, TIPOS DE LAGOS

Los grupos mencionados constituyen la infraestructura que mantiene vivos a los lagos y en consecuencia al ser humano, ya que apoyan todas sus actividades. El **productor** (algas) transforma elementos como agua, luz y carbono en materia orgánica (carbohidratos) que el consumidor puede utilizar y el **reciclador** transforma en materia orgánica no utilizada por el consumidor y la reintegra para su re-uso por parte del productor. Este ciclo es lo que conocemos como **cadena alimenticia** y es determinante en la dinámica de los lagos.

Claramente intervienen una gran variedad de organismos y cualquier perturbación a alguno de estos grupos tendrá consecuencias en cadena; algunas veces es posible notar cambios de manera inmediata y en otras ocasiones pueden pasar años. El tiempo de reacción dependerá de la severidad de la perturbación. La cadena alimenticia puede recobrase después de un impacto

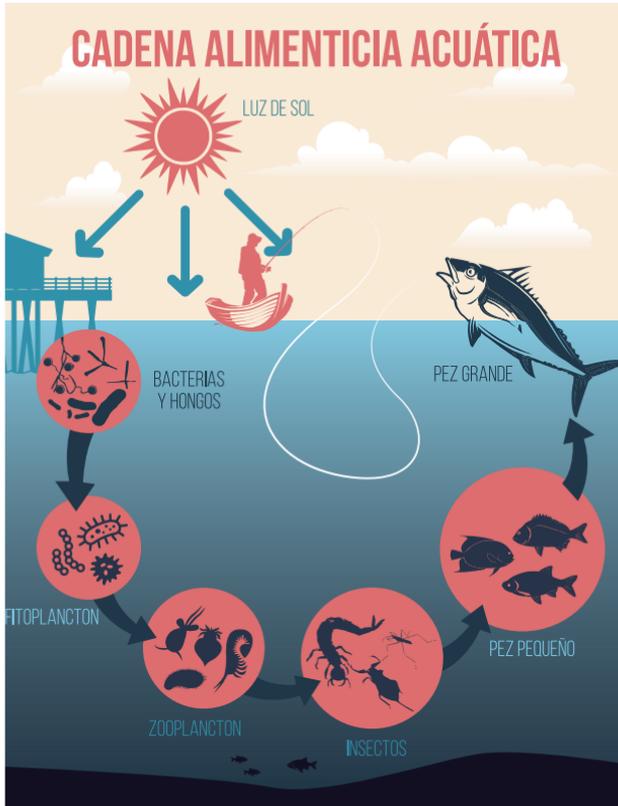
si éste es ligero, algunos le llaman a este proceso de autopurificación, pero en caso de impactos severos que en nuestros días son cada vez más frecuentes y con el crecimiento poblacional que arroja mayores volúmenes de descargas de aguas negras o residuales, industriales o agrícolas o todas a la vez, la recuperación no es posible. Generalmente esto causa la muerte de algunos organismos que son sustituidos por otros más resistentes, en la mayoría de los casos de menor valor para la gente. A esto se le conoce como la disminución de la biodiversidad (cantidad de especies distintas presentes en un ecosistema). La biodiversidad presente en los ecosistemas contribuye a mantener una alta eficiencia del uso de los recursos, ayuda a mantener por largo tiempo los servicios ambientales, ya que una alta biodiversidad proporciona las bases para resistir cambios ambientales y a resistir invasiones biológicas, estimula la conectividad con otros hábitats y aumenta la interacción biológica entre las especies.

La cadena alimenticia representa el flujo de energía solar que al entrar al agua es transformada por la clorofila en carbohidrato, el cual es transformado en materia orgánica compleja que es consumida por el humano (peces) o es transformada finalmente en elementos sencillos que se reintegran al ciclo. Aparentemente un proceso simple, pero influenciado por múltiples variables: oxígeno, fósforo, nitrógeno, pH, carbono, turbidez, movimiento del agua, temperatura, viento, profundidad, clima, elevación, latitud, uso del suelo, por mencionar algunos.

Claramente el funcionamiento saludable de la cadena alimenticia que garantice la buena calidad del agua depende de muchos factores. De allí que encontremos lagos con exceso de producción, peces infectados por patógenos, zooplancton poco nutritivo, abundancia de bacterias patógenas, olor pútrido del agua y sedimentos, incluso mortandades masivas de peces.

El funcionamiento de la cadena alimenticia proporciona una de las bases para clasificar los lagos, esto es, su productividad, como vimos en el capítulo anterior. Así tenemos otro concepto, que es el estado trófico. Este representa la habilidad del lago para sostener a sus comunidades de organismos.

Figura 5. Cadena alimenticia.



Elaboró: Enrique Mora Heredia y Eugenio Nava Flores.

PERTURBACIONES A ESTOS SISTEMAS VIVOS

Las aguas continentales son ecosistemas altamente vulnerables a los impactos ambientales. El identificar y monitorear este tipo de impactos (descargas de aguas residuales industriales y urbanas, escorrentías de zonas agrícolas, introducción de especies invasoras, erosión, cambio climático, entre otros.) representa un desafío enorme debido al gran número de formas en que un ecosistema puede responder, ya que la gran variedad de organismos que los habitan generan una gran variabilidad en respuestas.

Las Naciones Unidas han identificado a la eutroficación de los cuerpos de agua como el problema más prevalente y común en los cuerpos de agua de la Tierra. La eutroficación, que como vimos en el capítulo anterior, se caracteriza por el aumento en la concentración de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, los cuales pueden provenir de zonas agrícolas, ciudades, industrias en forma de descargas o retornos puntuales o difusos, que van hacia los ríos, lagos y mares.

La gran mayoría de estos nutrientes son transformados en materia orgánica que no es consumida en su totalidad o eficientemente, por lo cual se sedimenta y es utilizada por los degradadores, trayendo consigo una reducción del oxígeno, provocando procesos bioquímicos como la producción de amonio, reducción de pH, o la emisión de gases de efecto invernadero, como bióxido de carbono y metano, entre otras consecuencias. Uno de los principales grupos de productores, las cianobacterias, experimentan un crecimiento celular acelerado conocido como proliferaciones de cianobacterias o blooms. Estas nuevas condiciones resultan idóneas para algunas cianobacterias productoras de toxinas, lo cual puede generar condiciones de riesgo para la salud humana y animal debido al potencial suministro en el agua potable y su uso en riego agrícola. Esto puede provocar graves daños a la salud humana, el cierre de zonas recreacionales y mortandad de peces (Ver recuadro: Lago de Zihahuén, eutrofización y salud humana).

LAGO DE ZIRAHUÉN, EUTROFIZACIÓN Y SALUD HUMANA

El lago de Zirahuén, situado en el estado de Michoacán en el centro de México, ubicado en una cuenca endorreica (sin salida superficial aparente), es uno lagos naturales de mayor importancia biológica y cultural de Michoacán y hasta hace pocos años, estudios ecológicos mostraron que no había deterioro importante y se consideraba como un cuerpo de agua insensible a la eutrofización antrópica (Bernal-Brooks y MacCrimmon, 2000). Sin embargo, se reconoce actualmente que el lago de Zirahuén ha tenido un proceso de eutrofización en la última década (Gómez-Tagle *et al.*, 2013; Bernal-Brooks *et al.*, 2016). Esto se atribuye al impacto de diversas actividades humanas dentro de la cuenca. Se considera que el incremento poblacional, el cambio de uso del suelo, la intensificación del uso agrícola y la falta de tratamiento del agua de su principal afluente, han favorecido el incremento de los nutrientes en el lago, principalmente fósforo y nitrógeno, que se relacionan con la ocurrencia de florecimientos de algas que, entre otras cosas, cambian el color del lago y pueden afectar negativamente las poblaciones de peces e incluso pueden llegar a ser una amenaza a la salud humana (Gómez-Tagle *et al.*, 2013).

Panorámica del lago de Zirahuén, abril de 2014.

Panorámica del lago de Zirahuén durante un florecimiento de algas, mayo 2013.



Foto: A. Gómez-Tagle.

Foto: M. Magaña.

Un reto, relativamente nuevo, es el cambio climático que está ocasionando alteraciones cada vez más drásticas como tormentas intensas, derretimiento de las zonas polares, variación de los patrones climáticos, sequías prolongadas. Este reto, junto con el sistemático manejo no sostenible, está ocasionando desecación y desaparición progresiva de lagos.

Los lagos son considerados como sistemas integradores y reguladores del cambio climático, así como zonas de alta actividad y diversidad biológica. Los lagos someros (poca profundidad) representan el tipo de lago más abundante sobre la Tierra y podrían ser particularmente sensibles al calentamiento global, ya que su temperatura promedio se incrementa más rápidamente que en los cuerpos de agua profundos. El cambio climático no solo repercute en la frecuencia de situaciones climáticas extremas, sino que intensifica los síntomas de la eutrofización, es decir, en la calidad del agua.

3. LAGOS Y SUS CUENCAS, UNIDAD INDIVISIBLE

“La naturaleza de un lago es ser estancamiento, campo anegado.

Por causas y circunstancias geofísicas, los lagos se forman y acondicionan al espacio de su entorno. Un oasis, un paraíso”.

Norberto Álvarez Romo⁹.

Como se ha expresado en otros cuadernos de divulgación de esta serie, las cuencas hidrográficas permiten entender el ciclo hidrológico, cuantificar e identificar los impactos acumulados de las actividades humanas a lo largo del sistema de corrientes o red hidrográfica, y su funcionamiento y manejo determina la capacidad

⁹ Prólogo. Casillas Romo, V.H. (2018). *Hechizo del lago*. Secretaría de Cultura, Gobierno del Estado de Jalisco. 156 pp.

de adaptación de los socioecosistemas y la calidad de vida de sus habitantes (Cotler *et al.*, 2013).

Las cuencas hidrográficas son espacios geográficos delimitados por las partes altas de las montañas, donde se concentran todos los escurrimientos de los arroyos y ríos que confluyen y desembocan en un punto común, que puede ser un lago (formando una cuenca denominada endorreica o cerrada) o el mar (llamada cuenca exorreica o abierta).

Los lagos, masas permanentes de agua depositada en depresiones del terreno, representan un reto importante para la gestión integrada de recursos hídricos en una cuenca porque, por una parte, reúnen los flujos superficiales y subterráneos que descargan en ellos agua, materiales y energía, y además conjuntan tipos de suelo y vegetación que les confieren su atributo de humedales.

CUENCAS LACUSTRES: MUCHO MÁS QUE CERRADAS O ENDORREICAS

Las cuencas hidrográficas se consideran como la unidad territorial básica para la planeación y el manejo de los recursos naturales, así como una dimensión espacial y temporal fundamental para la adaptación ante el cambio climático (Cotler *et al.*, 2013). México, en sus 1.959 millones de km² de superficie continental, tiene 1, 471 cuencas hidrográficas integrando una red de ríos y arroyos de 633 mil kilómetros. De éstas, 1,389 son exorreicas desembocando en algún punto de sus 11,122 kilómetros de costa; 77 son endorreicas y 5 arreicas¹⁰ en la Península de Yucatán (Mokondoko *et al.*, 2018).

¹⁰ Arreico: característica de las zonas que carecen de drenaje superficial. <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002218/221862M.pdf> Consultado el 20 de agosto de 2018.

El término endorreico define sólo una de las características de la cuenca en términos de su flujo, referente a la afluencia de las aguas de un territorio hacia el interior de éste, sin desagüe al mar. El concepto de cuenca lacustre¹¹ nos permite tener en cuenta, desde un principio, la existencia de un tipo muy particular de cuerpos de agua superficiales, con una dinámica diferente, que deben ser entendidos y manejados con enfoque de cuenca, pero bajo fundamentos específicos.

Los lagos son expresiones de las cuencas, generados por una conjunción de factores biofísicos, que les confieren propiedades y funcionalidad especial. Los lagos pueden ser considerados ecosistemas acuáticos clave que indican si se ha realizado un correcto manejo de la cuenca. Un lago deteriorado significa que no se han conciliado las necesidades socioeconómicas de las poblaciones con la riqueza natural que nos brinda la cuenca. La creciente explotación de los recursos hídricos ha conllevado a una significativa degradación de los ecosistemas y de los bienes y servicios que éstos proveen. En muchos lugares, el resultado ha sido: ríos que ya no lleguen al mar, acuíferos cuyos niveles han disminuido drásticamente y lagos que son apenas una fracción de su tamaño natural.

El nivel de los lagos puede cambiar radicalmente a consecuencia incluso de pequeños cambios en el equilibrio entre la precipitación y la evaporación. La mayoría de los cuerpos de agua tienen una variación estacional “normal”, que en los humedales y los lagos se llama **hidroperiodo**, y en los ríos y arroyos se llama régimen de caudal. El aumento de la temperatura del aire también puede ocasionar incrementos en la tasa de evaporación de los lagos y los embalses. La interacción de las temperaturas del invierno más cálidas, los crecientes niveles de contaminación por nutrientes y las progresivas presiones urbanas sobre los lagos están llevando a condiciones eutróficas casi permanentes, incluso en los meses más

¹¹ Lacustre: perteneciente o relativo a los lagos. <http://dle.rae.es/?id=Mm8qolD>. Consultado el 20 de agosto de 2018.

fríos del año en muchos de ellos (Matthews y Le Quesne, 2009). El cambio climático exacerba el impacto de estas amenazas en las cuencas lacustres.

Lago de Chapala, el lago más grande de México ubicado en Jalisco y Michoacán.



Foto: Alejandro Juárez.

¿LOS LAGOS SON HUMEDALES?

Tal como lo define la Convención de Ramsar¹², en los humedales se incluye una amplia variedad de hábitats tales como pantanos, turberas, llanuras de inundación, ríos y lagos, y áreas costeras, tales como marismas, manglares y praderas de pastos marinos, pero también arrecifes de coral y otras áreas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros, así como humedales artificiales, tales como estanques de tratamiento de aguas residuales y embalses. Es importante señalar que los lagos y ríos, en su totalidad, quedan comprendidos en la definición de humedales de Ramsar, cualquiera que sea su profundidad (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013).

¹² <https://www.ramsar.org/es/acerca-de-la-convencion-de-ramsar>. Consultado el 19 de agosto de 2018.

No se sabe con exactitud qué porcentaje de la superficie terrestre se compone actualmente de humedales. Según PNUMA sería aproximadamente el 6 por ciento de la superficie de la Tierra; de los cuales, en particular, el 2 por ciento son lagos (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2006).

Dentro de los Humedales continentales, se tienen (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013):

- Lagos permanentes de agua dulce (de más de 8 ha); incluye grandes madre viejas (meandros o brazos muertos de río).
- Lagos estacionales/intermitentes de agua dulce (de más de 8 ha); incluye lagos en llanuras de inundación.
- Lagos permanentes salinos/salobres/alcalinos.
- Lagos y zonas inundadas estacionales/intermitentes salinos/salobres/alcalinos.

Lago de Zirahuén y el cambio de uso de suelo para establecer huertas de aguacate.



Foto: Nancy Ortiz Alejandre.

Los lagos son hábitat crítico para muchas aves migratorias y residentes, su protección implica reconocer la interacción entre los ecosistemas terrestres y acuáticos en forma regional lo cual se convierte en un elemento estratégico para la conservación de la biodiversidad.

Captura de carbono en humedales

El cambio climático representa un peligro para los ecosistemas y para la propia sobrevivencia de la humanidad. De allí, la importancia de conocer el papel de algunos ecosistemas como reguladores del ciclo del carbono (C) en la tierra.

Los humedales pueden ser considerados como sumideros de bióxido de carbono (CO₂), ya que este gas es tomado de la atmósfera y convertido a C orgánico por las plantas a través del proceso de la fotosíntesis. Se han estimado productividades primarias de más de 10 Mg C ha⁻¹ año⁻¹ en algunos humedales naturales de las zonas tropicales, las cuales son altas comparadas con las productividades de otro tipo de ecosistemas, como las selvas (8.5 Mg C ha⁻¹ año⁻¹) y los bosques tropicales (6 Mg C ha⁻¹ año⁻¹).

La acumulación neta de C en los humedales resulta de la productividad primaria y la deposición o acumulación de sustancias orgánicas alóctonas (que se originan fuera del lago), menos la descomposición de materia orgánica en el suelo. Este balance, determina si un humedal actúa como fuente de gases invernadero o como trampa de C. La acumulación de C en los humedales se realiza en 2 compartimentos principales, la biomasa vegetal y los suelos (Neue *et al.* 1997).

NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS LAGOS

Una adecuada gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca lacustre mantendría los ríos fluyendo, así como lagos, humedales y acuíferos hacia un equilibrio (condición basada en el régimen hidrológico natural), lo que permitiría la sustentabilidad y la resiliencia de los ecosistemas y de las comunidades locales ante la variación climática de nuestros tiempos.

Los lagos requieren de un régimen de aportes de agua que los mantengan funcionales. En el ámbito de la gestión del agua, el principio de uso sustentable se apoya en los conceptos de caudales ecológicos, en el caso de los ríos, y de **necesidades hídricas en el de los humedales** para el caso de ecosistemas como los lagos. Estos conceptos comprenden una reserva de agua para los sistemas naturales de tal forma que sigan conservando sus valores naturales, proporcionando al mismo tiempo servicios útiles para la sociedad (González *et al.*, 2014).

Los niveles de la lámina del agua que se utilizan para determinar las necesidades hídricas de los lagos, lagunas y humedales dependen de otras variables hidrológicas: precipitación, evapotranspiración potencial, evapotranspiración real, recarga a los acuíferos, escorrentía superficial, escorrentía subterránea y escorrentía o aportación total (Sánchez y Viñals, 2012), que deben ser determinados para mantener la funcionalidad ecológica.

En los casos de lagos y zonas húmedas dependientes de aguas subterráneas se deberá mantener un régimen hídrico relacionado con los niveles del agua subterránea, de tal forma que las alteraciones debidas a la actividad humana no tengan como consecuencia impedir alcanzar los objetivos medioambientales especificados para las aguas superficiales asociadas o cualquier perjuicio significativo a los ecosistemas terrestres asociados (Sánchez y Viñals, 2012).

El estudio de las necesidades hídricas de los lagos tiene, como es evidente, unas importantes connotaciones ambientales, ya que la relación del agua con la diversidad biológica es obvia (una buena parte de esta diversidad se aloja en los ríos, lagos y humedales), y sobre otros servicios ecosistémicos.

De esta manera, para conservar las características ecológicas de los lagos es necesario garantizar los aportes hídricos y un régimen hidrológico que deberá acercarse a su dinámica natural en tanto se desee mantener la provisión de los servicios ecosistémicos.

Disponibilidad de agua y agricultura

La agricultura de regadío es una actividad de alta demanda de agua, la cual ha mostrado poca adaptabilidad a los escenarios de baja disponibilidad. Una experiencia exitosa en dicho contexto fue la realizada por el Grupo de Trabajo Especializado en Planeación Agrícola Integral (GTEPAI) para el período 2002-2003 (uno de los ciclos más críticos de los últimos 20 años), el cual, vinculado al Consejo de la Cuenca Lerma-Chapala, impulsó la sustitución de trigo y cultivos similares por cultivo de cebada, cártamo y garbanzo, que requieren menor volumen de agua.

A través de una serie de alianzas para asegurar la promoción entre los agricultores, la disponibilidad de bodegas para los nuevos cultivos y acuerdos previos con compradores, se consiguieron reconvertir 55,000 hectáreas de cultivos de alta demanda en otros de baja demanda, consiguiendo con ello un ahorro de 68 millones de metros cúbicos de agua y un ingreso bruto de 450 millones de pesos por la venta de los granos. Si bien la disponibilidad de agua superficial aumentó en el período 2003-2010, lo cierto es que la cuenca Lerma-Chapala mantiene un fuerte déficit hídrico, lo que produce un decrecimiento constante de los mantos freáticos. La experiencia del trabajo del GTEPAI es una experiencia valiosa que ayudaría a reducir en gran medida los requerimientos de agua para el sector agrícola sin generar impactos económicos negativos en la misma (Juárez, 2011).

CUENCAS LACUSTRES Y LAS RESERVAS DE AGUA PARA EL AMBIENTE

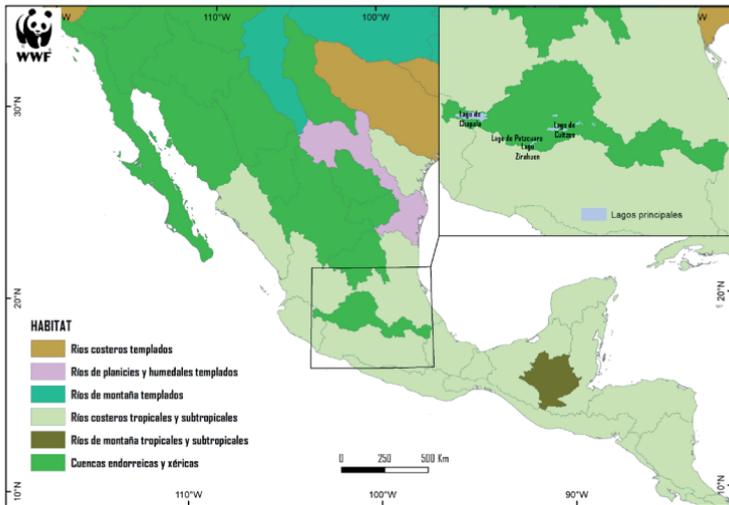
Para tener una aproximación global a la comprensión de las cuencas, se realizó un proyecto colaborativo denominado Ecorregiones de agua dulce del mundo (FEOW¹³), que proporciona la primera regionalización biogeográfica global de la biodiversidad de agua dulce de la Tierra y sintetiza datos de biodiversidad y amenazas para las ecorregiones resultantes. Se define una ecorregión de agua dulce como una gran área que abarca uno o más sistemas de agua dulce que contiene un conjunto distinto de comunidades y especies de agua dulce naturales. La dinámica, las condiciones ambientales y las especies dentro de una ecorregión determinada son más similares entre sí que las de las ecorregiones circundantes y juntas forman una unidad de conservación. Para México, se tienen cinco de los 11 tipos que se definen¹⁴ y resaltan, entre ellos los que tienen mayor superficie ocupada: ríos costeros tropicales y subtropicales (en las vertientes del Pacífico y Golfo de México), ríos de montaña tropicales y subtropicales (sur del país), así como cuencas endorreicas y xéricas¹⁵ (centro y norte) (ver figura 5).

¹³ Freshwater Ecoregions of the World <http://www.feow.org/background> Consultado el 18 de agosto de 2018.

¹⁴ <https://panda.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e145fa8ba32d4f76a4ab28fdc8d414f3> Consultado el 26 de agosto de 2018.

¹⁵ Xérico: muy seco. https://naturalhistory.si.edu/mna/glossary.cfm?lang=_sp. Consultado el 25 de agosto de 2018. Relativo a los hábitats y ambientes caracterizados por condiciones de sequedad muy acusadas. Término semejante a ambiente árido o ambiente desértico.

Figura 6. Ecorregiones de agua dulce en México y principales lagos.



Es en las dos últimas ecorregiones donde se encuentran principalmente las cuencas lacustres. Destacan Lerma-Chapala, Mayrán-Viesca y Río Conchos, entre las cuencas endorreicas y xéricas, así como el Alto Usumacinta en la ecorregión de los ríos de montaña tropicales y subtropicales.

Varias de las cuencas de estas ecorregiones tienen decreto de reservas de agua para la protección ecológica de acuerdo con el Programa Nacional de Reservas de Agua (González *et al.*, 2014), por lo que los caudales de los ríos principales tienen protección legal, pero es un área de oportunidad determinar las necesidades hídricas de los lagos para completar un esquema de gestión sustentable del agua en las cuencas lacustres, asegurando el derecho humano a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar,

así como el acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible¹⁶. Particularmente, las cuencas con reservas para la protección ecológicas decretadas incluyen la Laguna de Santiaguillo y el Lago de Catemaco.

Lagos que son sitios Ramsar

Lagos mexicanos y territorios que los incluyen han sido decretados como humedales de importancia internacional por la Convención Ramsar. Se pueden citar como ejemplos de estos sistemas lénticos reconocidos los que se presentan a continuación.

Cuadro 2. Ecorregiones de agua dulce y lagos mexicanos como sitios Ramsar

Tipo de hábitat acuático	Sitios Ramsar	Lagos y sistemas lénticos
Ríos de montaña tropicales y subtropicales	Áreas de Protección de Flora y Fauna de Nahá y Metzabok	Lagunas de Nahá y Metzabok
	Parque Nacional Lagunas de Montebello	Lagos San Lorenzo, Bosque Azul y Yalquech
Cuencas endorreicas y xéricas	Humedales del Delta del Río Colorado (Sonora y Baja California)	Lago Salado
	Sistema de Humedales Remanentes del Delta del Río Colorado	Sistemas lacustres remanentes
	Cuatrociénegas (Coahuila)	Lagos Los Fresnos, Santa Tecla, Churince o Grande, San Marcos, La Escobeda, El Tío Cándido, Salada, Orozco, Antejo, Ferrño, Tío Quintero, Chiqueros, Garabatal, San Pablo, Juan Santos, Los Hundidos, El Mojarral
	Laguna de Babicora	Laguna de Babicora
	Área Natural Protegida Estatal Presa de Silva y Zonas Aledañas	Presa de Silva
	Ciénegas de Lerma	Laguna de Almoloya o Chignahuapan, Laguna de Lerma o Chimalapan, Laguna de Atarasquillo o Chichnahuapan
	Humedales del Lago de Pátzcuaro	Lago de Pátzcuaro
	La Alberca de los Espinos	La Alberca de los Espinos
	La Mintzita	Presa la Mintzita, Coitzio y Umécuaro
	Lago de Chapala	Lago de Chapala
	Laguna de Atotonilco	Laguna de Atotonilco
	Laguna de Tecocomulco	Laguna de Tecocomulco
	Laguna de Yurria	Laguna de Yurria
	Laguna de Zacapu	Laguna de Zacapu
	Presa de Atlangatepec	Presa de Atlangatepec
	Sistema Lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco	Lago de Xochimilco, Lago Huetzalin, Tillac, del Toro, Apampilco, Tezhulco La Ciénega Chica y la Ciénega Grande, Lago de Conservación de Flora y Fauna
	Lago de San Juan de los Ahorcados	Lago de San Juan de los Ahorcados
	Laguna de Santiaguillo	Laguna de Santiaguillo
	Laguna Hanson - Parque Nacional Constitución de 1857	Laguna Hanson - Parque Nacional Constitución de 1858

¹⁶ Artículo 4º. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_270818.pdf Consultado el 9 de septiembre de 2018.

LOS LAGOS, SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La preservación de los ecosistemas de agua dulce es fundamental para la búsqueda del desarrollo sostenible, ya que proporcionan servicios que son cruciales para la supervivencia humana. Además de proporcionar agua limpia para uso doméstico, la agricultura y la industria, apoyan la pesca, reciclan nutrientes, eliminan desechos, reponen las aguas subterráneas, ayudan a prevenir la erosión del suelo y protegen contra inundaciones (UNEP, 2012).

La ONU ha lanzado los 17 Objetivos de desarrollo sostenible (ODS), como un esfuerzo concertado para transformar nuestro mundo (ONU, 2018). Aunque existe una gran integración de estos objetivos, particularmente el Objetivo 6: *Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*, representa un gran desafío para el manejo integrado de las cuencas lacustres.

Dentro de las acciones que existen se puede destacar la meta global 6.6 *De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos*. México ha iniciado un esfuerzo definitivo para establecer la estrategia que nos conduzca al cumplimiento de esta agenda ambiental (Gobierno de la República, 2018).

En la estrategia se han definido acciones como la de *Conservación y manejo sustentable de ecosistemas relacionados al agua*. En este sentido, el Programa Nacional de Reservas de Aguas para el medio ambiente busca asegurar los caudales o volúmenes mínimos para proteger las condiciones ambientales, el equilibrio ecológico y la conservación de los ecosistemas asociados a las cuencas lacustres. Estas acciones deben discutirse y apoyarse en un marco adecuado de participación que involucre a los actores relevantes y se tomen las decisiones requeridas para el adecuado manejo de las cuencas lacustres.

Lagunas costeras y cuencas. Descripción e importancia

Para comprender la importancia de las lagunas costeras en el contexto del manejo de cuencas es necesario describirlas y señalar algunas diferencias respecto a los lagos continentales.

En general las lagunas costeras son cuerpos de agua poco profundos (someros) próximos al mar y que pueden tener aportes de ríos permanentes (perennes) o de arroyos estacionales (intermitentes). De este modo la intensidad de los escurrimientos provenientes de la cuenca y la influencia de las aguas marinas determina cambios en la salinidad de estos cuerpos de agua, la cual, a diferencia de los lagos, puede ir desde casi dulceacuícolas hasta netamente marinos e incluso variar a lo largo del año.

Esta variación a su vez influye en el tipo de vegetación y fauna presentes, por lo que las lagunas costeras son sitios favoritos para la crianza de numerosas especies, incluyendo algunas de interés pesquero. De ahí que la pesca artesanal sea la actividad productiva más importante en estos sitios, ya sea para consumo doméstico como para comercialización.

Sin embargo, debido a las numerosas actividades humanas realizadas a lo largo de la cuenca incluyendo la agricultura, ganadería, minería, industria y por supuesto asentamientos humanos con la consecuente producción de sustancias tóxicas y aguas residuales no tratadas, en los últimos años las lagunas costeras registran cada vez mayores niveles de contaminación, poniendo con ello en riesgo la salud tanto de los pobladores como de los consumidores.

A lo anterior debe agregarse el control que se ha hecho del caudal de numerosos ríos mediante la construcción de obras de infraestructura hidráulica, principalmente las grandes presas, la sobreexplotación sobre todo para actividades agrícolas y uso urbano, e incluso las obras de trasvase entre cuencas, lo cual ha afectado el ciclo natural de avenidas que en muchas lagunas era el mecanismo natural de renovación, poniendo con ello en riesgo su aprovechamiento e incluso su existencia. Por ello debe siempre considerarse a estos cuerpos de agua como parte integral de una cuenca y en consecuencia incluirse en su estrategia de manejo.

Pescador artesanal, Laguna de Chila, cuenca del río Pánuco, Veracruz.



Foto: Raúl Vera Alejandre.

Presas de Silva Guanajuato

Durante el invierno de 1994/95 se estima que perecieron entre 20,000 y 40,000 aves acuáticas, la causa principal de la mortandad fue el botulismo, otras causas por contaminantes tóxicos como metales pesados, especialmente cromo, plomo y mercurio. Asimismo, se señaló que la contaminación de las aguas negras no tratadas contribuye a un estado extremadamente eutrófico de la presa, condición que generalmente desencadena brotes de botulismo (CCA 1995). Modificación del entorno: por represamiento, desmonte y sobrepastoreo. Uso indiscriminado para abrevaderos de ganado.

La solución que se planteó fue drenar la presa y cortar las descargas del río Turbio y de la ciudad de León con el fin de suprimir la entrada de contaminantes. Se realizaron acciones de restauración¹⁷ de zonas degradadas mediante la implementación de obras de conservación de suelo y agua y/o reforestación en 10 hectáreas, construcción de un humedal artificial para tratar las aguas residuales de las localidades, acciones de protección de zonas forestales, fortalecimiento de proyectos productivos sustentables, entre otras con lo que a la fecha se ha reducido drásticamente la mortandad de aves.

¹⁷ Restaurar significa recomponer y reparar. La restauración ecológica busca la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado por diferentes factores. En ocasiones queremos recomponer un lugar tal cual como era antes de su deterioro, sin embargo, a veces es muy difícil saber exactamente cómo era. En estos casos, la restauración ecológica busca aumentar la biodiversidad típica de la zona o de lugares aledaños para mejorar la oferta de ciertos servicios que la naturaleza nos ofrecía (<http://www.humboldt.org.co/es/actualidad/item/635-restauracion-eco>). El primer paso en la restauración ecológica es detener la causa del deterioro y evaluar la capacidad del ecosistema para recuperarse sin mayor intervención.

Vaso de la Presa de Silva después del drenado de agua (izquierda), y canal de aguas residuales donde se construyó el humedal para tratamiento de agua.



Fotos: Marina de la Vega.

4. GOBERNANZA EN LAGOS: LOS SEIS PILARES

“El ambiente humano y el ambiente natural se degradan juntos, y no podremos afrontar adecuadamente la degradación ambiental si no prestamos atención a causas que tienen que ver con la degradación humana y social”.

Laudato Si’, Papa Francisco.

La rápida difusión del término gobernanza desde la década de 1990 refleja un cambio de paradigma en las relaciones de poder. La gobernanza es un término que reconoce la importancia de la acción del gobierno (en sus diversos niveles y componentes) pero también la necesidad de vincular su acción a otros grupos y sectores que interactúan en un espacio determinado: pobladores rurales y/o ur-

banos, empresas, organizaciones de la sociedad civil, instancias de investigación, etcétera. Una típica definición de **gobernanza** es: “la interacción de leyes y otras normas, instituciones y procesos a través de los cuales la sociedad ejerce poderes y responsabilidades para tomar e implementar decisiones [que afectan a los lagos, los recursos de sus cuencas, como también a sus usuarios] y que inclina a quienes toman decisiones y quienes las implementan a rendir cuentas al respecto.” (Moore, 2010).

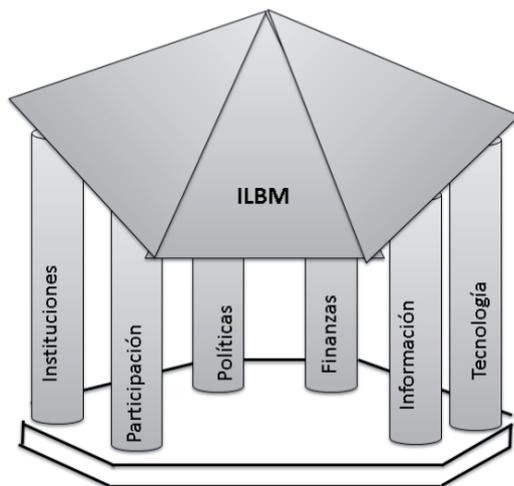
El uso del concepto de gobernanza es importante para un manejo sustentable de los lagos y sus cuencas, principalmente porque dicho manejo no se define en términos de proyectos ni programas: es un reto de gobernanza. Por ejemplo, las resoluciones contra el exceso de uso y los conflictos por el acceso a los recursos no se realizan tan solo porque quienes introducen regulaciones. Alcanzar un plan que tenga oportunidad de ser aprobado por todas las partes interesadas resulta una tarea inmensamente difícil, que generalmente toma mucho tiempo negociar e implementar. Luego, sin importar que tan bueno sea el plan y lo bien diseñado del esquema de implementación, un sentimiento de insatisfacción debido a lo que fue cedido por algunos grupos o sectores generalmente persiste, por lo que el plan estará sujeto a un continuo proceso de revisión cuya dinámica será determinada por la estructura de gobernanza en los planos de espacio, (la cuenca y más allá de sus límites), tiempo, (pasado histórico y el futuro inmediato) y de percepción (quién ganó y quién perdió, y en qué medida). Esta estructura debe evolucionar por medio de las acciones de las partes interesadas para mitigar el descontento sobre puntos o elementos que no pudieron ser negociados (RCSE e ILEC, 2014).

El Manejo Integral de Cuencas Lacustres (Integrated Lake Basin Management), denominado de aquí en adelante como ILBM por sus siglas en inglés, es un marco conceptual que considera como elemento base para el adecuado manejo de un lago y su cuenca, justamente el mejoramiento constante de la gobernanza, la cual está conformada por seis componentes interrelacionados e igualmente importantes:

- a) **Instituciones** para el manejo de la cuenca y sus cuerpos de agua, para beneficio del conjunto de usuarios;
- b) **Las Políticas de manejo** que regulen el uso de los recursos del lago y la cuenca en que se encuentran;
- c) **La Participación** organizada de las personas y grupos como requisito esencial para el manejo de cuencas,
- d) La clarificación de las posibilidades **Tecnológicas** y las limitaciones existentes para cada caso;
- e) **La Información** (su existencia, actualización y acceso) tanto de carácter tradicional como científico, y,
- f) La disponibilidad de **Financiamiento** para permitir llevar a la práctica las actividades de manejo del territorio.

Los seis puntos mencionados constituyen los Componentes o Pilares del ILBM (ILEC, 2005).

Figura 7. Pilares de la gobernanza en lagos del ILBM.



Información, base para la gobernanza

Durante décadas la toma de decisiones sobre el manejo de la cuenca Lerma-Chapala careció de un documento base que integrara de forma sintética y de fácil comprensión el amplio conjunto de información científica sobre el área. Las instituciones de orden estatal y federal manejaban información con frecuencia contradictoria sobre población, volúmenes de agua utilizada, problemática e incluso sobre los límites y superficie del territorio de la cuenca. Entre 2005 y 2006 el Instituto Nacional de Ecología en conjunto con la Universidad Nacional Autónoma de México se dieron a la tarea de integrar el “Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, construyendo una visión conjunta”, un libro de fácil comprensión con un detallado conjunto de mapas, que presenta de forma clara información proporcionada por 60 investigadores sobre temas de biodiversidad, balance hídrico, dinámica poblacional, actividades productivas, usos del agua, marco institucional y legal

para el manejo, historial de conflictos, cambio de uso de suelo y erosión, entre otros. Entre los puntos más destacables del documento está la delimitación de las 19 subcuencas que integran la cuenca Lerma-Chapala, junto con un cuadro descriptivo de las mismas y un listado de recomendaciones técnicas para cada una. La primera edición del libro se agotó con rapidez, siendo tomado como material de referencia por gran parte del sector federal, comisiones estatales del agua, universidades y organizaciones civiles. Para facilitar su acceso, el texto íntegro está disponible de forma gratuita en Internet (Cotler *et al*, 2006).

Turismo y lagos. Malecón junto al lago de Chapala.



Foto: Alejandro Juárez Aguilar.

El ILBM se definió desde sus inicios como una plataforma amplia, en constante mejoramiento a través de un proceso de Teoría-Aplicación-Teoría. Con base en la información teórica sobre el término, en el proyecto Integrated Lake Basin Management-Governance

(coordinado por la Universidad de Shiga –Japón- e ILEC, de 2008 a 2011) se analizaron casos de manejo de cuencas de lagos en Corea, Rusia, Japón, Filipinas, India y México. Retomando las conclusiones de dichos trabajos y la experiencia con grupos en condiciones de conflicto por uso de recursos de la cuenca Lerma-Chapala, Juárez (2013) identifica las siguientes características del término “Gobernanza de cuenca”:

- a) Es un proceso que requiere del nivel de articulación de los actores involucrados en un territorio compartido: la cuenca.
- b) Engloba la capacidad del conjunto de sectores para construir acuerdos y llevarlos a la práctica en la búsqueda del bien común.
- c) Reconoce la importancia del sector gubernamental y la necesidad de su vinculación con otros sectores para aumentar la eficacia de las acciones realizadas.
- d) Puede llegar a valores elevados, pero nunca alcanza un punto máximo (dado que las condiciones que la generan cambian en forma constante). De la misma forma, nunca esta completamente ausente, aún en condiciones de conflicto y/o fuerte degradación ambiental.
- e) El fortalecimiento de la gobernanza requiere de diálogo y la definición de reglas de participación aceptadas por las partes, como requisitos para el trabajo conjunto. La estructuración de mecanismos de transparencia, comunicación y rendición de cuentas es, por tanto, sumamente importante.

Construyendo la gobernanza, el Programa de Desarrollo de la Sierra Cóndiri-Canales

Entre 2002 y 2012 se realizó el Programa de Desarrollo Sustentable de la Sierra Cóndiri-Canales. Se realizó en esta zona forestal de 11,760 hectáreas, localizada al noreste del lago (en Jalisco) que fue declarada Área Natural Protegida de carácter estatal en 2017. El programa se concentró en incrementar las capacidades de organización de los grupos campesinos que utilizan el área (a través de diagnósticos participativos, cursos de capacitación, formación de grupos productivos, educación ambiental y desarrollo de proyectos) para fortalecer y mejorar las prácticas de aprovechamiento forestal, y de producción agropecuaria. Se realizaron más de 90 proyectos de reforestación, conservación de suelos, agricultura orgánica e instalación de ecotecias (sanitarios secos, sistemas de captación de agua de lluvia y estufas ahorradoras de leña). El proceso de fortalecimiento organizativo se realizó en dos niveles: directamente con 11 comunidades participantes y a través de la articulación de dichos grupos entre sí y con instituciones gubernamentales, universidades y organizaciones civiles por medio de la Mesa de Trabajo de la Sierra Cóndiri-Canales, un espacio de encuentro, intercambio de ideas y experiencias, definición de acuerdos y resolución de conflictos.

El programa utilizó un modelo metodológico en varios niveles que se busca replicar en otras áreas forestales en la cuenca Lerma-Chapala. El esfuerzo recibió diversos premios y reconocimientos en México y el extranjero. La coordinación del proyecto la realizó el Instituto Corazón de la Tierra habiendo participado en los proyectos un conjunto de 23 instituciones de gobierno federal, estatal y estatal, organizaciones de la sociedad civil y universidades, incluyendo instancias internacionales. (Juárez y Velázquez, 2012).

Usando los Pilares ILBM como base, se pueden dilucidar aspectos del manejo que se ha realizado en una cuenca a través de preguntas de evaluación. A continuación se presentan las enlistadas por RCSE-ILEC (2014):

- a) ¿Existe una institución a cargo del manejo de cuenca? ¿Son efectivos el entrenamiento y el desarrollo de capacidades? ¿Se hace énfasis en el desarrollo de las destrezas más importantes? ¿El proceso es inclusivo y está abierto a las agencias de cooperación, grupos comunitarios, etcétera? ¿Cuáles correcciones son necesarias a medio proceso?
- b) ¿Se cuenta con un plan de manejo con alcance realista en su implementación? ¿Se cuenta con un plan de manejo adecuado o necesita ser actualizado? ¿Existe claridad en las prioridades y las fases? ¿Hay suficientes recursos? ¿Se ha establecido las coaliciones necesarias que permitan que se implementen las acciones necesarias? ¿Se cuenta con una coordinación adecuada? ¿Han cambiado los costos o las opciones de tecnología, y se reflejan dichos cambios en el plan de manejo?
- c) ¿Existen mecanismos que faciliten la implementación participativa? ¿Incluye el plan y su implementación a todas las partes interesadas? ¿Qué cambios de conciencia y entendimiento ha habido acerca de los problemas y su relación con las actividades de las partes interesadas? ¿Cuál es la percepción de las partes interesadas afectadas por el programa?
- d) ¿Existe un conocimiento común y compartido acerca de los desafíos en el manejo? ¿Hay un sistema de control que permita medir los cambios en indicadores clave? ¿Resulta suficiente el contenido de la base de datos? ¿Cuáles son las áreas importantes que han quedado sin cubrir? ¿Son adecuadas las herramientas de manejo de información?

- e) ¿Se cuenta con una fuerte voluntad política que apoye el manejo sustentable? ¿Forman parte la voluntad y el compromiso políticos del programa de manejo? ¿Qué tan bien funcionan? ¿Qué puede incrementarse, qué debe reducirse y qué se puede hacer mejor?

A este respecto se han desarrollado diversas formas de implementar el proceso ILBM. Para el caso de México se elaboró el Sistema de Diagnóstico de Gobernanza (Juárez, 2014), que permite determinar de forma participativa el nivel de desarrollo de 60 indicadores, 10 para cada Componente ILBM. Esta metodología se aplicó entre 2010-2015 en cuatro cuencas del país, además de emplearse en EUA (Saunders *et al*, 2014) y servir de caso de referencia en Montenegro/Albania (Vujovic *et al.*, 2018).

Manejo sustentable de lirio acuático

Dentro de las consecuencias de la contaminación de lagos podemos mencionar el crecimiento explosivo de plantas acuáticas que se les denomina malezas acuáticas como es el caso del lirio acuático considerado como una “plaga” o un “desecho” problema muy extendido en el país y en el mundo. La visión institucional tradicional emplea acciones de trituración, control biológico o empleo de sustancias químicas que matan a la planta (herbicidas), causando su hundimiento en la columna de agua incrementándose los efectos negativos como agotamiento del oxígeno e incremento de la eutroficación.

Manejo sustentable del lirio acuático. Al cambiar la visión y dejar de ver al lirio como desecho y verlo como activo ambiental con valor ambiental y económico, se extrae de manera sustentable y la planta se emplea para producir productos útiles para controlar derrames de hidrocarburos y sustancias químicas, alimento para ganado, compostas, producción de biocombustibles. Adicionalmente contribuye a eliminar nutrientes y contaminantes de los

lagos, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y generar empleos en las comunidades. Este proyecto impulsado en México se ha replicado en la Laguna Colorada en Jalisco, Laguna de Yuriria en Guanajuato, en Brasil y en Benin África (De la Vega, 2010; Vargas, 2002).

Presas de la Vega en Jalisco invadida por lirio acuático en marzo del 2018.



Foto: Marina de la Vega.

5. MANEJO DE CUENCAS LACUSTRES, RETOS Y OPORTUNIDADES

“El optimismo es la fe que conduce al logro.
Nada puede hacerse sin esperanza y confianza”.

Helen Keller.

Los lagos y reservorios de México juegan un papel preponderante como almacenes de agua, pero también por los múltiples servicios ambientales que prestan, tanto por parte de los propios ecosistemas acuáticos como de las cuencas que los sustentan. A pesar de su importancia en términos de generación económica, sostén de actividades productivas, reguladores del microclima y reservorios de biodiversidad, por mencionar unos cuantos, la mayoría de las cuencas lacustres del país muestran signos evidentes de degradación, derivadas de malas prácticas productivas, pérdida de cobertura forestal, erosión, contaminación por fuentes urbanas y agropecuarias, entre otros.

Los lagos, junto con otras fuentes acuáticas como ríos, humedales y acuíferos subterráneos, sufren afectaciones por el deterioro de la calidad de agua y la reducción de sus flujos de entrada, lo que afecta la integridad de sus ecosistemas. Resulta preocupante que a pesar de su papel estratégico, a estos cuerpos de agua se les entienda tan mal y tan poco, lo que facilita la toma de decisiones inadecuadas, que van desde el uso incontrolado de pesticidas en sus orillas (muchos con fuertes efectos sobre el plancton, base de toda la cadena trófica) a su desecamiento parcial o total en aras de realizar proyectos urbanos o ampliaciones de riego o ganadería, que acaban alterando duramente el territorio que justamente les permite desarrollarse.

Es urgente mantener la investigación sobre las condiciones y componentes de los lagos y sus cuencas, pero aún más: debe avanzarse para que dicha información sea conocida por el público,

que se apropie de la misma y que asimismo ésta sea utilizada para orientar la toma de decisiones. Se requiere crear planes y programas de manejo específicos y funcionales, que cuenten con fuerte respaldo de los usuarios de los servicios de la cuenca y que sean llevados a la práctica, en un proceso que por la complejidad del contexto permita la revisión y el mejoramiento cíclico, incorporando la información que se genere y la participación a los grupos de interés que decidan integrarse al trabajo.

Sobre el manejo hay preguntas que deben responderse para cada caso en particular y otras que atañen a todo el territorio nacional ¿cuántos lagos naturales y artificiales hay en México? ¿cuál es su estado actual? ¿qué tipo de instrumentos se utilizan para su manejo y el de sus cuencas? ¿qué opciones productivas son las más adecuadas para cada territorio? ¿con qué tipo de instituciones se cuenta y qué tipo de participación se da dentro de las mismas? ¿cómo se resuelven los conflictos entre los diferentes grupos de usuarios? ¿se involucran de alguna forma los usuarios urbanos en el mantenimiento y conservación de los bosques de la cuenca de la que dependen? ¿hay acciones de protección a las especies nativas de flora y fauna? ¿existe un manejo integrado de malezas acuáticas? ¿cómo se previene o revierte la erosión en la cuenca? ¿qué responsabilidades asumen los grupos ligados a la producción y qué se hace para informarlos e involucrarlos?

Como resulta evidente, no es sólo un tema de investigación: es fundamentalmente un tema de gobernanza. Igualmente, no es asunto de cada lago en lo individual, es un tema de manejo estratégico de recursos hídricos, biodiversidad y desarrollo económico. Empujar esta visión requiere trabajo en conjunto, vinculación entre sectores e involucramiento de sectores específicos y público en general. No es asunto sencillo pero debe hacerse, por el bienestar de los lagos y los millones de personas que dependemos de ellos.

CONCLUSIONES

Aun cuando los lagos ocupan una pequeña fracción de la tierra son de gran importancia por los servicios ecosistémicos¹⁸ que proporcionan. Desafortunadamente también son los ecosistemas más severamente sobreexplotados y degradados por la acumulación de sedimentos y descargas de aguas residuales favoreciendo su contaminación.

El uso extendido de productos químicos, muchos de los cuales pueden ser tóxicos, cuando son liberados al ambiente producen daños a los sistemas naturales y sociales. La entrada de contaminantes a los lagos puede afectar a los sistemas de forma directa produciendo efectos tóxicos o de forma indirecta modificando las características físicas y químicas. El impacto ecológico potencial es importante por la pérdida de las funciones de los lagos, como son: (1) la función hidrológica, (2) mantener la calidad del agua y (3) mantener la vida (Mason 1991). De la misma forma como hemos visto en esta publicación los lagos son muy complejos sistemas vinculados con el manejo en la cuenca y los procesos físicos, químicos y biológicos que suceden a diferentes escalas temporales y espaciales, esta complejidad los convierte en únicos y a la vez sujetos de múltiples presiones que demandan nuestra creatividad, innovación y colaboración para mejorar su estado actual y futuro.

¹⁸ Ver: *Servicios ecosistémicos, fundamentos desde el manejo de cuencas*, de esta serie. En: <http://www.remexcu.org/index.php/publicaciones/itm-cuadernos-divulgacion/105-servicios-ecosistemicos-fundamentos-desde-el-manejo-de-cuencas> Manejo sustentable. Administración y uso racional de los ambientes y sus recursos naturales basado en pautas que permiten su conservación y rendimiento sostenido en el tiempo. <http://web.usach.cl/ima/enviroeduca/glosario.html>. El manejo sustentable de los recursos naturales renovables es aquel que, al mismo tiempo, es ecológicamente apropiado, socialmente justo y económicamente viable (FEA 2006).

La crisis global del agua tanto en la cantidad como en la calidad está muy ligada a la crisis global medioambiental y a la degradación de ecosistemas. Conservar los ecosistemas a través de un manejo más adecuado puede ayudar a mantener no sólo la cantidad de agua disponible sino también su calidad; es prioritario establecer una relación agua, suelo y personas a través del manejo sustentable de estos importantes ecosistemas acuáticos.

Hablar del valor del agua es difícil ya que simplemente: sin agua no existe vida. Pero, por mencionar algunas contribuciones tenemos las siguientes. El agua es nuestro principal recurso, su disponibilidad es el componente esencial en el desarrollo social y económico de cualquier país, el recurso sobre el cual depende la reducción de la pobreza. El agua es la base de la bioquímica de todos los seres vivos, interviene en el crecimiento de las plantas y animales, proporciona refugio para un sinnúmero de especies las cuales se encuentran interconectadas entre sí gracias a ella. El agua es creada y transformada en los ciclos bioquímicos tales como la respiración y la fotosíntesis, de la misma forma la cantidad total de agua en la Tierra es de alrededor de 1.4 billones de km³, de los cuales sólo 41,000 km³ circulan por el ciclo hidrológico, mientras que el resto se almacena durante largos periodos en los océanos, casquetes polares y cuerpos de agua dulce que representa sólo un 3%. Dado que el agua sostiene todas las formas de vida, la gestión efectiva de los recursos hídricos (en particular los lagos y sus cuencas) demanda un enfoque holístico que integre el desarrollo comunitario, social y económico junto con la conservación y respeto de los ecosistemas naturales y sus comunidades de organismos.

Esta gestión efectiva de los recursos hídricos parte de entender cómo funcionan estos importantes sistemas, los lagos, y de fomentar la construcción de una visión común del territorio que implique el manejo y conservación de su estructura y funcionamiento. La combinación del manejo y gestión integral de cuencas con el conocimiento detallado de los procesos y dinámica de los lagos y

sus cuencas puede, a través de la participación activa, informada y multinivel construir la gobernanza de nuestros lagos en México. La Gestión Integral de Cuencas Lacustres (ILBM por sus siglas en inglés) puede resultar una base para orientar los esfuerzos hacia la construcción de una visión común de las cuencas y sus lagos.

Sé parte activa de la generación de conocimiento y soluciones para los lagos en México. Participa en el Grupo de Trabajo de Lagos y sus Cuencas de la Red Mexicana de Cuencas (www.remexcu.org).

FUENTES

- Adrian, R., Hessen D.O., Blenckner, T., Hillebrand, H., Hilt, S., Jeppesen, E., Livingstone, D.M. y Trolle, D. (2016). “*Environmental Impacts-Lake ecosystems*”. En: Quante M., Colijn F. (eds) *North Sea Region Climate Change Assessment*. Regional Climate Studies. Springer.
- Álvarez-Borrego, S. (2007). “Principios generales del ciclo del carbono en el océano”. En: B. Hernández de la Torre y G. Gaxiola-Castro (eds.), *Carbono en ecosistemas acuáticos de México*. Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada. México, pp. 11-28.
- Bernal-Brooks, (1988). *Limnology of Lake Zirahuen Relative to Cultural Impacts*. Guelph University, Department of Zoology (MsC. Thesis).
- Bernal Brooks, F. W., MacCrimmon, H. R. (2000). “Lake Zirahuen (Mexico): a pristine natural reservoir visually insensitive to expected cultural eutrophication”. En Munawar, M. *et al.* (Ed.), *Aquatic Ecosystems of Mexico: Status and Scope*, (10-18). Leiden: Backhuys Publishers.
- Bernal-Brooks, F. W., Chávez, J. J. S., Inclán, L. B., Morales, R. H., Cano, A. K. M., Lind, O. T., Dávalos-Lind, L. (2016). “The algal growth-limiting nutrient of lakes located at Mexico’s Mesa Central”. *Journal of Limnology*, 75(s1), 169-178. DOI: 10.4081/jlimnol.2016.1439.
- CCA Comisión para la Cooperación Ambiental (1995). *Informe del Secretariado de la CCA sobre la muerte de aves migratorias en la Presa de Silva (1994-95)*. Prospectus Inc. 90 pp.

- Cortés J. (2012) *Animación del medio acuático*, en <http://cienciaslicenciadosreunidos.blogspot.com/2012/10/animacion-de-xurxo-1a.html?m=1>
- Cotler, H., M. Mazari y J. de Anda -editores- (2006). *Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala, Construyendo una visión conjunta*. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. <https://agua.org.mx/biblioteca/atlas-de-la-cuenca-lerma-chapala-construyendo-una-vision-conjunta/>
- Cotler, H., A. Galindo, I.D. González, R.F. Pineda y E. Ríos (2013). *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Cuadernos de Divulgación Ambiental. México: CECADESU/ SEMARNAT, 32 pp. En: http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/Cuencas_final_2014.pdf Consultado el 20 de agosto de 2018.
- Dávalos, L., O. Lind y R. D. Doyle. (1989). "Evaluation of phytoplankton-limiting factors in lake Chapala". México: *turbidity and spatial and temporal variations in algal assay response*. Lake Reserv. Manage. 5(2):99-104.
- Dávalos-Lind, L. y O. Lind. (1993). "The changing state of limnology in México: Lake Chapala as an example". Verh. Internat. Verein. Limnol. 25: 427-430.
- Dávalos-Lind y O. Lind. (2001). "Phytoplankton and Bacterioplankton production in Lake Chapala, México". A Review. *The Lerma-Chapala Watershed*. Eds. Hansen and van Afferden. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Dávalos-Lind, L. y O. Lind. (2005). "Bacterioplankton grazing by fish and zooplankton in clay-rich and clay-free water". Verh. Internat. Verein. Limnol. 29:140-142
- De la Vega-Salazar, M.Y. (2003). "Situación de los peces dul-

- ceacuólicas en México”. *Rev.Dif. Ciencias* 78: 20-30. <http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/72/CNS07204.pdf> Consultado 21 agosto 2018.
- De La Vega-Salazar, M.Y. (2010). *Investigar alternativas de aprovechamiento sustentables de la producción primaria de cuerpos de agua dulce eutrofizados como medida de recuperación ambiental en la región centro occidente*. INDESOL Refugio Centro para la Conservación de la Ecobiodiversidad A. C. 101 pp.
 - Downing, J.A. (2010). “Emerging global role of small lakes and ponds: Little things mean a lot”. *Limnetica*. 29:9-24.
 - FEA: Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. CEMDA A.C. Presencia Ciudadana Mexicana, A.C. (2006) *El agua en México: lo que todas y todos debemos saber*. 93 p.p. https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:0vWgwgBUlcYJ:portalsostenibilidad.upc.edu/archivos/fichas/informes/el_agua_en_mexico%5B1%5D.pdf Consultado el 18 de agosto del 2018).
 - Gamfeldt, L. y Hillebrand, H. (2008). “Biodiversity effects on aquatic ecosystem functioning – maturation of a new paradigm”. *International Review of Hydrobiology* 93:550-564.
 - Gobierno de la República (2018). *Estrategia nacional para la puesta en marcha de la Agenda 2030*. <https://www.gob.mx/participa/consultas/consulta-general-de-la-estrategia-nacional-de-la-agenda-2030-113>. Consultada el 24 de agosto de 2018.
 - Gómez-Tagle, A., X. Madrigal Guridi, I. Israde Alcántara, R. Hernández Morales, M.R. Ortega Murillo, R. Alvarado Villanueva. (2013). *Diagnóstico Rápido del Lago de Zirahuén* (agosto-2013). Reporte Técnico, Coordinación de la Investigación Científica, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 15 pp.

- González, I.D., S. A. Salinas, A. Guerra, R. Sánchez y E. Ríos. (2014). *Ríos libres y vivos, introducción al caudal ecológico y reservas de agua*. Cuadernos de Divulgación Ambiental. México: CECADESU/SEMARNAT, 43 pp. En: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001908.pdf> . Consultado el 20 de agosto de 2018.
- Grizzetti, B. Lanzaova, D., Liqueste, C., Reynaud, A. y Cardoso, A.C. (2016). “Assessing water ecosystem services for water resource management”. *Environmental Science and Policy*. 61: 194-203.
- IPCC. (2013). *Climate Change and Water. IPCC Technical Report VI*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Konopka A. E. (1993). “Distribution and activity of microorganisms in lakes; effects of physical processes”. En Ford T. E. (ed). *Aquatic Microbiology and Ecological Approach*. Blackwell Scientific Publications. Pp. 47-66.
- Kortmann R. W., Rich P. H. (1994). “Lake Ecosystem Energetics: The Missing Management Link”. *Lake and Reservoir Management*, 8: 77-97
- ILEC. (2005). *Managing Lakes and Their Basins for Sustainable Use: A Report for Lake Basin Managers and Stakeholders*. International Lake Environment Committee Foundation (ILEC), Kusatsu, Shiga, Japan. 146 p. Accessible en: <http://www.ilec.or.jp/en/pubs/p2/lbmi>
- JICA – ILEC. (2008). “Biophysical characteristics of lakes”. Module 2 Integrated Lake Basin Management Training Course. Sponsored by the Japan International Cooperation Agency (JICA) and executed by the International Lake Environment Committee (ILEC) Foundation. http://www.ilec.or.jp/ILBM-TrainingMaterials/resources/Biophysical_Characteristics_presentation.pdf Fecha de consulta: 24 de agosto de 2018.

- Juárez-Aguilar, A. (2011). "Lake Chapala and its watershed: Summary of Experiences and Lessons Learned". *Research Center for Sustainability and Environment*, Shiga University. http://rcse.edu.shiga-u.ac.jp/gov-pro/plan/2010list/10/mexico_chapala_and_rivers/lake_brief-lake_chapala__mexico.pdf
- Juárez, A. (2013). "Construcción de indicadores de gobernanza para el manejo integral de cuencas". En: S. Peniche, et al. 2013. *Gobernanza del agua en las ciudades*. Universidad de Guadalajara, México. 217 pp.
- Juárez, A. (2014). A "Practical Approach in ILBM Pillar Assessment: An Example: Evaluating Governance Pillars in the Lerma-Chapala-Santiago Basin". In: RCSE and ILEC. 2014. *Development of ILBM Platform Process, Evolving Guidelines through Participatory Improvement*. 2nd edition. Research Center for Sustainability and Environment, Shiga University/ International Lake Environment Committee Foundation. Japan.
- Juárez-Aguilar, A., y R. Velázquez-Moreno (2012). "Community forest restoration for the integrated management of Lake Chapala basin". International Lake Environment Committee Foundation (Japan) and Corazon de la Tierra (Mexico). In: *Case Studies of the International Partnership for the Satoyama Initiative*. <http://satoyama-initiative.org/community-forest-restoration-for-the-integrated-management-of-lake-chapala-basin/>
- Lago EcuRed. <https://www.ecured.cu/Lago> Consultado el 18 de agosto de 2018.
- Lind, O., R. Doyle, D. Vodopich, B. Trotter, J. Limón, y L. Dávalos-Lind. (1992). "Clay turbidity: Governing of phytoplankton production in a large, nutrient-rich tropical lake (Lago de Chapala, México)". *Limnol. Oceanogr.* 37:549-565.

- Lind, O. y L. O. Dávalos-Lind. (2002). "Interaction of water quantity with water quality: The Lake Chapala example". *Advances in Mexican Limnology, Basic and Applied Aspects*. Eds. J. Alcocer and SSS Sarma. Kluwer Academic Publishers. *Hydrobiologia* 467:159-167.
- Mason C. F. (1991). *Biology of Freshwater Pollution*. Longman Scientific and Technical 351 pp.
- Matthews, J. H. and T. Le Quesne. (2009). *Cómo adaptar la gestión hídrica. Guía para hacer frente al cambio climático. Serie Seguridad Hídrica de WWF 3*. Traducción: WWF México. 37 pp.
- Mokondoko, P., Flores, A., González, I.D., González, D.I., Machorro, J, y Ríos, E. (2018). *Servicios ecosistémicos. Fundamentos desde el manejo de cuencas*. Cuadernos de Divulgación Ambiental. México: CECADESU/SEMARNAT, 51 pp. En: <http://www.remexcu.org/documentos/cuadernos/CD-2018-05-04-Servicios-Ecosistemicos.pdf>. Consultado el 19 de agosto de 2018.
- Moore, P. (2010). *Coming to Terms with Governance - Definition, Components, Principles*. Regional National Working Group Meeting, IUCN Mekong Water Dialogues Project, Kunming, China.
- Neue, H. U., J. L Gaunt, Z. P. Wang, P. Becker-Heidmann, C. Quijano. (1997). *Carbon in tropical wetlands*. *Geoderma* 79: 163-185.
- Okada M. (1992). *Eutrophication. Environmental engineering course. Water Pollution control*. Japan International Cooperation Agency, 59 pp.
- ONU (2018). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. 17 Objetivos para transformar nuestro mundo*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/> Consultado el 19 de agosto de 2018.

- Reid G. K., Wood R. D. (1976). *Ecology of Inland Waters and Estuaries*, 2nd Ed. Litton Educational Publishing, Inc. 485 pp.
- RCSE and ILEC. (2014). *Development of ILBM Platform Process, Evolving Guidelines through Participatory Improvement*. 2nd edition. Research Center for Sustainability and Environment, Shiga University/International Lake Environment Committee Foundation. Japan.
- Sánchez, R. y Viñals, M.J. (2012). *Manual para la determinación de las necesidades hídricas de los humedales. El contexto español*. Ed. Fundación Biodiversidad, 68 pp.
- Saunders, B.A., W. Rast y V. Lopes (2014). "Stakeholder evaluation of the feasibility of watershed management alternatives, using Integrated Lake Basin Management principles". *Lakes and Reservoirs: research and Management*. 2014. 19: 255-268.
- Secretaría de la Convención de Ramsar, (2006). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)*, 4a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf. Consultado el 19 de agosto de 2018.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971)*. 6a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>. Consultado el 19 de agosto de 2018.
- SEMARNAT (2008). Informe de la situación del medio ambiente en México Compendio de Estadísticas Ambientales, SEMARNAT, México 358 P. http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/06_agua/cap6_6.html

- Vargas Soto J.C. (2002) “El lirio acuático y la nueva política ambiental”. *Revista Asamblea*. Órgano de difusión de la Asamblea Legislativa del D.F. México, 40-43 pp.
- UNEP (2012). The UN-Water Status Report on the Application of Integrated Approaches to Water Resources Management. http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/un_water_status_report_2012.pdf. Consultado el 19 de agosto de 2018.
- Vujovi, A., Z. Krivokapi, M. Stefanovi, V. Pesi, J. Jovanovi (2018). Integrated Lake Basin Management for Lake Skadar/Shkodra. In: *The Handbook of Environmental, Chemistry book series*. pp 1-11. Springer link.

**Lagos y sus Cuencas,
Construyendo la gobernanza.**

Se editó en septiembre de 2018 en la Ciudad de México.

