

EL COMPROMISO AMBIENTAL Y SOCIAL, LOS NUEVOS RETOS Y LAS PERSPECTIVAS DE LOS INGENIEROS DE RÍOS EN LATINOAMÉRICA

Environmental and social commitment, new challenges and perspectives of river engineers in Latin America

Francisco NÚÑEZ-GONZÁLEZ^{1*} y Ronald Roger GUTIERREZ²

¹Technische Universität Braunschweig, Beethovenstraße 51a, 38106, Braunschweig, Alemania.

²Pontificia Universidad Católica del Perú, Av. Universitaria 1801, San Miguel 15088, Lima, Perú.

*Autor para correspondencia: f.nunez-gonzalez@tu-braunschweig.de

(Recibido: marzo 2021, aceptado: enero 2022)

Palabras clave: ingeniería de ríos, hidráulica fluvial, restauración fluvial, sustentabilidad, interdisciplinario

RESUMEN

La ingeniería de ríos ha proporcionado los elementos teóricos, empíricos y prácticos para intervenir en los cursos fluviales con la finalidad de aprovechar los recursos hídricos o de reducir los riesgos de daño a poblaciones e infraestructuras. Tradicionalmente, el ingeniero hidráulico con especialidad en ingeniería de ríos ha emprendido estas acciones mediante soluciones que se pueden denominar como “rígidas” o “duras”, por los materiales y las técnicas constructivas empleadas, pero también por la filosofía subyacente, que favorece las actuaciones sobre los efectos visibles, antes que sobre las causas. Sin embargo, en las últimas décadas nuestras sociedades han experimentado un cambio en su percepción y relación con el ambiente, el cual propugna como valores fundamentales el buen estado de los ecosistemas acuáticos y una gestión sostenible de los recursos hídricos. Este cambio de paradigma implica una profunda revisión del papel del ingeniero de ríos en la planificación, intervención y gestión de los espacios fluviales, asumiendo un giro sustancial en el enfoque de las actuaciones, así como la necesidad de colaboración estrecha con profesionales de diversas disciplinas. En este trabajo se discute el nuevo papel del ingeniero de ríos y los retos a los que ha de hacer frente en las sociedades latinoamericanas. En particular se hace énfasis en la singularidad ambiental y social de la región, que requiere del ingeniero de ríos nuevas competencias técnicas, pero también compromiso ambiental y social, así como una participación activa como enlace entre expertos de diversa índole, la sociedad y las autoridades.

Key words: fluvial engineering, fluvial hydraulics, river restoration, sustainability, interdisciplinary

ABSTRACT

River engineering has provided the theoretical, empirical and practical elements to intervene in fluvial systems for the use of water resources or to reduce risk of damage to population and infrastructure. Hydraulic engineers specialized in river engineering have traditionally undertaken such interventions by means of so-called “hard engineering” solutions, due to the materials and constructive methods used, but also due to the underlying way of thinking, which favours intervention on apparent effects rather than on the real causes. Recent decades have seen a shift in the perception and the relation of our societies with the environment, promoting as fundamental values the good condition

of aquatic ecosystems and a sustainable management of water resources. This paradigm shift implies a profound revision of the role of river engineers in planning, intervening and managing fluvial landscapes, assuming a change of direction in the approach to the interventions, as well as the need of a narrow collaboration with experts from different disciplines. In this work we discuss the new role of river engineers and the challenges they have to face in Latin-American societies. In particular, we emphasize the environmental and social singularity of the region, which requires new technical competences from river engineers, but also environmental and social commitment, as well as an active involvement as liaison between experts, society and authorities.

INTRODUCCIÓN

“Los ríos son las venas de la tierra”, es una imagen acertada, de ahí su uso recurrente para describir el papel preponderante de los ríos en la distribución del líquido vital (Apgar et al. 2011, Viaene 2017, Torres-Salinas y Rojas-Hernández 2018). La humanidad se ha beneficiado de estos sistemas de circulación natural y también ha padecido su faceta aciaga cuando sus aguas desbordan, socavan estructuras o reconocen un nuevo cauce de manera repentina. Así, desde el punto de vista humano, la percepción de los ríos como las venas del planeta (UNESCO 1983) es acertada, pero incompleta. El hombre ha tenido que aceptar esta ambivalencia en su relación con los ríos e idear soluciones técnicas para enfrentar los problemas planteados por este doble aspecto. El ingeniero hidráulico es el profesional a quien le incumbe la solución de estos problemas de doble cariz.

El ingeniero hidráulico cuenta con las competencias necesarias para concebir y diseñar la infraestructura de aprovechamiento y control del agua, pero específicamente es al ingeniero hidráulico con especialidad en ingeniería de ríos (o fluvial) a quien conciernen las intervenciones en las corrientes fluviales (Martín-Vide 2009). A lo largo del siglo pasado los ingenieros de ríos han emprendido acciones en los cauces para adecuarlos al aprovechamiento de los recursos o a la reducción de los riesgos de daño. El planteamiento tradicional de estas acciones ha consistido de manera primordial, aunque no exclusiva, en la aplicación de soluciones que se pueden definir como “rígidas” o “duras”, pues consideran la fijación de márgenes y la estabilización del lecho mediante el uso de materiales resistentes a la acción del flujo (NCR 1992, González-del-Tánago y García-de-Jalón 1995). Este planteamiento se ha transformado de manera profunda en las últimas tres décadas, en particular en los países desarrollados. Así, a la par con la adquisición de una conciencia social por el ambiente y la protección y conservación de la naturaleza, la

práctica de la ingeniería fluvial en muchos países se ha trasladado hacia un enfoque en las soluciones que se pueden designar como “blandas”, esto es, soluciones que, por un lado, aceptan y promueven el dinamismo propio de los cauces naturales, y, por el otro, buscan comprender los procesos morfodinámicos para actuar sobre ellos de una manera amigable, de tal forma que la interacción de la sociedad con los ríos, mediante estructuras hidráulicas, sistemas de protección contra la erosión e inundaciones, sea sostenible, y considere al ecosistema y los valores ambientales de los ríos.

En este sentido, el nuevo enfoque de la ingeniería de ríos se apoya de manera amplia en el estudio científico de los ríos, el cual se debería designar, en rigor, como Potamología. Aunque éste es el término lógico, esta denominación se usa raramente, en parte porque el estudio de los procesos fluviales está lejos de ser una ciencia exacta (Martín-Vide 2009) o posiblemente debido a la fragmentación de los estudios relacionados con los ríos (Downs y Gregory 2014). De cualquier forma, este nuevo enfoque ambientalista, respaldado por el estudio racional de las corrientes fluviales, implica, necesariamente, una perspectiva interdisciplinaria, en la que profesionales de diferentes ramas del conocimiento colaboran para conocer los procesos físicos, químicos, biológicos y sociales en torno a los espacios fluviales, y para proponer soluciones que busquen la avenencia de la multiplicidad de demandas que conciernen a ambientes tan complejos como lo son los ríos.

Si bien la inclusión de la variable ambiental podría parecer restrictiva para la práctica de la ingeniería de ríos, la realidad es que le abre perspectivas y campos de acción nuevos. Así, por ejemplo, la restauración fluvial, la cual busca mejorar la integridad ecológica de los ríos mediante la recuperación de su estado natural y del funcionamiento del sistema fluvial con sus características hidromorfológicas, se ha convertido en poco tiempo en una disciplina floreciente e importante en la gestión de los recursos hídricos. La

consecución exitosa de los proyectos de restauración y de rehabilitación fluvial requiere de las competencias de los ingenieros de ríos (Martín-Vide 2013, Núñez-González y Martín-Vide 2015).

La transformación de la ingeniería de ríos en Latinoamérica, hacia un compromiso ambiental y un enfoque que promueva la valorización de los ríos como medio natural, parece ser apenas incipiente. Dado el alto grado de deterioro de las corrientes naturales en la región y la fuerte presión a la que sus ecosistemas se encuentran sujetos (Dinerstein et al. 1995, Ojea 2013, Gligo et al. 2020), el cambio es imprescindible y urgente. Se requiere sensibilizar a los profesionales sobre la necesidad de asumir este cambio de paradigma en la práctica, así como difundir el conocimiento y las nuevas técnicas disponibles para afrontar las intervenciones desde una perspectiva ambientalista y sostenible. No obstante, para una transformación exitosa, es indispensable reconocer la singularidad de la región, tanto en sus aspectos climáticos, fisiográficos y ambientales, como sociales, históricos, políticos y económicos.

La peculiaridad latinoamericana invita a proceder con cautela en la traslación de las técnicas desarrolladas en los países a la vanguardia de esta nueva forma de aproximarse a los espacios fluviales, desde la práctica de la ingeniería de ríos. En este sentido, con este trabajo pretendemos iniciar una discusión indispensable sobre los nuevos retos y perspectivas a los que los ingenieros de ríos se enfrentan en la gestión e intervención en los espacios fluviales, con relación a las condiciones y necesidades particulares de Latinoamérica. Nuestra tesis principal es que el cambio de paradigma no sólo exige al ingeniero de ríos latinoamericano nuevas competencias y un cambio en la filosofía de las actuaciones en los espacios fluviales, sino que también le demanda asumir nuevas funciones y compromisos: el ingeniero de ríos debe actuar como experto técnico y a la vez como puente entre disciplinas para proponer soluciones adecuadas para una realidad ambiental y social singular; sugerimos que el ingeniero de ríos debe tomar una acción proactiva en la manera de abordar proyectos de actuación en espacios fluviales, pero también considerar las oportunidades de cooperación y participación social en el mejoramiento de estos espacios y con ello del bienestar social.

En la siguiente sección hacemos un breve recuento de los beneficios y efectos adversos de las intervenciones tradicionales de la ingeniería fluvial, reflejados en muchas de las actuaciones en ríos durante el siglo XX. Posteriormente abordamos las repercusiones del cambio de paradigma ambiental

en la práctica y el enfoque de la ingeniería de ríos, y enumeramos algunas de las técnicas y métodos afines a la perspectiva ambientalista. Además, discutimos lo que consideramos son algunos de los retos y las oportunidades a los que el ingeniero fluvial ha de hacer frente en esta región y finalmente presentamos las conclusiones de este trabajo.

LOS BENEFICIOS Y LOS EFECTOS ADVERSOS DE LA INGENIERÍA DE RÍOS TRADICIONAL

La intervención humana en los ríos se remonta hasta los inicios de la historia. Una de las primeras intervenciones en un cauce fluvial de la cual se tiene registro fue la diseñada y ejecutada por el ingeniero y político chino Li Bing, en el río Ming en el año 256 a. C. (Li y Xu 2006). Sin embargo, quizás el primer gran proyecto propiamente de ingeniería ríos en occidente fue la rectificación del río Rin en el siglo XIX, concebida por el ingeniero alemán Johann Gottfried Tulla (Schneider 1966, Cioc 2002). A Tulla se le podría considerar como el predecesor directo de los ingenieros de ríos modernos.

Hasta antes de su rectificación, el curso alto del Rin no discurría por un cauce único y era errático e impredecible. Las poblaciones aledañas sufrían los efectos de las inundaciones y la inestabilidad del cauce, que destruía la infraestructura y obligaba incluso al abandono de pueblos enteros. Además, la migración frecuente del cauce impedía el aprovechamiento de tierras para el cultivo o el crecimiento de las ciudades en una extensa franja por la que el río vagaba irregularmente (de hasta nueve kilómetros de anchura en algunas secciones).

El objetivo de la rectificación era acortar el curso del Rin y fijar el cauce con una sección estrecha y profunda para reducir el peligro de inundación, ganarle terreno al río, así como mejorar las condiciones de navegación. De acuerdo con el plan de Tulla, la reducción de cota en el lecho la efectuaría la misma corriente del río erosionando el sedimento, pues al forzar al flujo a discurrir por un cauce único y estrecho su capacidad para movilizar el fondo se incrementaría. Los trabajos se llevaron a cabo, no sin la resistencia de la población que temía el aumento del riesgo de inundaciones con las obras. En ocasiones fue necesaria incluso la intervención del ejército para contener la inconformidad social.

La primera gran fase de la rectificación del Rin se concluyó en 1876. El proyecto cumplió en gran parte con sus objetivos. El paisaje fluvial del Rin se

transformó irreversiblemente y esta transformación permitió el desarrollo y la prosperidad de la región. No obstante, la rectificación también desencadenó efectos adversos. Uno de los más severos fue la erosión del lecho, mucho más profunda que la esperada y en cierta forma irrefrenable. Tanto fue así que en el siglo XX el descenso acumulado del nivel del fondo era de más de 20 metros en algunas zonas. En consecuencia, para estabilizar el lecho, a lo largo del cauce se construyeron una serie de presas, mientras que aguas abajo de la última de ellas, en Iffezheim, desde finales de los años setenta de manera artificial se aporta sedimento al cauce para contrarrestar la erosión. El volumen total anual de sedimento suministrado asciende a más de 185 000 m³ (Hänbig y Schlichtmann 2017).

Además de la erosión profunda del lecho, la rectificación del Rin también desencadenó otros efectos de no menor importancia, a saber, la traslación del problema de inundaciones hacia los tramos aguas abajo del río, y, quizás el más grave, la desaparición de todo un ecosistema fluvial como resultado de la pérdida de 90 % de los bosques ribereños. Efectos similares se han visto en muchas de las rectificaciones de ríos efectuadas en todo el mundo a lo largo del siglo XX, cuando estas actuaciones se llevaron a cabo de manera extensiva, sobre todo en los países industrializados, donde a finales del siglo XX muy pocos ríos conservaban su estado natural. Por ejemplo, en los años ochenta el 98 % de los ríos en Dinamarca habían sido rectificados (Brookes 1987), mientras que en Estados Unidos se estima que menos del 2 % de los ríos han sido inalterados por la actividad humana (Graf 2001). Si bien las obras fluviales en todo el mundo han cumplido sus objetivos con variados niveles de éxito y, al igual que en el Rin, han traído beneficios a la población ribereña, un aspecto en común con la rectificación del Rin es que durante gran parte del siglo pasado el impacto ecológico y ambiental de estas obras ha sido, las más de las veces, ignorado.

Los procesos ecológicos y la biodiversidad fluviales requieren de diversidad hidromorfológica y conectividad entre las diferentes zonas del espacio fluvial. Así por ejemplo, la permeabilidad del lecho y la variedad morfológica del cauce son esenciales para la supervivencia de los invertebrados y organismos en la zona hiporreica; los peces migratorios requieren para su supervivencia de la existencia de conectividad a lo largo del cauce y de la diversidad de estructuras morfológicas y de condiciones de flujo; la conectividad entre el cauce y las llanuras de inundación, así como la existencia de bosques ribe-

ños, son necesarios como corredores y lugares de alimento y descanso para la fauna silvestre (Ceccon 2003, Zambrano 2003, Ahlén et al. 2021). En contra de estas necesidades, las corrientes naturales han sido a menudo transformadas en canales uniformes, con revestimientos impermeables, taludes altos y llanuras de inundación homogéneas (**Fig. 1**). La mayoría de materiales usados para la protección de márgenes contra la erosión y para rectificar cauces, carecen a menudo de valor ecológico. En consecuencia, las técnicas y materiales usados, junto con la extensiva construcción de presas (que no necesariamente se consideran obras fluviales), han alterado el régimen natural de los ríos, han roto su equilibrio ecológico y han perturbado el paisaje.



Fig. 1. La rectificación de los cauces fluviales les ha convertido en canales uniformes, inapropiados para que el río cumpla sus funciones ecológicas. En la foto: Río Queiles en Tarazona, España.

En el siglo pasado prevaleció la percepción del río como recurso explotable y salvaje al que es necesario domar para extraer de él beneficios. La rectificación del Rin es paradigmática del tipo de obra más característica de la ingeniería de ríos y que en su mismo nombre describe el espíritu utilitarista de las intervenciones en las corrientes fluviales durante el siglo XX. La palabra “rectificación”, en su acepción de corrección de imperfecciones y defectos, infunde así la idea de apropiación y dominación humana sobre la naturaleza. Este enfoque de sometimiento ha llevado a la transformación irreversible de los sistemas fluviales, con impactos agudos y crónicos en el flujo, el transporte de sedimentos, la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas (Serlet et al. 2000).

EL NUEVO PARADIGMA AMBIENTAL Y LA INGENIERÍA DE RÍOS

Las sociedades occidentales han comenzado a tomar conciencia de los riesgos del deterioro ambiental y la contaminación desde la segunda mitad del siglo pasado. Pero fue a principios de los años setenta cuando el carácter universal de los problemas del ambiente se hizo claramente manifiesto en las Naciones Unidas con la Conferencia de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano. Asimismo, estudios como el del Club de Roma, publicado en 1972, demostraron que es imposible mantener el ritmo seguido hasta entonces de crecimiento demográfico, industrial, de contaminación y explotación de recursos en nuestro planeta, sin que se llegue a un colapso del sistema en menos de 100 años (Meadows et al. 1972).

Con esta creciente preocupación ambiental, en los años ochenta comenzaron a surgir iniciativas para detener y revertir el deterioro de los ríos en los países industrializados. Inicialmente el mayor énfasis recayó en el mejoramiento de la calidad del agua, pero hoy en día es ampliamente aceptado que el buen estado ambiental de los ríos requiere de la conservación del ecosistema fluvial en su conjunto, y que para ello es necesaria una planeación integral a nivel de cuenca (Wohl et al. 2005, Díaz-Solano y Quintero-Espinoza 2013). Así, por ejemplo, esta visión holística, que busca integrar todas las partes de un amplio sistema ambiental, ha sido elevada a nivel de legislación ambiental en la Directiva Marco del Agua Europea, emitida en el año 2000 (Voulvoulis et al. 2017). En ella se distinguen tres grupos de indicadores de la calidad ecológica de un cuerpo de agua: biológicos, hidromorfológicos y fisicoquímicos. A los ingenieros de ríos les concierne especialmente el segundo grupo, y su conexión e interacciones con los otros dos.

La política hidráulica en el mundo durante el siglo XX, enfocada en el desarrollo económico, con la construcción de infraestructura para la explotación de los recursos naturales y para controlar las aguas de los ríos (ver p. ej., Cullen [1962] para la noción del río como un ente salvaje al que se debe domar con iniciativas como el Sistema del Valle del Tennessee en Estados Unidos), se ha transformado con el nuevo milenio en una “política hídrica”. Ésta se orienta en la conservación del agua y su aprovechamiento sostenible. Atendiendo a un enfoque basado en derechos humanos, las nuevas políticas hídricas deben garantizar el acceso al agua y saneamiento seguros como derechos humanos básicos, lo que implica una gestión integral del agua que asegure su buena calidad, el uso eficiente de los recursos, la protección de los ecosistemas

asociados al agua, la cooperación internacional y la gestión comunitaria del agua (Domínguez 2019), tal como se plantea en la Directiva Marco Europea.

El cambio en el enfoque de las políticas del agua, respondiendo tanto a un compromiso con los derechos humanos básicos, como a una demanda social hacia la protección del ambiente, ha conducido necesariamente a un replanteamiento conceptual de las intervenciones en los espacios fluviales. Ya que se ha gestado un cambio de valores, que prioriza la naturaleza, el ambiente, el paisaje y la calidad de vida, y que considera las actividades humanas como una fuente de alteración y degradación de la calidad del agua, las soluciones estructurales o de “ingeniería dura” han dejado de ser la primera opción en las intervenciones. Las prioridades ahora son conservar los tramos naturales en los ríos, estabilizar las secciones poco alteradas con materiales naturales simples y remover, en la medida de lo posible, las canalizaciones y encauzamientos duros de ríos y arroyos (“ingeniería blanda”). Asimismo, antes de actuar sobre los síntomas, como ocurre a menudo en la práctica tradicional de la ingeniería de ríos, se aspira a actuar sobre las causas, lo que implica un análisis del sistema fluvial en su conjunto, y exige una gestión integral e interdisciplinaria. El cambio de paradigma requiere entonces que el ingeniero de ríos reconozca al río como un sistema integral, continuo, en el que confluyen procesos físicos, químicos, hidromorfológicos y biológicos que incluyen al cauce, las zonas ribereñas y las llanuras de inundación y que cuenta con una conectividad por la que las acciones puntuales pueden conducir a la alteración de procesos a lo largo y ancho del curso fluvial. De allí que ahora sería quizás más apropiado llamar al ingeniero de ríos, ingeniero de espacios fluviales.

Para poner en práctica los principios de este nuevo paradigma en la concepción de las intervenciones en los espacios fluviales, diversas técnicas alternativas han ido ganando aceptación principalmente en los países desarrollados durante los últimos treinta años. En contraste con las prácticas tradicionales de la ingeniería de ríos, estas técnicas tienen en consideración los valores ecológicos y paisajísticos de los ríos, a la vez que reconocen a los espacios fluviales como un ecosistema complejo que requiere de una diversidad de hábitats y conectividad entre ellos. La aplicación de estas técnicas considera implícitamente que los sistemas fluviales se caracterizan por el establecimiento de conexiones de agua, sólidos y nutrientes, entre los ecosistemas acuático, ribereño, el acuífero subyacente y los ecosistemas en las llanuras de inundación y los espacios laterales. Además, priorizan la actuación sobre las causas y no sobre los efectos, y se favorecen

las soluciones “blandas” sobre las “rígidas”. Así, por ejemplo, se usa vegetación de ribera o material biodegradable para estabilizar las márgenes en lugar de fijarlas con revestimientos continuos e impermeables. También, en lugar de rectificar un cauce para controlar las inundaciones, se excavan cauces de alivio o se hacen desvíos temporales que actúan sólo durante las avenidas, y de esta manera se deja intacto el lecho principal. Asimismo, para contrarrestar la incisión del cauce, se efectúan ampliaciones locales de anchura en vez de usar estructuras transversales como traviesas (Zarn 1992). O también, para reducir la erosión lateral e incrementar la diversidad de hábitats, se aleja a la corriente del río de las márgenes mediante espigones fabricados con vegetación o material permeable, en lugar de fijar las orillas.

Actualmente existe una extensa bibliografía sobre métodos alternativos que permiten controlar y aprovechar los ríos, respetando su integridad biológica o mitigando los impactos producidos en su aprovechamiento y gestión (p. ej., Bentrup y Hoag 1998, LUBW y WBW 2013, Ollero-Ojeda 2015). A este respecto, un área de la ingeniería relativamente nueva, pero pujante (no obstante, hay indicios de que el uso de estas técnicas se remonta hasta antes de nuestra era, ver p. ej. Evette et al. 2009), es la que se puede denominar como ecoingeniería, ingeniería con soluciones basadas en la naturaleza, ingeniería naturalística o natural (soil bioengineering o nature-based solutions en inglés; a nuestro entender, no existe aún un término bien asentado y aceptado en español, por eso usamos de aquí en adelante “ingeniería natural” en analogía al término usado en portugués [p. ej., Fernandes y Mendes-de-Freitas 2011]). La ingeniería natural emplea plantas vivas y partes de plantas para controlar la erosión o estabilizar márgenes y taludes. Las soluciones de ingeniería natural cumplen las mismas funciones que los sistemas estructurales tradicionales, con la ventaja de que son de fácil instalación y normalmente son más económicas que éstos. Además, requieren poco mantenimiento y su rehabilitación es menos costosa que para las soluciones estructurales (**Fig. 2**). Así, en contraposición a las obras rígidas tradicionales, con los métodos constructivos que ofrece la ingeniería natural se cumplen simultáneamente funciones estabilizadoras, ecológicas y paisajísticas.

Los principios de intervención y convivencia respetuosa con el ambiente que fundamentan el uso de las técnicas de ingeniería natural, concuerdan con los principios de otro tipo de estrategias sustentables, como, por ejemplo, la infraestructura verde empleada en la gestión del agua. La infraestructura verde incorpora controles hidrológicos para proteger, restaurar

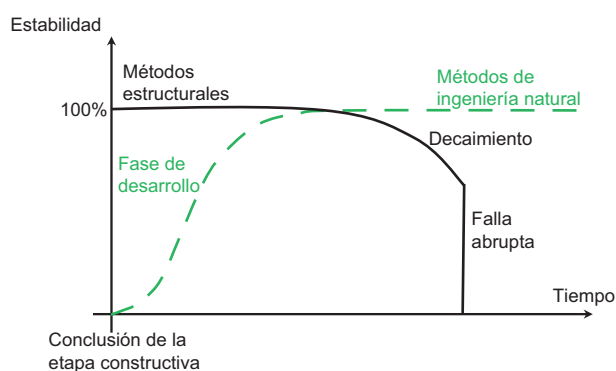


Fig. 2. Grado de estabilidad obtenida con respecto a la vida útil; comparación entre los métodos estructurales tradicionales con métodos de ingeniería natural (modificado de LUBW y WBW 2013).

o emular el ciclo hidrológico natural mediante la infiltración, almacenamiento y evapotranspiración de las aguas pluviales. Para ello, algunas de las prácticas usadas incluyen techos verdes, suelos y pavimentos permeables, sistemas de biorretención o de captación y reuso del agua, entre muchos otros. Estos métodos permiten mejorar la calidad del agua que llega a los ríos (e.g., Wang et al. 2016, Taghizadeh et al. 2021), por lo que su implementación armoniza con la visión integradora necesaria para una adecuada gestión medioambiental de los ríos.

Además de la planificación a nivel de cuenca (que incumbe también a la ecohidrología, ver p. ej. Quintero-Espinosa y Mejía-Zermeño 2006, González et al. 2013) y de la visión holística e integradora necesaria para la implementación de estas nuevas formas de actuación en los ríos, un aspecto indispensable a considerar es que el éxito de las intervenciones es sólo posible con el apoyo y aceptación de las poblaciones ribereñas. Los proyectos no deben llevar a un enfrentamiento sino a un consenso, lo que requiere también de educación ambiental, información y consulta pública. Asimismo, en años recientes se ha construido un importante corpus de estudios relativos a las funciones intangibles de los ríos (p. ej., funciones espirituales, estéticas, culturales, etc.). Así, algunos investigadores (p. ej., Anderson et al. 2019) sostienen que el entendimiento científico de los ríos está fundamentalmente incompleto si estas funciones no son debidamente investigadas. Todos estos aspectos ensanchan el abanico del ámbito interdisciplinario en el que el ingeniero de ríos debe actuar en la planeación de las intervenciones en los ríos, incluyendo en lo posible en el equipo de trabajo, o en el diálogo entre analistas y diversidad de opiniones,

a expertos de otras esferas, tales como sociólogos, comunicadores, economistas y educadores.

Diversas intervenciones en espacios fluviales en los países industrializados dan cuenta de la profunda transformación que ha implicado la instauración del paradigma ambiental en la práctica de la ingeniería de ríos. Esta transformación se refleja, particularmente, en la profusión de proyectos de restauración fluvial con la participación activa de ingenieros de ríos. Algunos de los proyectos más llamativos se han desarrollado en zonas urbanas, como, por ejemplo, la restauración del río Cheong Gye Cheon en Seúl, Corea (2003-2005), en la cual se demolieron seis kilómetros de autopista y un viaducto en el centro mismo de la ciudad para restablecer el cauce natural que había sido cubierto con concreto en los años setenta (Shin y Lee 2006). Otro ejemplo a resaltar es la restauración de un tramo de ocho kilómetros de largo del río Isar en la ciudad alemana de Múnich (2000-2011). Este proyecto se ha convertido en un emblema de la ciudad, pues con él se han obtenido, simultáneamente, beneficios en la protección contra inundaciones, en la mejora del paisaje natural y el ecosistema fluvial, así como en la calidad del espacio de esparcimiento y recreación de los ciudadanos (Arzet y Joven 2008).

Finalmente, es importante reconocer que las intervenciones en los cauces fluviales suponen, casi siempre, una alteración o transformación del medio natural, que pocas veces es considerada en el análisis económico para evaluar la viabilidad de una obra. Recientemente se publicó el reporte Dasgupta (Dasgupta 2021), el cual sostiene que el capital natural de un país (del que hacen parte los ríos) ha sido ignorado hasta ahora en la gestión macroeconómica. En tal virtud, Dasgupta propone que el desempeño económico de una nación (que básicamente se evalúa a partir del Producto Interno Bruto, PIB), sea medido con base en la sustracción al PBI de los costos ambientales asociados al uso de su capital natural. Esto posiblemente implicará en un mediano plazo que los ingenieros tengamos que planear, diseñar, ejecutar y mantener intervenciones cuyo costo ambiental sea cuantificado a detalle sobre la base de algunos estándares de referencia.

LOS RETOS Y LAS OPORTUNIDADES PARA EL INGENIERO DE RÍOS EN LATINOAMÉRICA

El propósito de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados en la Agenda 2030 de la ONU

es lograr de manera simultánea el crecimiento económico, la reducción de la pobreza y la conservación del ambiente (Nadal-Egea y Aguayo 2020). El desafío para alcanzar estos objetivos en Latinoamérica es enorme. La región tiene diversos retos pendientes por asumir en relación con el deterioro ambiental, la limitación crónica de recursos y la alta desigualdad, que es de esperarse se agraven con las secuelas de la pandemia de la COVID-19 (Beteta y Yanes 2020). Esta coyuntura demanda de los profesionales implicados en la transformación y conservación del ambiente, entre ellos los ingenieros de ríos, una reflexión profunda sobre la relación entre el deterioro ambiental y la compleja situación socioeconómica de los países de la región.

Muchos sectores sociales en Latinoamérica han tomado conciencia de la necesidad urgente de revertir el deterioro ambiental y de invertir en esfuerzos para implementar estrategias de desarrollo sustentable. Sin embargo, la alta dependencia de la región en las actividades extractivas restringe las acciones para la conservación de la naturaleza. A su vez, el rezago científico técnico, que limita las capacidades de innovación en estrategias sustentables, además de las barreras institucionales, dificultan el establecimiento de planes y acciones duraderas encaminadas a un desarrollo sustentable (Gudynas 2002).

Todos los factores arriba expuestos han lastrado también la verdadera instauración de un nuevo enfoque ambiental y sustentable en la utilización y manejo de los recursos hídricos, y en las intervenciones en los espacios fluviales en las cuales participan los ingenieros de ríos. Actualmente, en una búsqueda bibliográfica general en la literatura científica y en la literatura gris, apenas si se pueden rastrear referencias a acciones y actuaciones concretas, en las que sea patente el compromiso de los ingenieros de ríos con el nuevo paradigma ambiental en Latinoamérica. No obstante, es posible ubicar iniciativas diversas que dan cuenta de un creciente interés por la protección de los ambientes fluviales latinoamericanos. Por ejemplo, Mondragón-Monroy y Honey-Roses (2016) identificaron más de 60 proyectos y planes de restauración de ríos urbanos en el presente siglo; en Colombia los ríos han alcanzado el estatus de sujeto de Derechos (Echeverry-Espinosa 2019), evidenciando que en años recientes se han dado cambios importantes con respecto a la regulación en materia de espacios fluviales en la región; diferentes organizaciones sociales, surgidas en este siglo a lo largo del continente, tales como la Red Latinoamericana Contra las Represas y por los Ríos, sus Comunidades y el Agua (REDLAR) o el Movimiento Mexicano

de Afectados por la Presas y en Defensa de los Ríos (MAPDER), han denunciado los impactos sociales y ambientales que suponen las grandes infraestructuras hidráulicas en los ríos (Gómez-Fuentes 2015).

Desafortunadamente, en la región son comunes las soluciones de urgencia e intervenciones improvisadas, antes que una verdadera planeación estratégica e integradora de los espacios fluviales. En ello han influido, entre otros muchos factores, las inercias administrativas y la falta de planeación en la gestión del territorio y los recursos naturales, el crecimiento de la población, los intereses políticos, la corrupción, la escasa existencia de mediciones científicas y la insuficiencia de especialistas e instituciones para formarlos. Las intervenciones en las corrientes fluviales siguen siendo a menudo sólo paliativos que no atienden a la verdadera causa de daño y no consideran el valor ambiental de los ríos. Esto conduce de manera frecuente a efectos adversos en el ecosistema y el sistema fluvial en su conjunto (p. ej., Carbajal et al. 2016, Gómez-Ortega et al. 2019). Si bien no es posible trasplantar de manera directa las técnicas, métodos y gestión probados en los países industrializados, porque es ineludible reconocer la singularidad latinoamericana, tanto por sus peculiaridades climáticas, fisiográficas y ambientales, como sociales, históricas, políticas y económicas, por lo menos debemos aprender de los éxitos y fracasos en aquellos países para no incurrir en los mismos errores.

Algunos investigadores han reconocido la complejidad socioecológica de Latinoamérica como un factor clave, indispensable a tomar en cuenta mediante la participación social, para asegurar el éxito de los proyectos de restauración ecológica (p. ej., Ceccon et al. 2015, Barrera-Cataño 2016, Ceccon y Pérez 2016). Esta complejidad tampoco puede ni debe ser soslayada al planear intervenciones en los cauces fluviales, independientemente de sus objetivos. En los espacios fluviales la componente social puede mostrar diferentes aspectos, así, por ejemplo, los procesos erosivos a menudo afectan a los grupos de población más vulnerables socioeconómicamente (p. ej., Gómez et al. 2019), mientras que la pugna por el espacio fluvial es un problema social complejo, relacionado también con un marco jurídico insuficiente para delimitar los corredores fluviales (Nardini et al. 2016). Los canales fluviales requieren de un espacio lateral, denominado por algunos investigadores como el “espacio de libertad”, donde puedan desarrollar su dinámica y donde se preserve óptimamente el funcionamiento del ecosistema fluvial. Lamentablemente, en los países de la región la

delimitación legal y administrativa del espacio fluvial se basa en criterios hidrológicos, que no consideran aspectos geomorfológicos y ecológicos (Hernández 2018). Esto conduce a cambios en los usos del suelo y a una presión sobre los cauces que resulta en su deterioro ambiental y el incremento de los riesgos para la población (**Fig. 3**).



Fig. 3. El ingeniero de ríos debe participar en el ordenamiento territorial y aportar sus conocimientos de dinámica fluvial para delimitar adecuadamente el espacio de libertad de las corrientes fluviales, sobre todo en regiones propensas a eventos extremos, como tormentas tropicales y huracanes. En las imágenes se muestran los efectos del huracán Stan en el río Coatlán, en Tapachula Chiapas, México. La imagen izquierda corresponde al 24/07/2005, antes del huracán, mientras que la imagen derecha es del 01/11/2005, después del huracán. Las líneas discontinuas en la foto a la izquierda muestran los límites aproximados del cauce después del evento. Fuente: GoogleEarth.

Otros desafíos adicionales en la transición hacia una ingeniería de ríos cada vez más comprometida con el ambiente en Latinoamérica son: la ausencia de referentes ecológicos y geomorfológicos (con climas tropicales y secos) que sirvan de guía, por ejemplo, en la restauración fluvial o en la aplicación de métodos constructivos de ingeniería natural; la baja disponibilidad de datos (hidrometeorológicos, sedimentológicos, morfológicos y de calidad del agua), que repercute en la aplicación confiable de técnicas de análisis, agregando incertidumbre a los diagnósticos; las limitaciones en mano de obra altamente calificada; la fuerte presión sobre los espacios fluviales por la agricultura, urbanización, producción hidroeléctrica o la extracción de materiales pétreos; y el cambio climático, que podría alterar gravemente los regímenes hidrológicos de los ríos en la región (Gutiérrez 2018).

Pero aun cuando los desafíos son muchos y son complejos, debemos reconocer que el cambio de paradigma hacia un compromiso ambiental es también una fuente de oportunidades, tanto para la ingeniería de ríos, como para la sociedad. Así, tal como se mencionó antes, la restauración y la rehabilitación fluvial abren campos de acción muy amplios para los ingenieros de ríos, quienes pueden aportar a estas disciplinas sus conocimientos de hidrología, hidráulica, morfodinámica fluvial, métodos constructivos, diseño y gestión de proyectos. Ya que los proyectos de restauración y rehabilitación fluvial deben establecer compromisos entre objetivos ambientales, usos de suelo y necesidades de las poblaciones próximas a las riberas, se requiere, como ya se ha mencionado, un enfoque interdisciplinario y del consenso y participación de los diferentes agentes involucrados con el entorno fluvial. Esto implica idealmente la integración de nuevas competencias para el ingeniero de ríos, en los campos de la ecohidrología, geomorfología, ecología, química, geografía, economía y sociología, que faciliten el establecimiento de una plataforma de conceptos y lenguaje común con otros expertos, gestores y políticos que permita una colaboración y comunicación efectiva (Serlet et al. 2020). Así, como ocurre en la restauración ecológica, la restauración y la rehabilitación fluvial deben ser interdisciplinarias, y en muchos de los países latinoamericanos deben ser también multisectoriales (Ceccon et al. 2015) para incluir a todos los ámbitos implicados con el espacio fluvial y su ecosistema. El trabajo interdisciplinario requiere de los individuos que colaboran humildad, respeto mutuo, tolerancia, y la habilidad de ver las cosas desde diferentes perspectivas (Gardner 2013), aspectos que el ingeniero de ríos deberá observar para actuar como puente de comunicación entre expertos, la sociedad y las autoridades.

La restauración y la rehabilitación fluvial ofrecen una oportunidad para generar proyectos de participación comunitaria. Las experiencias en la restauración ecológica han mostrado que en la región las actividades de restauración pueden y deben, en lo posible, integrarse socialmente para que su implementación sea significativa y robusta. La restauración a gran escala, que permite detener o revertir algún tipo de degradación ambiental de manera efectiva, puede ayudar a reducir la pobreza y los conflictos sociales, siempre y cuando las acciones restauradoras ayuden a incrementar la productividad del suelo, reducir los riesgos asociados a la degradación ambiental, y proveer oportunidades de ingresos, trabajo y sustento para las comunidades

rurales locales (Ceccon et al. 2015). Además, de acuerdo con varias iniciativas en Latinoamérica, en algunos países la restauración ecológica puede ser un recurso importante para aumentar el empoderamiento de las comunidades rurales sobre sus recursos naturales (Ceccon et al. 2017). En este sentido, para fortalecer la actuación sobre los espacios fluviales en Latinoamérica se debería tender a un enfoque transdisciplinario, que integre el corpus de conocimiento de las diversas disciplinas involucradas y los conocimientos empíricos de actores sociales locales, quienes conocen las dinámicas de sus comunidades y ambiente. La transdisciplinariedad trasciende la multi e interdisciplinariedad, organizando el trabajo interdisciplinario con una visión total unificadora que trasciende al grupo mismo, y considera así los problemas como un todo único (Klein 1990, Serlet et al. 2020).

En consonancia con la participación social, es importante mencionar que las técnicas de ingeniería natural son una opción conveniente para su aplicación en Latinoamérica, pues además de su bajo costo, muchas de ellas no requieren de mano de obra altamente calificada (**Fig. 4**). En la literatura especializada es posible encontrar cada vez más experiencias de aplicación exitosa de estas técnicas en países en desarrollo (p. ej., Dhital et al. 2013, Maxwald et al. 2020, Mondal y Patel 2020).



Fig. 4. Las técnicas de ingeniería natural ofrecen una excelente alternativa para involucrar y beneficiar a las comunidades rurales. En la foto, preparación de la orilla de un cauce para protegerla contra la erosión usando pasto Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) en India. Imagen tomada de Mondal y Patel (2020) con autorización de Springer Nature.

CONCLUSIONES

Latinoamérica sufre de una situación de grave deterioro ambiental. Si queremos revertir la degradación de los ecosistemas y alcanzar la sostenibilidad de nuestras sociedades con el ambiente, se requiere de manera urgente una participación activa y compromiso de parte de los profesionales involucrados con las actuaciones ambientales. El ingeniero de ríos debe asumir su papel como agente de cambio en la transformación hacia una reconciliación con el ambiente y en la instauración de un nuevo enfoque ambiental y sostenible en las prácticas de intervención en los ríos latinoamericanos. Dada la compleja situación socioecológica de la región, proponemos que es necesario tanto un compromiso ambiental como social del ingeniero de ríos, para lograr un verdadero cambio de paradigma. Las intervenciones en los espacios fluviales latinoamericanos deberían así involucrar y beneficiar a las poblaciones locales. En este sentido, la restauración y la rehabilitación fluvial, así como el uso de técnicas de ingeniería natural e infraestructura verde, son una oportunidad para la participación comunitaria, que los ingenieros de ríos deberían potenciar y promover en la región. Si el ingeniero de ríos latinoamericano quiere seguir influyendo en las decisiones que se tomen sobre los espacios fluviales deberá colaborar y concertar con expertos de diferentes disciplinas, actores sociales locales, gestores y políticos. El cambio de paradigma ambiental en la ingeniería de ríos latinoamericana requiere entonces de un enfoque transdisciplinario, que trascienda el trabajo interdisciplinario con una visión total unificadora de los sistemas fluviales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a dos revisores anónimos, cuyos comentarios contribuyeron a mejorar este trabajo. Ronald R. Gutierrez agradece los recursos proporcionados por los grupos de investigación GERDIS y GEOSD del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

REFERENCIAS

- Åhlén I., Vigouroux G., Destouni G., Pietroni J., Ghajarnia N., Anaya J., Blanco J., Borja S., Chalov S., Chun K. P., Clerici N., Desormeaux A., Girard P., Gorelits O., Hansen A., Jaramillo F., Kalantari Z., Labbaci A., Licero Villanueva L., Livsey J., Maneas G., McCurley-Pisarello K.L., Moshir-Pahani D., Palomino Ángel S., Price R., Ricaurte Villota C., Fernanda-Ricaurte L., Rivera Monroy V.H., Rodríguez A., Rodríguez E., Salgado J., Sannel B., Seifollahi Aghmiuni S., Simard M., Sjöberg Y., Terskii, P., Thorslund J., Zamora D.A. y Jarsjö J. (2021). Hydro-climatic changes of wetlandscapes across the world. *Scientific Reports* 11, 2754, 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81137-3>
- Anderson E.P., Jackson S., Tharme, R.E., Douglas M., Flotemersch J.E., Zwarteveen M, Lokgariwar C., Montoya M., Wali A., Tipa G.T., Jardine T.D., Olden J.D., Cheng L., Conallin J., Cosens B., Dickens C., Garrick D., Groenfeldt D., Kabogo J., Roux D.J., Ruhi A. y Arthington A.H. (2019). Understanding rivers and their social relations: A critical step to advance environmental water management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 6 (6), e1381. <https://doi.org/10.1002/wat2.1381>
- Apgar J.M., Ataria J.M. y Allen W.J. (2011). Managing beyond designations: supporting endogenous processes for nurturing biocultural development. *International Journal of Heritage Studies*, 17 (6), 555-570. <https://doi.org/10.1080/13527258.2011.618250>
- Arzet K. y Joven S. (2008). Erlebnis Isar-Fließgewässerentwicklung im städtischen Raum von München. *KW-Korrespondenz Wasserwirtschaft* (1), 17-22.
- Barrera-Cataño J.I. (2016). Prólogo. En: Más allá de la ecología de la restauración: Perspectivas sociales en América Latina y el Caribe. (E. Ceccon y D.R. Pérez, Eds.). Vázquez Mazzini Editores, Buenos Aires, Argentina, pp. 17-19.
- Bentrop G. y Hoag J.C. (1998). The practical streambank bioengineering guide: User's guide for natural streambank stabilization techniques in the arid and semi-arid great basin and intermountain west. *USDA Natural Resources Conservation Service*, Aberdeen, ID, EUA, 165 pp.
- Beteta H.E. y Yanes P.E. (2020). Alejandro Nadal (In memoriam). En: Los motores de la degradación ambiental: el modelo macroeconómico y la explotación de los recursos naturales en América Latina (A. Nadal-Egea y F. Aguayo, Eds.). Estudios y Perspectivas – Sede Subregional de la CEPAL en México 185, Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Ciudad de México, México, pp. 5.
- Brookes A. (1987). The distribution and management of channelized streams in Denmark. *Regulated Rivers: Research and Management* 1 (1), 3-16. <https://doi.org/10.1002/rrr.3450010103>
- Carbajal-Evaristo S.S., Tovilla-Hernández C., Díaz-Gallegos J.R., Infante-Mata D.M. y Acosta-Velázquez J. (2016). Evaluación del impacto del azolvamiento en la laguna Cerritos como consecuencia de la canalización
- Åhlén I., Vigouroux G., Destouni G., Pietroni J., Ghajarnia N., Anaya J., Blanco J., Borja S., Chalov S., Chun K. P., Clerici N., Desormeaux A., Girard P., Gorelits O., Hansen A., Jaramillo F., Kalantari Z., Labbaci A., Licero Villanueva L., Livsey J., Maneas G., McCurley-

- del río Cintalapa, Chiapas. En: Reserva de la biosfera La Encrucijada. Dos décadas de investigación para su conservación. (E. Velázquez-Velázquez, E.I. Romero-Berny, G. Rivera-Velázquez, Eds.). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, pp. 253-264.
- Ceccon E. (2003). Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *Ciencias* 72, 46-53.
- Ceccon E., Barrera-Cataño J.I., Aronson J. y Martínez-Garza C. (2015). The socioecological complexity of ecological restoration in Mexico. *Restoration Ecology* 23 (4), 331-336. <https://doi.org/10.1111/rec.12228>
- Ceccon E. y Pérez D.R. (2016). Más allá de la ecología de la restauración: Perspectivas sociales de América Latina y Caribe. Vázquez Mazzini Editores, Buenos Aires, Argentina, 384 pp.
- Ceccon E., Pérez D.R., Aguilar-Garavito M., Borda-Niño M., Calle Z., Galicia-Gallardo A.P., Hernández-Muciño D., Marques-de-Abreu A.H., Martínez P., Miranda-Britez R. y Slusser J.L. (2017). Perspectivas sociales de la restauración en Latinoamérica (Simposio). En: SIACRE-2015: aportes y conclusiones. Tomando decisiones para revertir la degradación ambiental. (G. Zuleta, A. Rovere y F. Mollard, Eds.). Vázquez Mazzini Editores, Buenos Aires, Argentina, pp. 47-56.
- Cioc, M. (2002). *The Rhine: An eco-biography, 1815-2000*. University of Washington Press, Seattle, EUA, 263 pp.
- Cullen A.H. (1962). *Rivers in harness: The story of dams*. Chilton Books, Filadelfia, EUA, 175 pp.
- Dasgupta P. (2021). *The economics of biodiversity: The Dasgupta review*. HM Treasury, Londres, Inglaterra [en línea]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/962785/The_Economics_of_Biodiversity_The_Dasgupta_Review_Full_Report.pdf 25/05/2022
- Dhital Y.P., Kayastha R.B. y Shi J. (2013). Soil bioengineering application and practices in Nepal. *Environmental Management* 51 (2), 354-364. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-0003-7>
- Díaz-Solano B.H. y Quintero-Espinosa I.A. (2013). Gestión integral de corredores fluviales. *Memorias. Sexto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*, Santa Fe, Argentina. 6-8 de noviembre, 2013.
- Dinerstein E., Olson D.M., Graham D.J., Webster A.L., Primm S.A., Bookbinder M.P. y Ledec G. (1995). Una evaluación del estado de conservación de las eco-regiones terrestres de América Latina y el Caribe. Fondo Mundial para la Naturaleza-Banco Mundial, Washington, D.C., EUA, 129 pp.
- Domínguez J. (2019). La política del agua en México a través de sus instituciones, 1917-2017. *El Colegio de México*, Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales, Ciudad de México, México, 273 pp.
- Downs P. y Gregory K. (2014). *River channel management: Towards sustainable catchment hydrosystems*. Routledge, Nueva York, EUA, 395 pp.
- Echeverry-Espinosa E. (2019). ¿Por qué los ríos son sujeto de Derechos? Proyecto Académico de Trabajo Colectivo, Corporación Universitaria Rafael Núñez, Colombia [en línea]. <http://site.curn.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/2611/1/FT-IV-015%20PAT%20Colectivo%20I%20semestre%202019%202P.pdf> 17/11/2021
- Evette A., Labonne S., Rey F., Liebault F., Jancke O. y Girel J. (2009). History of bioengineering techniques for erosion control in rivers in western Europe. *Environmental Management* 43, 972-984. <https://doi.org/10.1007/s00267-009-9275-y>
- Fernandes J.P. y Mendes-de-Freitas A.R. (2011). *Introdução à engenharia natural*. EPAL - Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A. 107 pp. [en línea]. <http://hdl.handle.net/10174/3756> 08/06/2022
- Gardner S.K. (2013). Paradigmatic differences, power, and status: A qualitative investigation of faculty in one interdisciplinary research collaboration on sustainability science. *Sustainability Science* 8, 241-252. <https://doi.org/10.1007/s11625-012-0182-4>
- Glifo N., Alonso G., Barkin D., Brailovsky A., Brzovic, F., Carrizosa, J., Durán H., Fernández P., Gallopín G., Leal J., Marino-de-Botero M., Morales C., Ortiz-Monasterio F., Panario D., Pengue W., Rodríguez-Becerra M., Rofman A., Saa R., Sejenovich H., Sunkel O. y Villamil J. (2020). *La tragedia ambiental de América Latina y el Caribe*. Libros de la CEPAL, N° 161 (LC/PUB.2020/11-P), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago, Chile, 127 pp.
- Gomez F.J., Gutierrez R.R., Biswell J., Doria R. y Rivillas-Ospina G. (2019). Morphodynamical changes in Magdalena river delta (Colombia) and its influence in riverine populations. *Memorias. Water Perspectives in Emerging Countries, Water in Agricultural Practices: Training the Trainers*. Rio de Janeiro, Brasil. 15-21 de septiembre, 2019, pp. 63-77.
- Gómez-Fuentes A.C. (2015). Redes y movimientos sociales en contra de la construcción de presas en México. El caso del movimiento mexicano de afectados por las presas y en defensa de los ríos. *Revista Espaço Acadêmico* 14 (167), 05-15.
- Gómez-Ortega R., Ramos-Santiago E. y Romero-Berny E. (2019). Problemas asociados con la rectificación y el cambio de cauce de ríos en los sistemas lagunares de la costa de Chiapas, México. *Ciencia Pesquera* 27 (2), 59-67.

- González-del-Tánago M. y García-de-Jalón D. (1995). Principios básicos para la restauración de ríos y riberas. *Ecología* (9), 47-64.
- González N., Hernández M.A. y Romero C. (2013). La planificación hídrica en el contexto de la ecohidrología. *Derecho y Ciencias Sociales* (9), 15-23.
- Graf W.L. (2001). Damage control: Restoring the physical integrity of America's rivers. *Annals of the Association of American Geographers* 91, 1-27. <https://doi.org/10.1111/0004-5608.00231>
- Gudynas E. (2002). El concepto de regionalismo autónomo y el desarrollo sustentable en el Cono Sur. En: *Sustentabilidad y regionalismo en el Cono Sur* (E. Gudynas Ed.). Editorial Coscoroba, Montevideo, Uruguay, pp. 177-211.
- Gutiérrez R.R. (2018). Vías navegables de Sudamérica: Retos y oportunidades. Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia.
- Hänbig P. y Schlichtmann K. (2018). Erfolgreich gegensteuern – Geschiebezugabe und Regulierung des Rheins. En: *Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung 2017*, Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, WSV, Rockstock, Alemania, pp. 51-52
- Hernández N.C. (2018). El río y su territorio. *Espacio de libertad: un concepto de gestión*. Terra Nueva Etapa 34 (56) [en línea]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=7215713200602/06/22>
- Klein J.T. (1990). *Interdisciplinarity: History, theory and practice*. Wayne State University Press, Detroit, MI, EUA, 331 pp.
- Li, K. y Xu, Z. (2006). Overview of Dujiangyan irrigation scheme of ancient China with current theory. *Irrigation and Drainage: The Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage* 55 (3), 291-298. <https://doi.org/10.1002/ird.234>
- LUBW y WBW (2013). *Ingenieurbilogische Bauweisen an Fließgewässern*. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH. Karlsruhe, Alemania, 91 pp.
- Martín-Vide J.P. (2009). *Ingeniería de ríos*. 2ª ed, Edicions UPC, Barcelona, España, 381 pp.
- Martín-Vide J.P. (2013). Erosión, sedimentación y restauración de ríos: Ejemplos de ingeniería e investigación. *Tecnología y Ciencias del Agua* 4 (5), 05-18.
- Maxwald M., Crocetti C., Ferrari R., Petrone A., Rauch H.P. y Preti, F. (2020). Soil and water bioengineering applications in Central and South America: A transferability analysis. *Sustainability* 12 (24), 10505. <https://doi.org/10.3390/su122410505>
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. y Behrens W.W. (1972). *Los límites del crecimiento: Informe al Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad*. 4ª ed, Fondo de Cultura Económica, México, 253 pp.
- Mondal S. y Patel P.P. (2020). Implementing Vetiver grass-based riverbank protection programmes in rural West Bengal, India. *Natural Hazards*, 103 (1), 1051-1076. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04025-5>
- Mondragón-Monroy R. y Honey-Rosés J. (2016). *Urban river restoration and planning in Latin America: A systematic review*. Faculty Research and Publications, Open Collections. University of British Columbia, Vancouver, Canadá, 29 pp.
- Nadal-Egea A. y Aguayo F. (2020). Los motores de la degradación ambiental: El modelo macroeconómico y la explotación de los recursos naturales en América Latina. *Estudios y Perspectivas – Sede Subregional de la CEPAL en México* 185, Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Ciudad de México, México, 61 pp.
- Nardini A., Meier C. y Miguez M.G. (2016). El espacio fluvial: comparación del marco legal-administrativo de Chile, Brasil, México, España e Italia y criterios para definir corredores fluviales. *Aqua-LAC* 8 (1), 68-79.
- NCR (1992). *Restoration of aquatic ecosystems: Science, technology, and public policy*. National Research Council. The National Academies Press, Washington, DC, EUA, 576 pp. <https://doi.org/10.17226/1807>
- Núñez-González F. y Martín-Vide J.P. (2015). Desarrollo de un modelo morfodinámico para el estudio de la restauración fluvial del río Aragón, España. *Memorias. 1er Congreso Iberoamericano sobre sedimentos y ecología*. Querétaro, México, 21-24 de julio, 2015.
- Ojea M.V. (2013). Ríos de Latinoamérica, entre los más contaminados del mundo. *Nota periodística en El País* [en línea]. https://elpais.com/internacional/2013/12/31/actualidad/1388452569_012404.html 19/01/2022
- Ollero-Ojeda A. (2015). *Guía metodológica sobre buenas prácticas en restauración fluvial (manual para gestores)*. Version I.0. Contrato del río Matarraña. Universidad Zaragoza, Zaragoza, España, 111 pp.
- Quintero-Espinosa I.A. y Mejía-Zermeño R. (2006). *Ecohidrología. Memorias. XIX Congreso Nacional de Hidráulica*. Cuernavaca, Morelos, México
- Serlet A.J., Moreira G.A.L.M., Zolezzi G., Wharton G., Hoelker F., Gurnell A.M., Tockner K., Bertoldi W., Bruno M.C., Jähnig S.J., Lewandoski J., Monaghan M.T., Rillig M.C., Rogato M., Toffolon M., Veresoglou S.D. y Zarfl C. (2020). SMART Research: Toward interdisciplinary river science in Europe. *Frontiers in Environmental Science* 8 (63). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00063>
- Schneider G. (1966) *Zusammenfassende darstellung der Rheinregulierung Strassburg/Kehl-Istein*. Gutenberg-druckerei R. Oberkirch, Friburgo, Alemania, 505 pp.
- Shin J.H. y Lee I.K. (2006). Cheong Gye Cheon restoration in Seoul, Korea. *Proceedings of the Institution of*

- Civil Engineers-Civil Engineering, 159 (4), 162-170. <https://doi.org/10.1680/cien.2006.159.4.162>
- Taghizadeh S., Khani S. y Rajaei T. (2021). Hybrid SWMM and particle swarm optimization model for urban runoff water quality control by using green infrastructures (LID-BMPs). *Urban Forestry and Urban Greening* 60, 127032. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127032>
- Torres-Salinas R. y Rojas-Hernández J. (2018). La fractura hidro-metabólica del neoliberalismo: Etnografías de la desposesión hídrica en Chile I. En: *Agua y disputas territoriales en Chile y Colombia*. (A. Ulloa y H. Romero-Toledo, Eds.). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, pp. 147-176.
- UNESCO (1983). Los ríos, esas venas del planeta. *El Correo de la UNESCO*, No. 9, París, Francia, 38 pp. [en línea]. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000074701_spa 03/06/2022
- Viaene, L. (2017). Ríos: seres vivos y personalidad jurídica –nuevos argumentos legales en la defensa de los territorios de los pueblos indígenas–. Plaza Pública. Guatemala [en línea]. <https://www.plazapublica.com.gt/content/rios-seres-vivientes-y-personalidad-juridica-nuevos-argumentos-legales-en-la-defensa-de-los> 25/05/2022
- Voulvoulis N., Arpon K.D. y Giakoumis T. (2017). The EU Water Framework Directive: From great expectations to problems with implementation. *Science of the Total Environment* 575, 358-366. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.228>
- Wang J., Zhang P., Yang L. y Huang, T. (2016). Cadmium removal from urban stormwater runoff via bioretention technology and effluent risk assessment for discharge to surface water. *Journal of Contaminant Hydrology* 185-186, 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2016.01.002>
- Wohl E., Angermeier P.L., Bledsoe B., Kondolf G.M., MacDonnell L., Merritt D.M., Palmer M.A., Poff N.L. y Tarboton D. (2005). River restoration. *Water Resources Research* 41, W10301. <https://doi.org/10.1029/2005WR003985>
- Zambrano L. (2003). La restauración de ríos y lagos. *Ciencias* 72, 36-43.
- Zarn B. (1992). Lokale Gerinneaufweitung. Eine Massnahme zur Sohlenstabilisierung der Emme bei Utzenstorf. Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW) of the ETH-Zürich, Nr. 118, Zürich, Suiza, 115 pp.