



LIMNOLOGÍA 2025

Docentes: M.S. Florencia Balay, M.Sc. Maite Burwood, Lic. Claudia Fosalba, Lic. Lucía González-Madina, Lic. Bruno Gorostidi, Lic. Paula Levrini y Dr. Néstor Mazzeo



ECOLOGÍA DE ECOSISTEMAS Y LIMNOLOGÍA: ORIGEN Y EVOLUCIÓN

Dr. Néstor Mazzeo



CONTENIDO

- Ecología: origen del término y evolución de la definición
- Ecología vs ecologismo o ambientalismo
- ¿Por qué estudiar Ecología?
- Aproximaciones que construyen el conocimiento en Ecología
- Perfil del curso
- Origen y evolución de la ecología de ecosistemas
- Los aportes desde la ecología terrestre
- Los aportes desde la ecología acuática
- Determinismo vs probabilismo
- Los intercambios entre componentes de un ecosistema



Ecología: origen del término y evolución de la definición

oikos: casa, casa de la familia

logos: estudio de la

- Haeckel 1870: la ecología es un grupo de conocimientos vinculados a la economía de la naturaleza, investiga todas las relaciones entre los animales y su ambiente inorgánico y orgánico.
- Burdon-Sanderson 1890: reconoce tres divisiones naturales en el campo de la biología: morfología, fisiología y ecología.



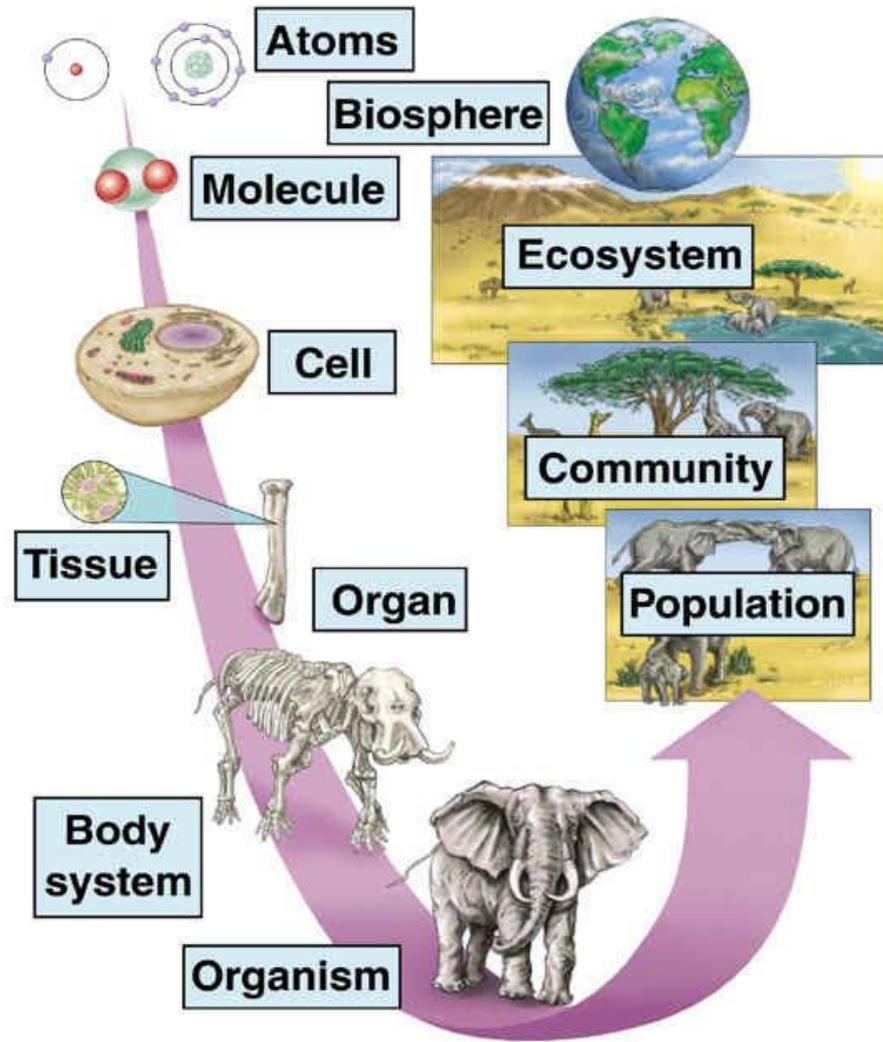
Ecología: origen del término y evolución de la definición

- **Andrewartha 1961:** define a la ecología como el estudio científico de la distribución y abundancia de los organismos.
- **Odum 1963:** el objeto de la ecología es el estudio de la estructura y función de la naturaleza.



Ecología: origen del término y evolución de la definición

- Krebs 1972: la ecología es el estudio de los procesos que regulan la distribución y la abundancia de los organismos y las interacciones entre ellos, además analiza como los organismos influyen en el transporte y transformación de la energía y la materia en la biosfera.



Harcourt. Inc.



ORGANISMOS ← TEJIDOS ← ORGANELO ← MOLÉCULA ← ÁTOMO



POBLACIÓN: Grupo de individuos que se reproducen e interaccionan entre si.



COMUNIDAD: Grupo de poblaciones que interaccionan (predación, competencia, herbivoría, mutualismo, entre otras) en un espacio y tiempo dado.



ECOSISTEMAS: Sistema integrado por comunidades y su entorno biogeofísico.



BIOMAS: Áreas del planeta con vegetación y condiciones climáticas similares.



BIOSFERA: Estrato del planeta donde la vida existe, complejo de ecosistemas que interaccionan entre si.



- **Definición operativa para el curso: el objeto de la ecología es comprender los principios que determinan la estructura y funcionamiento de los sistemas naturales, combinando múltiples niveles de organización biológica y diversas escalas espaciales y temporales de análisis.**



Ecología vs ecologismo o ambientalismo

- La disciplina no debe confundirse con ecologismo o ambientalismo.
- La ecología es una ciencia, basados en principios biológicos, físicos y químicos.
- El objeto del ecologismo o el ambientalismo es definir y establecer acciones, regulaciones, políticas, diseñar sistemas de gestión y de gobernanza con el objetivo de asegurar la integridad de los ecosistemas, paisajes y la biosfera en el tiempo.



¿Por qué estudiar Ecología?

- **Curiosidad**: ¿cómo funciona el mundo que nos rodea?, ¿procesos que aseguran bienes y servicios claves para el bienestar humano?
- **Responsabilidad**: ¿cómo nuestras acciones cambian el ambiente?, ¿cómo podemos minimizar los efectos adversos de nuestras acciones? Sobrepesca, destrucción de hábitats, pérdida de biodiversidad, cambio climático.



¿Por qué estudiar Ecología?

- **Modelo**: la biosfera ha permanecido en el planeta un periodo sustancialmente mayor que los humanos, superando considerables cambios y shocks externos catastróficos. Conocer los mecanismos de resiliencia asociados podrían orientarnos superar los desafíos actuales generados por los cambios globales o fortalecer mecanismos frente a perturbaciones no conocidas.



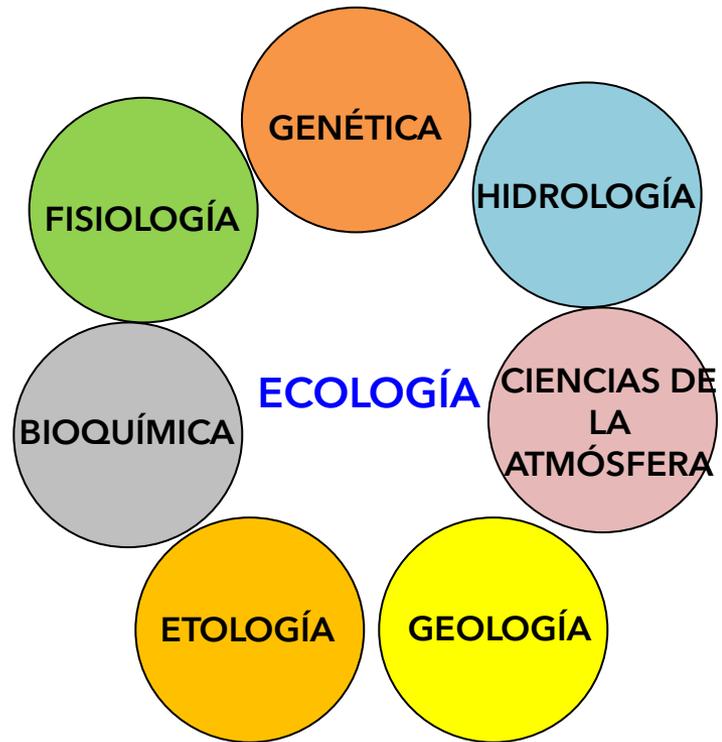
¿Por qué estudiar Ecología?

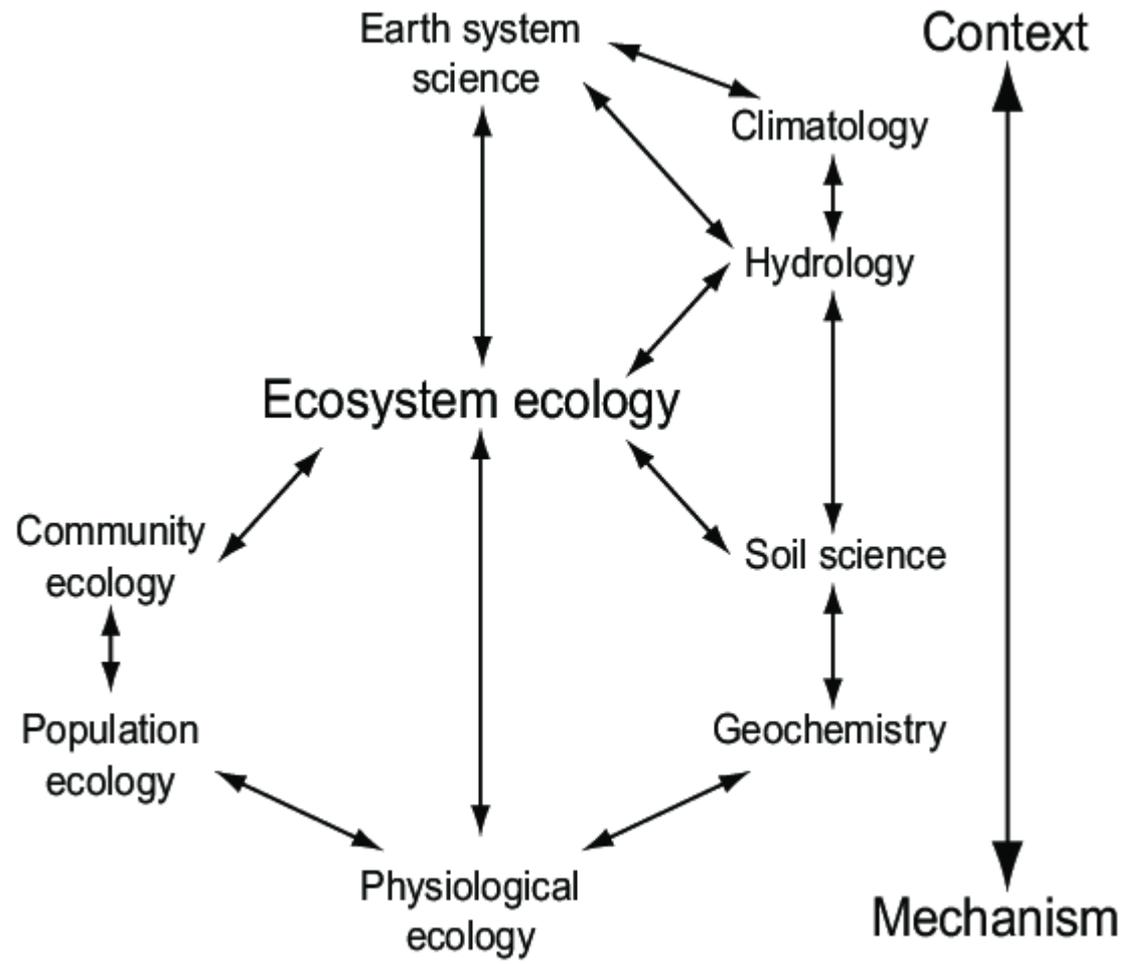
- **Sustentabilidad**: las sociedades humanas se sustentan en bienes y servicios provistos por la biosfera, comprender esa interdependencia es clave para asegurar el desarrollo y persistencia de las sociedades.
- **Sistemas complejos y adaptativos**: la ecología es un excelente modelo para el análisis de sistemas complejos y adaptativos.

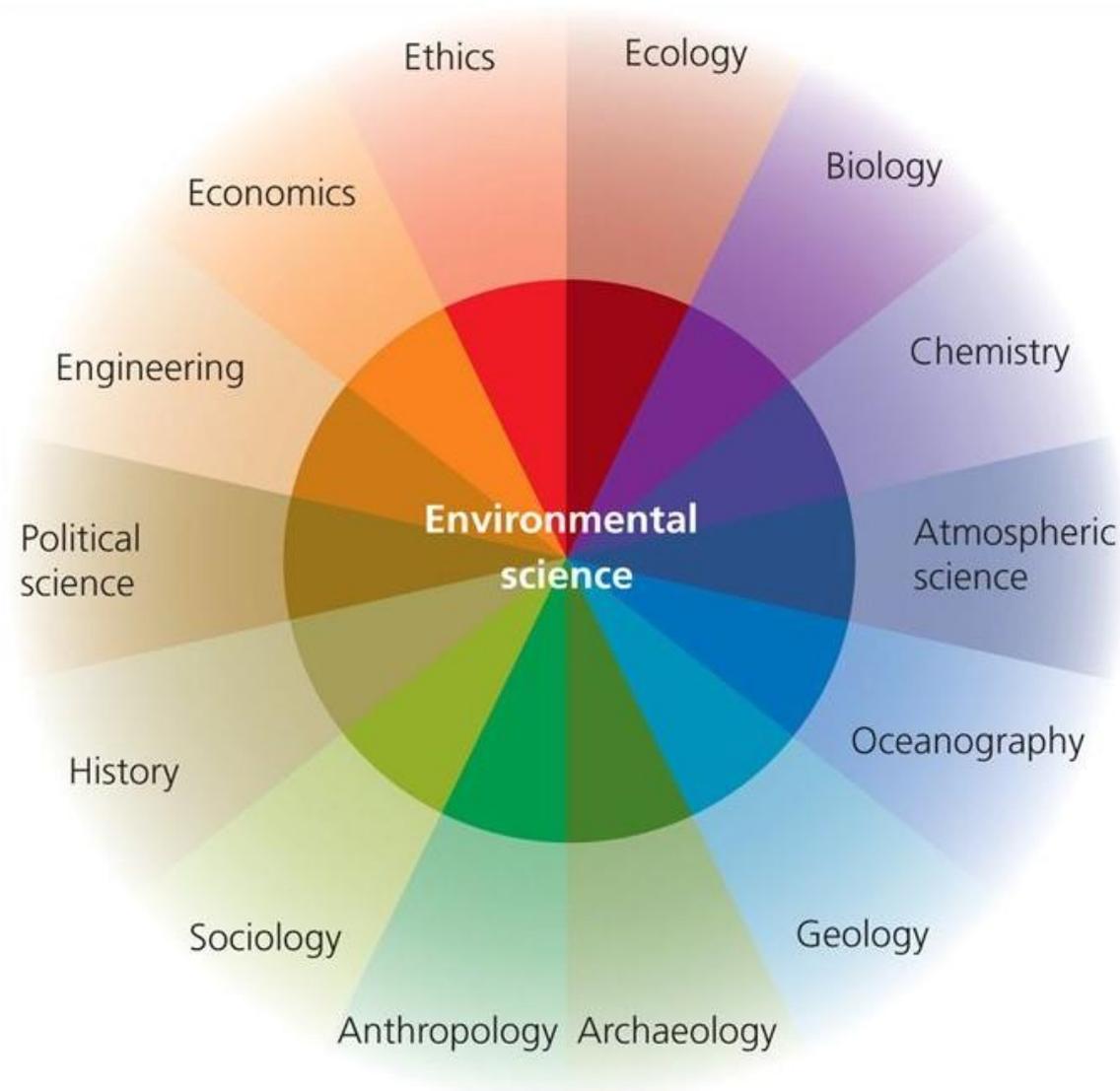


Aproximaciones que construyen el conocimiento en Ecología

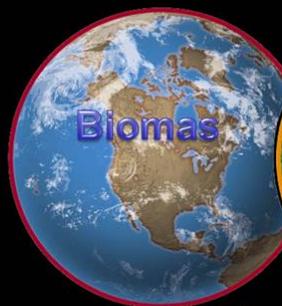
- Observación de la naturaleza
- Experimentación in situ o en laboratorio
- Modelación matemática y experimentos numéricos







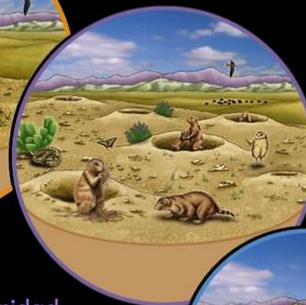
Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings



Biosfera:
Procesos Globales



Ecosistema:
Flujo de energía y Ciclo
de nutrientes



Comunidad:
interacciones entre
poblaciones



Población:
Dinámicas poblacionales;
la unidad de evolución



Organismo:
Sobrevivencia y reproducción;
La unidad de Selección Natural

**Niveles de integración
biológica**

(Organización, complejidad
o escala biológica)



- Los niveles de organización no existen de forma independiente, existen numerosos mecanismos retroalimentación (positivos y negativos) que operan en diferentes escalas espaciales y temporales.
- Principio de control jerárquico (Odum): la interacción de los componentes generan nuevas propiedades (emergentes) que no pueden ser explicada como la suma de los componentes de las partes.



Perfil del curso

- El presente curso tiene un enfoque ecosistémico. Los organismos serán analizados desde una perspectiva comunitaria y de grupos funcionales, prestando especial atención a las interacciones tróficas directas e indirectas, así como a la interacción entre los componentes bióticos y abióticos.



Perfil del curso

- Se analizarán las principales presiones sobre los ecosistemas acuáticos y los desafíos de la gestión del agua en el contexto del Uruguay, y como pueden ser analizados y gestionados desde la perspectiva de sistemas social-ecológicos.

Origen y evolución de la ecología de ecosistemas

- En 1935 Alfred George Tansley (1871-1955) introduce un nuevo término al mundo: ecosistema
- Es un concepto holístico que combina los organismos vivos y el ambiente geofísico en un nuevo sistema (*The use and abuse of vegetational concepts and terms, Ecology*).



Origen y evolución de la ecología de ecosistemas

- Los ecosistemas son de varios tipos y tamaños, representan una categoría en un sistema físico jerárquico desde el propio universo al átomo.



Los aportes desde la ecología terrestre

- La principal motivación de Tansley fue la aparición de cuatro artículos del ecólogo sudafricano John Phillips (1931, 1934, 1935a, 1935b) sobre comunidad biótica, sucesión, desarrollo, clímax y superorganismo.
- En su trabajo se observa claramente la influencia de las ideas del ecólogo americano Federic Clements (1874-1945), especialmente la concepción de las comunidades bióticas como superorganismos.



Los aportes desde la ecología terrestre

- Tansley se ofendió con los artículos de Phillips.
- La intención original fue la necesidad de defender la ecología del análisis filosófico, manteniendo su conexión con los enfoques mecanicistas y reduccionistas.

Los aportes desde la ecología terrestre

- El concepto de ecosistema surge como un argumento teórico, no es el resultado de un estudio técnico y tampoco se presenta como una síntesis de observaciones de campo. Tansley nunca volvió a utilizar su concepto en sus estudios, solamente en algunas revisiones conceptuales.



Los aportes desde la ecología terrestre

- La escuela individualista (Gleasoniana) entendía la comunidad como un ensamble de especies único y singular, consecuencia de procesos mediados por el azar.



Los aportes desde la ecología terrestre

- La aproximación conocida como superorganismo o climáxica (Clementsiana) entendía a la comunidad como un superorganismo, un ensamble de especies ocurren conjuntamente dentro de un conjunto de atributos ambientales debido a sus interacciones. Las comunidades evolucionan en el tiempo hacia un estado de equilibrio en ausencia de disturbios naturales o de origen antrópico.



Los aportes desde la ecología acuática

- **Francois Alphonse Forel (1841-1912)** acuñó en 1892 el término **Limnología** (ecología de los cuerpos de agua continentales).

Los aportes desde la ecología acuática

- Stephen Alfred Forbes (1844-1930) describió a los lagos como microcosmos: an old and relatively primitive system, isolated from its surroundings. Within it matter circulates, and controls operate to produce an equilibrium comparable with that in a similar area of land. In this microcosm nothing can be fully understood until its relationship to the whole is clearly seen... Esta afirmación fue escrita en 1887, cerca de 50 años antes del trabajo de Tansley.



Stephen A. Forbes



Los aportes desde la ecología acuática

- A fines del siglo XIX y principios del XX, la Limnología avanzó rápidamente en Alemania y USA, con una gran cantidad de universidades construidas a orillas de lagos como University of Wisconsin y Cornell University.

Los aportes desde la ecología acuática

- August Friedrich Thienemann (1882-1960) y sus grupo establecieron que la Limnología analiza los lagos como sistemas en donde las partes interactúan para crear un ecosistema.

- Si bien este concepto puede resultar abstracto en los ambientes terrestres, donde las interacciones frecuentemente están separadas en el tiempo y la vegetación domina el sistema; en el medio de agua dulce los organismos vivos son relativamente pequeños y de vida corta, y los vínculos entre los procesos físico-químicos son más estrechos.





Los aportes desde la ecología acuática

- Thienemann visualizó los lagos como un organismo de un orden superior, de la misma forma que Clements entendía a la comunidad vegetal como un organismo complejo.
- Thienemann se refería a la comunidad biótica como biocenosis (término acuñado por Karl Möbius en 1877), e inventó el término biotopo para referirse a los factores ambientales asociados a los hábitat de la biocenosis.



Los aportes desde la ecología acuática

- El enfoque estructural de la ecología acuática involucró el trabajo clásico de botánicos y zoólogos de colección, identificación y registro de la abundancia de las especies. Sin embargo, no es suficiente para entender a un lago como un ecosistema.



Los aportes desde la ecología acuática

- Es imprescindible entender los procesos internos del lago, lo que colectivamente denominamos función. Una forma de entender el funcionamiento es analizar procesos centrales, como la producción primaria, producción secundaria, descomposición, recirculación de nutrientes.

Los aportes desde la ecología acuática

- Durante cinco años de trabajo de campo en el pequeño lago Cedar Bog en las cercanías de la University of Minnesota, Raymond Lindeman (1915-1942) y su esposa Eleanor Hall, colectaron muestras de plancton y bentos en diferentes estaciones del año así como muestras de agua y sedimento.
- Este estudio fue inusual para su época porque se colectaron los elementos de casi toda la biota al mismo tiempo.
- Esta aproximación sustentó el origen de la perspectiva trofodinámica.



Los aportes desde la ecología acuática

- El matrimonio Lindeman concluye que el lago era un ecosistema y es el primero en implementar el concepto de Tansley en términos cuantitativos y en definir la dinámica de su funcionamiento.
- En su esfuerzo de organizar la enorme cantidad de datos físico-químicos y biológicos desarrollo un esquema de dinámica trófica.
- Su análisis se centró en la trama alimentaria de un lago, analizando los vínculos entre las partes vivas y no vivas, organizando las especies en grupo de acuerdo a sus hábitos alimenticios.



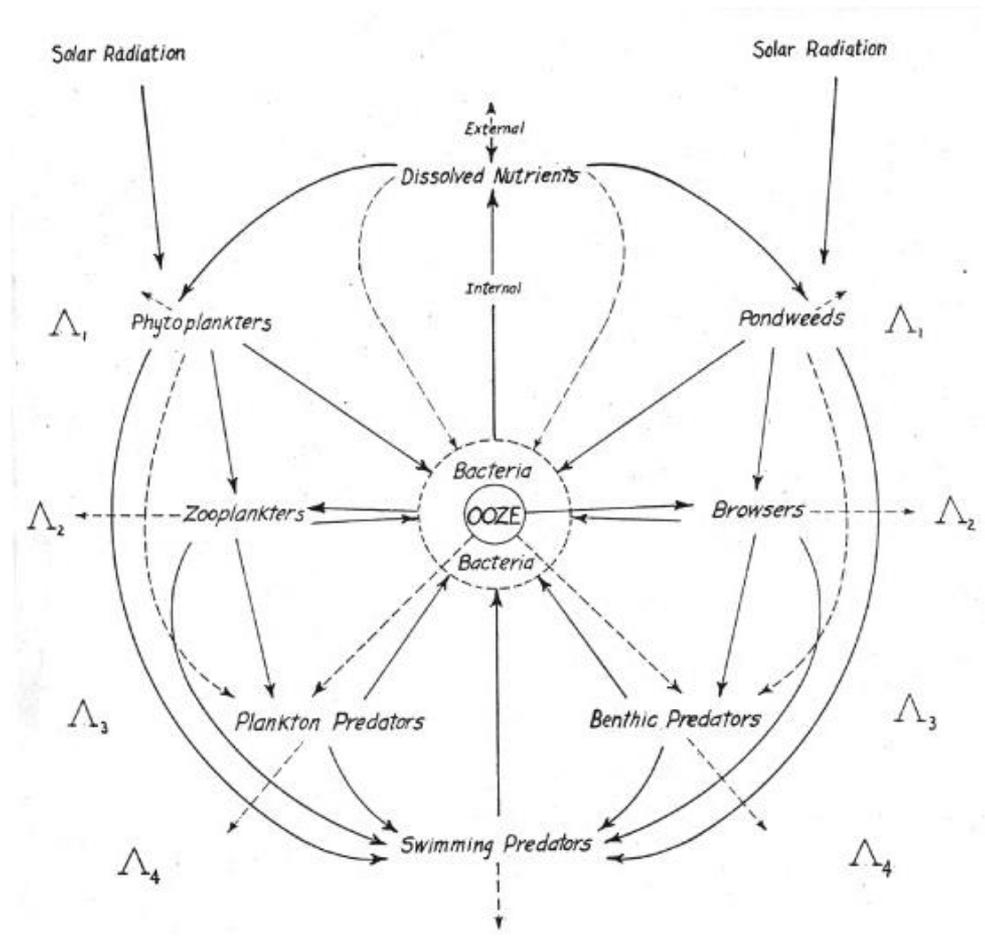
Los aportes desde la ecología acuática

- El matrimonio Lindeman concluye que el lago era un ecosistema y es el primero en implementar el concepto de Tansley en términos cuantitativos y en definir la dinámica de su funcionamiento.
- En su esfuerzo de organizar la enorme cantidad de datos físico-químicos y biológicos desarrollo un esquema de dinámica trófica.
- Su análisis se centró en la trama alimentaria de un lago, analizando los vínculos entre las partes vivas y no vivas, organizando las especies en grupo de acuerdo a sus hábitos alimenticios.





Los aportes desde la ecología acuática





Los aportes desde la ecología acuática

- En la era post-Lindeman los estudios de ecosistemas progresaron en dos direcciones, una emulando la aproximación de Lindeman.
- Sin embargo, fue la menos común ya que requiere un esfuerzo muy intenso sobre largos períodos de tiempo.
- Por otra parte, otros estudios se centraron en algunas propiedades del sistema como las tramas tróficas, niveles tróficos, productividad, metabolismos, flujo de energía y sucesión.



Los aportes desde la ecología acuática

- Durante un período de aproximadamente 15 años, el concepto de ecosistema se estableció como un paradigma científico en Ecología.
- Este paradigma describía a los sistemas como maquinas construidas a partir de los niveles tróficos los cuales se acoplaban a través del flujo de energía.
- Los ecosistemas se encontraban en equilibrio cuando las entradas y las salidas de energía se encontraban balanceadas, y no se observaba una acumulación de biomasa debido a la producción.



Los aportes desde la ecología acuática

- Durante un período de aproximadamente 15 años, el concepto de ecosistema se estableció como un paradigma científico en Ecología.
- Este paradigma describía a los sistemas como maquinas construidas a partir de los niveles tróficos los cuales se acoplaban a través del flujo de energía.
- Los ecosistemas se encontraban en equilibrio cuando las entradas y las salidas de energía se encontraban balanceadas, y no se observaba una acumulación de biomasa debido a la producción.



Los aportes desde la ecología acuática

- Este paradigma fue enunciado por Eugene Odum en su texto básico *Fundamentals of Ecology*.
- El hecho que el concepto de ecosistema no fuera presentado como una hipótesis para analizar o una pregunta para contestar, constituyó la mayor debilidad de la ecología en este período.
- Los avances simplemente respondieron al desarrollo de las ideas originales y analogías con otros tipos de sistemas.



Los aportes desde la ecología acuática

- Los ecólogos no cuestionaron el paradigma, simplemente trabajaron con él. Recién a fines de los años 1960 cuando surge un fuerte cuestionamiento a la autoridad en la cultura americana, el concepto de ecosistema se analiza críticamente.

Los aportes desde la ecología acuática

- En 1962 los ecólogos Herbert Bormann y Gene Likens (ecólogo vegetal y limnólogo, respectivamente) organizaron un estudio denominado Hubbard Brook que presentó un gran impacto en los estudios ecosistémicos.
- En el artículo publicado en Science en 1967 utilizaron la cuenca como unidad de estudio y reemplazaron el flujo de energía por el ciclo de nutrientes como proceso funcional principal en los ecosistemas.
- Los límites del ecosistema son difíciles de precisar, en Hubbard Brook la hidrología define los límites del sistema de una forma natural.







Los aportes desde la ecología acuática

- Bormann & Likens presentaron un nuevo modelo conceptual de ecosistema ligado a la biosfera y en donde los componentes orgánicos e inorgánicos se encuentran conectados.
- Reconocieron cuatro compartimentos: la atmósfera, el pool de nutrientes disponibles en el suelo, la cantidad de material orgánico vivo o no vivo disponible, y los minerales del suelo y la roca madre.

Los aportes desde la ecología acuática

- Estos compartimentos fueron incorporados en un modelo conceptual. El punto fundamental de este nuevo enfoque es que los procesos en los ecosistemas se encuentran totalmente acoplados al ciclo hidrológico.
- Bormann & Likens (1979) describieron la variación en la exportación de nutrientes desde la microcuenca de Hubbard Brook, demostrando la influencia de las condiciones fisicoquímicas del suelo y su historia previa, así como de la dinámica interna de las poblaciones.





Los aportes desde la ecología acuática

- Una crítica frecuente a los estudios de ecosistemas, sostenida fundamentalmente por Daniel Simberloff, es su naturaleza determinística. Controversia entre sistemas determinísticos o probabilísticos

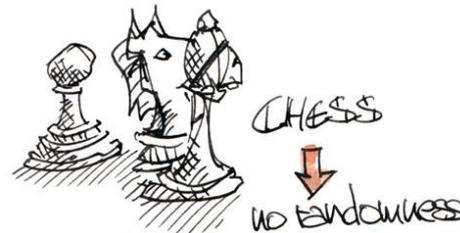


vs.



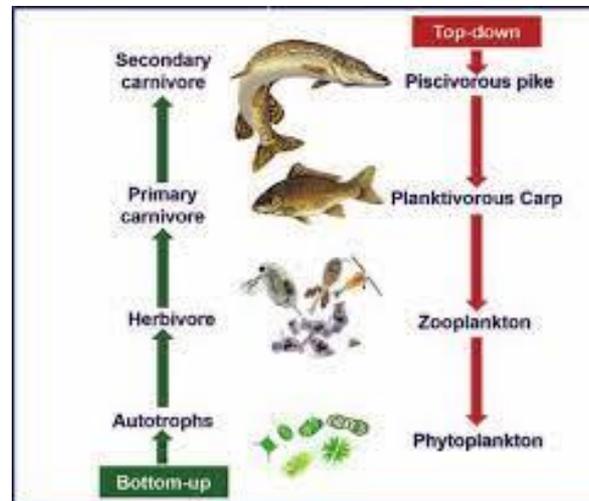
■ AGENT'S ACTIONS
UNIQUELY DETERMINE
THE OUTCOME ■

■ SOME RANDOMNESS
INVOLVED ■



Los aportes desde la ecología acuática

- David Schindler y colaboradores (1985) demostraron como alteraciones drásticas de las poblaciones dominantes de productores primarios y consumidores no se manifestaban en cambios en la productividad.





Los aportes desde la ecología acuática

- Los ecosistemas presentan generalmente un comportamiento probabilístico en el espacio y en el tiempo, que puede desaparecer cuando la modificación del medio abiótico supera la capacidad de adaptación o respuesta de la biota o asociados a la redundancia funcional de las especies.



Los intercambios entre componentes de un ecosistema

- Los sistemas cibernéticos son aquellos que todas las partes están conectados por redes de información, ejemplos de estos sistemas los constituye el cuerpo humano o una célula.
- Los componentes bióticos de un ecosistemas intercambia materia, energía e información, por lo tanto, pueden considerarse sistemas cibernéticos, o exclusivamente todos los componentes del sistema deben intercambiar información?



Los intercambios entre componentes de un ecosistema

- Los intercambios de materia y energía no implican intercambio de información?



Los intercambios entre componentes de un ecosistema

- Como debemos entender los procesos de co-evolución de especies? o los procesos de sucesión donde especies modifican el ambiente y facilitan el establecimiento de especies Que entendemos por intercambio de información?



Los intercambios entre componentes de un ecosistema

- Como debemos entender los procesos de co-evolución de especies? o los procesos de sucesión donde especies modifican el ambiente y facilitan el establecimiento de especies Que entendemos por intercambio de información?



If we follow the ideas of Heraclitus, rather than the atomism of Democritus or the concept of ideal types of Platon, and recognize that all nature is ever-changing, then we realize that the ecosystem concept is merely one more device for thinking about the world and ourselves.

A history of the ecosystem concept in ecology. More than the sum of the parts.

Frank Benjamin Golley

Yale University, New York, 1993.



Los servicios ecosistémicos y prestaciones de la naturaleza

- Los sistemas acuáticos como parte de sistemas socio-ecológicos, el papel de los servicios ecosistémicos para el bienestar humano, la integridad de la biosfera, y los desafíos de su gestión y cuidado.

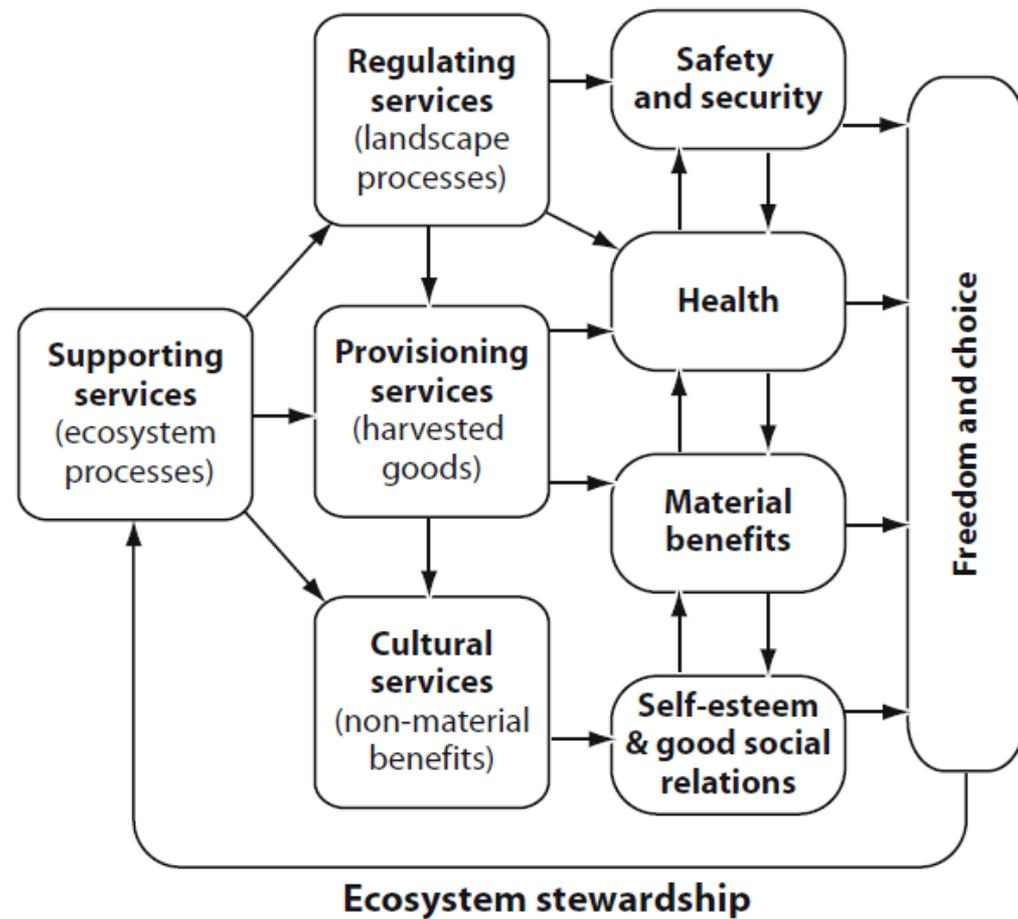
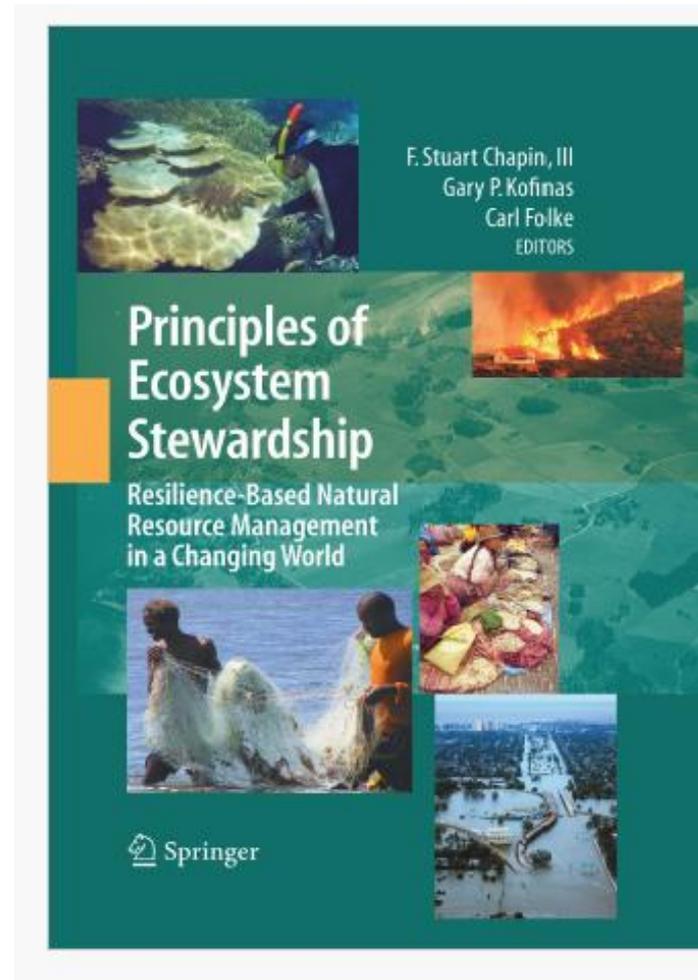
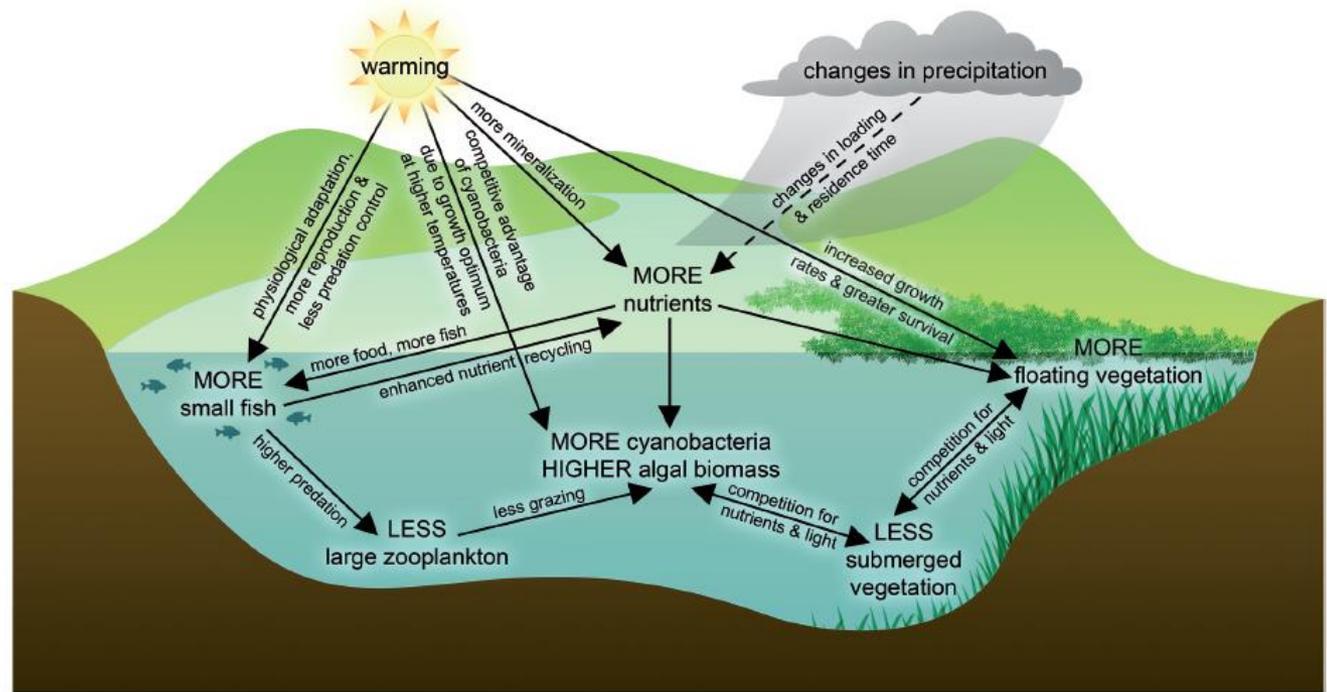


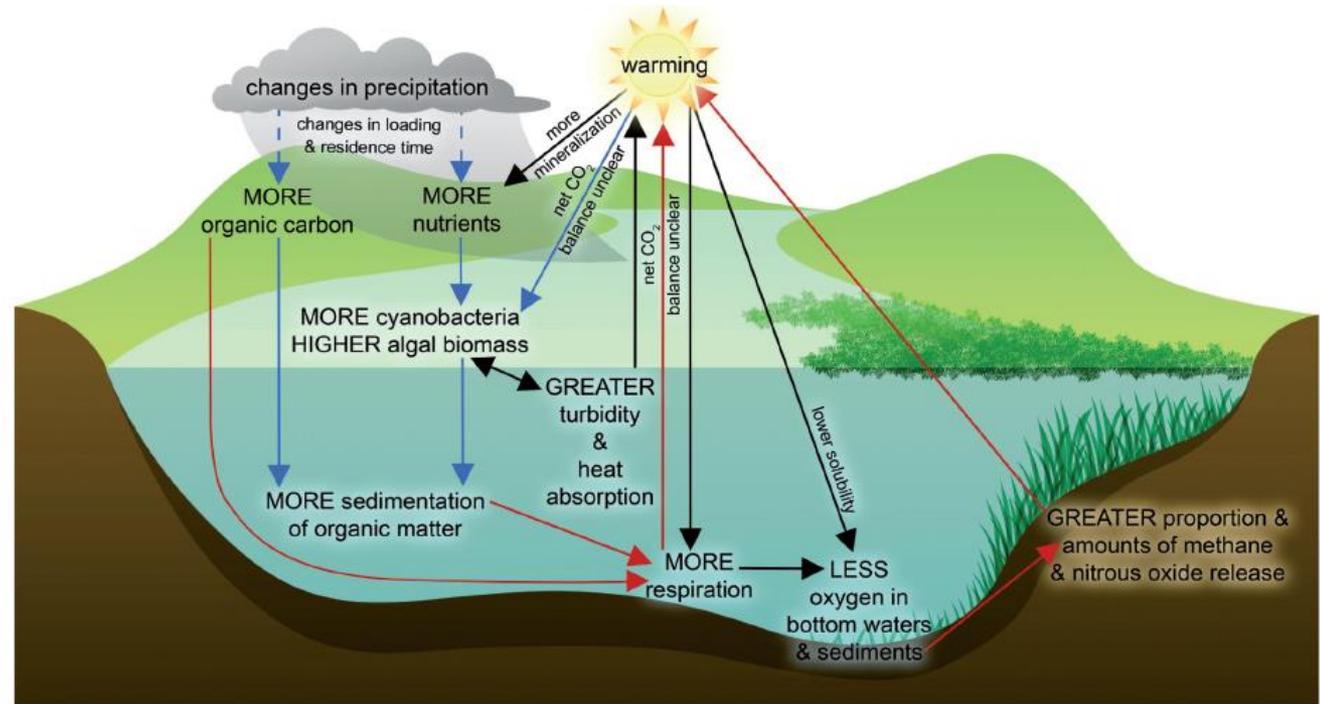


TABLE 1.1. Contrasts between steady-state resource management, ecosystem management, and resilience-based ecosystem stewardship.

Steady-state resource management	Ecosystem management	Resilience-based ecosystem stewardship
Reference state: historic condition	Historic condition	Trajectory of change
Manage for a single resource or species	Manage for multiple ecosystem services	Manage for fundamental social-ecological properties
Single equilibrium state whose properties can be sustained	Multiple potential states	Multiple potential states
Reduce variability	Accept historical range of variability	Foster variability and diversity
Prevent natural disturbances	Accept natural disturbances	Foster disturbances that sustain social-ecological properties
People use ecosystems	People are part of the social-ecological system	People have responsibility to sustain future options
Managers define the primary use of the managed system	Multiple stakeholders work with managers to define goals	Multiple stakeholders work with managers to define goals
Maximize sustained yield and economic efficiency	Manage for multiple uses despite reduced efficiency	Maximize flexibility of future options
Management structure protects current management goals	Management goals respond to changing human values	Management responds to and shapes human values









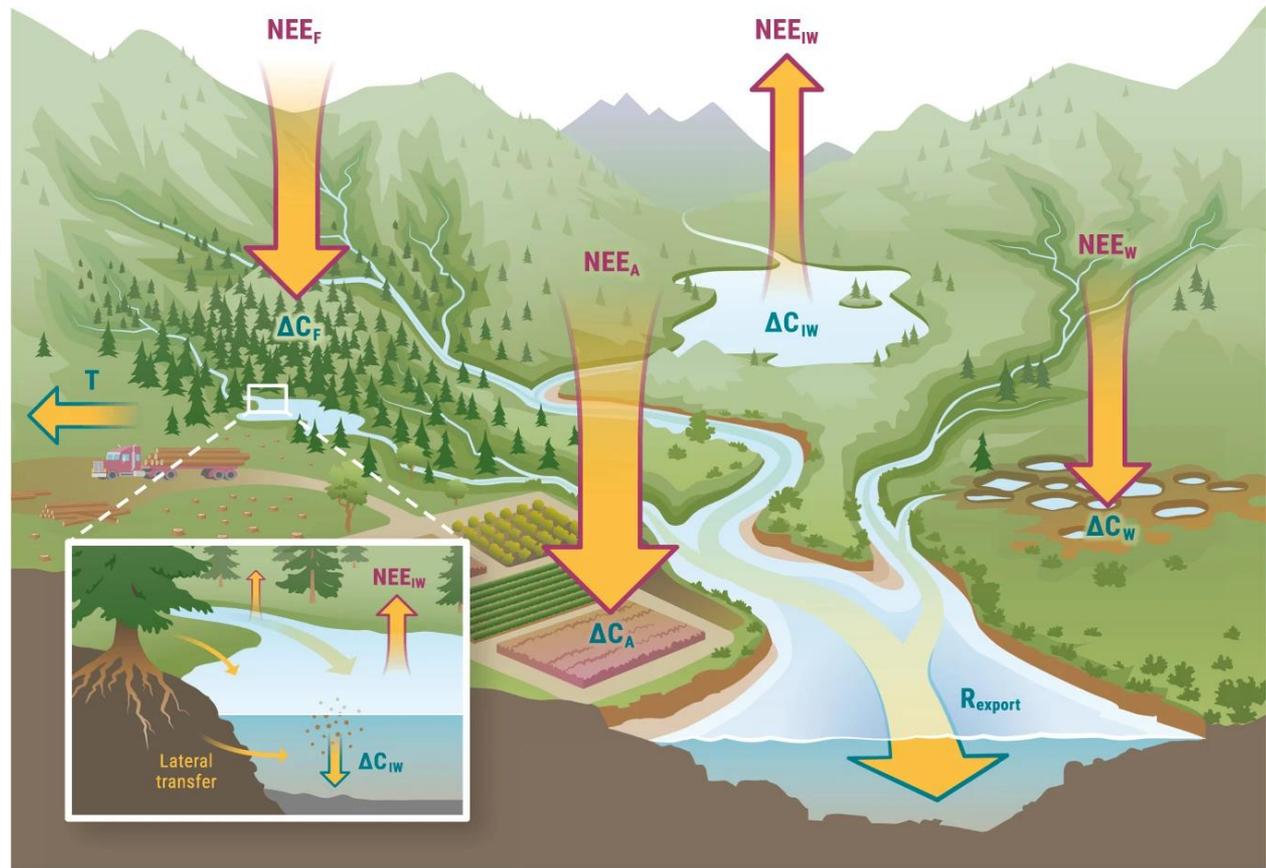
Research Brief

Allied attack: climate change and eutrophication

Brian Moss^{1*}, Sarian Kosten², Mariana Meerhoff^{3,5}, Richard W. Battarbee⁴, Erik Jeppesen^{5,6}, Néstor Mazzeo³, Karl Havens⁷, Gissell Lacerot^{2,3}, Zhengwen Liu⁸, Luc De Meester⁹, Hans Paerl¹⁰ and Marten Scheffer²



$$\text{Watershed NEE} = \sum \text{NEE}$$
$$\text{NWE} = \sum \Delta C + R_{\text{export}} + T$$





nature communications

[Explore content](#) ▾ [About the journal](#) ▾ [Publish with us](#) ▾

[nature](#) > [nature communications](#) > [perspectives](#) > article

Perspective | [Open access](#) | Published: 21 March 2023

Integrating terrestrial and aquatic ecosystems to constrain estimates of land-atmosphere carbon exchange

[Joan P. Casas-Ruiz](#) , [Pascal Bodmer](#), [Kelly Ann Bona](#), [David Butman](#), [Mathilde Couturier](#), [Erik J. S. Emilson](#), [Kerri Finlay](#), [Hélène Genet](#), [Daniel Hayes](#), [Jan Karlsson](#), [David Paré](#), [Changhui Peng](#), [Rob Striegl](#), [Jackie Webb](#), [Xinyuan Wei](#), [Susan E. Ziegler](#) & [Paul A. del Giorgio](#)



Capacidades actuales de analizar los vínculos de atributos y procesos a nivel de cuencas hidrográficas y respuestas de los sistemas acuáticos

- Los avances en el campo de la teledetección, aprendizaje automático e inteligencia artificial permite analizar un conjunto considerable de información y asistir con evidencia a procesos claves de toma de decisión.

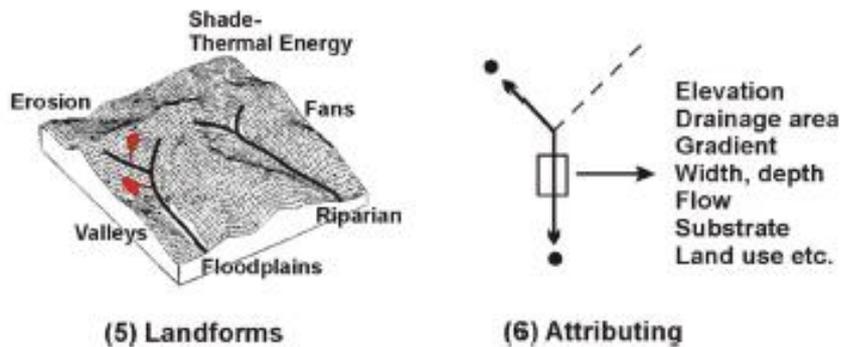
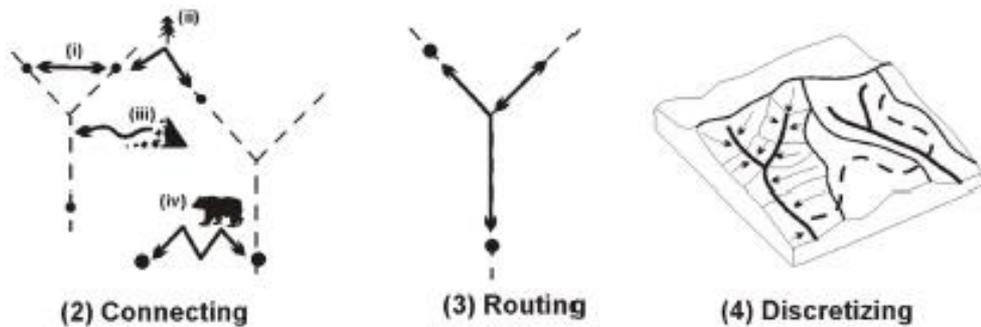
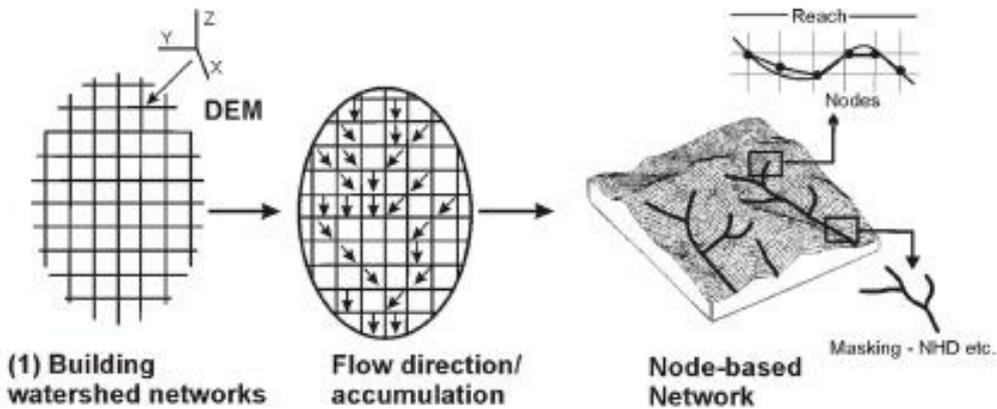


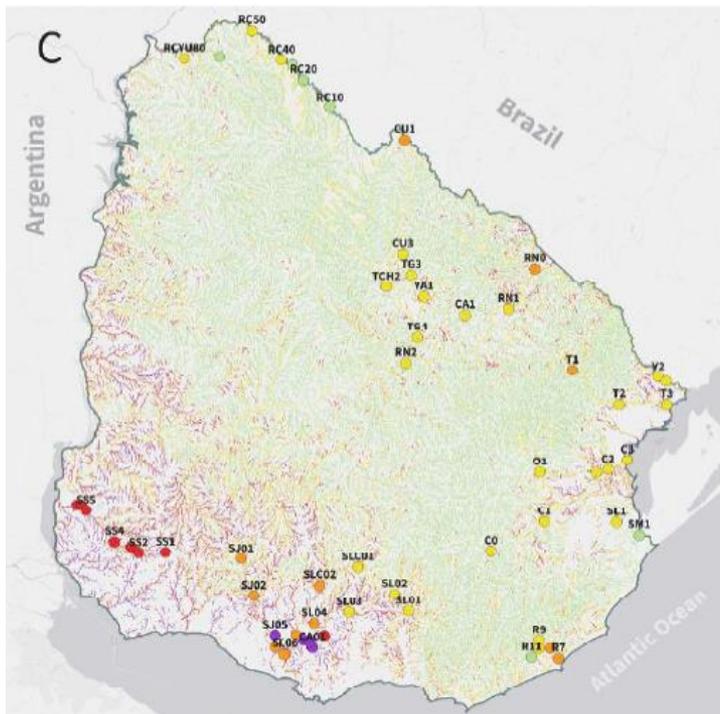
Environmental Management (2016) 57:722–739
DOI 10.1007/s00267-015-0634-6

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Building Virtual Watersheds: A Global Opportunity to Strengthen Resource Management and Conservation

Lee Benda¹ · Daniel Miller¹ · Jose Barquin² · Richard McCleary³ ·
TiJiu Cai⁴ · Y. Ji⁴





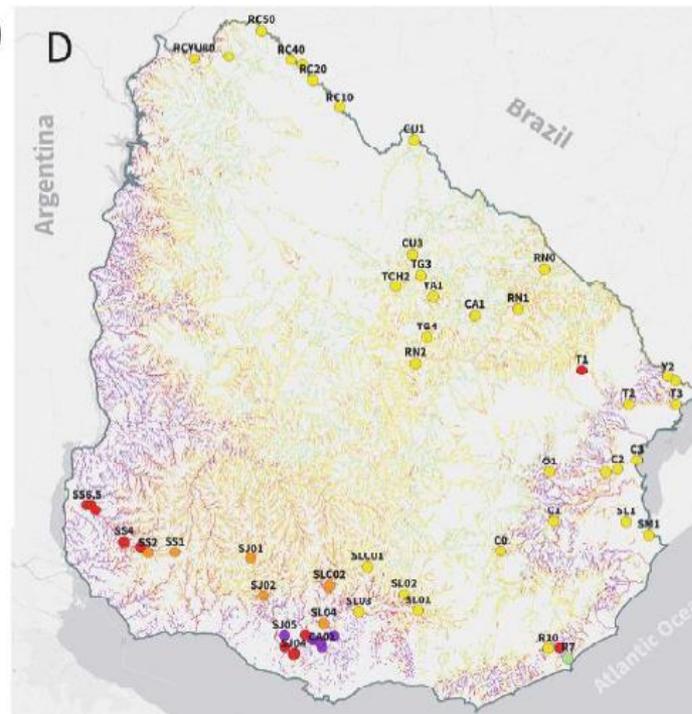
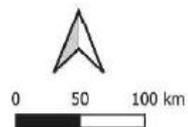
Total Phosphorus (TP)

Stations - TP ($\mu\text{g P/L}$)

- 0 - 70
- 70.1 - 150
- 150.1 - 300
- 300.1 - 500
- > 500

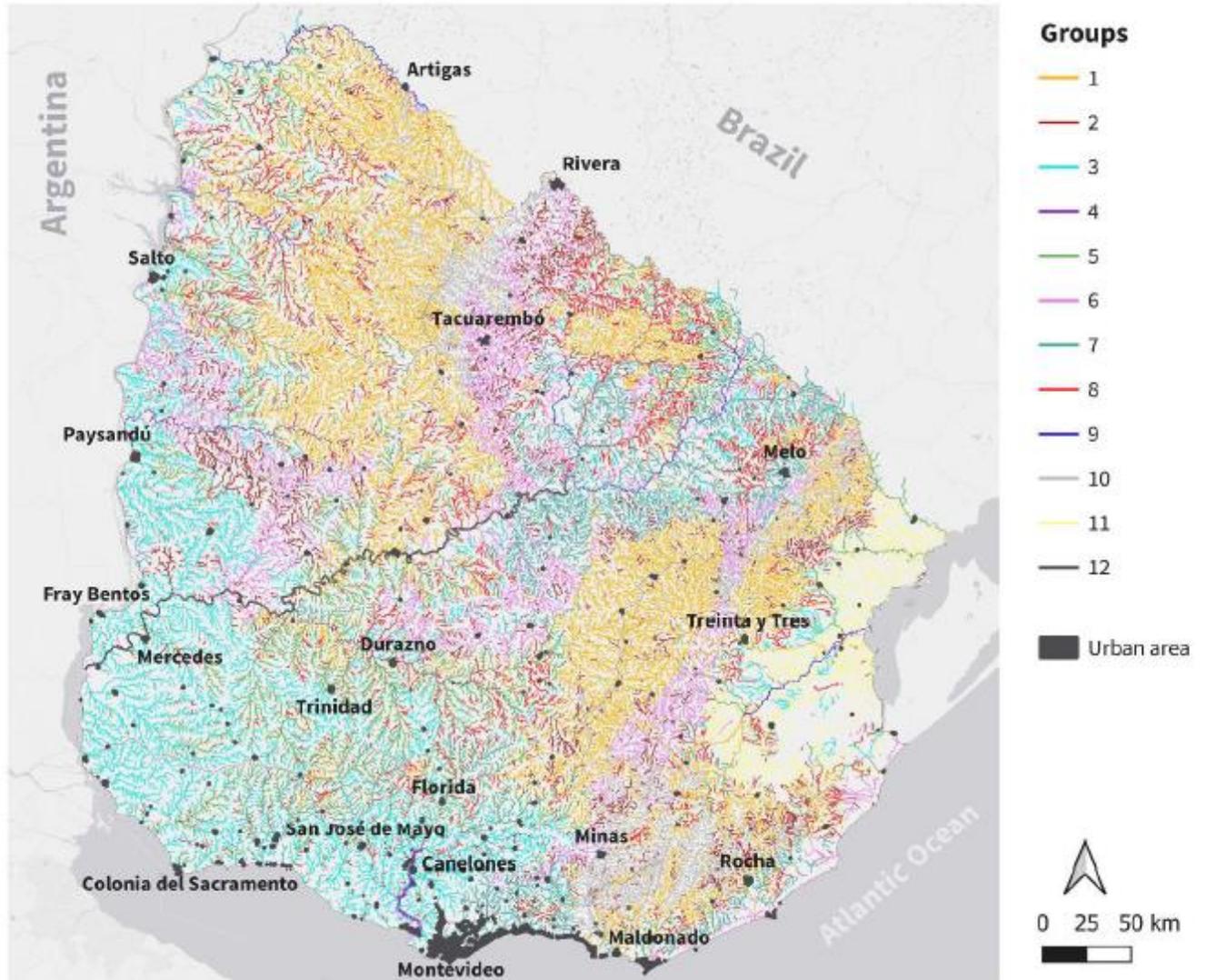
TP ($\mu\text{g P/L}$)

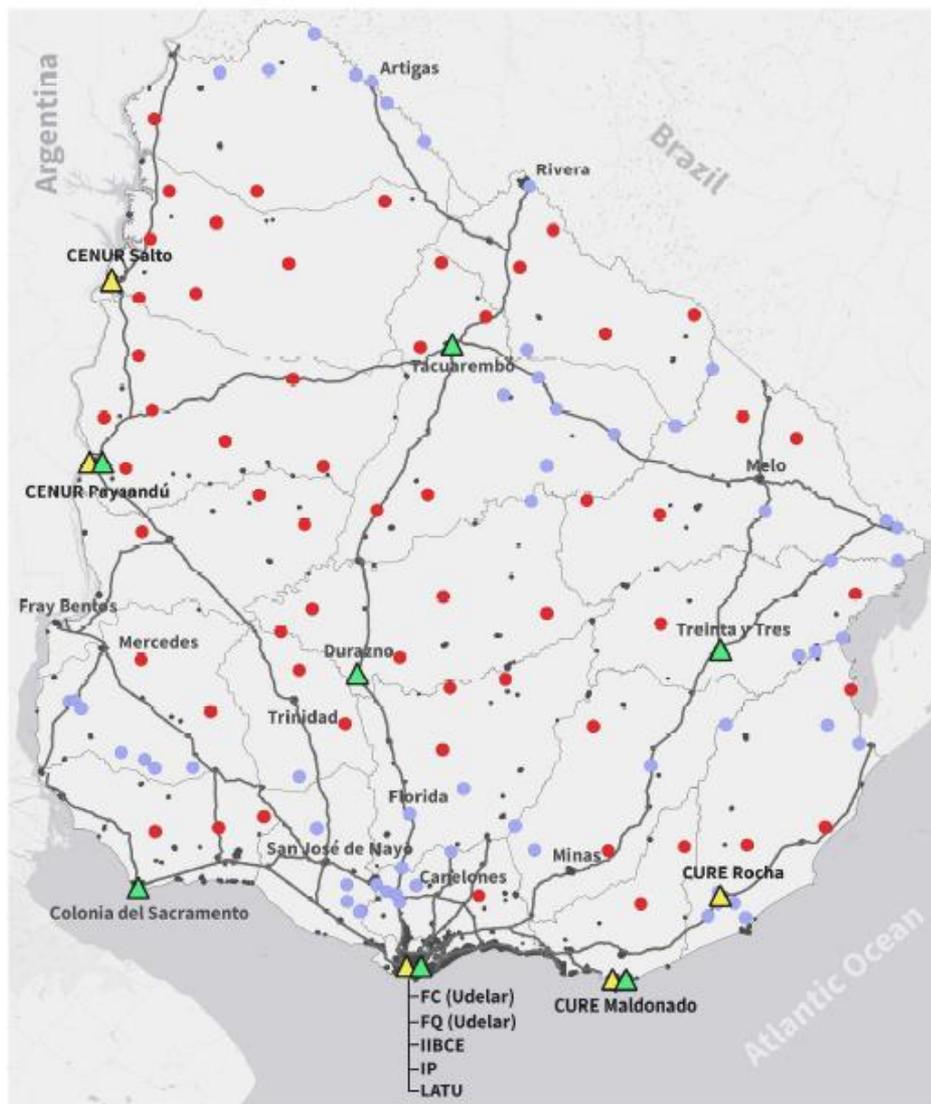
- 0 - 70
- 70.1 - 150
- 150.1 - 300
- 300.1 - 500
- > 500



CUENCAS VIRTUALES

BASES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS





CUENCAS VIRTUALES

BASES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS



Environmental Science and Policy 154 (2024) 103699



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Environmental Science and Policy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/envsci



Inter and transdisciplinarity strategies for evaluating and improving water quality monitoring systems: Uruguay as a study case

Néstor Mazzeo^{a,b}, Ana Lía Ciganda^{a,c}, Camila Fernández Nion^d, Francisco J. Peñas^e, Alexia María González-Ferreras^e, Carolina Crisci^f, Cristina Zurbriggen^{b,g}, Daniel Pérez^{b,h}, José Barquin^e, Ismael Díaz^{d,*}

ARTICLE



<https://doi.org/10.1038/s41467-020-20142-y>

OPEN

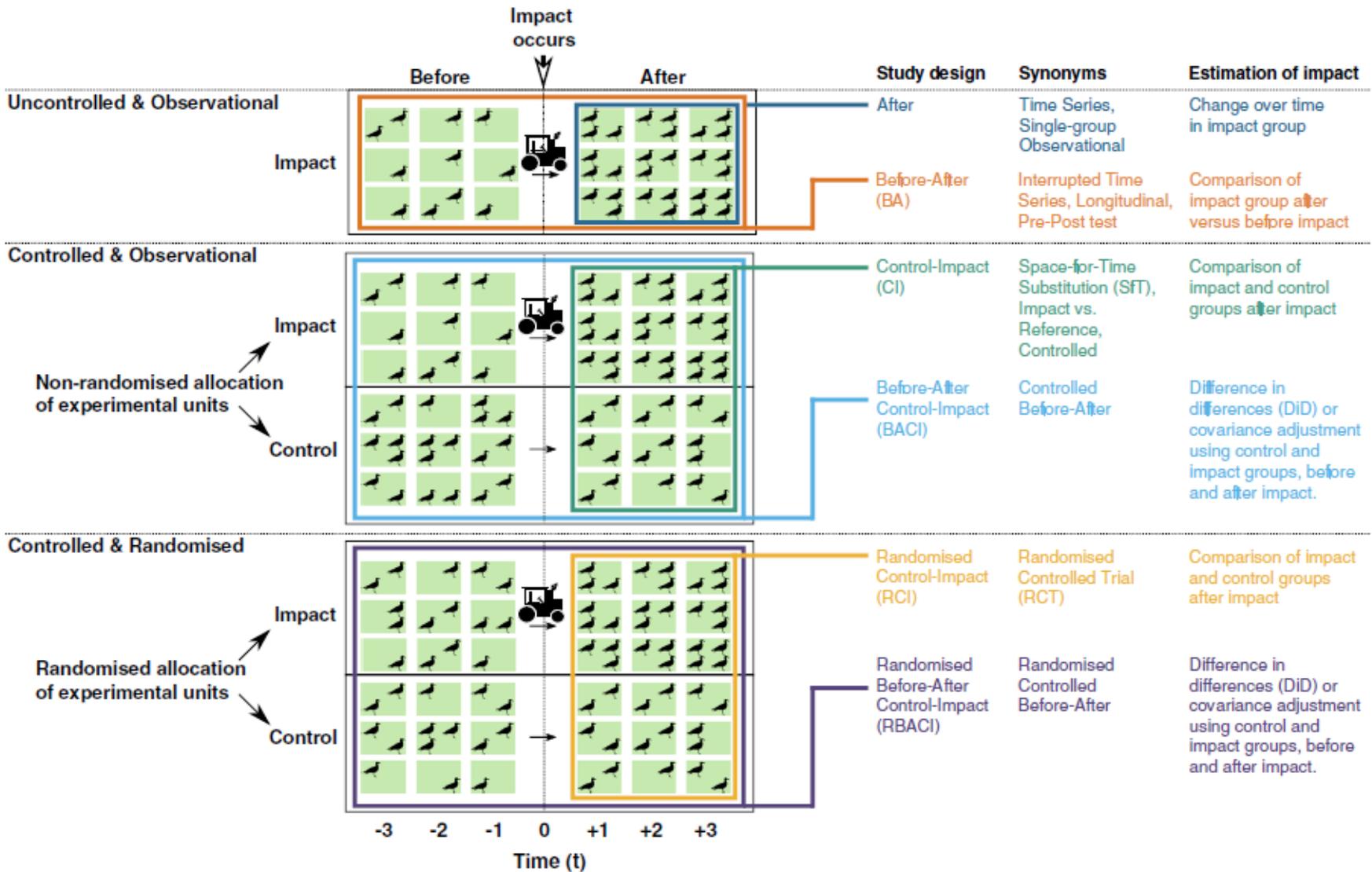
Quantifying and addressing the prevalence and bias of study designs in the environmental and social sciences

Alec P. Christie  et al. [#]



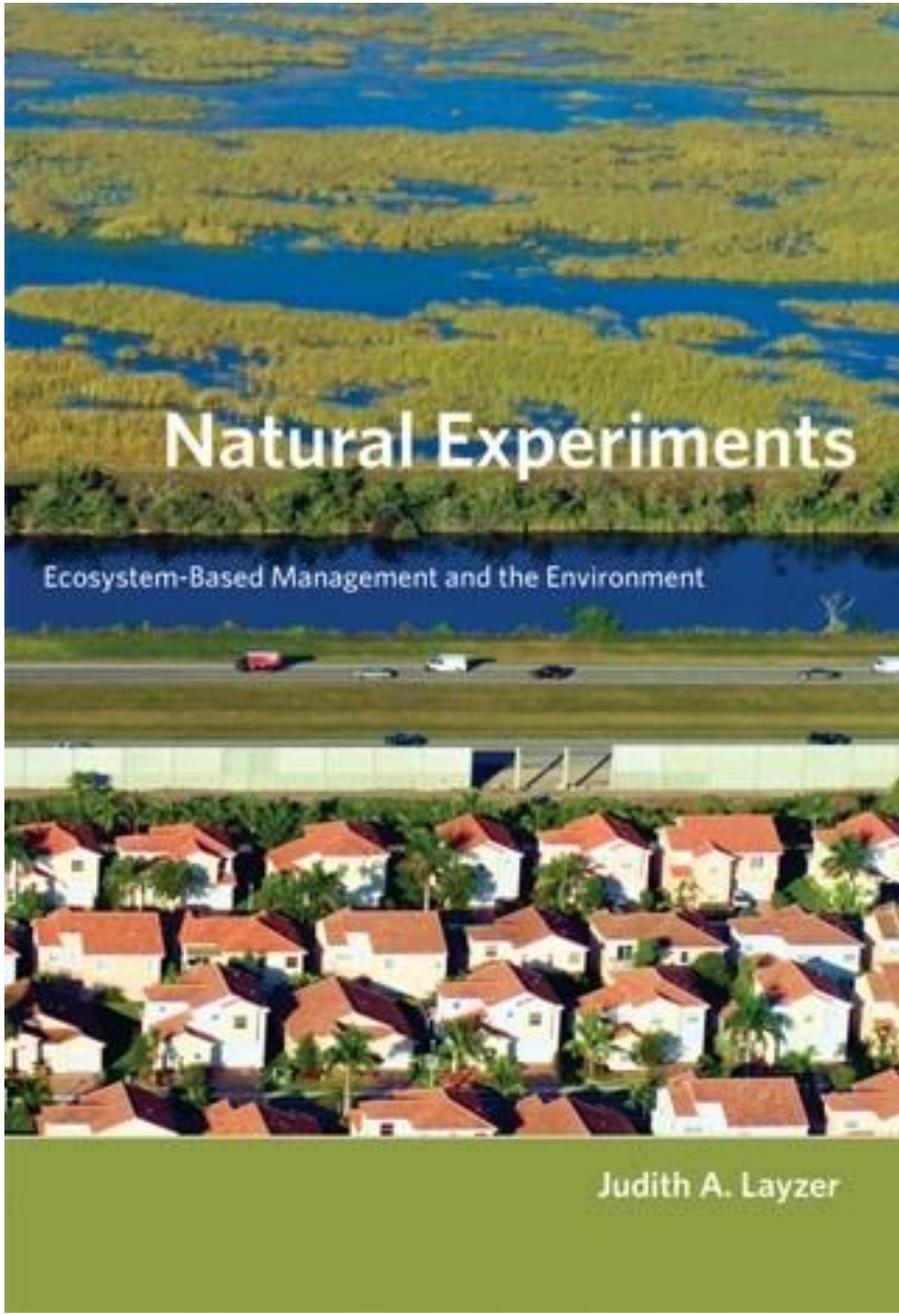
CUENCAS VIRTUALES

BASES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA NACIONAL
DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS



CUENCAS VIRTUALES

BASES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA NACIONAL DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS



Natural Experiments

Ecosystem-Based Management and the Environment

Judith A. Layzer

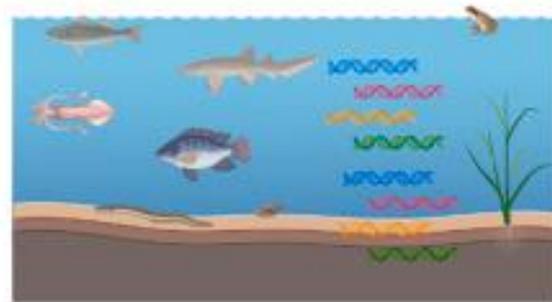


CUENCAS VIRTUALES
BASES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA NACIONAL
DE MONITOREO DE RECURSOS HÍDRICOS



La revolución de la metagenómica y el ADN ambiental

- Avance sustancial en la comprensión de la estructura de los ecosistémicas acuáticos, los mecanismos causales de las interacciones entre componentes bióticos y entre estos y el contexto abiótico (incluido los impactos de los efectos antropogénicos).



1. Water sample collection

2. Sample filtration



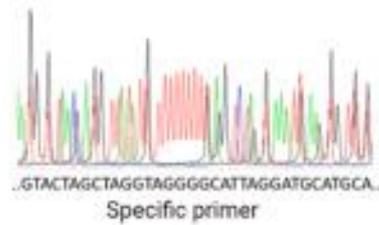
3. DNA extraction

environmental DNA in aquatic ecosystem

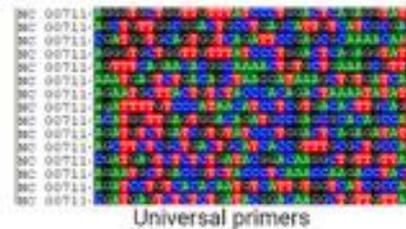


4. DNA amplification

Species-specific detection
 Rare species
 Extinct species
 Native species
 Endangered species



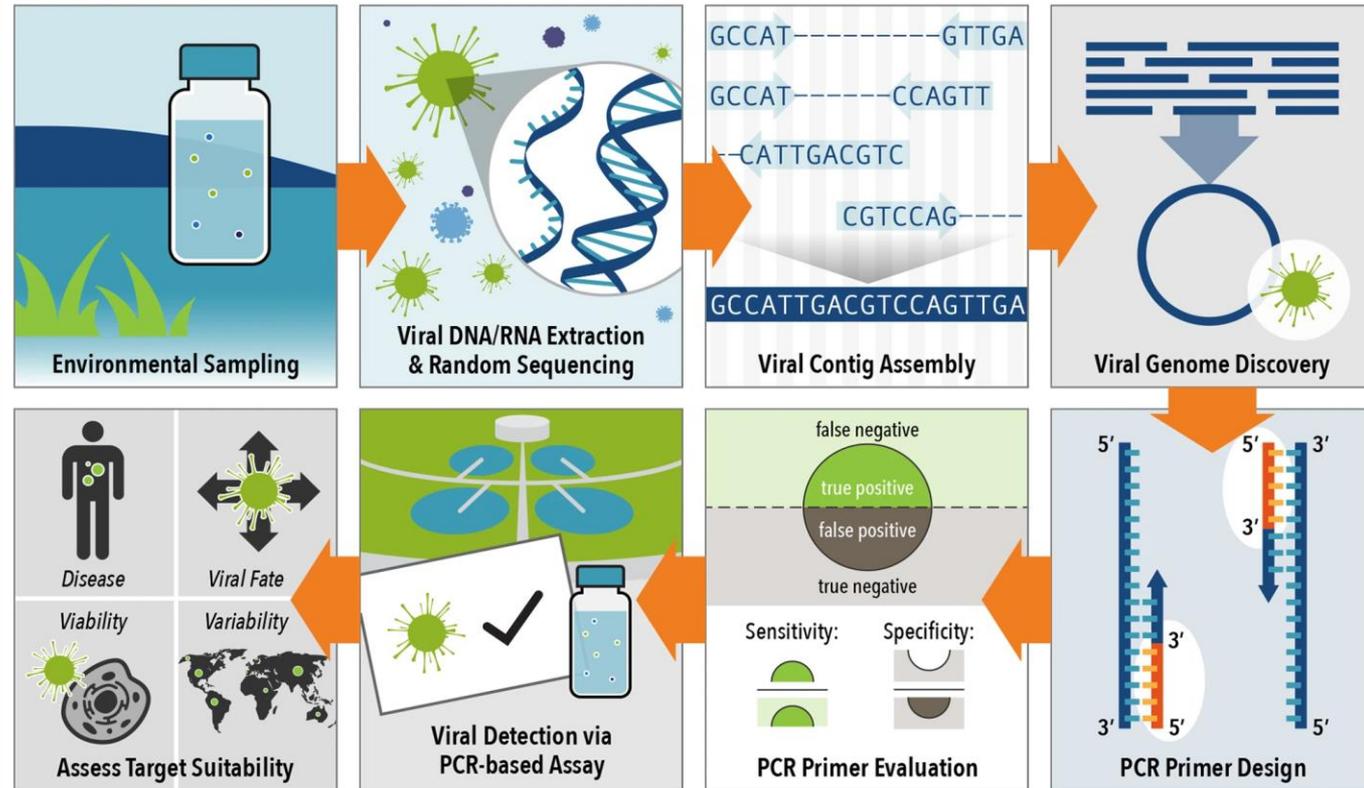
eDNA metabarcoding detection
 Biodiversity study
 Community structure



5. eDNA sequencing and data analysis



METAGENOMIC VIRAL DISCOVERY



VIRAL WATER QUALITY TOOL DEVELOPMENT



LIMNOLOGÍA 2025

Docentes: M.Sc. Maite Burwood, Lic. Claudia Fosalba, Lic. Lucía González-Madina, Lic. Bruno Gorostidi, Lic. Paula Levrini y Dr. Néstor Mazzeo