

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	La limnología, una revisión del concepto.
<i>Autor / Adscripción</i>	Alfonso Guillermo Banderas Rebeca González Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, 11(1): 77-84
<i>Fecha de publicación</i>	1996
<i>Resumen</i>	Esta revisión presenta un análisis retrospectivo del concepto limnología. Se citan cronológicamente las definiciones de los autores de la mayoría de los textos limnológicos disponibles en las bibliotecas de la Universidad Nacional Autónoma de México, y se compara el objeto de estudio y los enfoques y métodos para abordar lo que propone cada autor. Se distinguen los puntos de vista limnobiológico y limnológico cuya fusión conduce a su separación de la oceanografía y a la perspectiva ecológica, de manera que el término ecología acuática es una acepción actual de la limnología, encontrándose entre ambas una diferencia de grado.
<i>Identificador</i>	http://hdl.handle.net/123456789/1253

Revisión temática

La limnología, una revisión del concepto

Alfonso Guillermo Banderas
Rebeca González

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Esta revisión presenta un análisis retrospectivo del concepto limnología. Se citan cronológicamente las definiciones de los autores de la mayoría de los textos limnológicos disponibles en las bibliotecas de la Universidad Nacional Autónoma de México, y se compara el objeto de estudio y los enfoques y métodos para abordarlo que propone cada autor. Se distinguen los puntos de vista limnobiológico y limnológico cuya fusión conduce a su separación de la oceanografía y a la perspectiva ecológica, de manera que el término ecología acuática es una acepción actual de la limnología, encontrándose entre ambas una diferencia de grado. En el desarrollo de la limnología es notable el predominio de las propuestas sistémica, termodinámica e ingenieril que enfatizan los balances de materia y energía en el cuerpo de agua y cuyos objetivos y métodos pretenden ser más integrativos y predictivos. Se notan dos dicotomías: una conceptual, por la divergencia entre la atención primaria a las leyes de la termodinámica o a la ley de la evolución por selección natural, y otra metodológica por el sacrificio de la precisión de la descripción en aras de la generalización de la predicción. En el aspecto aplicado, la limnología se mueve de una etapa de explotación hacia otra de manejo de los recursos naturales, pero con una vinculación deficiente entre los científicos y los políticos. Para salvar estas divergencias se propone promover la labor del científico a través de vinculadores profesionales entre el investigador y el usuario y hacer ciencia mejor y más relevante. Ambas formas pueden considerarse individualmente, pero no son excluyentes, requiriéndose, además, ampliar las bases conceptuales de los estudios limnológicos.

Definición de limnología

El estudio del agua dulce superficial está a cargo de la ciencia denominada *limnología* (del griego *limne*, divinidad asociada con el agua y de *logos* tratado o estudio, definición que abarca a los sistemas lóticos –agua corriente– y a los lénticos –agua estancada). La Sociedad Internacional de Limnología, SIL, define a esta ciencia como el estudio del conjunto de las aguas dulces o epicontinentales (Margalef, 1983).

La mayoría de los autores coinciden en clasificar por eras a la limnología: la antigua y la moderna; o por dos enfoques: el hidrobiológico o limnobiológico y el limnológico. La separación por eras no es tajante, puesto que actualmente se realizan en todo el mundo estudios limnobiológicos que incrementan continuamente el conocimiento sobre la morfofisiología y la distribución de los organismos dulceacuáticos.

Enfoques de la limnología

Limnobiológico

Se origina en la Europa antigua cuando sus aportaciones al conocimiento eran observaciones aisladas sin relación entre ellas (Welch, 1935). Su génesis se funde con la de la ciencia biológica en su fase indiferenciada.

El microscopio constituye el desarrollo más significativo en la historia del conocimiento de la vida acuática, puesto que abrió la puerta a un mundo hasta entonces desconocido. A las primeras descripciones de organismos diminutos realizadas por A. van Leeuwenhoek (1632-1723; Margalef, 1983), siguieron aportaciones cada vez más trascendentes como la *Animalcula Infusoria Fluviatilia et Marina*, primera clasificación de organismos microscópicos realizada por el biólogo danés Otto Friedrich Müller en 1786 (Welch, 1935).

Después del trabajo de Ehrenberg *The Infusion Animals as Complete Organisms*, publicado en 1838, el estudio de las aguas dulces fue opacado por el mayor interés que recibieron los organismos marinos durante el siglo XIX. Sin embargo, el progreso de la oceanografía contribuyó indirectamente al progreso de la limnología, puesto que las biotas marinas y dulceacuícolas tienen muchos elementos en común (Welch, 1935), tales como bentos, necton y plancton. Paralelamente, el conocimiento empírico de los recursos acuáticos, acumulado desde los inicios de la civilización, alcanzó su máxima expresión en la acuicultura y en la acuarofilia. La primera, importada por Europa desde China, se practicaba en los monasterios medievales para consumir pescado por razones religiosas. Con la producción de un sinúmero de manuales, la segunda alcanzó su climax en la decoración de los grandes salones europeos del siglo XIX (Margalef, 1983).

A finales del mismo siglo, la limnobiología logró su plenitud con la fundación de las primeras estaciones de investigación en Europa, que se inició en 1888 con la de Anton Fritsch en los bosques de Bohemia. Poco después, Otto Zacharias estableció en 1891 la estación de Plön, en Alemania. Posteriormente se multiplicaron rápidamente en Europa y en los Estados Unidos de América, EUA. Prominentes botánicos y zoólogos de esa época, sobre todo centroeuropeos, aportaron conocimientos importantes acerca de los seres acuáticos relacionados con su taxonomía, mecanismos de alimentación y ciclomorfosis, distribución, migraciones, etcétera.

De acuerdo a esta orientación, una gran cantidad de autores consideran que la limnología se inicia en 1870 con el descubrimiento de la comunidad planctónica dulceacuícola por P. E. Müller. El primer trabajo sobre ecología del fitoplancton lo realizó Z. Schröter en 1896.

Limnológico

En 1887, S.A. Forbes publicó un ensayo, *The Lake as a Microcosm*, acerca de los fenómenos que, entonces se pensaba, determinaban el balance de materia en un lago. Si bien este trabajo contiene afirmaciones tan modernas como *equilibrio entre la síntesis y la descomposición de la biomasa*, que enmarcan el enfoque que predominaría posteriormente en la limnología moderna, no corresponde a Forbes la paternidad de esta ciencia, sino a F.A. Forel (1841-1912) en virtud de la magnitud de su obra entre la que sobresale *Le Léman. Monographie Limnologique*, presentada en tres volúmenes publicados entre 1892 y 1904, por ser el primer tratado comprensivo de limnología, y abrir un nuevo campo de investigación biológica.

De la definición de limnología de Forel (la oceanografía de los lagos), merecen destacarse dos aspectos:

- La oceanografía es una ciencia anterior a la limnología, cuyos métodos fueron exportados a ésta última, de aquí lo obvio de la definición
- La limnología nace como una ciencia cuyo objeto de estudio son los lagos, en especial los de gran tamaño, susceptibles de estudiarse a través de las técnicas oceanográficas

Posteriormente, cada autor confecciona una definición propia de esta ciencia. Ruttner (1882) afirma que la limnología es una ciencia paralela a la oceanografía, distinguiéndose solamente en cuanto a diferencias de grado en los tratamientos y métodos respecto a dos características del objeto de estudio: su constitución (salina o no) y su permanencia. También separa a la limnología de su predecesora, la hidrobiología, indicando que esta última se limita a las investigaciones de las asociaciones bióticas que habitan los biotipos acuáticos y establece que las consideraciones ecológicas son fundamentales en cada investigación hidrobiológica, con lo que delimita y separa a la limnología de la ecología.

E. Baldi (en Cole, 1917), define a la limnología como la ciencia que trata acerca de las interrelaciones entre los procesos a través de los cuales la materia y la energía son transformadas dentro de un lago; y de los métodos utilizados para estudiar dichas transformaciones. Es notable en este autor la influencia de la orientación que Forbes le dio al estudio de los lagos, y que habrá de notarse en varias de las definiciones siguientes.

Windberg (en Cole, 1917), menciona que el objetivo más importante de la limnología es el estudio de la circulación de los materiales, especialmente orgánicos, en un cuerpo de agua. Cabe destacar el énfasis que hace este autor en el estudio de los ciclos biogeoquímicos.

El mismo Cole (1917), no da una definición de la limnología, apegándose a las definiciones previas por él citadas. Sin embargo, hace una distinción importante en el desarrollo de la limnología dividiéndola en dos fases:

- La que enfatiza los aspectos físicos y químicos del agua y considera a los organismos acuáticos como detalles meramente decorativos, curiosidades o anexos del sistema (Reid y Wood, 1976). A esta fase, que en la actualidad constituye, en general, la primera parte de todo estudio limnológico, le asigna el nombre de Limnología Foreliana, debido al énfasis

sis que se aprecia en la obra de Forel sobre los aspectos físicos y químicos del lago de Ginebra.

- La que reconoce la importancia que tienen los organismos acuáticos sobre la dinámica del sistema, determinando ciertos procesos e influyendo en otros. A esta fase corresponde el inicio de la ecología acuática.

Welch (1935), define a la limnología como la rama de la ciencia que trata con la productividad biológica de las aguas epicontinentales y con todas las influencias causales que la determinan. Es uno de los primeros autores que introduce el término *productividad biológica* y enfoca a la limnología hacia el estudio de los sistemas lénticos y lóticos con una finalidad más utilitaria: la producción biológica a manera de biomasa utilizable directa o indirectamente para consumo humano.

En este momento, se aprecia un acercamiento entre los conceptos limnológicos y la acuicultura y se siente más cercana la posibilidad de ejercer cierto control sobre el sistema con el objeto de optimizar su producción y uso. Este enfoque netamente antropocéntrico tuvo gran aceptación. Por ejemplo, Lund y Talling (1957), comienzan su trabajo afirmando que la productividad es el problema fundamental en la biología dulceacuícola, seguramente porque en esa época la aplicación a la biología de los conceptos termodinámicos como energía, trabajo, calor, eficiencia termodinámica, etc., adquirió popularidad.

Este punto de vista fue madurando y finalmente fue formalizado por Lindeman (1941), en un artículo que hizo época y que promovió, dentro del contexto más amplio de la bioenergética, una ciencia híbrida entre la termodinámica y la ecología, denominada ecología de sistemas, la cual marcó el paso de la orientación empírica a la teórica en ecología (Cook, 1977), y que, además, fue el sustrato del Programa Biológico Internacional (Bauer, 1989).

Posteriormente se realizaron textos específicos sobre la productividad en sistemas acuáticos (Vollenweider, 1969; Russell-Hunter, 1970; Downing y Rigler, 1971; Goldman, 1974), y el término sistema o ecosistema pasa a formar parte del léxico científico común.

Siguiendo esta línea de pensamiento, Schwörbel (1971) define a la limnología como la ciencia de las aguas dulces o epicontinentales visualizándolas como ecosistemas junto con su estructura y balances de materia y energía. Por lo tanto, para este autor es una subsección de la ecología junto con la oceanología, relacionada con los ecosistemas marinos, y la epeirología, definida por Kuhnelt (en Schwörbel, 1971) y vinculada a los hábitats terrestres. Acorde con este autor, los objetos de estudio de la limnología son miembros bien

definidos del ciclo hidrológico de la Tierra, por lo tanto, la limnología y la oceanografía son subsecciones de la hidrología.

Schwörbel sostiene que el balance de los materiales biogénicos de las aguas naturales es un aspecto central de estudio de la limnología en la que, como ciencia interdisciplinaria, intervienen la geología y la meteorología aportando datos históricos, la fisicoquímica y la física analizando la composición del agua; y la biología, la bioquímica y la biología molecular relacionadas con la transformación de los materiales que aparecen en el cuerpo de agua.

En un principio los ríos y los sistemas lóticos en general no ocuparon mucho la atención de los limnólogos, sin embargo, los trabajos acumulados durante mucho tiempo finalmente fueron integrados por Hynes (1970), dando origen a una ciencia que se distinguió de la limnología de lagos y que recibió el nombre de potamología

Hutchinson (1975), sin dar una definición formal de la limnología, la circunscribe al estudio de los lagos, mismos que en su tratado describe y clasifica desde diversos puntos de vista (geológico, físico, químico y biológico) y analiza detalladamente los orígenes y las leyes físicas y químicas que controlan las características y la dinámica de la masa de agua. Su influencia en esta ciencia es importante pues reconoce el valor de la información que cada lago puede aportar a la limnología regional y general (Margalef, 1983), independientemente de su tamaño u origen.

Más adelante, Golterman (1975), al igual que sus predecesores, integra los enfoques implícitos en las definiciones previas y menciona que la limnología puede ser definida en dos formas:

- Ecología acuática
- Ciencia de los sistemas dulceacuícolas u oceanología continental

Este autor asevera que se trata de una ciencia interdisciplinaria que combina aspectos de la hidrobiología, la hidroquímica, la hidrofísica y la geología. La ecología acuática es, así, la ciencia que trata de las relaciones mutuas entre los organismos y de las interrelaciones entre los organismos y su ambiente. En este sentido la limnología es, conceptualmente, muy parecida a la ecología general.

Con estas definiciones, Schwörbel y Golterman fusionan a la limnología antigua o limnobiología con las limnologías forelianas, biogeoquímica y termodinámica, y con la limnofisiología o limnología biofísica, desarrollada por Golterman, involucrada principalmente con las adaptaciones morfológicas y fisiológicas de los

organismos acuáticos al medio en el que habitan y en la que la técnica denominada bioensayo ocupa un lugar preponderante.

El bioensayo ejemplifica en parte el uso de acuarios en el laboratorio. Se utiliza con el fin de analizar el efecto del ambiente controlado sobre los organismos, lo que permite identificar indicadores de condiciones ambientales particulares, sobre todo aquellas señaladas como contaminantes. Conceptualmente, es similar a la hidrobiología ya examinada, pero metodológicamente difiere en cuanto a utilizar determinadas especies caracterizadas como susceptibles y bajo condiciones controladas. En la literatura limnológica existe una basta producción de artículos que tratan acerca de la orientación experimental (Cairns, 1989; Bergmann y Welch, 1990).

Puede confirmarse que en esta fase la limnología ha abandonado la concepción de Forel y Ruttner y ha dado un paso decisivo que le permite definirse como la ecología dulceacuática. Estos autores asimilaban a la limnología como un pequeño anexo de la oceanografía y la distinguían de la hidrobiología a pesar de la afirmación de Winogradski (en una época tan temprana de la limnología como fue el año de 1897) de que el análisis del balance de oxígeno en un lago es incompleto si no se estudian a los microorganismos y sus efectos (Schwörbel, 1971).

Sin duda, la separación entre la limnología y la oceanografía tiene sus orígenes desde el inicio de la limnología misma, desde los trabajos de Thienemann y Nawmann, creadores de la limnología regional con una visión funcional que ordena a los sistemas acuáticos sobre el eje oligotrofia-eutrofia y que da la pauta para otro tipo de ordenaciones, y de Hutchinson (1975), quien reconoce el valor de cada lago.

A su vez, se nota una asociación cada vez más estrecha entre la limnología y la ecología acuática, vinculación que, conforme avanza el tiempo, va haciendo más difícil diferenciar entre ambas ciencias. El mejor ejemplo de esto tal vez lo tengamos en la propuesta de Round (1981): si la ecología es el estudio de las relaciones entre los organismos y el ambiente, entonces tanto los organismos como el ambiente son de igual importancia para el ecólogo.

El concepto anterior simplemente funde en una sola ciencia a la hidrobiología de agua dulce con la limnología, ya sea que se considere cualesquiera de las definiciones aquí citadas.

Recientemente, Wetzel (1975), define a la limnología como el estudio de las relaciones funcionales y de la productividad de las comunidades dulceacuáticas conforme son afectadas por sus ambientes físico, químico y biótico.

En cuanto a que las comunidades dulceacuáticas son afectadas por su ambiente, este autor visualiza procesos más cercanos y tangibles en torno a la dinámica del lago, especialmente en lo relacionado con la productividad y con el efecto de los cambios ambientales a corto plazo sobre los organismos. Además, concilia la visión hidrobiológica descrita en los términos de Ruttner y aportadora del Sistema Saprobio (vg. Fjordingstad, 1971; en Margalef, 1983), con la visión americana más ingenieril aportadora del Índice Trófico (Carlson, 1977).

Wetzel (1975), es uno de los primeros autores que maneja en la limnología el término *demófora* que se define como *concepto de crecimiento que comprende los efectos combinados de la población en un sentido biológico, y de consumo-producción en un sentido tecnológico*, así se introduce al campo de la investigación sobre un tópico moderno, la contaminación acuática, diferente pero paralela al proceso de eutrofización acelerada por el hombre, o eutrofización cultural.

Una característica de la limnología contemporánea, que puede deducirse fácilmente de lo dicho hasta aquí, es el predominio de la óptica sistémica, termodinámica e ingenieril, que se manifiesta desde el trabajo precursor de Forbes sobre los balances de materia y energía en el cuerpo de agua, hasta los trabajos de Margalef, muchos de los cuales tienen que ver con la directriz sistémica (Margalef, 1980) en la que se distinguen dos características:

- Una tendencia a desarrollar modelos matemáticos a partir de leyes físicas que permitan describir, explicar y predecir lo que ocurre dentro del lago y cómo es afectado por los factores externos
- Brinda poca importancia al valor de la especie biológica *per se*.

Como se verá después, sus objetivos y métodos pretenden ser más integrativos y predictivos, basados en el manejo de leyes y variables fisicoquímicas y de las respuestas conjuntas de la comunidad, como son la productividad y la respiración; en lugar de conocer la ecofisiología, dinámica de poblaciones, de comunidades o el análisis de la vegetación, en los cuales la biología de las especies, sus adaptaciones individuales o conjuntas y su evolución ocupan un interés central. Por su parte, la etapa limnobiológica es más afín a la historia natural. Margalef (1983), reconoce dos puntos de vista en la limnología:

- El naturalista (al que él mismo se apega) que es muy afín a la limnobiología y enfatiza temas relacionados al origen, composición y estructura de las especies

y comunidades acuáticas y a los factores que las determinan, especialmente los evolutivos, tratados con una perspectiva biogeográfica.

- El que enfatiza el medio físico y los ciclos biogeoquímicos (balance de materia y energía), y que no se ocupa mucho de los organismos involucrados ni de su origen histórico y geográfico.

Con Margalef se entienden más claramente las similitudes (pocas y de valor histórico) y las diferencias (muchas y actuales), entre los sistemas marino y dulceacuático, que separan tajantemente los marcos teórico-metodológicos de la oceanología y la limnología.

Este autor, que define a la limnología como la ecología de las aguas no marinas, revisa minuciosamente la información y la agrupa según los diferentes niveles de organización del mundo orgánico abarcados por la ecología, desde el autoecológico hasta el sinecológico.

Para Lehman (1986), la limnología está dividida en campos que estudian las propiedades integrales de los cuerpos de agua (como la biomasa, la productividad y el flujo de nutrientes), por un lado, y por el otro las entidades biológicas al nivel de poblaciones o comunidades. Para Stráskravá y Gnauck (1985) estas dos facetas de la limnología están comprendidas dentro de la ingeniería de procesos y la ingeniería de sistemas, respectivamente.

Lehman certifica que tal dicotomía conceptual es una divergencia entre la atención primaria a las leyes de la termodinámica y a la ley de la evolución por selección natural. Acorde con este autor, el reto actual es dar los pasos para brincar esta desafortunada brecha y ampliar las bases conceptuales de los estudios limnológicos.

En una revisión del uso de modelos y del análisis de regresión en la limnología predictiva, Peters (1986) asevera que este enfoque atrae a quienes están dispuestos a sacrificar la precisión y el detalle de la descripción, por la generalización y la aplicación en la predicción, y que la diferencia entre estos puntos de vista no está en sus estructuras teóricas, sino en la selección de variables y modelos de cada subdisciplina.

Para los autores del presente trabajo, el detalle de la descripción no es antagónico con la predicción, utilizando ciertas combinaciones de modelos y variables es posible resumir la información del conjunto de la comunidad (o una porción específica de ella), o del ambiente, en variables compuestas que si bien no tienen una explicación trivial, ofrecen una información interpretable de manera correlativa con otras variables ya sean simples o múltiples (Banderas, 1994). Por este motivo, ciertos estudios actuales deberían combinar el potencial integrador y predictivo de los modelos empí-

ricos surgidos del análisis de regresión, con los modelos estadísticos de carácter descriptivo de las comunidades, analizando con un enfoque sistémico, de manera estructurada y resumida, la respuesta conjunta de la comunidad a las variaciones ambientales (cf. Bourget y Fontin, 1995). Además, el aspecto evolutivo se aprecia mejor a través de comparaciones, para lo cual se requiere también del análisis comparativo regional entre lagos mexicanos, lo que a su vez demanda la unificación de los métodos de estudio, o conocer la equivalencia entre los resultados de los diferentes métodos utilizados para evaluar a las mismas variables (cf. Brilinsky y Mann, 1973).

Considerando el aspecto aplicado de la ciencia, Cullen (1990) señala que nos estamos moviendo de una etapa de explotación hacia otra de manejo de los recursos naturales; aún cuando la frontera entre las ciencias acuáticas y el manejo del agua continúa siendo turbulenta y entrópica como consecuencia de la interpretación entre el conocimiento de un científico, que debe apreciar que existen cuestiones de valor cuya resolución no es prerrogativa única de la ciencia, y el de un político que frecuentemente mal interpreta a la ciencia esperando que produzca verdades irrebatibles.

Bourget y Fortin (1995), responsabilizan de esta desavenencia al predominio de estudios descriptivos en limnología, que si bien son necesarios y pueden ser muy precisos en las descripciones, no alcanzan a determinar el funcionamiento del sistema porque no son validados experimentalmente o, cuando lo son, no se utilizan criterios biológicos para la validación. Resulta imperativo salvar dicha frontera. Dos formas de conseguirlo son:

- Promoviendo la labor del científico a través de vinculadores profesionales entre el investigador y el productor
- Desarrollando ciencia mejor y más relevante

A juicio del autor, ambas formas pueden ser consideradas individualmente, pero no son excluyentes, y resulta indispensable salvar ya la frontera ante la inminente reducción del recurso hídrico en el mundo por la aridificación y la contaminación.

Ecológico acuático

No quedaría completa esta retrospectiva sin comentar obras que lleven el título específico de ecología acuática. Macan (1963), hace una revisión sucinta de las orientaciones de la ecología general a través de las ideas de algunos autores clásicos, tal y como se ha

realizado en esta retrospectiva. Reconoce que el ámbito de estudio de la ecología es muy amplio, al grado que pocos temas biológico-ambientales quedan fuera de ella. Asegura que muchos autores que se empeñan en algún aspecto ecológico prefieren restringirse a una parte del campo, desarrollando un solo tema para no ser rebasados por la gran cantidad de información.

Este autor decide restringirse al tema relacionado con los motivos por los que las especies acuáticas están presentes en algunos lugares y ausentes en otros (autoecología). Para ello, alude a procesos que ocurren en el medio físico y a las adaptaciones e interacciones de los organismos.

Reid y Wood (1976), sostienen que la limnología es la ciencia de las aguas dulces y su objeto de estudio son los orígenes y la naturaleza del agua dulce, su movimiento y condición cambiante conforme fluye hacia el mar, y la vida que sustenta a lo largo del camino; mientras que la hidrobiología es la ciencia de la vida acuática. Para ellos, las disciplinas relacionadas con el estudio de las aguas epicontinentales (la geología, la química, la física y la biología), pueden ser integradas dentro del enfoque más amplio de la ecología acuática, que estudia los ambientes acuáticos como sistemas dinámicos integrados.

A partir de tales definiciones resulta claro que para estos autores la limnobiología es una rama de la limnología. A su vez, la limnología y la ecología acuática presentan tan solo una diferencia de grado, teniendo la última un enfoque más integrativo en el estudio de las relaciones entre los organismos y el ambiente. Este es el enfoque de la ecología de sistemas en el que hacen énfasis a lo largo de su obra.

El aspecto integrativo resalta en el libro de Moss (1980), en el cual no define ciencias ni delimita su ámbito de acción, más bien pasa directamente al estudio de las características físicas, químicas y geológicas de las aguas dulces, y ejemplifica en cada caso cómo afectan a los organismos, considerando diferentes niveles de integración, desde el ecofisiológico hasta el sinecológico. La concepción de la obra es similar a la de Margalef (1983), sin embargo, Moss se refiere con insistencia al caso de las aguas dulces tropicales.

La limnología en México

Sobre este tópico se presentará un trabajo aparte, sin embargo se puede adelantar un dato: la publicación de estudios de limnología contemporánea de México es muy escasa y de difícil localización y acceso (García-Calderón *et al.*, 1992). Por otra parte, Tricart (1985), tiene la certeza que existen dos tipos de estudios realizados en los lagos mexicanos:

- Los bien hechos, con cautela y paciencia, en los cuales hay numerosos datos de observación tanto de campo como de laboratorio, bien localizados y presentados con precisión.
- Las obras de duplicación e imaginación, que calcan sobre la realidad mexicana conceptos ajenos, elaborados en otros países.

En términos generales, la temática principal que abordan los estudios se encuentra dentro de la limnobiología conceptualizada por Ruttner (1882), que analiza las asociaciones de los biotopos acuáticos. Este enfoque, más afín con la ecología y paralelo al Sistema Saprobio, es desarrollado actualmente en Europa Oriental y Rusia.

Conclusiones

La limnología contemporánea concilia sus fases limnobiológica y limnológica (Moss, 1980; Margalef, 1983) debido a la creciente comprensión de la naturaleza y a que la ciencia tiene una función integradora del conocimiento. La virtual fusión de ambas fases ha dado como resultado el surgimiento de la ecología acuática, que es una acepción actual de la limnología. Sin embargo, la limnología contemporánea presenta dos características:

- Diverge conceptualmente atendiendo, por un lado, a las leyes de la termodinámica y, por otro, a la ley de la evolución por selección natural
- Se mueve de una etapa de explotación hacia otra de manejo de los recursos naturales que, a su vez, necesita eliminar las barreras conceptuales y combinar el potencial descriptivo y predictivo de los modelos estadísticos utilizando variables de diferentes tipos; promover la labor del científico a través de vinculadores profesionales entre el investigador y el productor; hacer ciencia mejor y más relevante; y promover el acercamiento interinstitucional para complementar los recursos logísticos.

Se recomienda evitar el otorgamiento de estudios a contrato pretendidamente prácticos a empresas particulares, desvinculadas de instituciones de educación superior, ya que estas generalmente persiguen un beneficio económico y no comprenden la importancia de la información científica básica que se produce y que sólo puede ser manejada por especialistas con experiencia en investigación.

Una sociedad de limnología permitiría aglutinar y coordinar a las personas y sectores interesados e involucrados en el uso y el manejo del agua, y coadyuvar al desempeño de los consejos de cuenca, contemplados en la Ley de Aguas Nacionales (CNA, 1993).

1. Cuadro sinóptico del desarrollo de la limnología (ver explicación en el texto)

Enfoque	Hechos y conceptos sobresalientes
Limnobiología	<ul style="list-style-type: none"> - Etapa indiferenciada de la Biología. Observaciones aisladas (antes de 1650) - Invención del microscopio (a partir de la segunda mitad del siglo XVII) - Publicación de <i>Animalcula Infusoria Fluviatilia et Marina</i> (1786) - Publicación de <i>The Infusion Animalcules as Complete Organisms</i> (1838) - Desarrollo de la oceanografía (siglo XIX) - Desarrollo y expansión de la acuicultura y la acuarofilia (siglo XIX) - Descubrimiento de la comunidad planctónica dulceacuícola (1870) - Fundación de las primeras estaciones de investigación limnológica en Europa (1888 y 1891) - Publicación del primer trabajo sobre ecología del plancton dulceacuícola (1896)
Limnología	<ul style="list-style-type: none"> - Publicación de <i>The Lake as a Microcosm</i> (1887) - Publicación de <i>Le Léman. Monographie Limnologique</i> (1891-1912) - Primera definición de la limnología: ciencia paralela a la oceanografía (1882) - Definición del primer objetivo: estudio de la transformación de la materia y la energía dentro de un lago (inicio del siglo XX) - Definición del segundo objetivo: estudio de la circulación de los materiales, especialmente los orgánicos. Ciclos biogeoquímicos (inicio del siglo XX) - Primera división en: limnología foreliana y ecología acuática (1917) - Desarrollo de la limnología regional: eje oligotrófico-eutrófico - Definición del tercer objetivo: estudio de los procesos de productividad y sus causas (1935) - Aparición del enfoque bioenergético - orientación teórica de la ecología - (1941) - Publicación de los primeros textos de ecología acuática (1963) - Desarrollo de los métodos para evaluar la productividad en los diferentes niveles tróficos (1969) - Definición del carácter interdisciplinario de la limnología (1971) - Integración al conocimiento limnológico de todos los sistemas acuáticos (1975) - Desarrollo del enfoque experimental: Limnología fisiológica (1975) - Introducción a la limnología del término <i>demófora</i> (1975) - Desarrollo de los métodos para calcular índices tróficos (1977) - Se definen dos nuevos enfoques: el naturalista y el productivista (1983) - Se delimitan dos campos de estudio limnológico: el que atiende a las leyes de la termodinámica y el que atiende a las leyes de la selección natural (1986) - Se definen dos enfoques metodológicos: el descriptivo y el predictivo (1986) - Se confirma que el desarrollo de la humanidad y de la aplicación de la ciencia se mueve de la explotación hacia el manejo de los recursos naturales (1990) - Se propone la fusión de los modelos descriptivos con los modelos predictivos (1994)

Referencias

Banderas, A. *Limnología del lago El Sol, Nevado de Toluca, México*. México (172 p), Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 1994.

Bauer, O.N. "Contribution of Soviet Hydrobiologist to the International Biological Program." *Hydrobiol. J.*, 25 (5): 1-3. 1989.

Bergmann, H.A. y H.E. Welch. "Nitrogen fixation by epilithic periphyton in small arctic lakes in response to experimental nitrogen and phosphorus fertilization." *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47: 1545-1550. 1990.

Bourget, E. y M.J. Fortin. "A commentary on current approaches in the aquatic sciences." *Hydrobiologia*, 300/301: 1-16. 1995.

Brilinsky, M.K. y H. Mann. "An analysis of factors governing productivity in lakes and reservoirs." *Limnol. Oceanogr.*, 18(1): 1-14. 1973.

Cairns, J.jr. "Foreword." *Hydrobiologia*, 188/189: XIII-XIV. 1989.

Carlson, R.E. "A trophic state index for lakes." *Limnol. Oceanogr.*, 22: 361-369. 1977.

C.N.A. (Comisión Nacional del Agua). *Ley de Aguas Nacionales, y su Reglamento*. México (174 p). Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1994.

Cole, G. A. *Textbook of Limnology*. 2d Ed. 1979. St. Luis, Toronto, London (426 p). The C.V. Mosby Company. 1917.

Cook, R.E. "Raymond Lyndeman and the trophic dynamic concept in Ecology." *Science*, 198: 22-26. 1977.

Cullen, P. "The turbulent boundary between water science and water management." *Freshwat. Biol.*, 24: 201-210. 1990.

Downing, J.A. & F.H. Rigler (eds.). *A Manual on Methods for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters*. 2a. Ed. 1984. Oxford (501 p), Blackwell Scientific Publications. 1971.

- García-Calderón, J.L., J.L. Arredondo-Figueroa, G. De La Lanza-Espino. y J.T. Ponce-Palafox. "La limnología en México." *1er Encuentro de Limnólogos Iberoamericanos*. Sevilla, España. 1992.
- Goldman, Ch.R. (Ed.). *Primary Productivity in Aquatic Environments*. California (464 p), Univ. Calif. Press. 1974.
- Golterman, H. *Physiological Limnology*. New York (489 p), Elsevier Scientific. 1975.
- Hutchinson, G.E. *A Treatise on Limnology*. U.S.A. (Vol: 1, Part: 1. 540 p), Wiley & Sons, Inc. 1975.
- Hynes, H.B.N. *The Ecology of Running Waters*. 4th imp. 1979. Liverpool (555 p), Liverpool University Press. 1970.
- Lehman, J.T. "The goal of understanding in limnology." *Limnol. Oceanogr.*, 31: 1160-1166. 1986.
- Lindeman, R. "The trophic dynamic aspect of ecology." *Ecology*, 23: 379-418. 1941.
- Lund, J.W.G. y J.F. Talling. "Botanical limnological methods with special reference to the algae." *Bot. Rev.*, 23: 489-583. 1957.
- Macan, T.T. *Freshwater Ecology*. N. York (338 p), Wiley & Sons. 1963.
- Margalef, R. *La Biosfera, entre la Termodinámica y el Juego*. Barcelona (236 p), Omega. 1980.
- Margalef, R. *limnología*. Barcelona (1010 p), Omega. 1983.
- Moss, B. *Ecology of Freshwaters*. U.S.A. (332 p). Blackwell Scientific Publications. 1980.
- Peters, R. H. "The role of prediction in limnology." *Limnol. Oceanogr.*, 31: 1143-1159. 1986.
- Reid, G.K. y R.D. Wood. *Ecology of Inland Waters and Estuaries*. 2d ed. U.S.A. (485 p), D. Van Nostrand Co. 1976.
- Round, E. *The Ecology of Algae*. Great Britain (653 p), Cambridge Univ. Press. 1981.
- Russell-Hunter, W.D. *Aquatic Productivity*. New York (306 p), Macmillan Publ. Co. Inc. 1970.
- Ruttner, F. *Fundamentals of Limnology*. 3d ed. 1974. Toronto (307 p), University of Toronto Press. 1882.
- Schwörbel, J. *Handbook of Limnology*. 5th Ed. 1987. Chichester (228 p), Ellis Horwood Ltd., 1971.
- Stráskravá, M. y A. Gnauck. *Freshwater Ecosystems*. Developments in Environmental Modelling Vol. 8. (309 p), Elsevier. 1985.
- Tricart, P. *Pro-Lagos. Los lagos del Eje Neovolcánico de México*. México (66 p), Instituto de Geografía, U.N.A.M. 1985.
- Vollenweider, R.A. (ed.). *A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments*. 2d. Ed. 1974. Oxford (225 p), I.B.P., Blackwell Scientific Publications. 1969.
- Welch, P.S. *Limnology*. 2d. Ed. 1952. New York, Toronto, London (538.p). Mc Graw-Hill Book Co. 1935.
- Wetzel, R.G. *Limnology*. 2d. Ed. 1983. México (767 p), Saunders Coll. Publ. 1975.