

Fluvial

Grupo 3: Amalia Alcolea , Sofia Arambillete, Irene Balado, Santiago Irurueta, Mibeldy Marcelo, Esteban Russi

Dinámica fluvial y atributos funcionales

La regulación hidrológica mediante represas, diques y desvíos ha modificado profundamente la dinámica natural de los ríos aluviales, generando impactos ecológicos y geomorfológicos críticos como la pérdida de hábitats, la disminución de biodiversidad, la homogeneización morfológica y la disociación con la llanura de inundación (Trush et al., 2000). Frente a este deterioro, la restauración fluvial contemporánea propone recuperar atributos funcionales, definidos como rasgos observables, que reflejan procesos naturales esenciales, tales como la formación de barras alternantes (acumulación de sedimentos que promueven la migración del cauce), la formación de meandros y secuencias de *pools* (pozos profundos y de flujo lento, que actúan como refugios para la biota y aportan heterogeneidad al curso), la movilización periódica del lecho, la capacidad de avulsión (habilidad natural de un río para cambiar súbitamente su curso principal), las inundaciones estacionales y las grandes crecidas (Trush et al., 2000; Curbelo, 2022).

El enfoque funcional considera los ríos como sistemas pulsátiles, donde la interacción entre impulsos hidrológicos (caudal, duración, frecuencia) y respuestas ecosistémicas (morfología, biota) es esencial para la resiliencia. Sin embargo, las infraestructuras actuales tienden a aplanar la variabilidad hidrológica, inhibiendo estos procesos. Por eso, la gestión adaptativa del caudal, mediante flujos ambientales o liberaciones controladas, se consolida como estrategia para simular pulsos naturales, desencadenar respuestas geomórficas y sostener funciones ecológicas críticas (Shafroth et al., 2010). Casos recientes en Uruguay, como los trabajos de Curbelo (2022) sobre el Arroyo Solís Grande y de Duque et al. (2024) en la cuenca del Río Negro, demuestran cómo las alteraciones hidrológicas afectan directamente la morfología fluvial y evidencian la necesidad de incorporar enfoques adaptativos y predictivos en la gestión del caudal.

La restauración efectiva exige superar umbrales hidráulicos y ecológicos que permitan, por ejemplo, el reclutamiento de vegetación ribereña o la redistribución de sedimentos. El trabajo experimental de Shafroth et al. (2010) demuestra que caudales diseñados cuidadosamente favorecen la regeneración de especies nativas, mientras que caudales insuficientes pueden promover especies exóticas o impedir respuestas morfológicas deseadas. Esto subraya la necesidad de enfoques iterativos, donde el modelado y el monitoreo empírico permitan ajustes en la gestión del caudal (Shafroth et al., 2010).

Principios y enfoques de restauración

El modelo tradicional de gestión hidráulica ha priorizado el control del agua sobre la funcionalidad ecológica, contribuyendo a la degradación de los ríos. Frente a esto, González del Tánago y García de Jalón (1995) proponen un enfoque sistémico, basado en el reconocimiento de los ríos como ecosistemas dinámicos e integrados a su cuenca, donde interactúan procesos hidrológicos, geomorfológicos, ecológicos y sociales (González del Tánago & García de Jalón, 1995).

La restauración no busca retornar a un estado prístino, sino recuperar procesos fundamentales que permitan sostener funciones como la provisión de hábitats, la autorregulación y la resiliencia frente al cambio climático. Para ello, se definen principios organizados en tres ejes: conocimiento del sistema (análisis de cuenca, estudios previos rigurosos), respeto a la dinámica natural (restitución de conectividad, favorecimiento de procesos naturales) y escala territorial y participación (gestión interdisciplinaria, soluciones basadas en la naturaleza y educación ambiental) (González del Tánago & García de Jalón, 1995).

Este enfoque encuentra sólido respaldo en Allan (2004), quien destaca que la transformación del uso del suelo afecta en múltiples escalas la estructura y función de los ecosistemas fluviales. Las relaciones causa-efecto no son lineales ni simples; por ello, se requiere de una planificación por cuenca que considere interacciones entre geomorfología, cobertura vegetal, cambios de uso y conectividad hidrológica (Allan, 2004). Además, el enfoque restaurativo debe contemplar aspectos espaciales y temporales: la singularidad de cada río, la historia de uso del territorio, la escala de intervención y la participación social, como factores clave para la sostenibilidad y legitimidad de los proyectos (Allan, 2004).

Integración de la vegetación y evaluación hidromorfológica

La vegetación ribereña cumple un rol estructurante en la funcionalidad fluvial: estabiliza márgenes, retiene sedimentos, regula la luz y temperatura, y aporta hábitat y materia orgánica. Sin embargo, ha sido históricamente subestimada en los esquemas de evaluación hidromorfológica, lo que limita la eficacia de las acciones de restauración (González del Tánago et al., 2021; Majumdar & Avishek, 2023).

Se propone integrar la vegetación mediante un enfoque jerárquico y multiescalar, considerando unidades desde plantas individuales hasta corredores completos, con indicadores estructurales (cobertura, diversidad) y funcionales (edad, regeneración, adaptabilidad) (González del Tánago et al., 2021, Cupertino et al., 2024). Las interacciones entre procesos hidrodinámicos e instalación vegetal generan retroalimentaciones que moldean tanto el canal como los flujos, constituyendo un ejemplo clásico de “ingeniería biológica”.

Un aporte crucial es el estudio sobre buffers riparios (o zona de amortiguamiento ecológico) con enfoque adaptativo, que critica el uso de franjas de protección de ancho fijo y promueve un diseño de buffers de ancho variable, ajustado a condiciones ecológicas y geomorfológicas específicas. Este enfoque mejora la conectividad ecológica y preserva la heterogeneidad (Graziano et al., 2022). Además, introduce una dimensión socioterritorial clave: la necesidad de integrar políticas públicas con criterios técnicos, ecológicos y sociales, considerando la cuenca como unidad funcional de planificación (Graziano et al., 2022).

La incorporación sistemática de vegetación ribereña también debe integrarse a políticas de evaluación ambiental, como la Directiva Marco del Agua en Europa, que hasta ahora ha operado con una visión parcial y sesgada a la relevancia que presenta la vegetación riparia al curso fluvial y con falta de integridad en la dinámica. La actualización de marcos normativos y de monitoreo geoespacial es indispensable para avanzar hacia una gestión adaptativa y resiliente (González del Tánago et al., 2021, Majumdar & Avishek, 2023).

Síntesis

Los tres ejes temáticos analizados convergen en una idea central: los ríos deben ser entendidos como sistemas socioeco-hidrológicos dinámicos, cuya restauración efectiva requiere considerar la conectividad vertical, lateral y longitudinal, la variabilidad natural de los flujos y el rol activo de la biota, especialmente la vegetación ribereña. La incorporación de evidencia empírica y modelado—como muestran Shafroth et al. (2010), Allan (2004), Graziano et al. (2022) y Duque et al (2024)—permite fortalecer enfoques basados en procesos y orientar estrategias de restauración realistas, escalables y basadas en evidencia, aunque Curbelo (2022) sugiere la complementación del modelado con análisis “in situ”, para la constatación de los cambios. En este sentido, los estudios desarrollados en Uruguay aportan ejemplos concretos: Curbelo (2022) documenta cambios morfológicos vinculados a dinámicas locales, mientras que Duque et al. (2024) emplean modelado

hidrológico no lineal para anticipar fluctuaciones en niveles del río, lo que refuerza la utilidad de enfoques integrados en contextos regionales.

Referencias

Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 257–284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>

Cupertino, A., Dufour, S., & Rodríguez-González, P. M. (2024). Chasing success: A review of vegetation indicators used in riparian ecosystem restoration monitoring. *Ecological Indicators*, 166, 112371.

Curbelo, J. (2022). Cambios en el trazado del Arroyo Solís Grande en el Departamento de Lavalleja, Uruguay: Changes in the course of the Solis Grande Creek in the Lavalleja County, Uruguay. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(5), 75–88.

Duque, J. S., Santos, R., Arteaga, J., Oyarzabal, R. S., & Santos, L. B. (2024). Nonlinear hydrological time series modeling to forecast river level dynamics in the Rio Negro Uruguay basin. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 34(5).

González del Tánago, M., & García de Jalón, D. (1995). Principios básicos para la restauración de ríos y riberas. *Ecología*, 9–10, 47–64.

González del Tánago, M., Martínez-Fernández, V., Aguiar, F. C., Bertoldi, W., Dufour, S., García de Jalón, D., Garófano-Gómez, V., Mandzukovski, D., & Rodríguez-González, P. M. (2021). Improving river hydromorphological assessment through better integration of riparian vegetation: Scientific evidence and guidelines. *Journal of Environmental Management*, 292, 112730. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112730>

Graziano, M. P., Deguire, A. K., & Surasinghe, T. D. (2022). Riparian buffers as a critical landscape feature: Insights for riverscape conservation and policy renovations. *Diversity*, 14(3), 172. <https://doi.org/10.3390/d14030172>

Majumdar, A., & Avishek, K. (2023). Riparian zone assessment and management: An integrated review using geospatial technology. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(5), 319.

Shafroth, P. B., Wilcox, A. C., Lytle, D. A., Hickey, J. T., Andersen, D. C., Beauchamp, V. B., Palmquist, K. A., & Warner, A. (2010). Ecosystem effects of environmental flows: Modelling and experimental floods in a dryland river. *Freshwater Biology*, 55(1), 68–85. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02336.x>

Trush, W. J., McBain, S. M., & Leopold, L. B. (2000). Attributes of an alluvial river and their relation to water policy and management. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(22), 11858–11863. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.22.11858>