



LIMNOLOGÍA 2023

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

ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóticos)



10/14/2013

“La historia de la ciencia es la ciencia misma”
Goethe

1960

1970

1980

1990

2000

2010



SISTEMAS LÓTICOS

ANÁLISIS DEL MARCO TEÓRICO



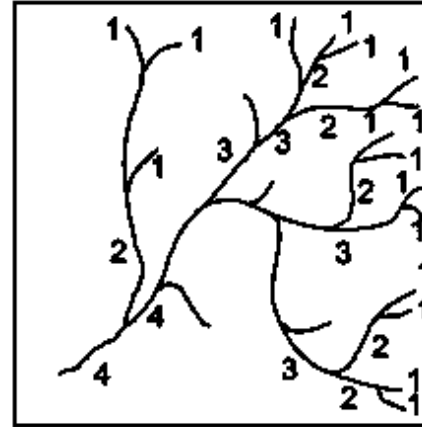
Visión predominante

- Vínculos longitudinales.
- Transporte vertical descendente hacia un punto de fuga.
- Pérdida permanente.
- Baja conectividad con el entorno.

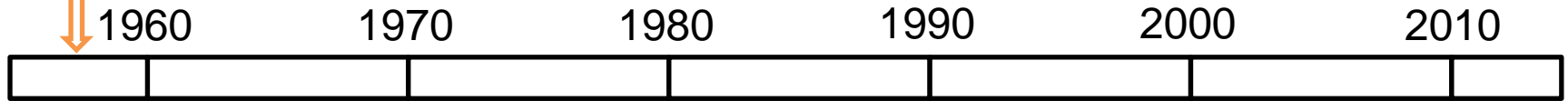
ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóuticos)

Concepto jerárquico de "orden"

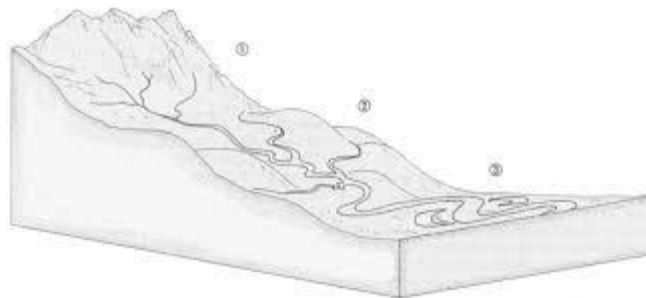


Strahler (1957)



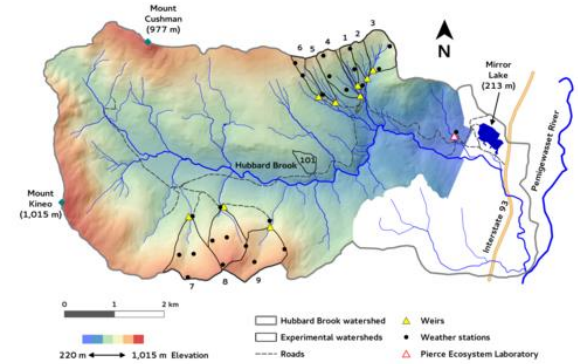
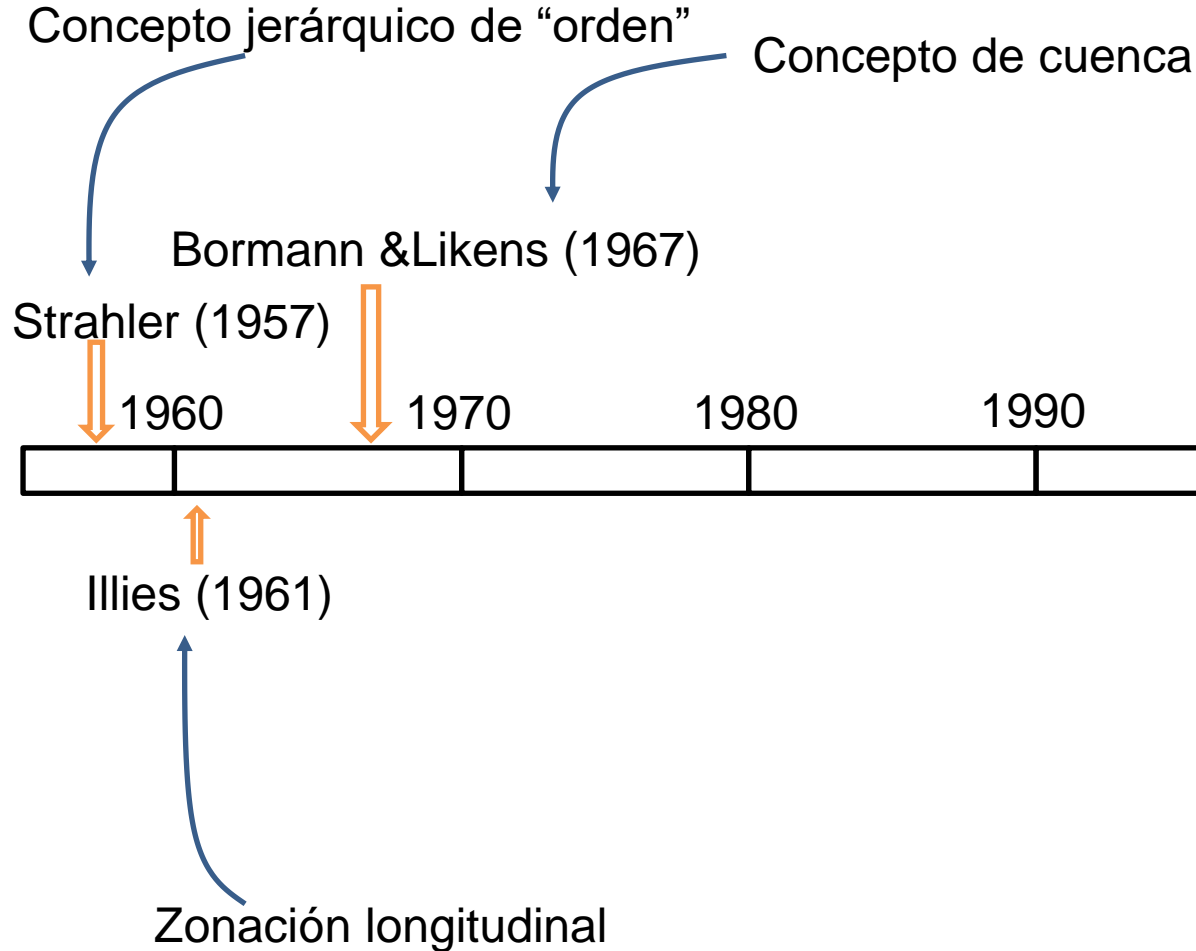
Illies (1961)

Zonación longitudinal



ECOSISTEMAS FLUVIALES

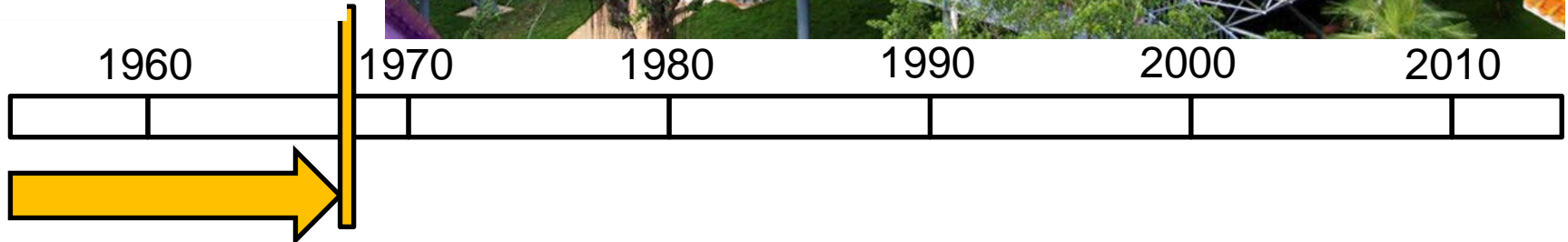
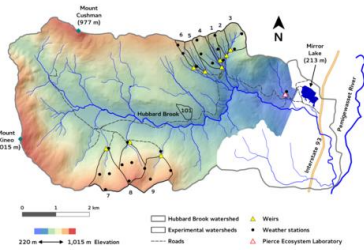
(sistemas lóticos)



ECOSISTEMAS FLUVIALES

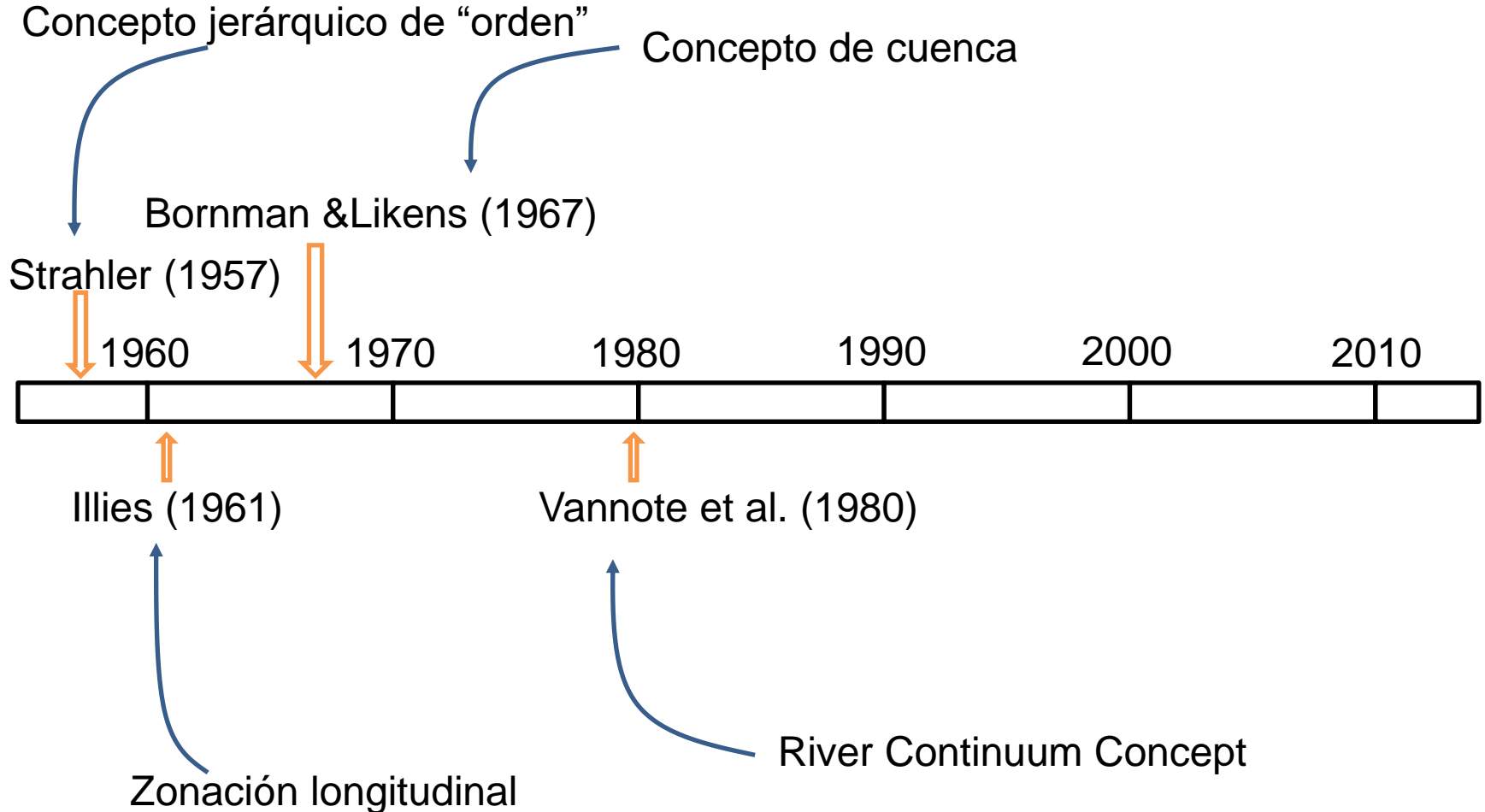
(sistemas lóticos)

- Vínculos laterales y longitudinales
- Elevada conectividad con el entorno



ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóuticos)



SISTEMAS LÓTICOS



Estructura y funcionamiento
Teoría del continuo
(RCC: river continuum concept)

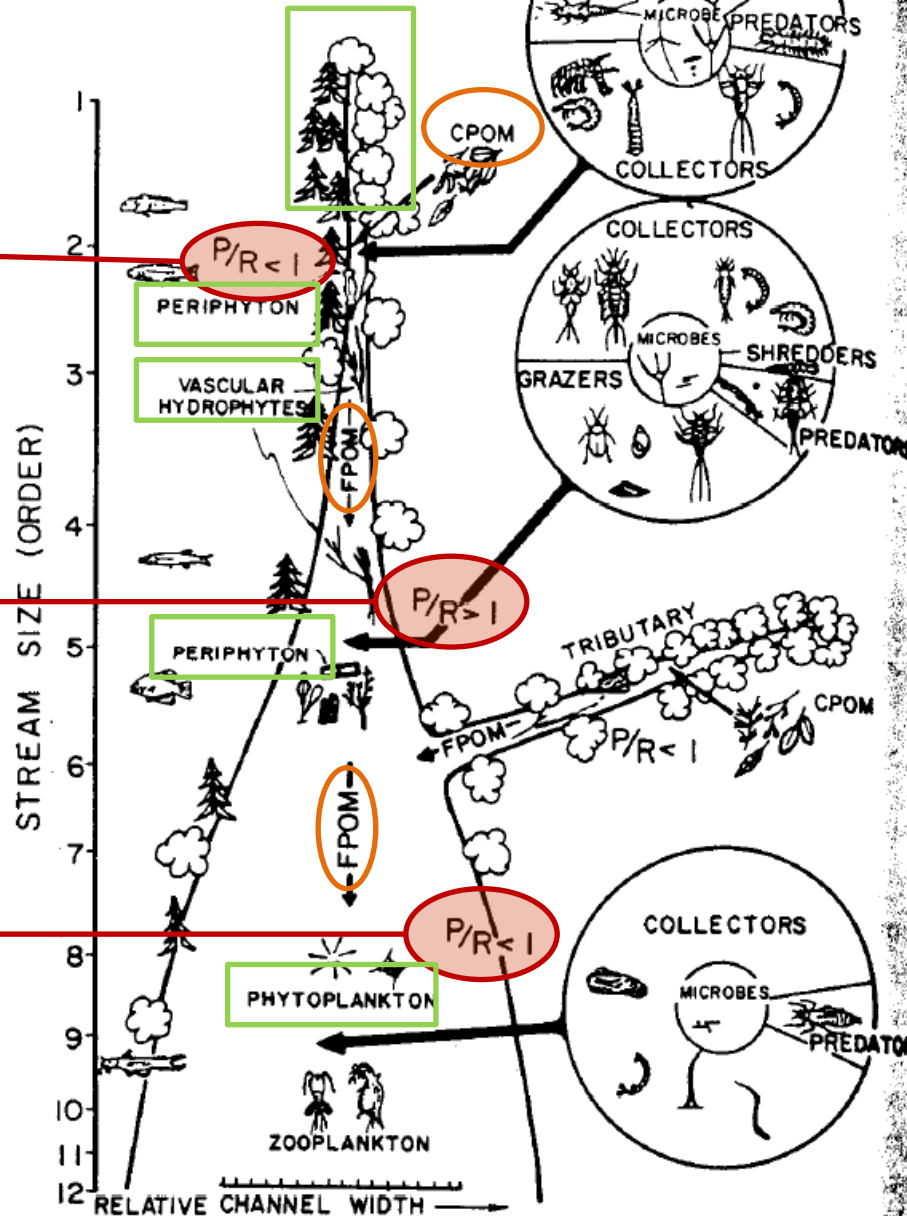
RCC
(River Continuum Concept)

Metabolismo

heterotrófico

autotrófico

heterotrófico



ESTRUCTURA Y
FUNCIONAMIENTO
ecosistémico

cambios
graduales
longitudinales
(el “continuo”)

RCC

(River Continuum Concept)

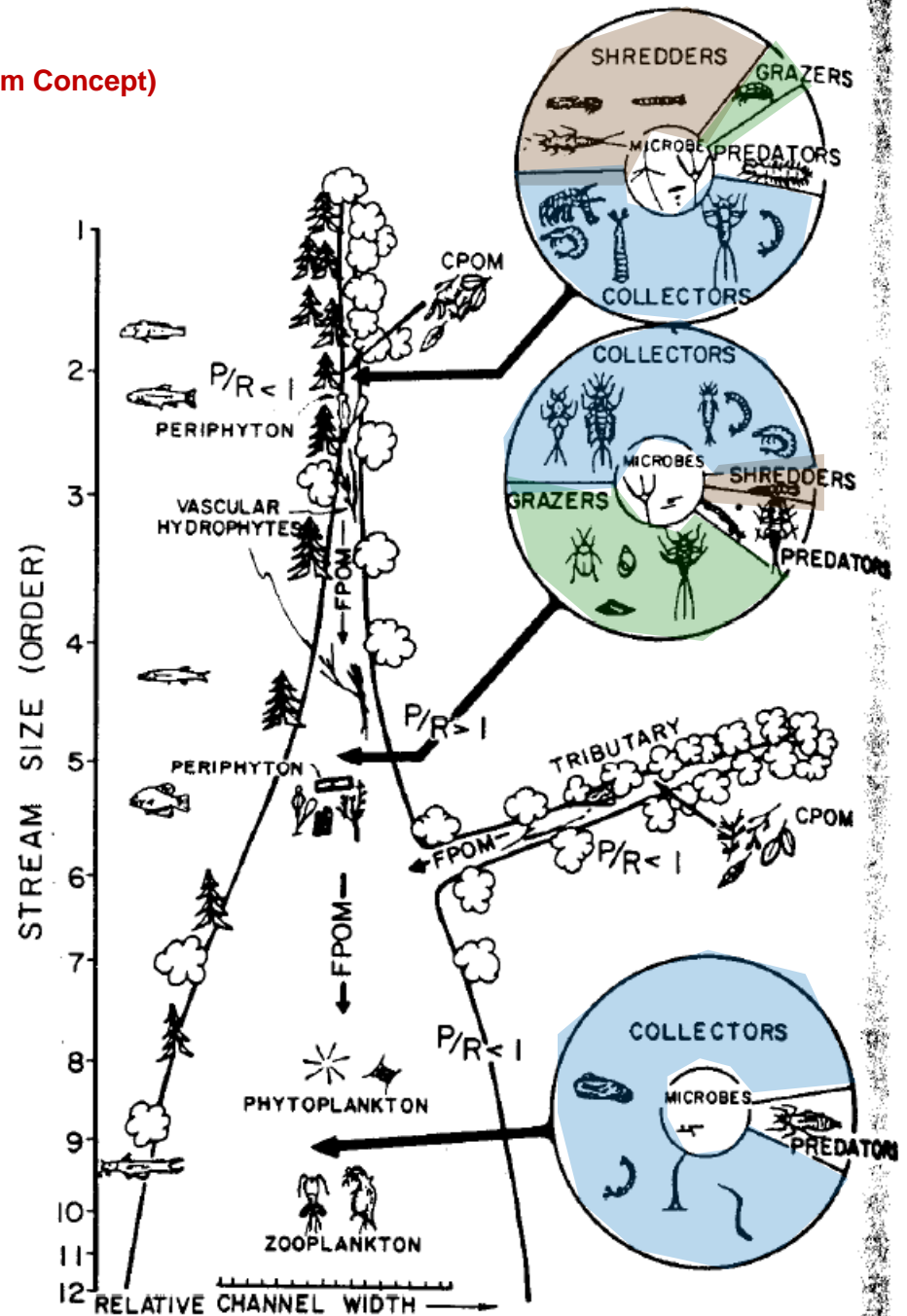
Grupos tróficos funcionales

Shredders: fragmentadores

Collectors: colectores

Grazers: ramoneadores

Predators: depredadores

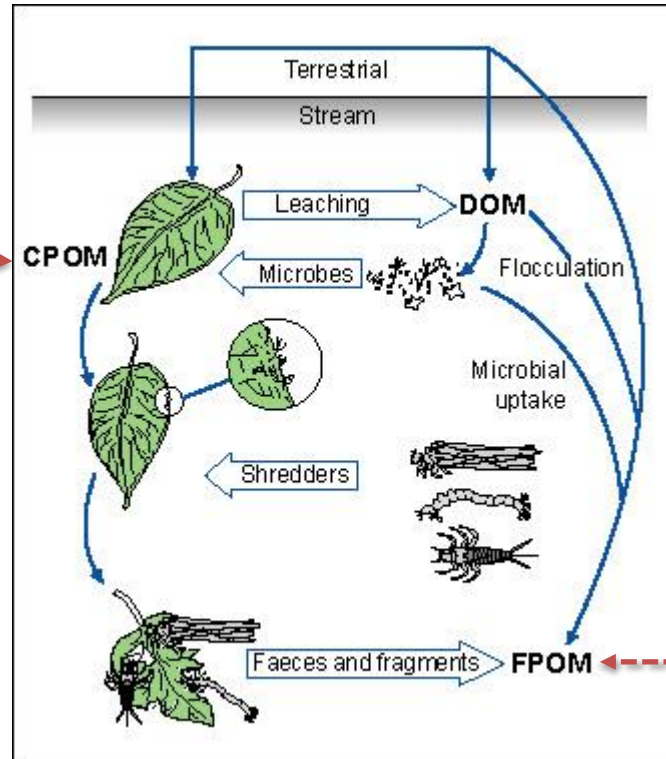


Vannote et al. 1980. The river continuum concept. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 37:130-137.

apuntes

- Actores (PP/ consumidores)
- Grupos tróficos funcionales
- Subvención
- Procesamiento
- Diferencias longitudinales
- Metabolismo

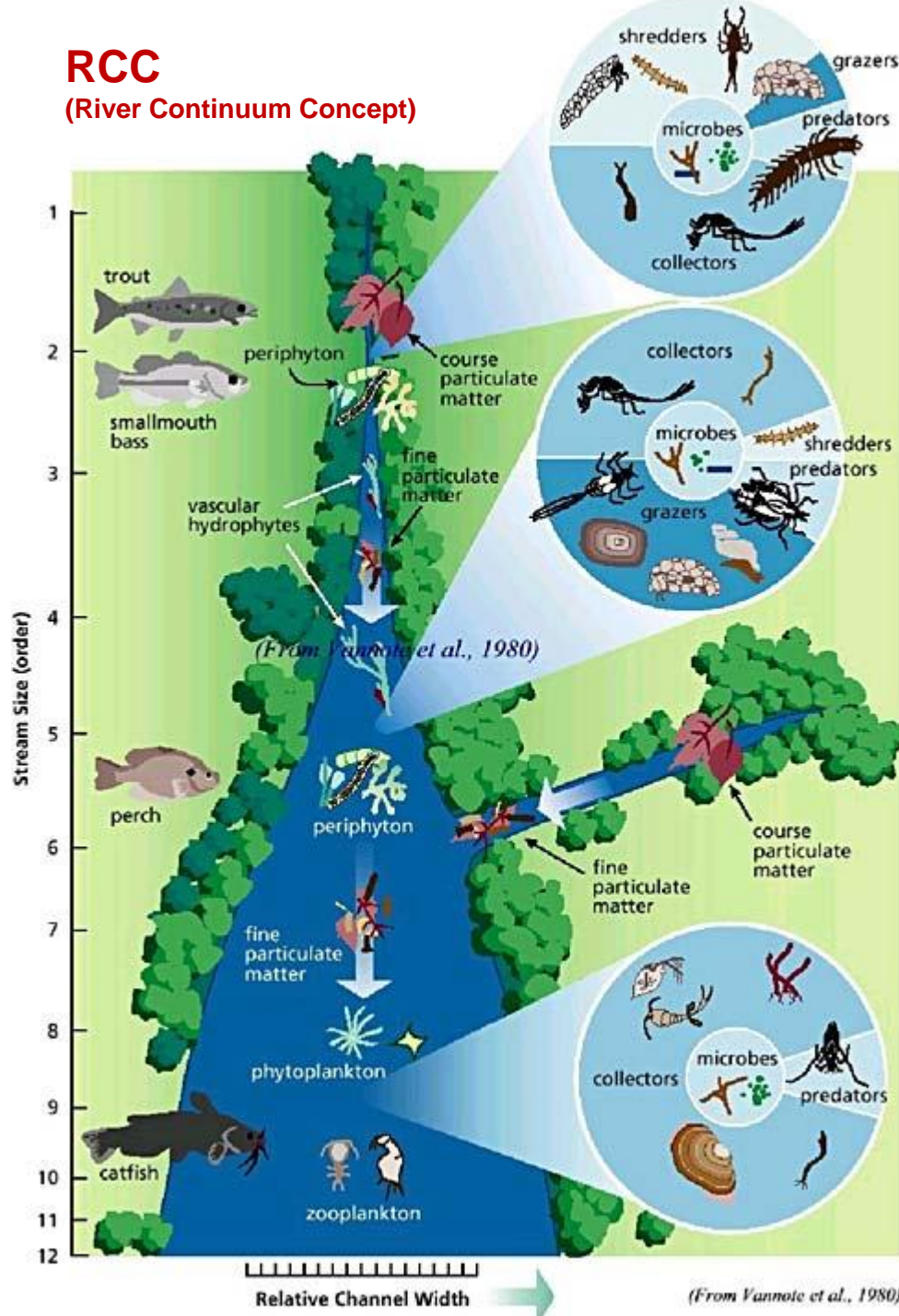
Coarse Particulated
Organic Matter

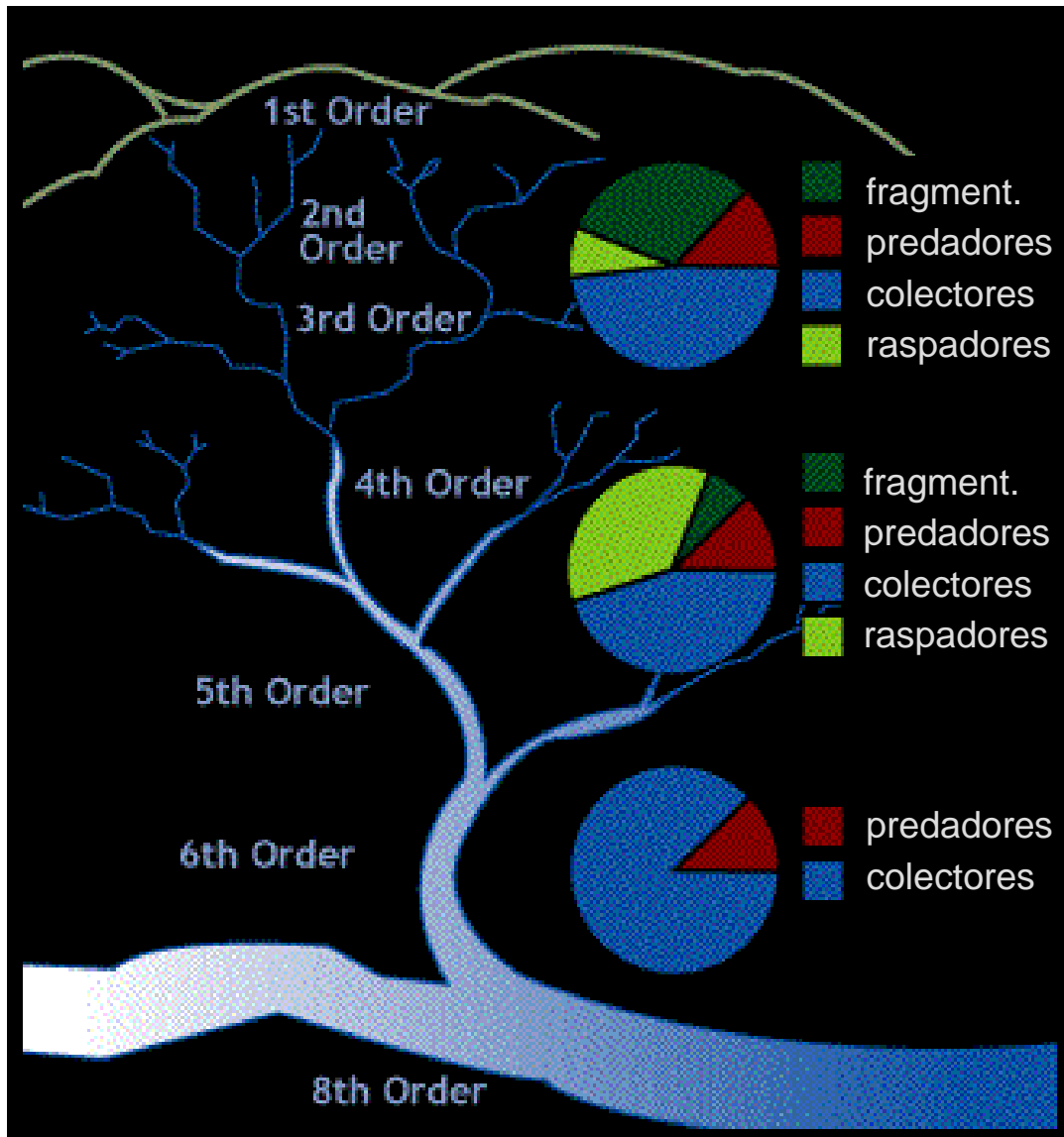


Fine Particulate
Organic Matter

RCC

(River Continuum Concept)





No se ha encontrado evidencia de varias predicciones de la RCC:

-el aporte de MO terrestre es mayor que el predicho, particularmente en crecientes o inundaciones,

-no hay aumento sistemático de la cantidad relativa de MO particulada fina aguas abajo (debido al procesamiento por invertebrados)

-no hay disminución de grandes invertebrados fragmentadores (ej. tricópteros)



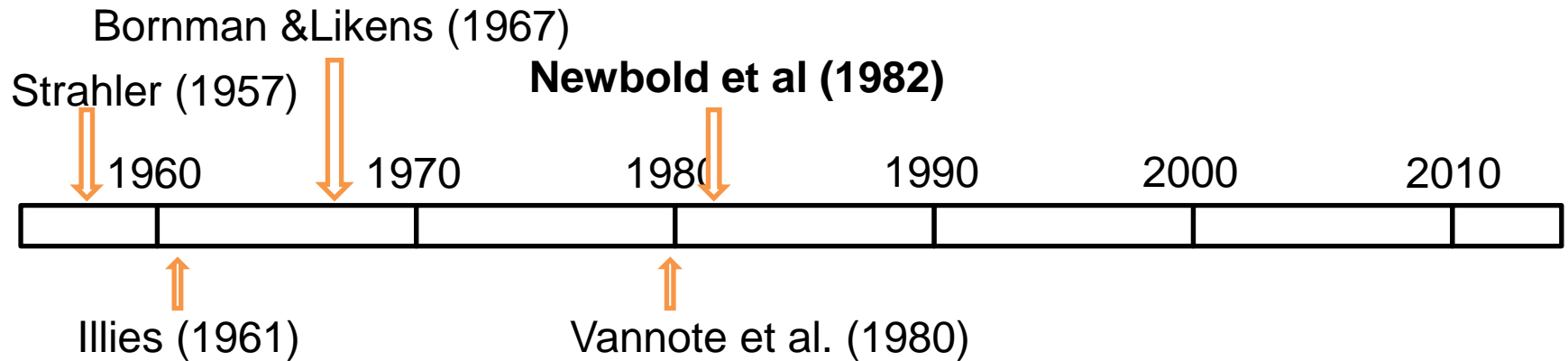
SISTEMAS LÓTICOS



Estructura y funcionamiento
Espiral de nutrientes

ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóticos)



Espiral de Nutrientes

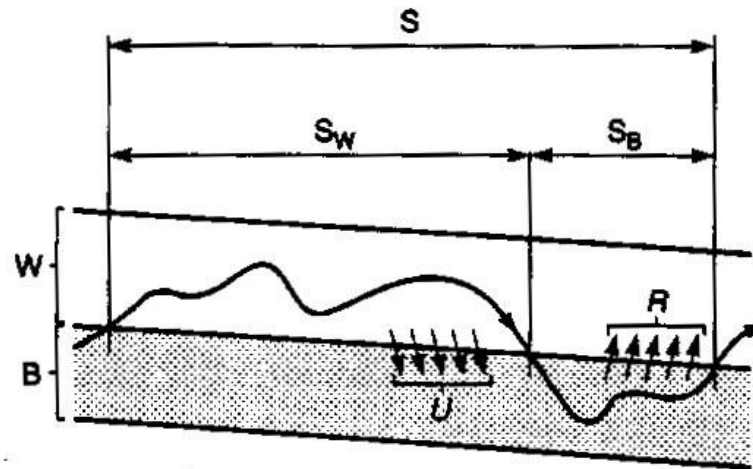
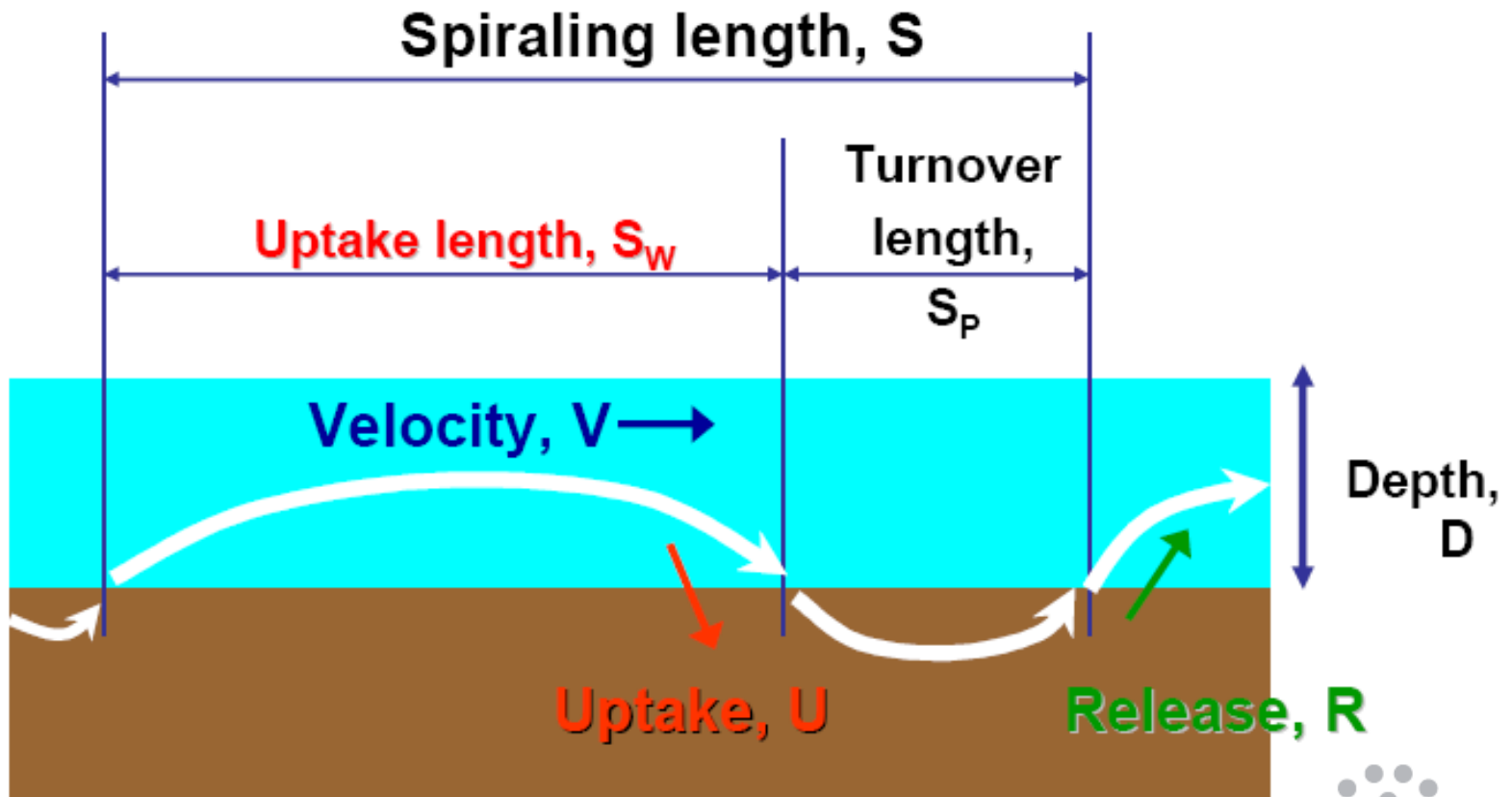
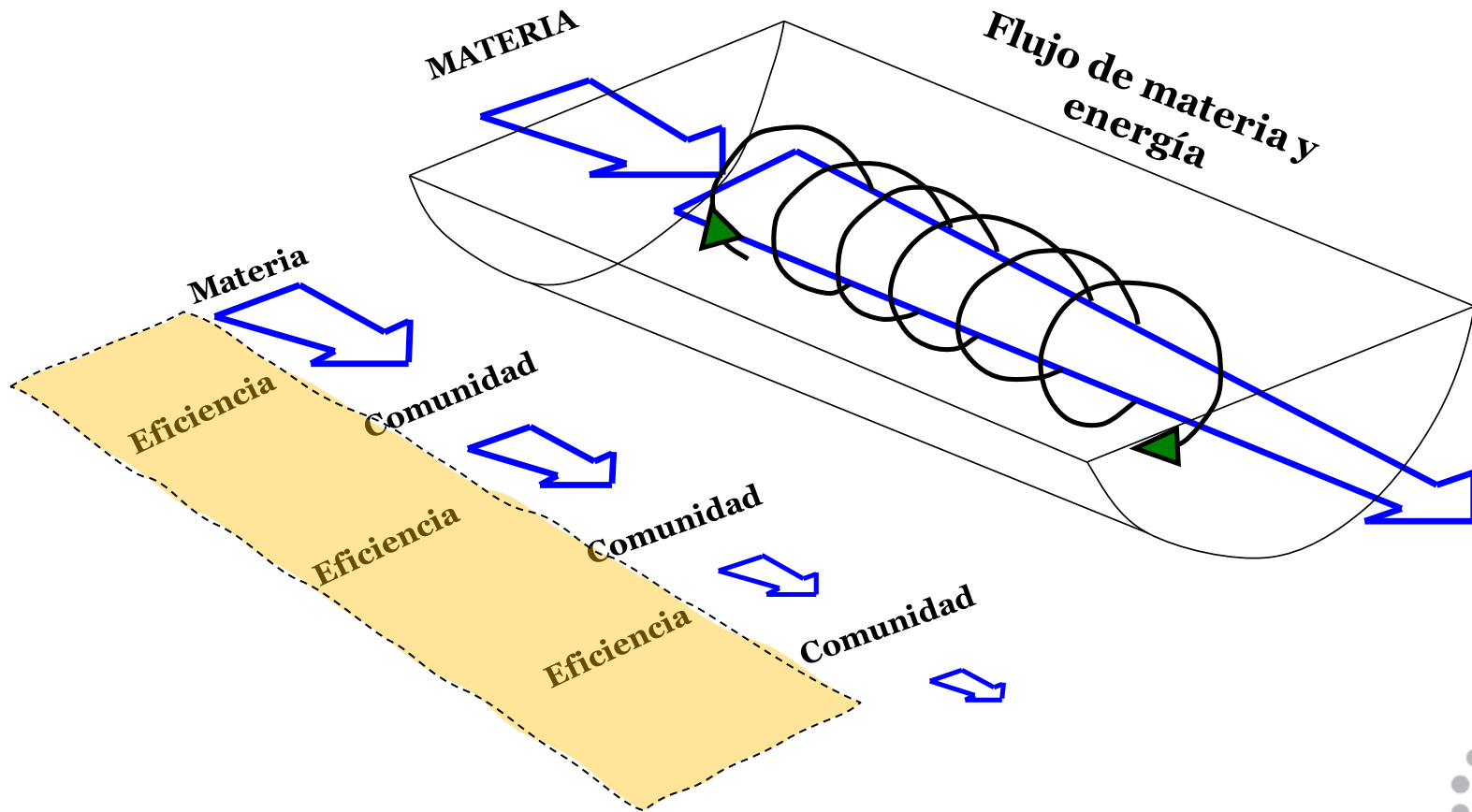


FIGURE 13.5 Two-compartment nutrient spiraling model. The spiraling length S is the average distance a nutrient atom, such as phosphorus, travels downstream during one cycle. A cycle begins with the availability of the nutrient atom in the water column, includes its distance of transport in the water (S_w) until its uptake (U) and assimilation by the biota, and whatever additional distance the atom travels downstream within the biota (S_B) until that atom is eventually re-mineralized and released. (Modified from Newbold, 1992)

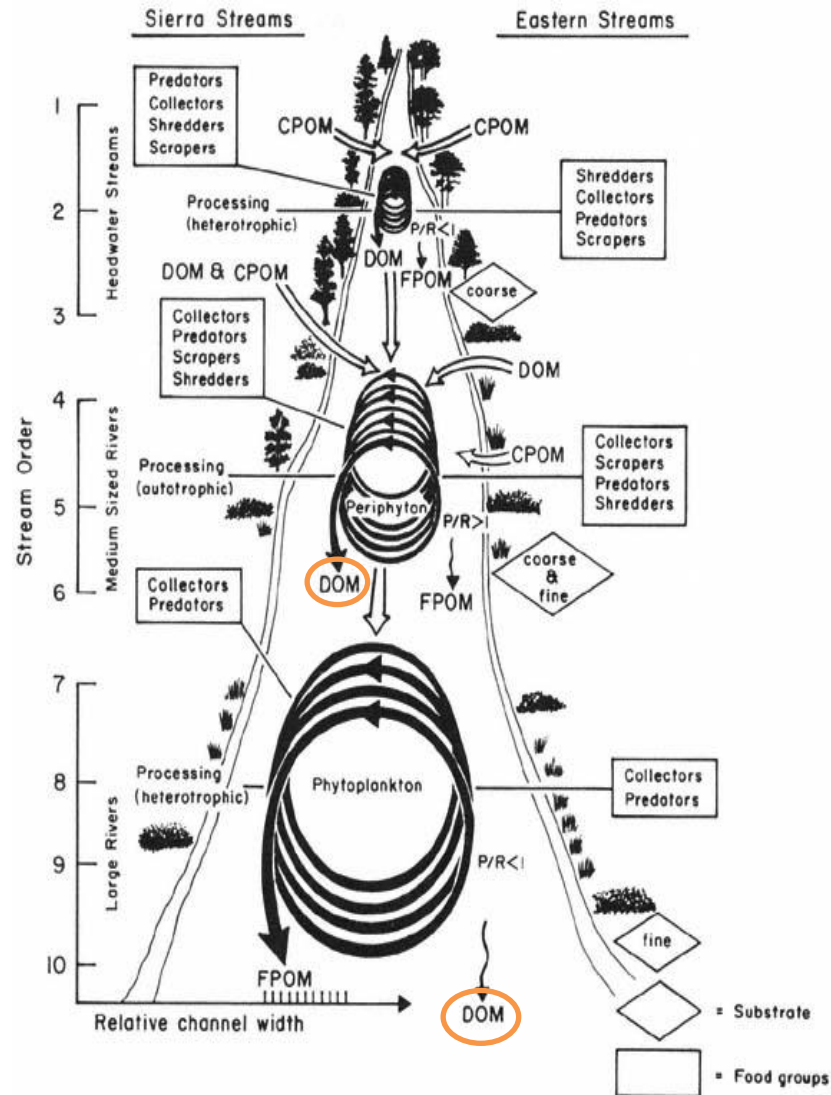
Espiral de Nutrientes



Espiral de Nutrientes



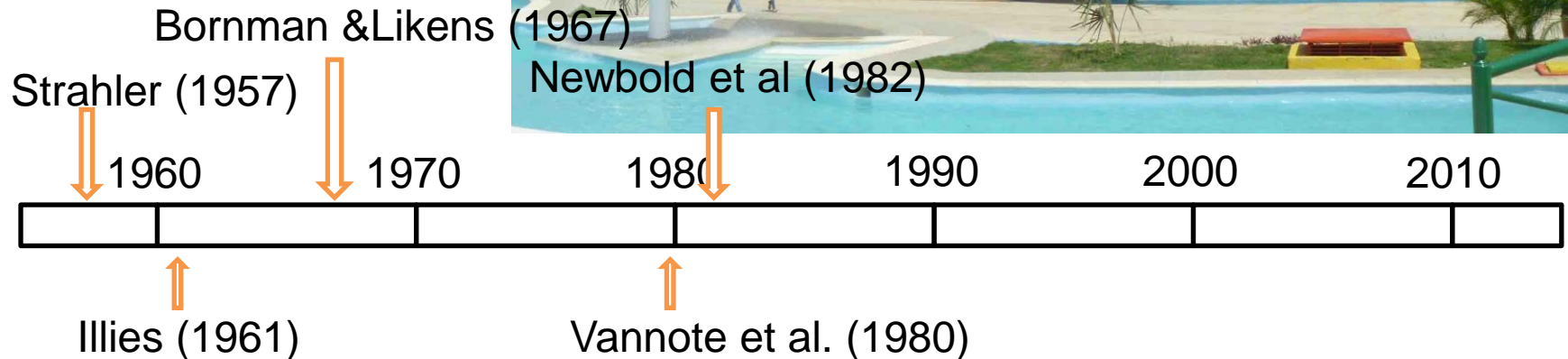
Espiral de Nutrientes



ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóticos)

- Vínculos longitudinales y verticales
- Transporte vertical descendente hacia un punto de fuga
- Transformación
(Ciclado, eficiencia de uso)



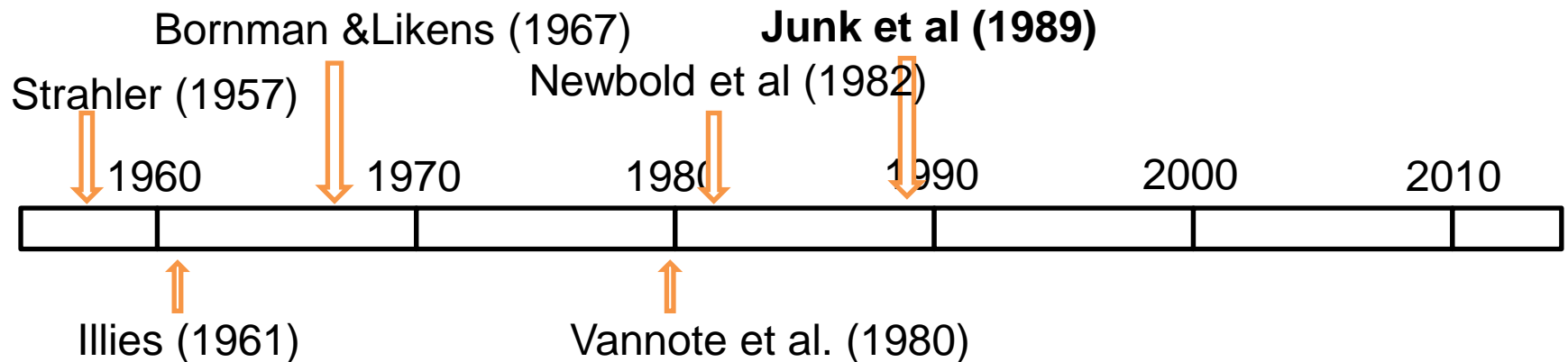
SISTEMAS LÓTICOS



Flood pulse concept
(pulso de inundación)

ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóuticos)



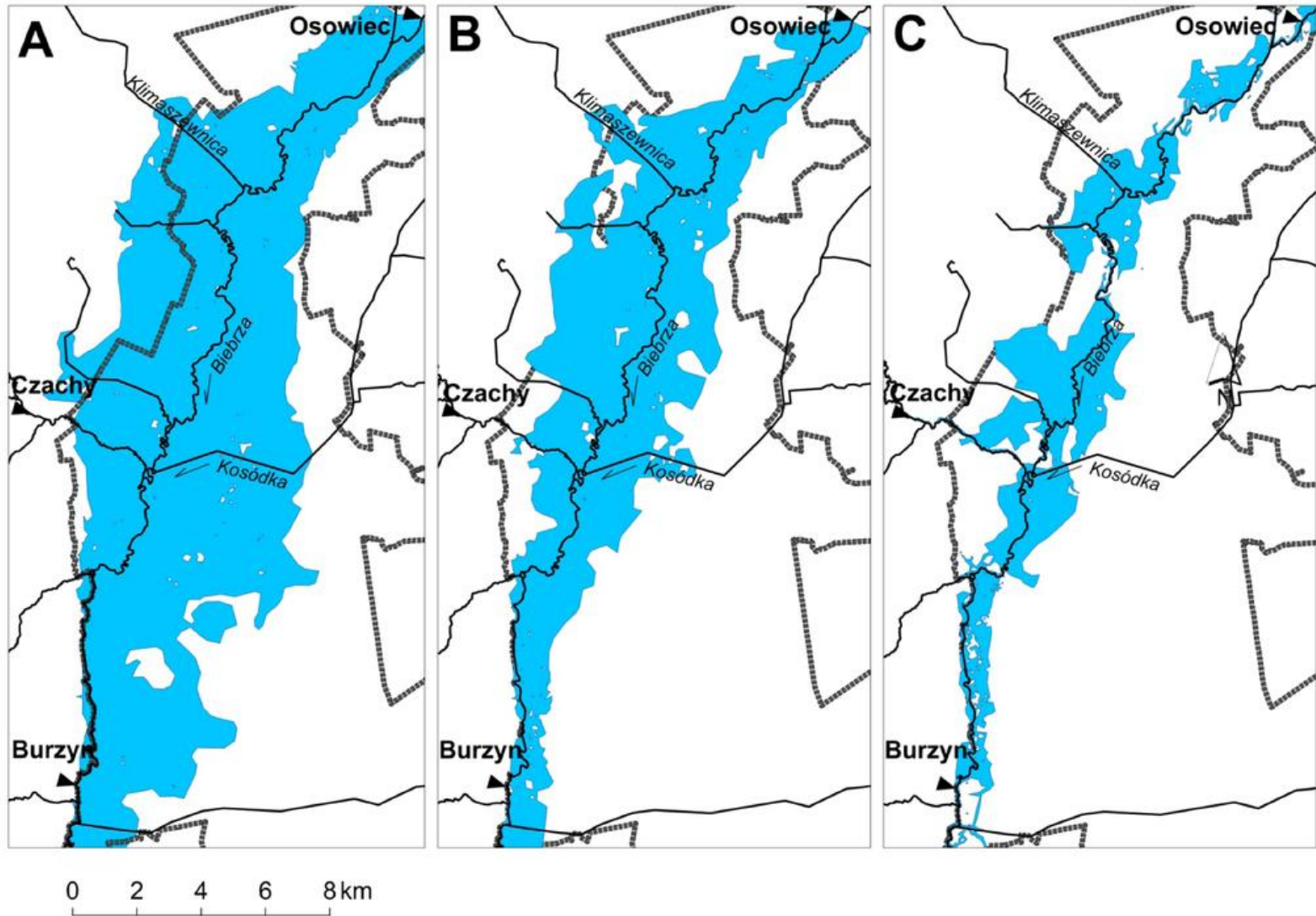
ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóuticos)

Flood pulse concept
(pulso de inundación)

Fargo, North Dakota, USA (2011)





Flood extent delineation in the Lower Biebrza Basin. Poland.

<http://www.mdpi.com/2073-4441/5/4/1760/htm>

ECOSISTEMAS FLUVIALES



En búsqueda de una síntesis...

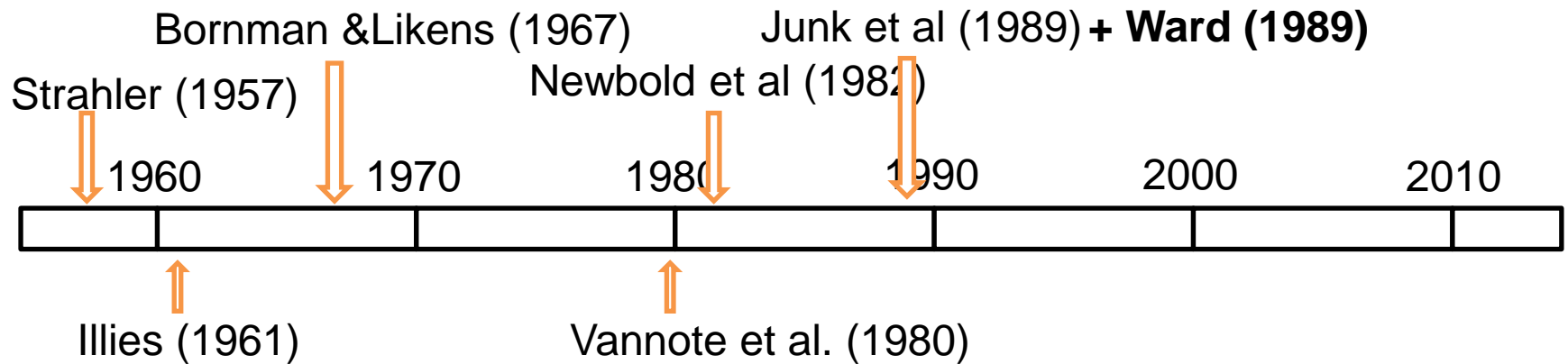
Sistemas lóuticos cuatridimensionales

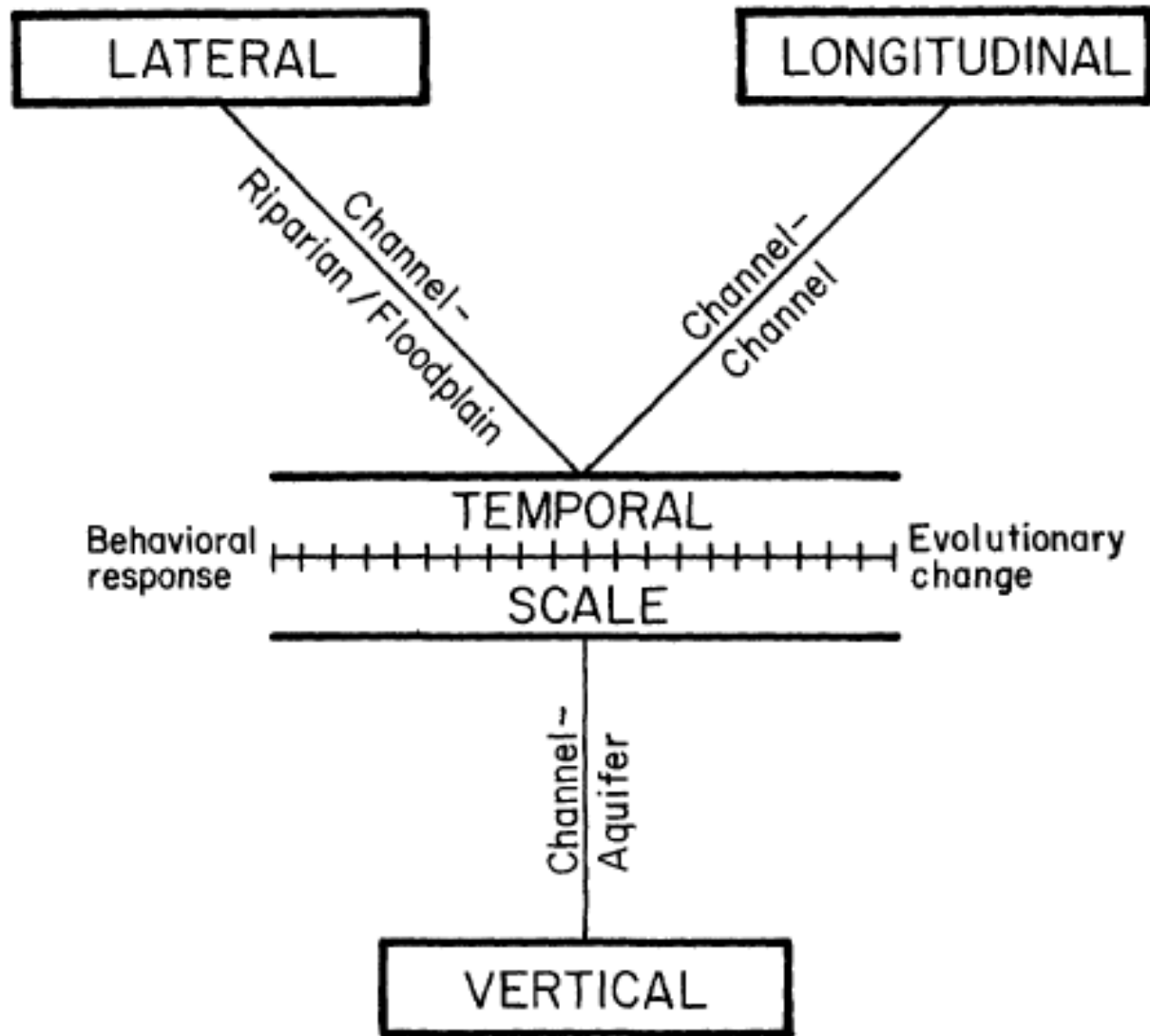
ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóticos)



4D





4D

FIG 1. A conceptualization of the four-dimensional nature of lotic ecosystems.

ECOSISTEMAS FLUVIALES



En búsqueda de una síntesis...

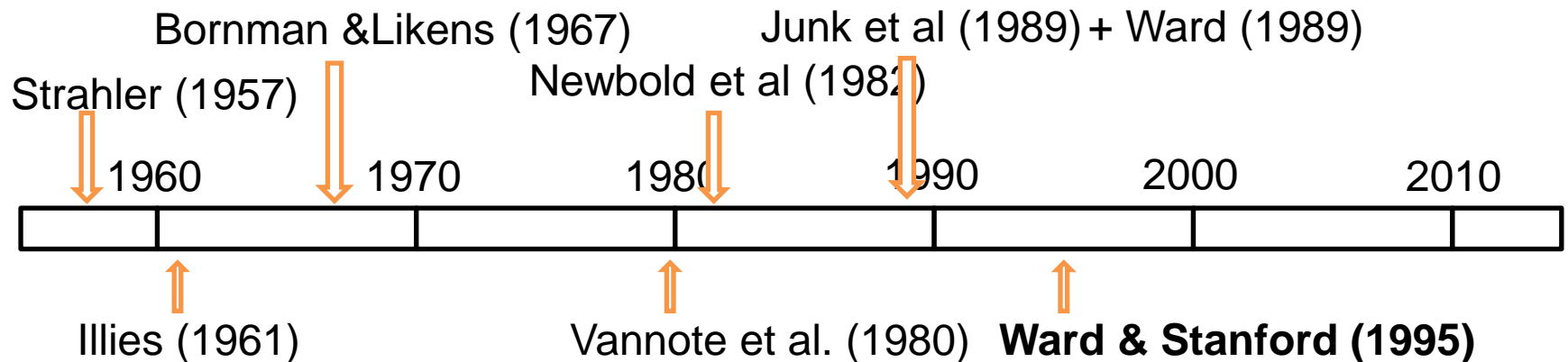
Conectividad ecológica...

ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóticos)



CONECTIVIDAD



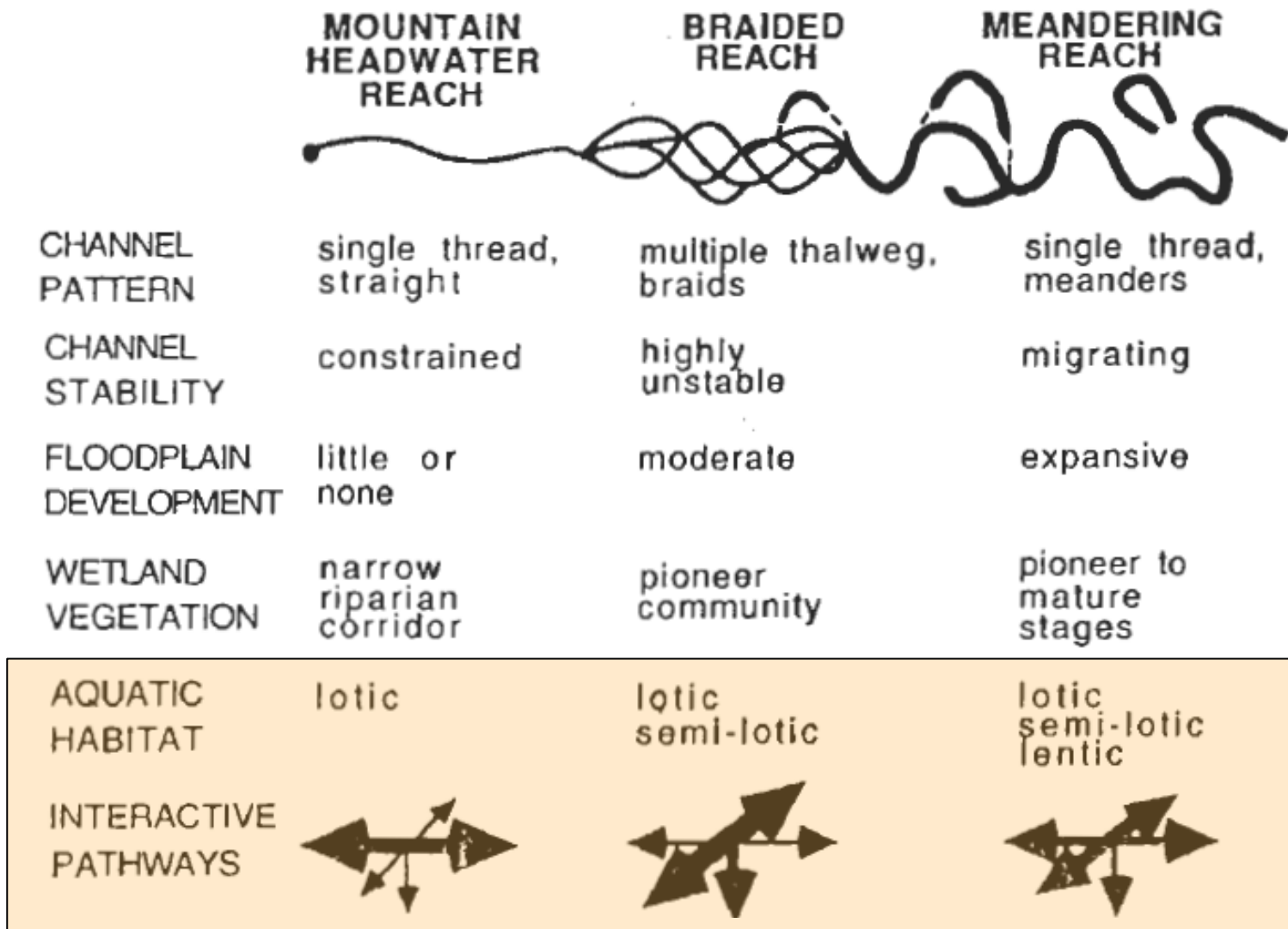


Figure 1. Three-reach model river system and some general features that distinguish reaches. Arrows indicate the relative strengths of interactions along longitudinal (horizontal arrows), vertical (vertical arrows) and lateral (oblique arrows) dimensions (see text for details)

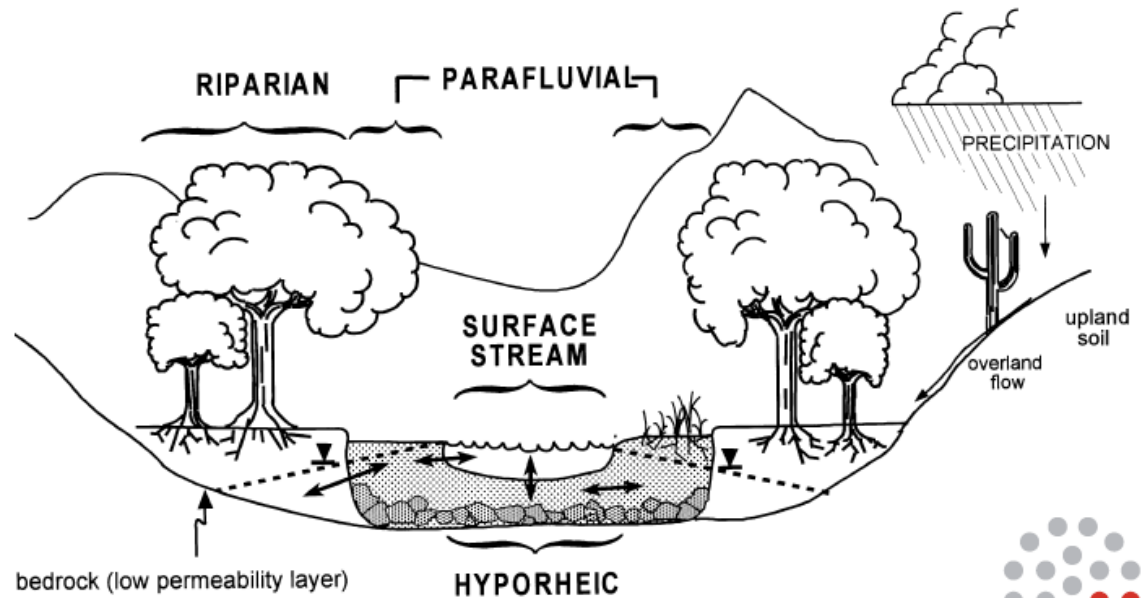
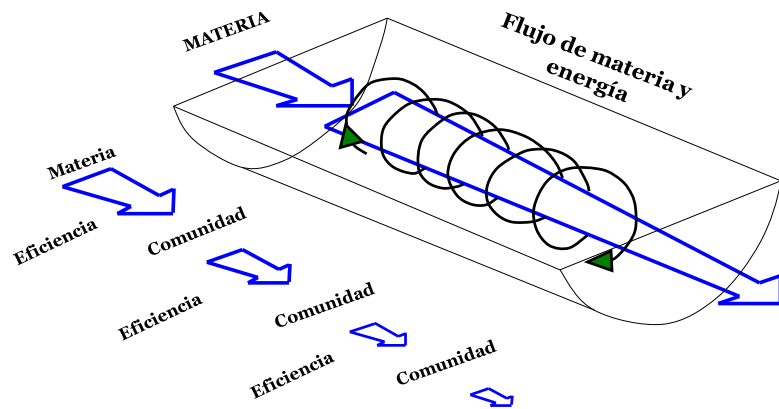
Ward, J. V., & Stanford, J. A. (1995). **Ecological connectivity** in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regul. Rivers: Res. & Mangmt.*, 11, 105-119.

SISTEMAS LÓTICOS



Telescoping Ecosystem Model (Material Spiraling in Stream Corridors)

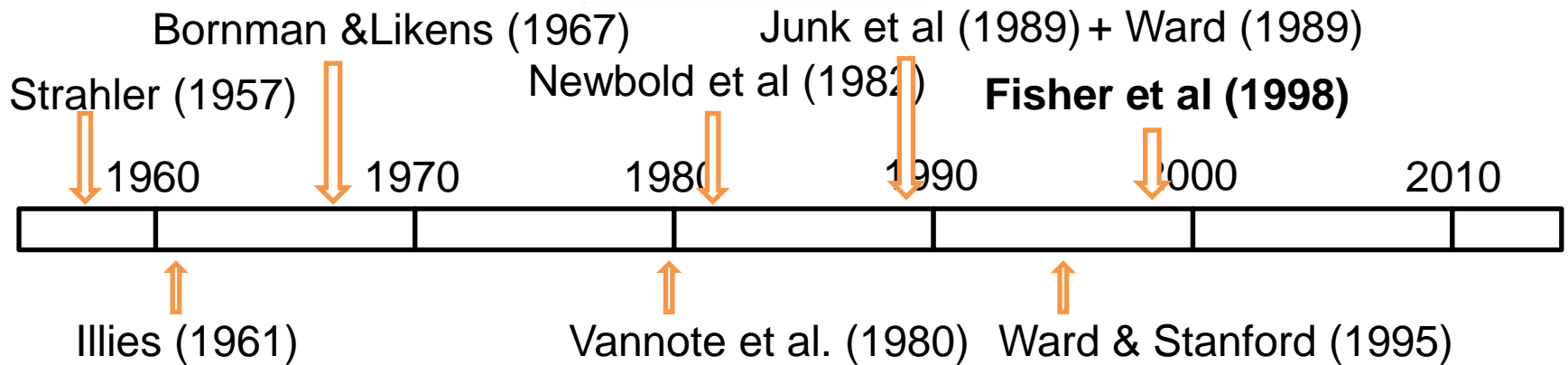
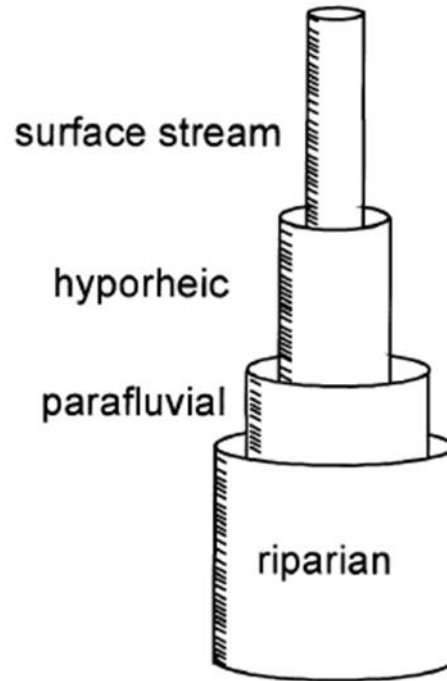
Telescoping Ecosystem Model



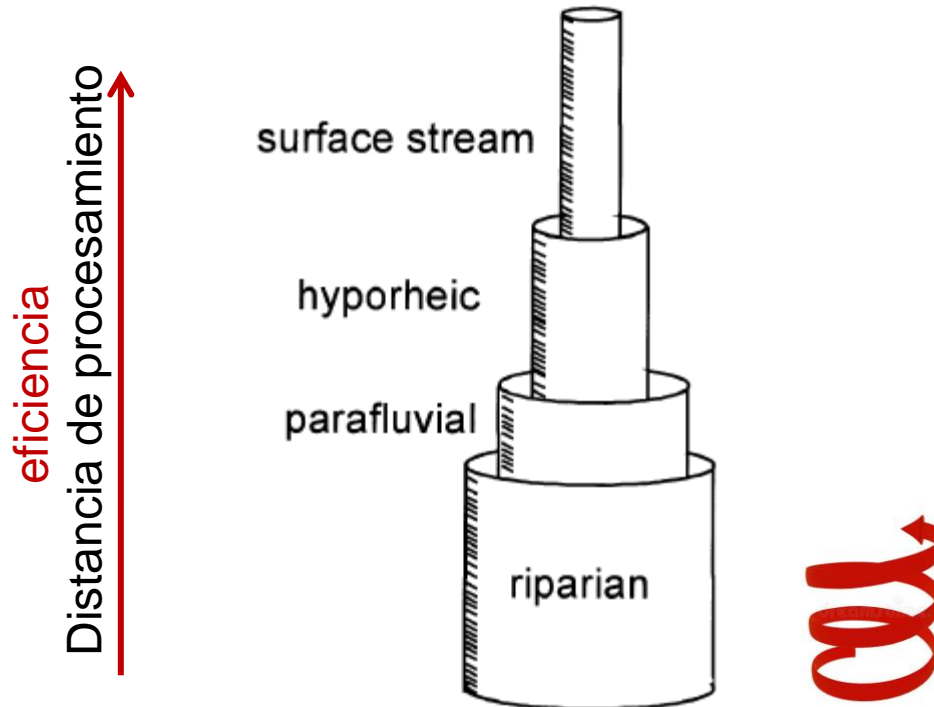
Fisher, S. G., N. B. Grimm, E. Martí, R. M. Holmes & J. J. B. Jones, 1998. Material Spiraling in Stream Corridors: A Telescoping Ecosystem Model. *Ecosystems* 1(1):19-34.

ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóuticos)



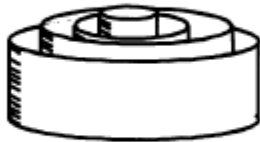
Telescoping Ecosystem Model



**Material Spiraling in Stream Corridors:
A Telescoping Ecosystem Model**

Telescoping Ecosystem Model

PROCESSING LENGTH

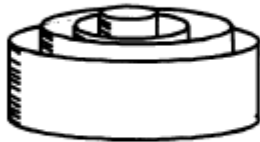


Pre-disturbance
(Late Succession)

**Material Spiraling in Stream Corridors:
A Telescoping Ecosystem Model**

Telescoping Ecosystem Model

PROCESSING LENGTH

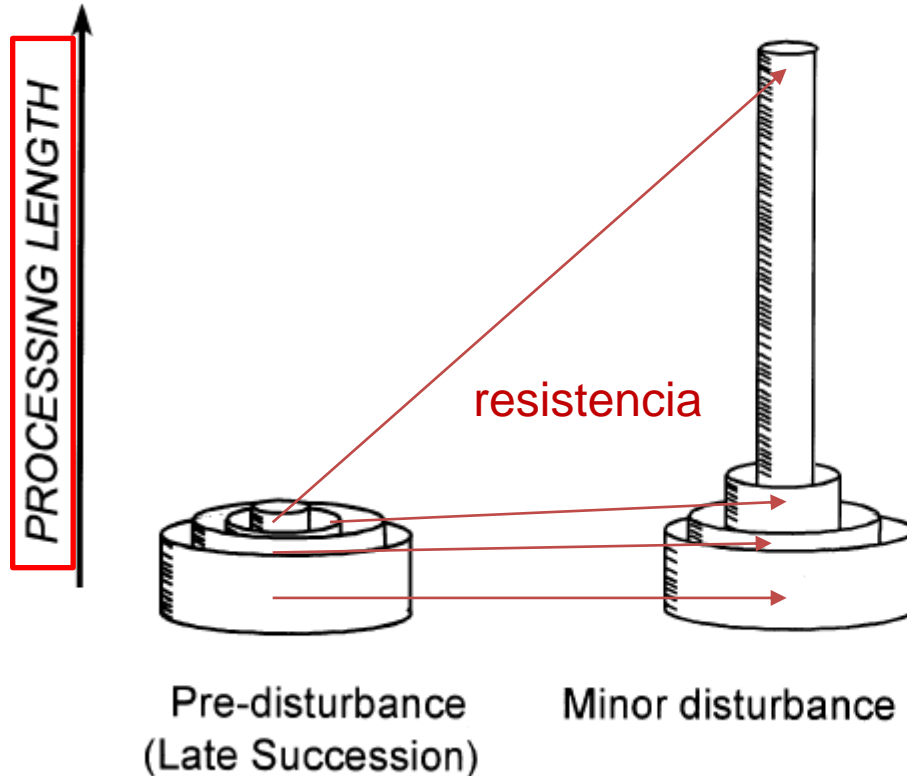


Pre-disturbance
(Late Succession)

Minor disturbance ?

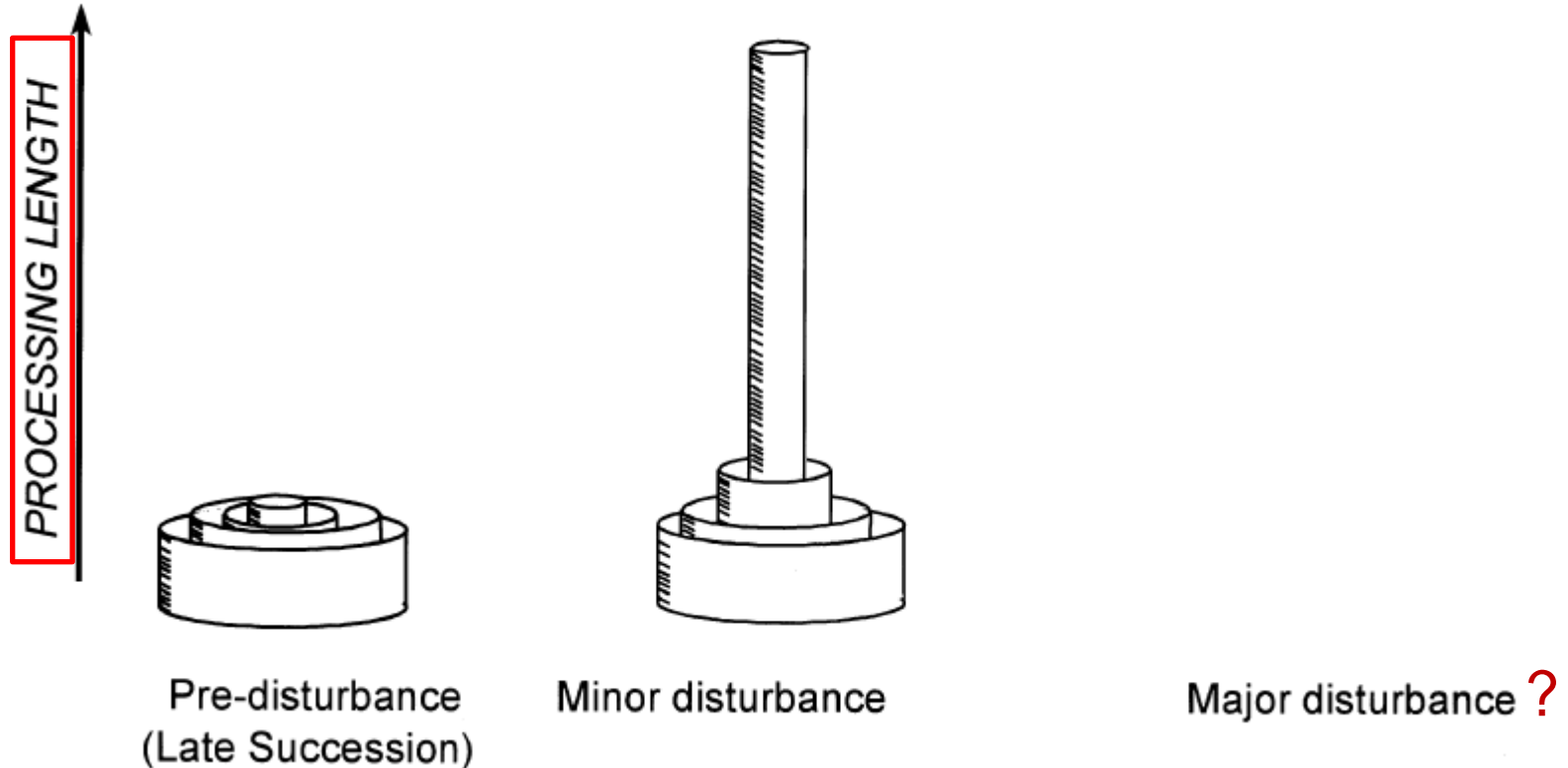
**Material Spiraling in Stream Corridors:
A Telescoping Ecosystem Model**

Telescoping Ecosystem Model



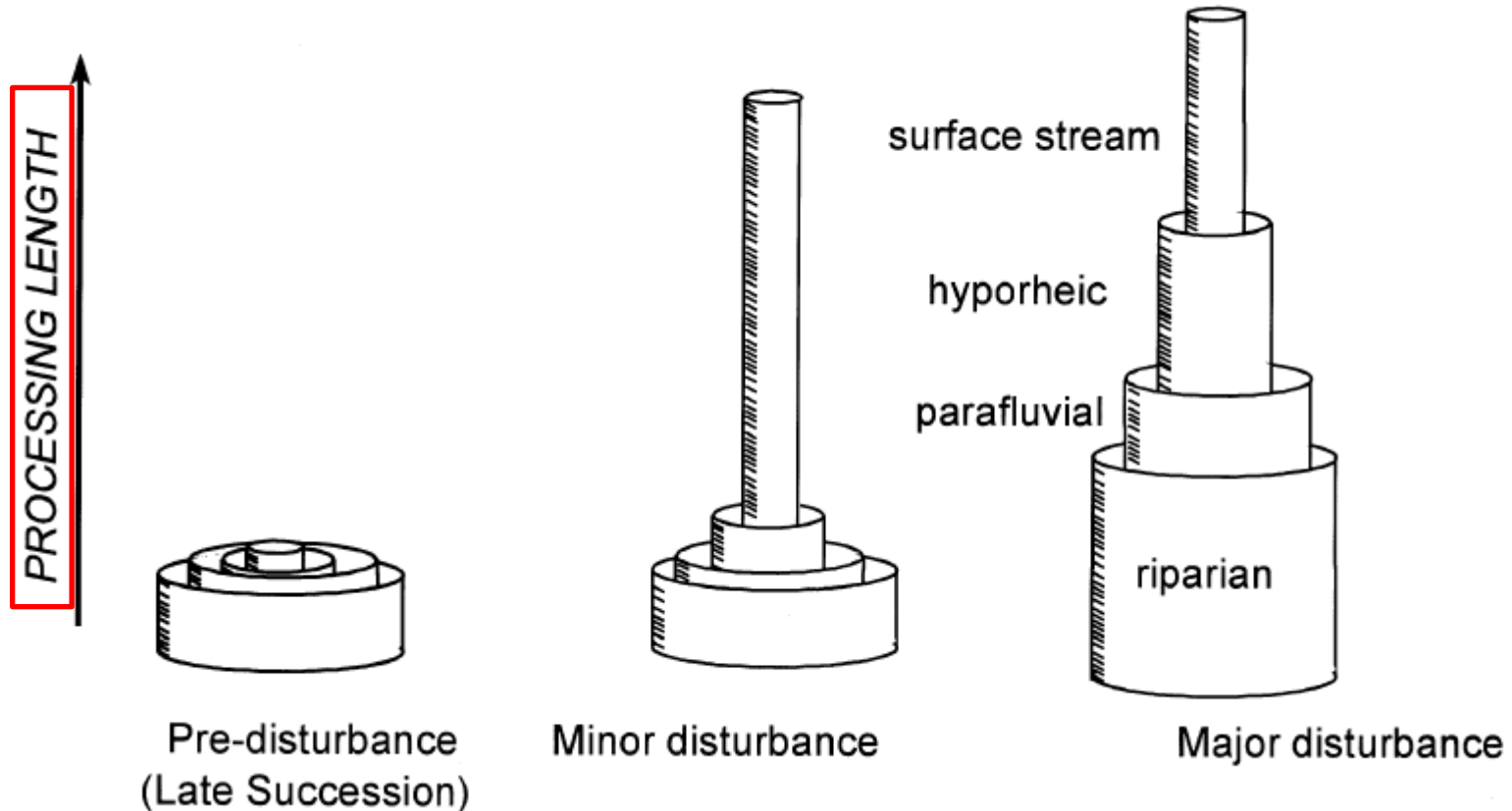
Material Spiraling in Stream Corridors: A Telescoping Ecosystem Model

Telescoping Ecosystem Model



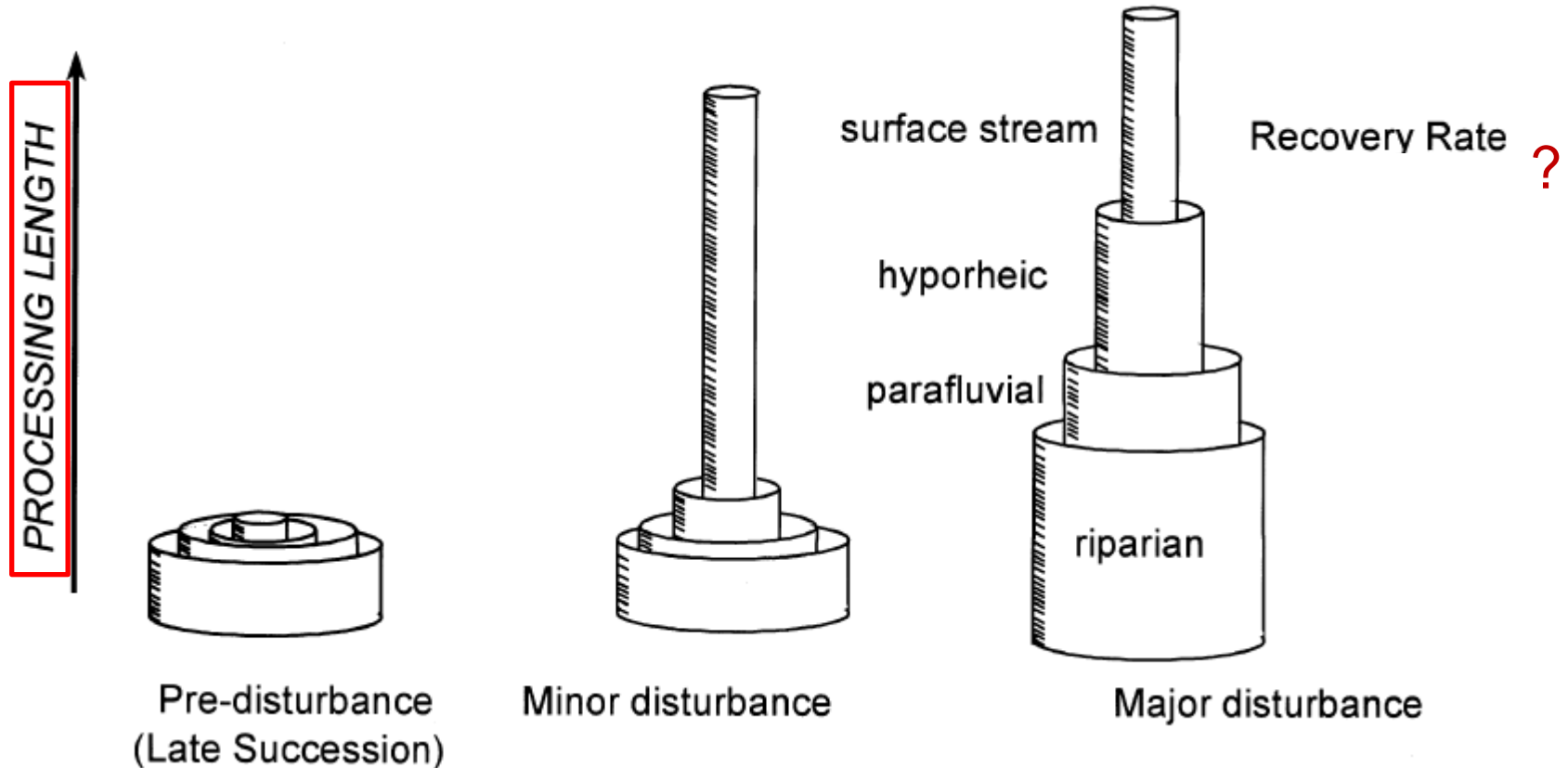
Material Spiraling in Stream Corridors: A Telescoping Ecosystem Model

Telescoping Ecosystem Model



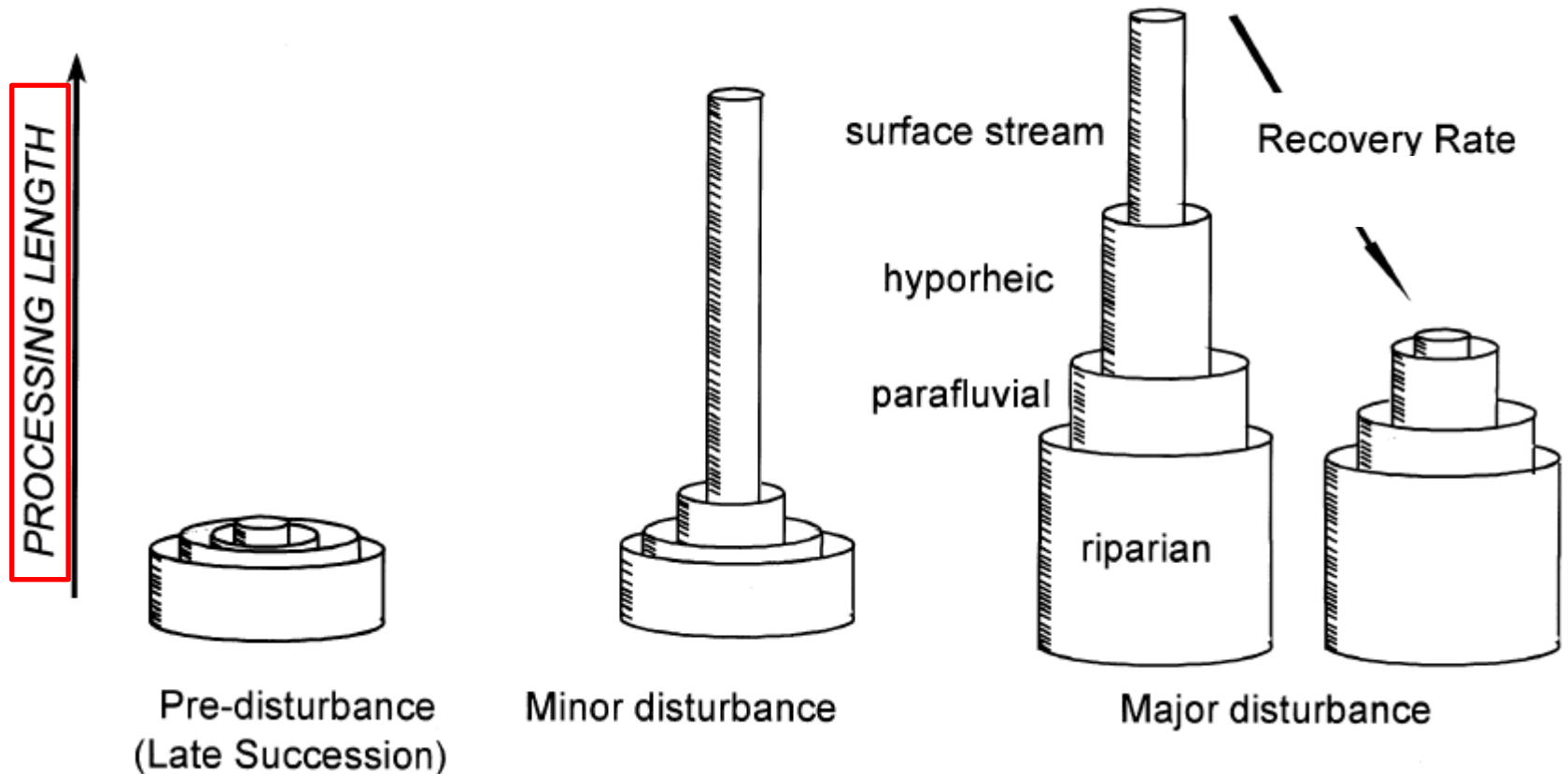
Material Spiraling in Stream Corridors: A Telescoping Ecosystem Model

Telescoping Ecosystem Model



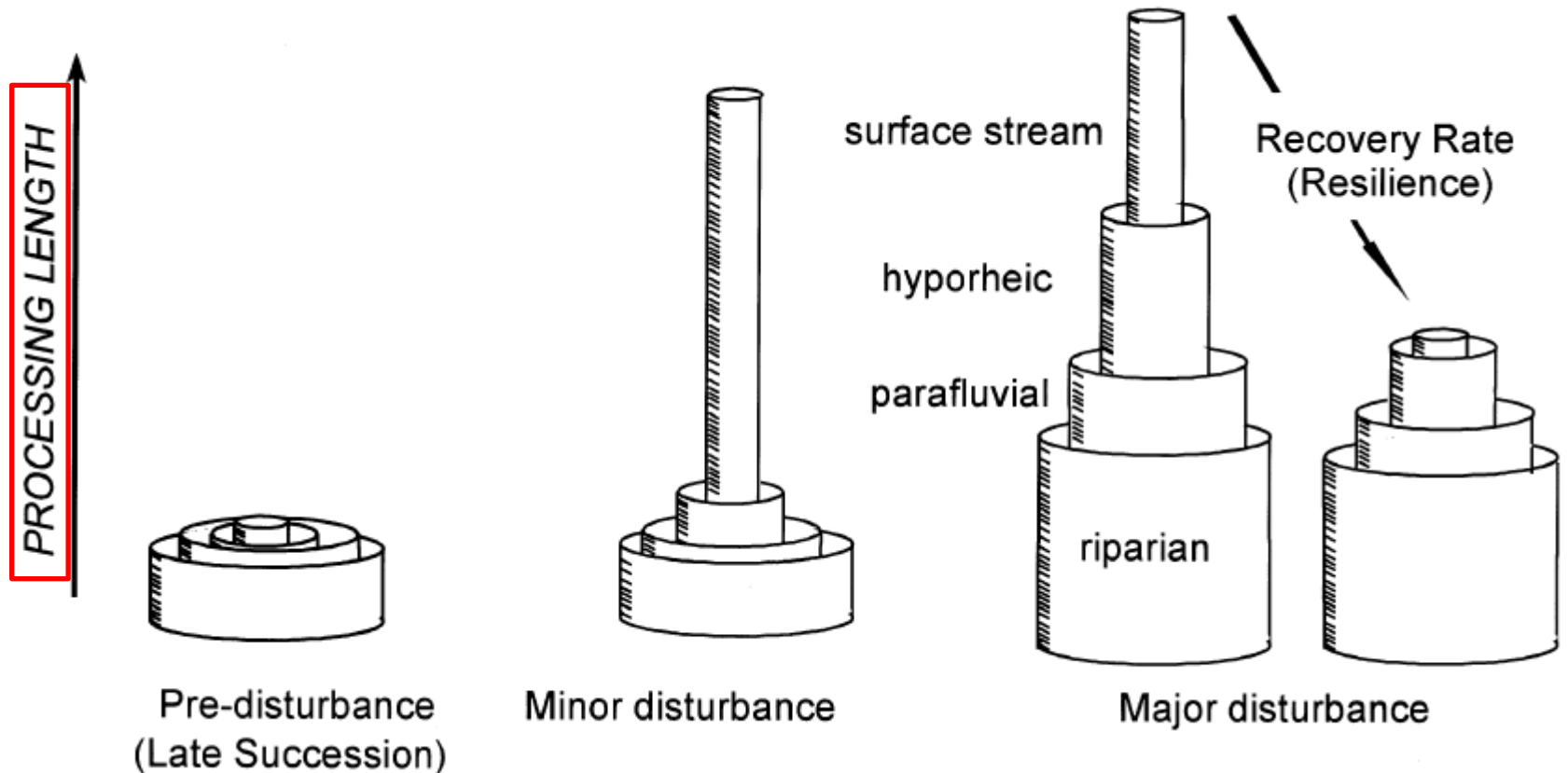
Material Spiraling in Stream Corridors: A Telescoping Ecosystem Model

Telescoping Ecosystem Model



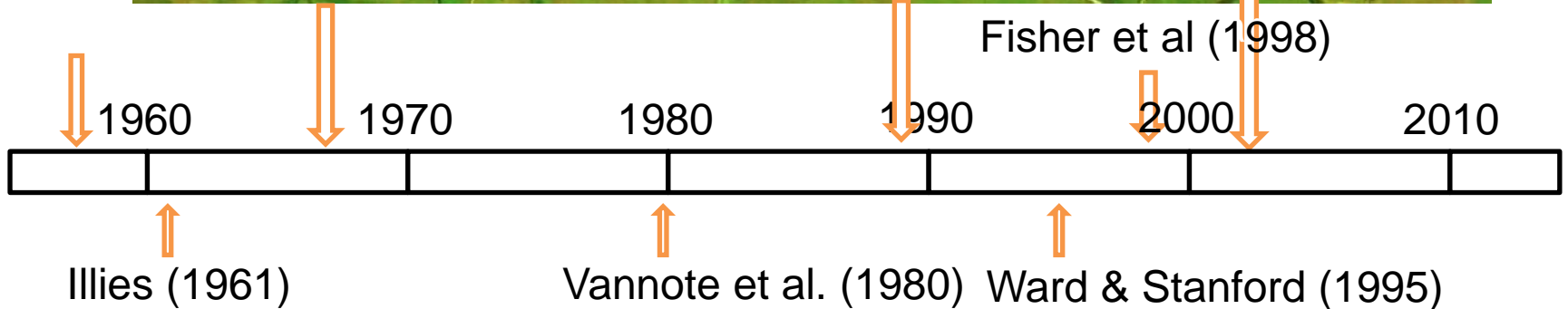
Material Spiraling in Stream Corridors: A Telescoping Ecosystem Model

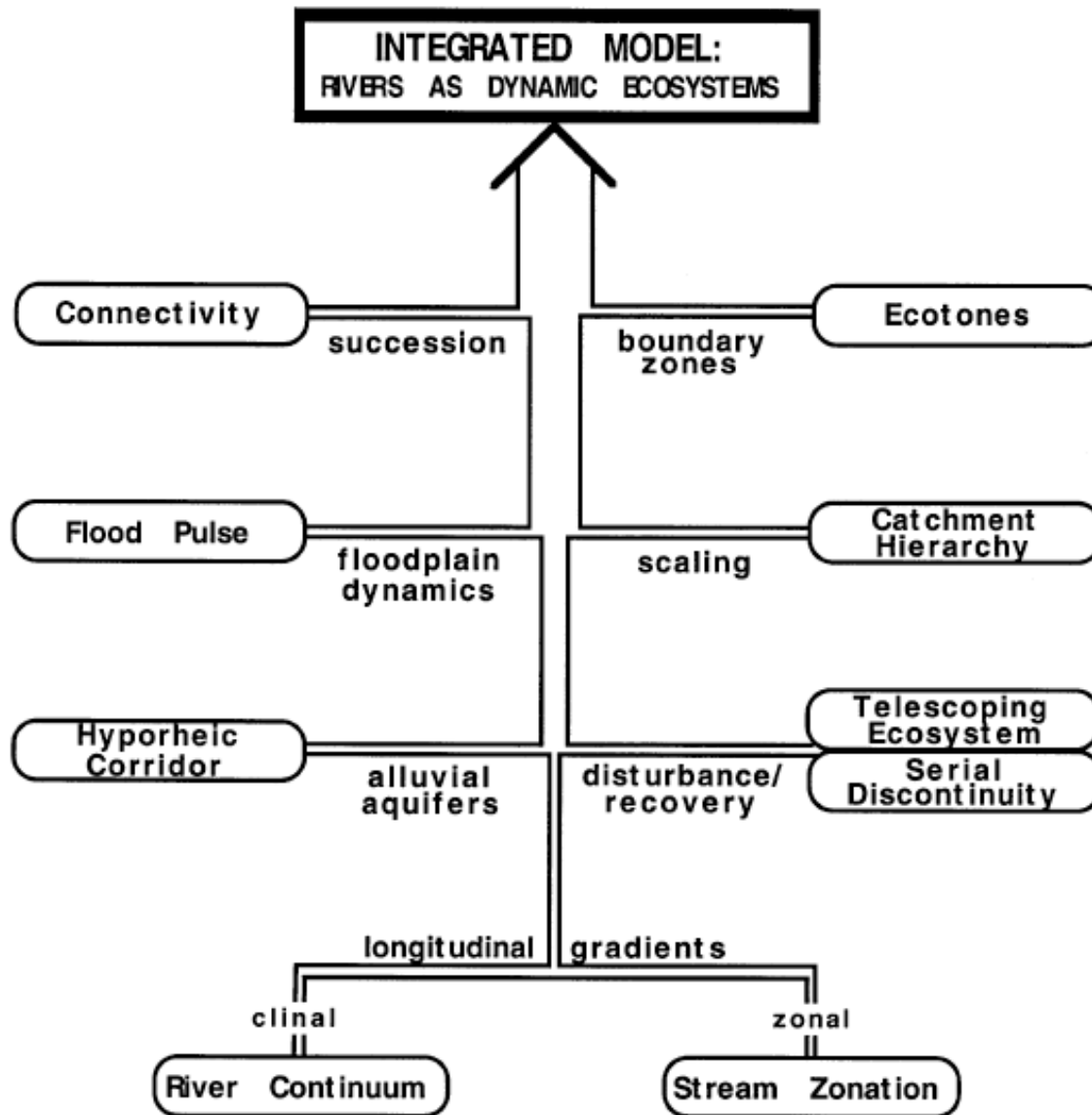
Telescoping Ecosystem Model



Material Spiraling in Stream Corridors: A Telescoping Ecosystem Model

ECOSISTEMAS FLUVIALES





Ward, J. V., Robinson, C. T., & Tockner, K. (2002). Applicability of ecological theory to riverine ecosystems. *Verh. Int. Ver. Limnol.*, 28, 443-450.

ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóticos)

En búsqueda de una síntesis

Network Dynamics Hypothesis
(Hipótesis de dinámica de red)

Ward et al (2002)

Benda et al (2004)

Bornman & Likens (1967)

Junk et al (1989) + Ward (1989)

Fisher et al (1996)

1960

1970

1980

1990

2000

2010

Illies (1961)

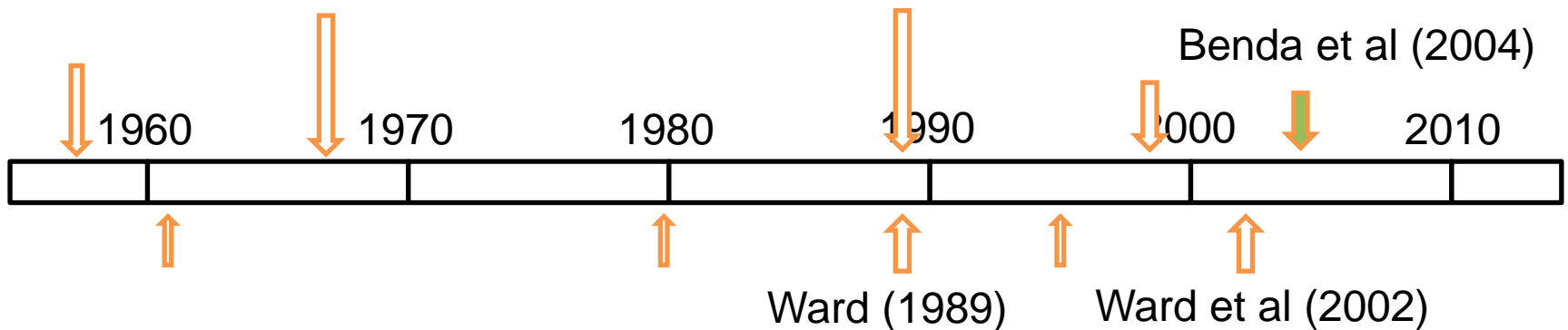
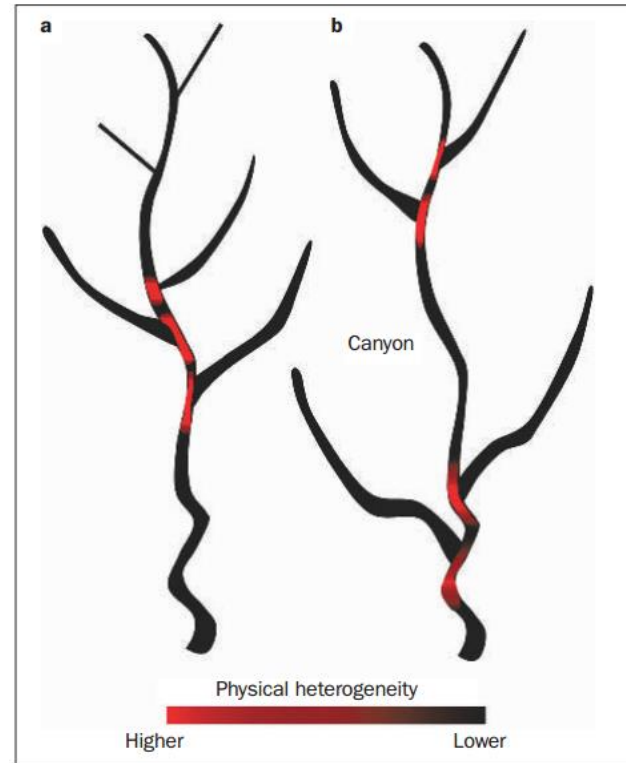
Vannote et al. (1980)

Ward & Stanford (1995)



Network Dynamics Hypothesis

Se cuestiona la
visión de cambios
graduales
longitudinales



ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóuticos)

En búsqueda de una síntesis

Riverine Ecosystem Synthesis

Ward et al (2002)

Benda et al (2004)

Bornman & Likens (1967)

Junk et al (1989) + Ward (1989)

Fisher et al (1996)

1960

1970

1980

1990

2000

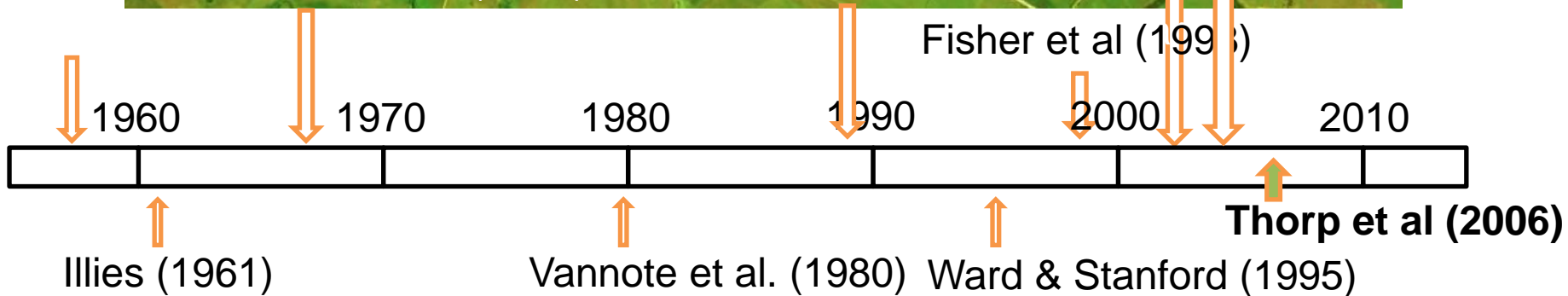
2010

Illies (1961)

Vannote et al. (1980)

Ward & Stanford (1995)

Thorp et al (2006)



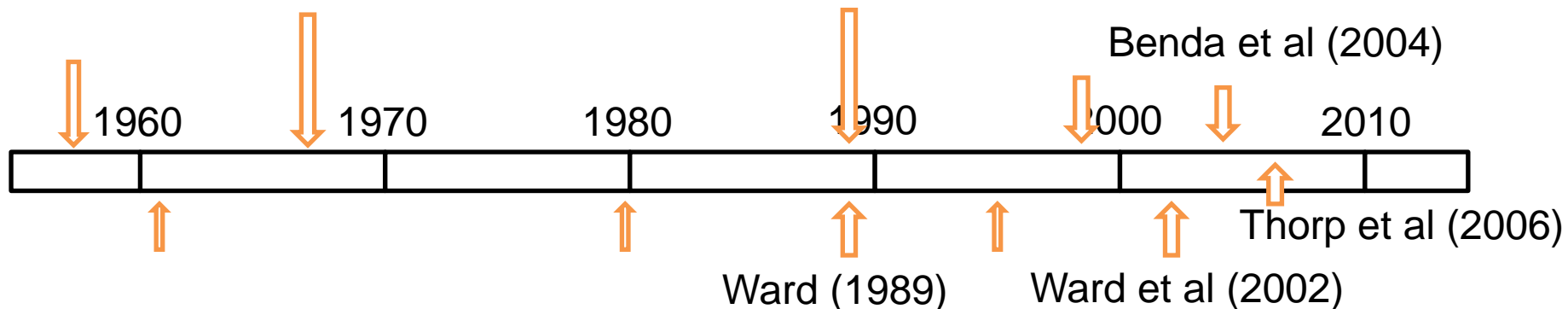
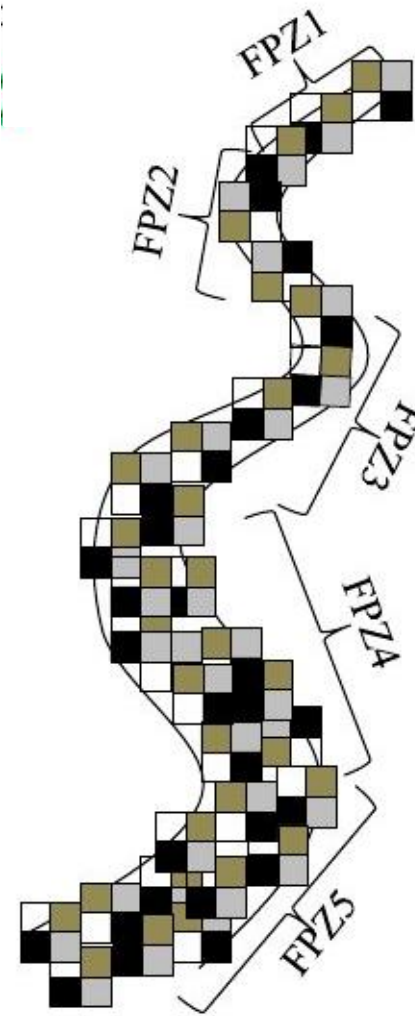
Riverine Ecosystem Synthesis

- 1) Zonas de procesos funcionales (FPZ)
parches hidrogeomórficos

morfología de la cuenca/ características del flujo (clima)

- 2) Dinámica jerárquica de parches

- 3) 14 Principios que permiten predecir patrones de distribución, procesos, regulación, vinculados a las FPZ



Riverine Ecosystem Synthesis

THE RIVERINE ECOSYSTEM SYNTHESIS

Se cuestiona la
visión de cambios
graduales
longitudinales

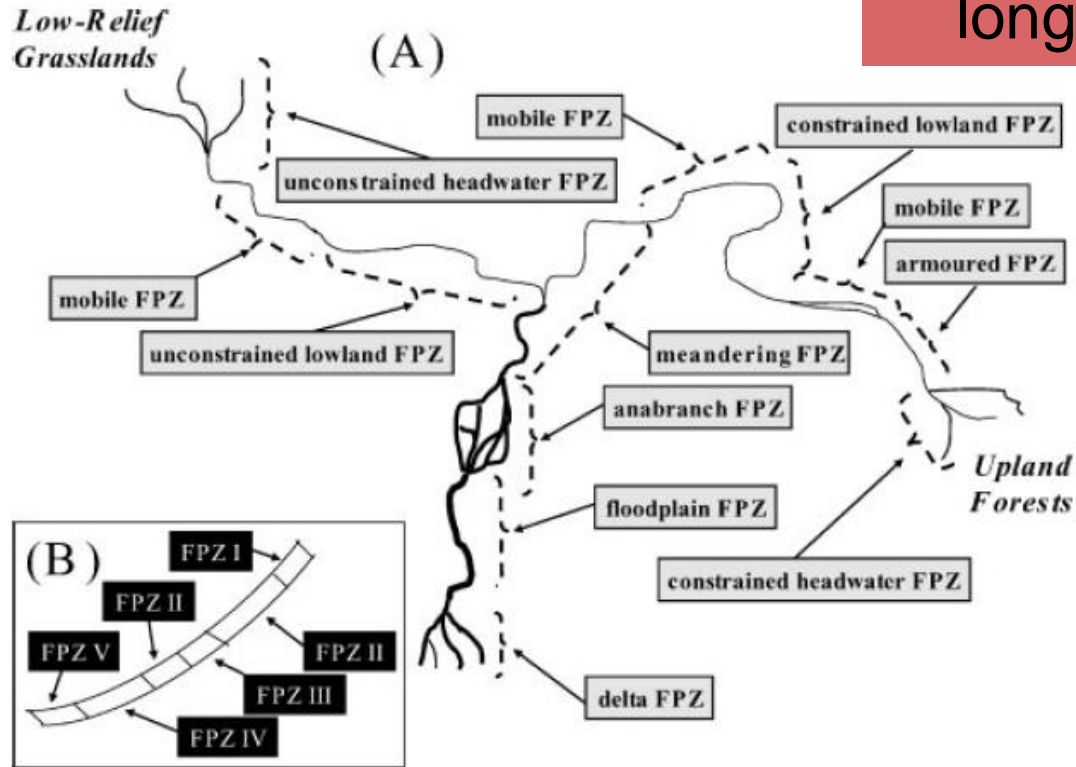


Figure 1. (A) Schematic view of a complex river catchment showing various ecological functional process zones (FPZs) present from headwaters (in forested and grassland ecoregions) to the river delta that are formed by large hydrogeomorphic patches; (B) the same type of FPZ (e.g. FPZ II) may be present in more than one part of a single tributary and be arranged in an order that is not always predictable; the downstream length of an FPZ will vary with and among types of FPZs

Zonas de procesos funcionales (FPZ)

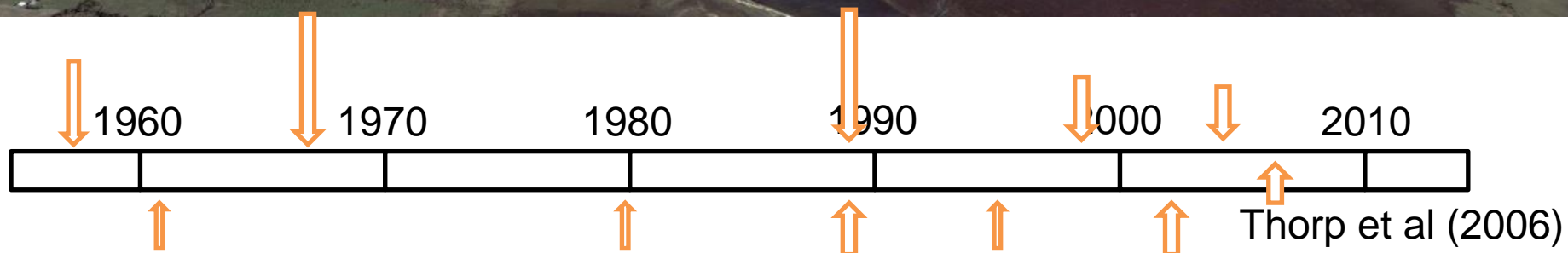


ECOSISTEMAS FLUVIALES

(sistemas lóticos)

10/14/2013

Los sistemas lóticos son inherentemente complejos y casi siempre frustran el deseo de los científicos, conservacionistas, gestores ambientales y gobierno de modelos simples (Thorp et al 2006)





Modelo empírico basado en datos

- Se clasifican los sistemas para los que se tiene información.
- Se generan modelos estadísticos que vinculan atributos (de la cuenca) determinantes de cada variable de calidad de agua.
- Se aplica ese conocimiento a sistemas sobre los que no se tiene información de calidad de agua (pero si de los atributos que la determinan)

Responsable técnico-científico:

Dr. Néstor Mazzeo Beyhaut

Investigadores:

Dr. Ismael Díaz Isasa (Fcién)

Mag. Ana Lía Ciganda Garrido (CURE)

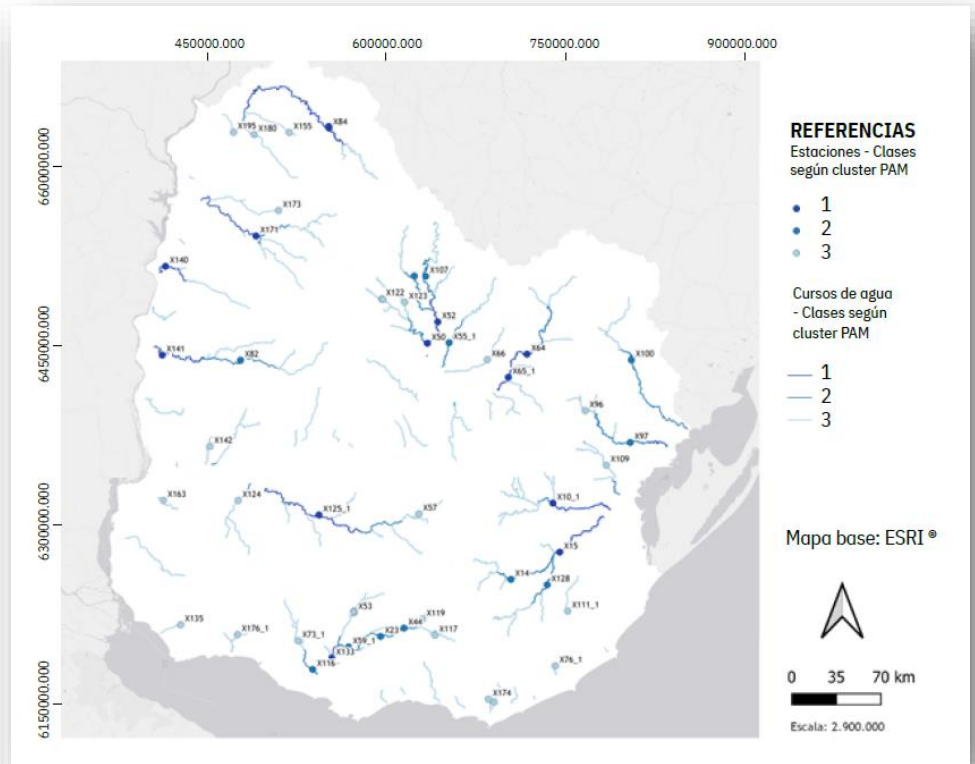
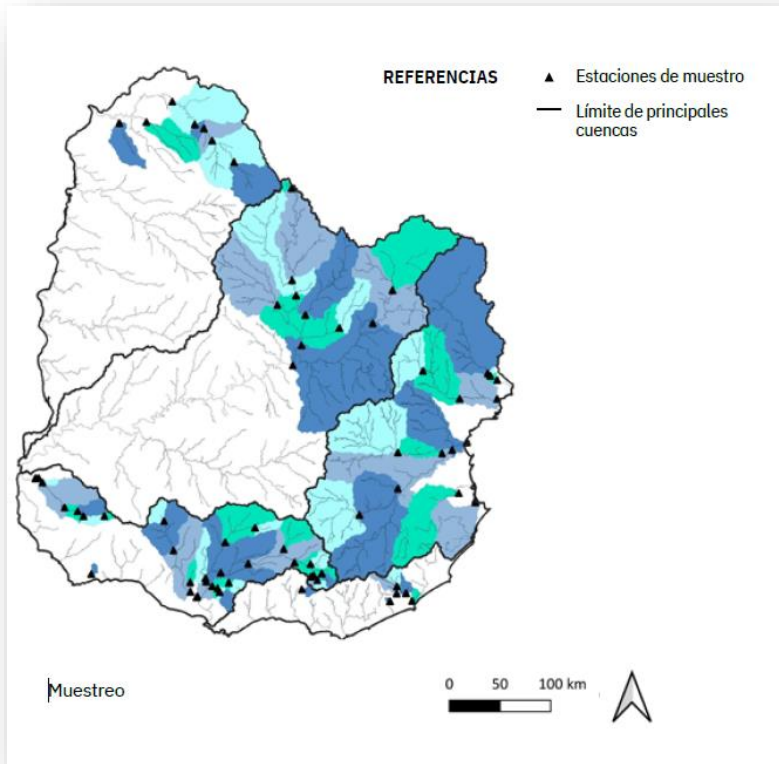
Lic. Camila Fernández Nion (Fcién)

Dra. Carolina Crisci Karlen (CURE)

Francisco Peñas Silva, PhD (IH Cantabria)

Jose Barquín Ortíz, PhD (IH Cantabria)

Alexia Gonzalez Ferreras, PhD (IH Cantabria)



- Se clasifican los sistemas para los que se tiene información.

> T_R3_1:

Resultado de los modelos RF, GAM y MLR para variables de calidad del agua.

	Modelo								
	Random Forest			GAM			MLR		
Variable	Prom Rsq	corr	RMSE	Rsq	corr	RMSE	PseudoRsq	cor	RMSE
Cond_MedianaInv	0,84	0,94	29,22	0,87	0,90	35,83			
Cond_MedianaVer	0,79	0,93	50,22	0,89	0,94	47,33			
N_MedianaInv	0,61	0,88	0,30	0,67	0,73	0,28			
N_MedianaVer	0,52	0,88	0,20	0,68	0,77	0,26	0,84	0,66	0,31
P_MedianaInv	0,80	0,96	45,99	0,89	0,92	59,03			
P_MedianaVer	0,72	0,89	92,06	0,83	0,88	96,06			
T_MedianaInv	0,70	0,88	0,47	0,86	0,93	0,34			
T_MedianaVer	0,49	0,93	0,55	0,70	0,78	0,74			

	Jacknife								
	Adj,r2	RMSE	RMSD	Adj,r2	RMSE	RMSD	Adj,r2	RMSE	RMSD
Cond_MedianaInv	0,82	47,61	45,91	0,68	64,30	62,58	0,74	57,55	56,02
Cond_MedianaVer	0,77	89,12	86,74	0,71	101,94	97,37	0,66	108,83	103,94
N_MedianaInv	0,58	0,53	0,51	0,03	0,81	0,78	0,20	0,73	0,70
N_MedianaVer	0,48	0,39	0,38	0,47	0,39	0,38	0,54	0,37	0,35
P_MedianaInv	0,82	87,26	86,50	0,81	88,45	86,91			
P_MedianaVer	0,72	147,24	145,92	0,73	145,09	139,81			
T_MedianaInv	0,67	0,74	0,72	0,20	1,14	1,11	0,47	0,93	0,91
T_MedianaVer	0,46	1,16	1,12	0,49	1,13	1,10	0,12	1,48	1,44

> T_R3_2:

Resultado de modelos RF, mostrando el orden de importancia de variables predictoras. Verde contribución positiva, amarillo negativa.

Modelo	Prom Rsq	Predictoras (Orden según índice IncNodePurity)					
Cond_MedianaInv	0,84	MN_agri	MN_psup	MNANPRC_M	MN_GRAD	MN_tmyr	
Cond_MedianaVer	0,79	MN_ppro	MNANPRC_M	MN_psup	MN_tmyr		
N_MedianaInv	0,61	MN_agri	MN_herb	CONF_DEN	MN_apdn	BC_arna	
N_MedianaVer	0,52	MN_herb	BC_herbBC_arna	MN_apdn	BC_arna	MN_edif	
P_MedianaInv	0,82	MN_agri	BC_herb	MN_GRAD	MNANPRC_M	MN_edif	Dist_P_Seg
P_MedianaVer	0,72	MN_elev	MNANPRC_M				
T_MedianaInv	0,68	MEANAN-NCMS	MN_tmyr	BC_areu			
T_MedianaVer	0,50	MN_etyr	CHAN_DEN	AREA_SQKM	AZIMTH_DEG	MN_herb	
		Relación:	Positiva	Negativa	Positiva y negativa		

> T_R3_3:

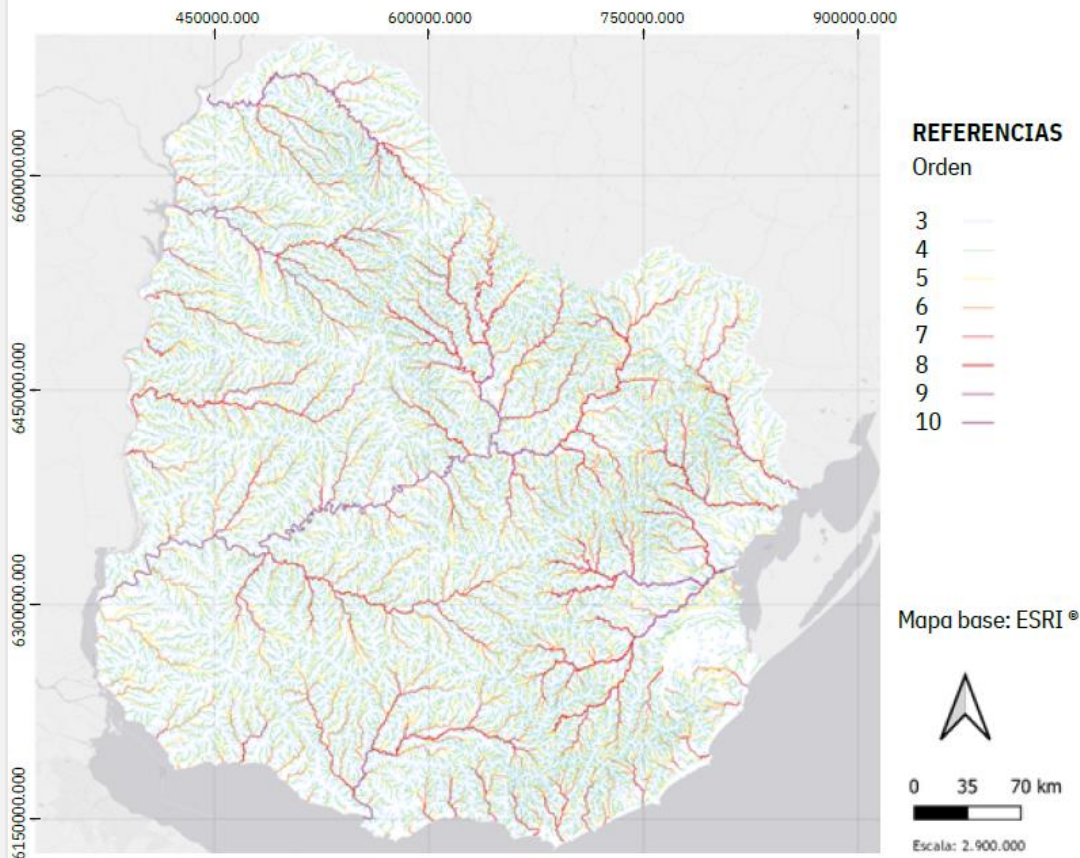
Resultado de modelos GAM, mostrando la combinación de variables predictoras.

GAM	Rsq	Variables predictoras
Cond_MedianaVer	0,891	s(MN_ppro)+s(MN_agri)+s(MN_tmyr)+s(SRC_DIST)+MN_elev+s(MNANPRC_M)
Cond_MedianaInv	0,868	s(MN_agri)+s(MNANPRC_M)+s(MN_elev)+SRC_DIST
N_MedianaVer	0,668	MN_agri+s(MN_apdn)+MN_edif+MAX_GRAD_D+s(BC_herb)
N_MedianaInv	0,682	s(MN_agri)+s(CONF_DEN)+MN_edif+MN_arbu+s(MN_apdn)
P_MedianaVer	0,833	MNANPRC_M+s(MN_agri)+s(MN_elev)+COUNT_F+s(COUNT_V)
P_MedianaInv	0,896	s(MN_agri)+s(MNANPRC_M)+Presion_c
T_MedianaVer	0,7	s(AZIMTH_DEG)+s(CHAN_DEN)+s(MN_herb)+s(BC_areu)
T_MedianaInv	0,86	s(BC_areu) + s(MNANPRC_M) + s(SRC_DIST) + s(MN_herb)

- Se generan modelos estadísticos que vinculan atributos (de la cuenca) determinantes de cada variable de calidad de agua.

> F_R1_1:

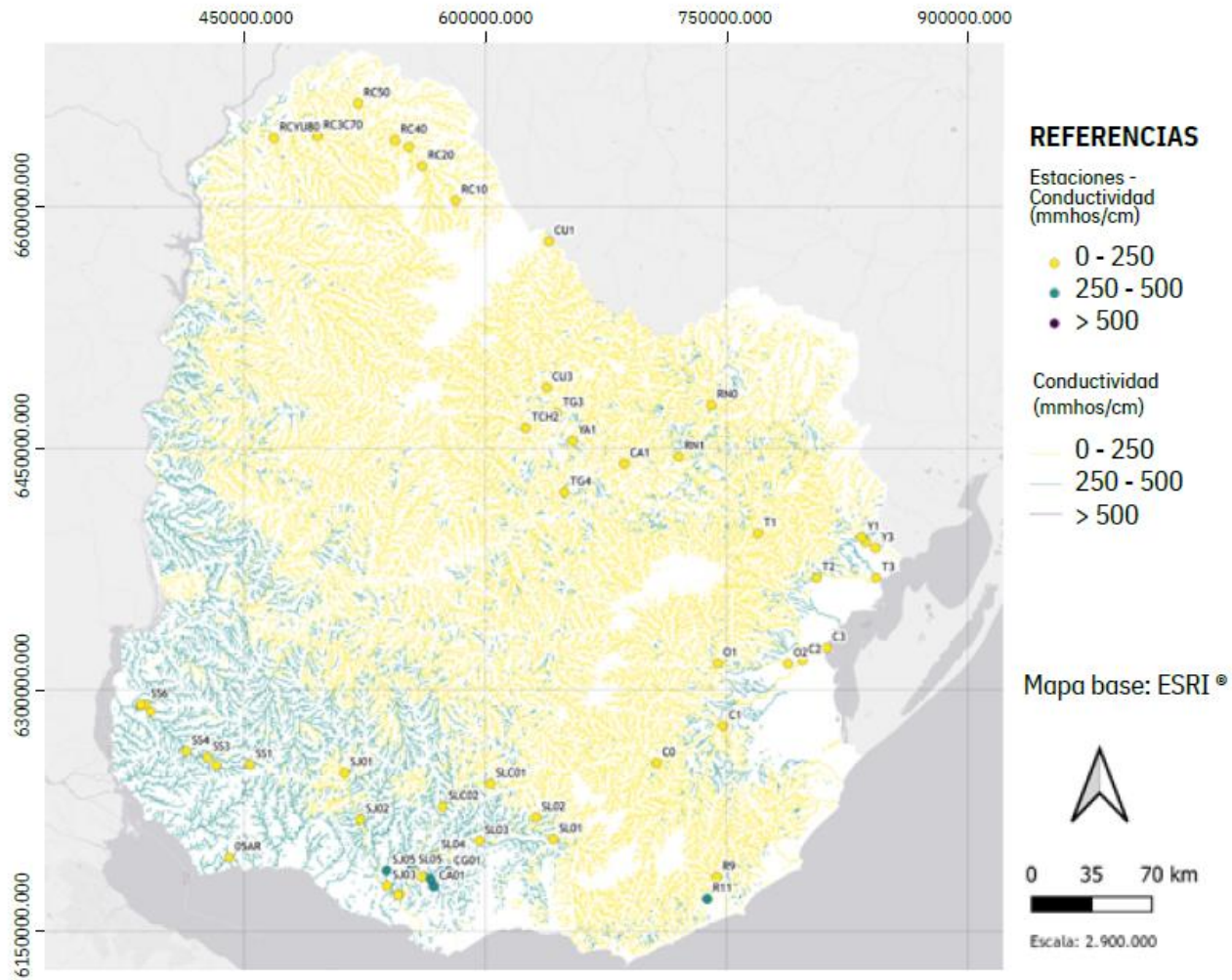
Red fluvial sintética (de orden 3 en adelante). Mapa de la red fluvial sintética generada. Por razones de visualización se muestran sólo los cursos de orden 3 en adelante. Fuente: elaboración propia a partir de las capas generadas por el software Netmap ([C_R1_3](#)).



- Se aplica ese conocimiento a sistemas sobre los que no se tiene información de calidad de agua (pero si de los atributos que la determinan)

> F_R3_11:

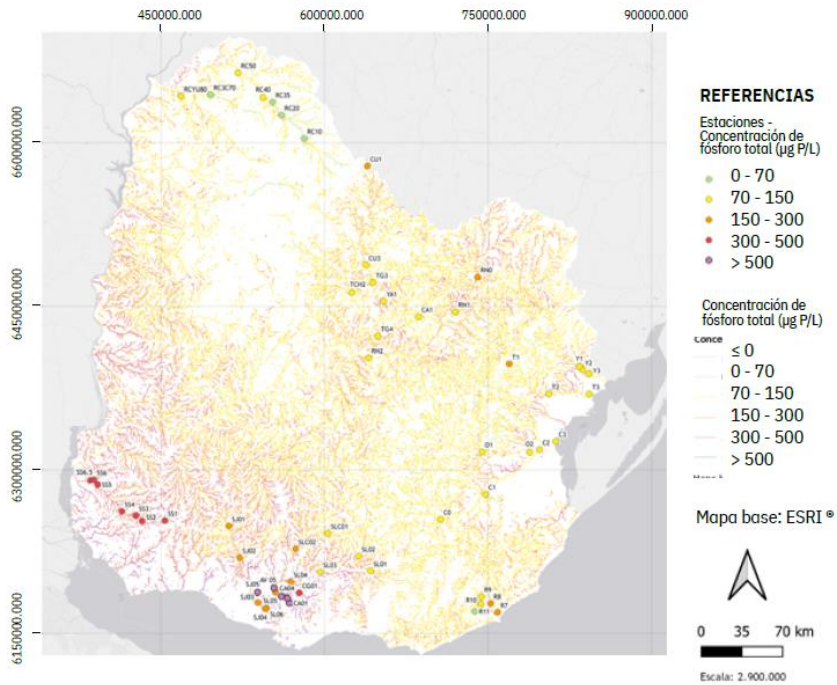
Mapa de predicciones de mediana de la conductividad de invierno realizadas a través del modelo GLM para los tramos en el dominio de interpolación.



En el caso de los nutrientes en agua, es posible predecir las concentraciones de P total de forma muy satisfactoria y satisfactoria en el caso del N total, a partir de un conjunto reducido de atributos de la cuenca que comprenden combinaciones de factores estructurales de la cuenca (topografía, tamaño, precipitaciones), tipos y usos del suelo (campo natural, agricultura, entre otros) y presiones puntuales (vertidos). Es interesante destacar que la importancia de los factores tiene diferencias importantes entre los dos períodos del año considerados, patrón esperado para el caso de Uruguay de acuerdo con las importantes diferencias en el régimen de caudales entre invierno y verano, así como por los ciclos productivos asociados. Los atributos de la cuenca que explican una parte muy considerable de la heterogeneidad espacial de los niveles de nutrientes en la escala nacional presentan relaciones causales conocidas. Sin embargo, en las variables predictoras pueden existir múltiples mecanismos operando de forma simultánea, tanto de forma directa como indirecta. A modo de ejemplo, las cuencas con suelos profundos presentan mayores niveles de nitrógeno y fósforo en los cursos de agua de forma natural por los intercambios entre los sistemas terrestres y acuáticos asociados a la escorrentía superficial y subterránea. Simultáneamente, sobre estos suelos se desarrolla la agricultura de secano que contribuye a los niveles de nutrientes mediante la fertilización. En este caso, estos dos factores (tipo y uso del suelo) actúan de forma aditiva.

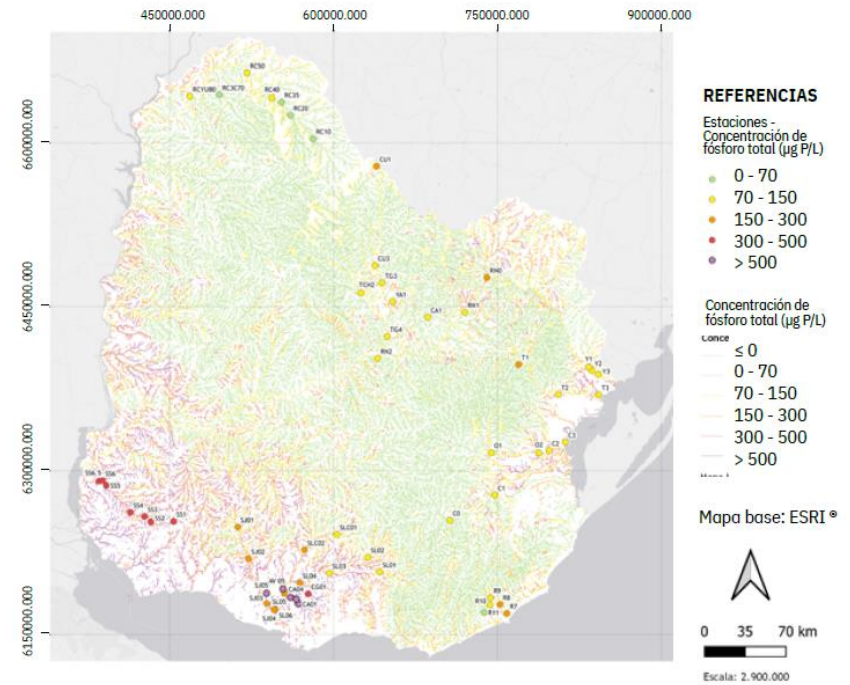
> F_R3_21:

Mapa de predicciones de mediana de la concentración de P de invierno realizadas a través del modelo RF para los tramos en el dominio de interpolación.



> F_R3_22:

Mapa de predicciones de mediana de la concentración de P de invierno realizadas a través del modelo GAM para los tramos en el dominio de interpolación.



Bibliografía recomendada

Allan, J. D. & M. M. Castillo, 2007. Stream Ecology: structure and function of running waters. Springer.

Elosegui, A. & S. Sabater (eds), 2009. Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA.

Hauer, F.R., Lamberti, G.A. (Eds.), 2007. Methods in stream ecology. Academic Press/Elsevier.

Lampert, W. & U. Sommers, 2007. Limnoecology, the ecology of lakes and streams. Oxford University Press, New York.

Sand-Jensen, K., N. Friberg & J. Murphy (eds), 2006. Running Waters. Historical development and restoration of lowland Danish streams. National Environmental Research Institute, Denmark.

Wetzel's Limnology (2024) edited by I. D. Jones and J. P. Smol. Academic Press. (Fourth Edition)
DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822701-5.12001-4>



LIMNOLOGÍA 2023

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