

Sistema de indicadores para la recuperación de ríos urbanos. El caso del río Magdalena, Ciudad de México

Indicators system for urban river restoration. The Magdalena river case, Mexico City

Itzkauhtli Zamora Saenz^{*o}, Marisa Mazari Hiriart^{**}, Lucía Almeida Leñero^{***}

RESUMEN

En las últimas dos décadas han aumentado significativamente los proyectos encaminados a la restauración o rehabilitación de ríos urbanos. Pocas iniciativas cuentan con mecanismos que les permitan monitorear los resultados de los proyectos implementados. En este artículo se presenta el procedimiento metodológico utilizado para desarrollar el sistema de indicadores para dar seguimiento a la recuperación del río Magdalena en la Ciudad de México. El trabajo se caracteriza por el diálogo multidisciplinario y el uso de preceptos constructivistas y relacionales como ejes fundamentales para la integración del sistema. Mediante el empleo de criterios de selección, la lista de indicadores se redujo hasta obtener un sistema de 11 indicadores estratégicos, en los cuales destaca la centralidad que tienen los relacionados a la calidad del agua, la participación ciudadana y la coordinación gubernamental. El procedimiento puede ser de utilidad para monitorear la recuperación de otros ríos urbanos en el país.

ABSTRACT

In the last two decades, there has been a significant increase of projects for the restoration or rehabilitation of urban rivers. Few initiatives have mechanisms that let them monitor the results obtained. This article shows the methodological procedure used to develop the indicators system to follow the Magdalena river recovery in Mexico City. The work has the characteristics to favor multidisciplinary dialogue and the use of constructivist and relational precepts as core ideas to integrate the system. Using selection criteria, the initial indicators list was reduced until a system of 11 strategic indicators was obtained. It is important to remark the centrality of those related to the water quality, citizen participation and governmental coordination. The procedure can be useful to monitor the recovery of other urban rivers in the country.

Recibido: 19 de julio del 2016
Aceptado: 22 de septiembre del 2017

Palabras Clave:

Indicadores; ríos urbanos; análisis de redes; multidisciplinaria.

Keywords:

Indicators; urban rivers; network analysis; multidiscipline.

Cómo citar:

Zamora Saenz, I., Mazari Hiriart, M., Almeida Leñero, L. (2017). Sistema de indicadores para la recuperación de ríos urbanos. El caso del río Magdalena, Ciudad de México. *Acta Universitaria*, 27(6), 53-65. doi: 10.15174/au.2017.1520

INTRODUCCIÓN

Los ríos constituyen sistemas socio-ecológicos de gran complejidad, altamente valorados por los bienes y servicios ecosistémicos que proveen como la aportación de agua dulce para el consumo humano, la conservación de flora y fauna mediante la conformación de cadenas tróficas y ciclo de nutrientes, la regulación de microclimas y el control de inundaciones; sin olvidar actividades sociales vinculadas a su funcionamiento como el transporte, la recreación y el turismo (Kamp, Binder & Hölzl, 2007; Postel & Richter, 2003). Los ríos han tenido una fuerte alteración hidrológica, morfológica y ecológica por cambios asociados al desarrollo de actividades agropecuarias, industriales,

* Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Circuito Mario de la Cueva s/n. Ciudad de la Investigación en Humanidades. Ciudad Universitaria. C.P. 04510. Coyoacán, Ciudad de México. Correo electrónico: itzaben@gmail.com

** Departamento de Ecología de la Biodiversidad, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

*** Facultad de Ciencias. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

^o Autor de correspondencia.

a la urbanización de las cuencas y a la construcción de obras hidráulicas, principalmente presas. Durante todo el siglo XX, el crecimiento urbano gestionó los ríos bajo un paradigma sanitarista que los incorporó al sistema de drenaje, entubó sus cauces y expulsó su agua lo más rápido y lejos posible de las ciudades para evitar desbordamientos que trajeran consigo epidemias y otros problemas de salud pública (Eden & Tunstall, 2006; González, Hernández, Perló & Zamora, 2010; Tucci, 2008; 2012; Walsh *et al.*, 2005). Este paradigma se ha ido debilitando en las últimas décadas por el agotamiento de fuentes locales de agua potable que ha implicado trasvasarla de otras cuencas con un costo económico elevado, pero también por un marco de referencia relacionado a la sostenibilidad urbana que busca un manejo integrado de los recursos hídricos y la construcción de espacios públicos de calidad al interior y en la periferia de las ciudades que provean servicios ecosistémicos y favorezcan sitios para la convivencia social (Bolund & Hunhammar, 1999; Brown, Keath & Wong, 2009; Stanton, 2007; Tunstall, Penning-Rowsell, Tapsell & Eden, 2000). Bajo esta nueva visión, los ríos urbanos, es decir, aquellos escurrecimientos cuya zona de captación, cauce y régimen de sedimentos han sido fuertemente degradados por la superficie no permeable y por el sistema de drenaje tanto residual como pluvial característicos del desarrollo urbano (Bernhardt & Palmer, 2007; Findlay & Taylor, 2006; Gurnell, Lee, & Souch, 2007), ahora son considerados elementos invaluable del entorno urbano que pueden aportar beneficios ambientales, sociales, económicos y hasta culturales mediante su recuperación (Otto, McCormick & Leccese, 2004; Petts, Heathcote & Martin, 2002; Postel & Richter, 2003; Riley, 1998). Por esta razón, se han implementado en diferentes ciudades del mundo proyectos dirigidos a promover acciones que inicien o aceleren la recuperación de ríos urbanos con el objetivo de minimizar lo más posible su deterioro ecológico, aumentar su resiliencia a perturbaciones externas y vincular su paisaje de manera armónica con la ciudad (Bernhardt *et al.*, 2005; Marques & Junior, 2014; Nakamura, Tockner & Amano, 2006; Silva-Sánchez & Jacobi, 2012). No obstante, son pocas las iniciativas que han estado acompañadas por algún sistema de monitoreo que permita medir sus avances y generar información valiosa para tomar decisiones bajo un enfoque adaptativo (Downs & Kondolf, 2002). La ausencia de indicadores para el monitoreo de los cauces urbanos limita severamente la posibilidad de aprender de los éxitos y los fracasos que han tenido los proyectos de recuperación (Mant & Janes, 2006; Palmer *et al.*, 2005).

La presente investigación tiene la finalidad de contribuir en el desarrollo de sistemas de indicadores que

permitan monitorear los avances que se tienen en la implementación de planes y proyectos encaminados a recuperar ríos urbanos. Se entenderá por sistema de indicadores al conjunto de representaciones operativas teóricamente orientadas, organizadas e interrelacionadas, dirigidas a medir procesos que provean información sobre el estado y las tendencias socioecológicas en la recuperación de un río con el objetivo de facilitar la transmisión de dicha información a diferentes grupos sociales (expertos y no expertos) para tomar decisiones que favorezcan el manejo y la conservación de la cuenca (Jackson, Kurtz & Fisher, 2000; Parsons, Thoms, Flotemersch & Reid, 2016; Segnestam, 2002). El objetivo del trabajo consiste en presentar la metodología seguida en la elaboración del sistema de indicadores para la recuperación del río Magdalena, localizado al surponiente de la Ciudad de México, el cual se integró a partir de diferentes etapas de trabajo multidisciplinario bajo un enfoque constructivista y un análisis relacional que permitió depurar el sistema hasta identificar aquellos que tuvieran mayor centralidad para medir cambios en el sistema socioecológico de la microcuenca debido a los proyectos implementados para su recuperación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Unidad de estudio

El río Magdalena nace a 3650 msnm en el paraje de Cieneguillas ubicado en la Sierra de las Cruces y atraviesa el suelo de conservación que se encuentra en el Parque de los Dinamos. La vegetación característica de la zona son las comunidades de *Pinus hartwegii* en la parte alta, *Abies religiosa* en la media y bosque mixto en la parte baja (Almeida *et al.*, 2007). Su cauce tiene una dirección NE y se estima que su caudal mínimo es próximo a los 400 l/s (Secretaría del Medio Ambiente, 2009). La excelente calidad de sus aguas permite que 200 l/s sean aprovechados por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM) para contribuir en el abastecimiento de agua potable de la Delegación Magdalena Contreras, siendo el único cuerpo de agua superficial local que contribuye de manera continua en el abastecimiento de la ciudad. Los problemas de contaminación son notorios después de pasar por la planta potabilizadora, ya que al entrar en contacto con el suelo urbano recibe aguas servidas y residuos sólidos provenientes de las viviendas que ocupan la planicie de inundación. Uno de los principales vectores de contaminación es el río Eslava, su principal tributario, debido a que este conduce prácticamente agua residual al momento de la confluencia con el Magdalena. El río atraviesa el Foro Cultural Contrerense y desemboca en la Presa Anzaldo, la cual deriva

el agua de varios escurrimientos del surponiente de la ciudad (Magdalena, Anzaldo, Coyotes y Texcalatlaco) hacia el Interceptor Poniente. Después del Interceptor, el río está entubado en un tramo de 4.6 km que está incorporado al sistema de vialidades de la ciudad con el nombre de avenida Río Magdalena y Paseo del río. Nuevamente el cauce se encuentra a cielo abierto a la altura del puente de Panzacola o iglesia del Altillio en la colonia Santa Catarina, delegación Coyoacán. En este último kilómetro el río recorre los Viveros de Coyoacán, un conjunto habitacional de la colonia del Carmen y confluye con el río Mixcoac para formar el río Churubusco, el cual se encuentra totalmente entubado y convertido en una importante vialidad de la ciudad, véase figura 1.

La longitud del río, desde su nacimiento hasta su confluencia final, es de 28.2 km, los cuales vinculan cuatro delegaciones políticas (Cuajimalpa, Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Coyoacán) o cinco si se incluye la microcuenca del río Eslava (Tlalpan). El área total de la cuenca es de 35.21 km². Del año 2008 al 2012, la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (Sedema) coordinó una serie de trabajos para la recuperación del río Magdalena, entre los cuales destacan el Plan Maestro de Manejo integral y Aprovechamiento Sustentable (en adelante Plan Maestro) y proyectos ejecutivos como la construcción de un colector central para separar las aguas servidas del cauce, una planta de tratamiento y actividades para el mantenimiento del suelo de conservación. Como parte de estos trabajos la Sedema solicitó la elaboración de un conjunto de indicadores que permitieran monitorear los principales cambios en la microcuenca a partir de las intervenciones gubernamentales dirigidas a su recuperación (Secretaría del Medio Ambiente [Sedema]/ Programa Universitario del Medio Ambiente [PUMA], 2009).

Método

Se integró un equipo de trabajo multidisciplinario con 21 investigadores provenientes de siete áreas de conocimiento (Arquitectura del paisaje, Biología, Ingeniería ambiental, Ingeniería hidráulica, Ecología, Geografía social y Sociología). Todos los miembros habían participado en la elaboración del Plan Maestro, de tal manera que tenían un alto grado de conocimiento sobre el área de estudio y las estrategias en las que está organizado el Plan¹. Fueron tres las principales etapas de trabajo del grupo multidisciplinario, las primeras dos principalmente bajo un enfoque constructivista

(Astleithner & Hamedinger, 2003; García, 2006) y la tercera mediante uno relacional (Desthieux & Joerin, 2004; Gallopín, 1996).

a) Etapa 1. Consensos sobre la definición y la utilidad del sistema de indicadores. El primer paso consistió en construir un esquema cognitivo común sobre la definición básica de un sistema de indicadores (¿Qué es?) y su finalidad (¿Cuáles son los objetivos que persigue?). Desde esta etapa se involucró a los funcionarios de gobierno que tendrían la responsabilidad de implementar el sistema de indicadores para que fuera posible incorporar sus expectativas y fuentes de información a lo largo de todo el proceso. Para ponderar los criterios de selección de indicadores se siguió el proceso jerárquico-analítico en la toma de decisiones (Saaty, 2008), el cual consiste en jerarquizar alternativas de acción a partir de comparaciones por pares siguiendo en todo momento la regla de transitividad (si $A > B$ y $B > C$, entonces $A > C$). La calificación máxima fue 5 (muy importante) y la mínima de cero (poco importante). Si las votaciones rompían esta regla, entonces se revisaban nuevamente las evaluaciones hasta lograr que la selección fuera consistente. Para computar la votación se utilizó el programa *Super Decisions*, v.1.6.0 (Saaty, 2001). Los criterios de selección de indicadores que se jerarquizaron se muestran en la tabla 1.

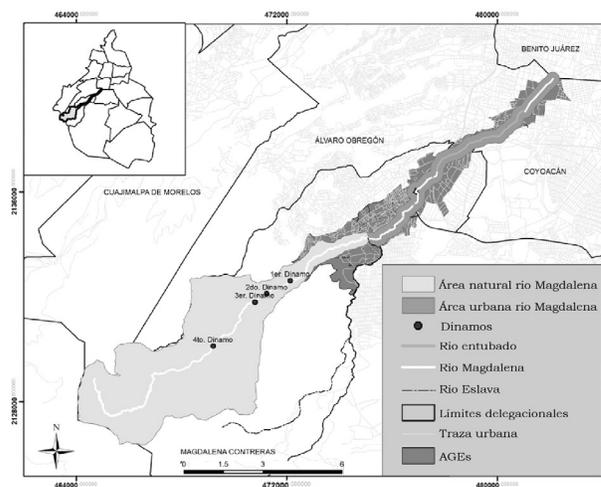


Figura 1. Microcuenca del río Magdalena, Ciudad de México
Fuente: Elaboración propia.

¹ Son cinco las estrategias que estructuran los ámbitos de intervención del Plan Maestro: I. Manejo ecosistémico y desarrollo sustentable a nivel local (acciones en el suelo de conservación de la microcuenca), II. Manejo integral del río y de su cuenca hidrológica (acciones en el cauce y en la infraestructura hidráulica asociada), III. Revaloración urbano-paisajístico (acciones en el suelo urbano), IV. Ordenamiento territorial (acciones en el área de transición entre el suelo de conservación y el suelo urbano) y V. Nueva gobernanza para la implementación y monitoreo del rescate (acciones institucionales y en la comunidades locales).

Tabla 1.
Criterios utilizados para seleccionar indicadores.

Criterio	Definición
Relevancia	El indicador es más significativo que otro para conocer las tendencias de la microcuenca
Pertinencia	El indicador permite medir procesos centrales de la microcuenca
Facilidad	El indicador se basa en un conjunto de datos asequibles o simples de generar
Claridad	El indicador es fácil de manejar y se comunica con sencillez
Efectividad	El indicador puede incidir en cambios de la política pública y la gestión del territorio

Fuente: Elaboración propia basado en von Schirmding (2002).

a) Etapa 2. Lista preliminar de indicadores. La premisa de esta etapa consistió en la imposibilidad de medir todos los procesos socio-ecológicos de la microcuenca, no sólo por las fronteras del conocimiento existentes en los diferentes campos de conocimiento, sino también por las limitaciones presupuestales y temporales que tienen las instituciones gubernamentales para implementar un sistema de indicadores. De esta manera, se generó una lista preliminar de indicadores a partir de una selección cualitativa por parte de los investigadores. Cada participante seleccionó de manera práctica y heurística indicadores que permitieran medir procesos básicos para evaluar el estado actual de la microcuenca y el avance en el cumplimiento de objetivos específicos asociados al Plan Maestro, ambos correspondientes a su campo de conocimiento. Vincular el número de indicadores a los objetivos de recuperación de un plan o programa permite discriminar entre un catálogo muy amplio de indicadores existentes para monitorear la recuperación de un ecosistema (Cairns, McCormick & Niederlhner, 1993). La construcción cualitativa de esta lista descansó en el conocimiento que tiene el propio investigador sobre evidencia empírica que se había generado en el área de estudio o sobre unidades territoriales similares, así como por su conocimiento sobre los alcances logrados en su disciplina científica en materia de indicadores. Por ejemplo, el ingeniero hidráulico sugirió una lista de indicadores para medir los avances en el saneamiento del cauce y el arquitecto paisajista

hizo lo propio para monitorear el avance en la creación de espacios públicos asociados al río. De esta manera se armó una lista preliminar de indicadores, la cual fue depurada en una serie de reuniones grupales en las cuales se eliminaron los duplicados y se descartaron otros gracias a los criterios de selección que se habían generado en la primera etapa.

b) Etapa 3. De la lista al sistema de indicadores.

Una vez depurada la lista, se procedió a identificar relaciones entre los indicadores para tener una representación sistémica sobre la eventual recuperación de la microcuenca, es decir, en esta etapa se rompieron las fronteras disciplinares para identificar relaciones entre los diferentes procesos socio-ecológicos de la microcuenca. La relación se justificó mediante una relación causal de impacto del tipo "los procesos que mide el indicador A impactan los procesos del indicador B". Cada investigador identificó relaciones de este tipo con los indicadores que había diseñado y las argumentó en una sesión plenaria para recibir críticas y retroalimentaciones por parte del equipo multidisciplinario. De esta manera, se configuró colectivamente un campo relacional de indicadores. Las explicaciones causales identificadas podían ser unidireccionales o bidireccionales de acuerdo al flujo de afectación entre los procesos. Eran unidireccionales cuando el proceso del indicador A afecta los procesos y resultados del indicador B, pero no sucede a la inversa, esto es, que los procesos del indicador B no tienen un impacto en los de A. Por su parte, las relaciones bidireccionales se dan cuando los procesos se afectan en ambos sentidos. Posteriormente se utilizaron medidas de centralidad del análisis de redes (*grado de entrada* y *grado de salida*) para conocer el peso de cada indicador de acuerdo a la cantidad de relaciones que tuvo con el resto de los elementos que componen el sistema. Los indicadores con mayor grado de entrada (*in-degree*) son aquellos que reciben una mayor cantidad de relaciones, de manera que los cambios en sus mediciones dependerán de los cambios que sucedan en otros procesos socio-ecológicos; mientras que los de mayor grado de salida (*out-degree*) son los que reportan una mayor cantidad de relaciones hacia otros indicadores, por lo que guían la ejecución de proyectos prioritarios en la cuenca, ya que de funcionar como se espera, impactarán favorablemente las mediciones de otros indicadores del sistema. Los indicadores de mayor centralidad son los que finalmente conforman el sistema de indicadores.

RESULTADOS

El equipo de trabajo multidisciplinario consideró que los principales objetivos que debía perseguir el sistema de indicadores para la microcuenca del río Magdalena consistían en conocer el grado de avance de políticas y proyectos en el territorio, así como realizar un diagnóstico estratégico para que las autoridades de gobierno pudieran tomar decisiones basadas en información y en el conocimiento de las tendencias centrales del sistema socio-ecológico de la cuenca. Para cumplir tales objetivos y como resultado del proceso jerárquico-analítico para organizar los criterios de selección, se consideró que el criterio preponderante era el de efectividad, esto es, la capacidad que tiene un indicador para dirigir cambios en las políticas públicas y en la gestión del territorio a partir del tipo de información que genera (tabla 2). En segundo y tercer lugares quedaron los criterios de facilidad y relevancia, respectivamente.

Con base en estos criterios, se redujo una lista preliminar de 81 indicadores que se había integrado a partir de las propuestas individuales de cada investigador. De esta manera, se eliminaron los indicadores que fueron considerados de menor efectividad, facilidad y relevancia. Este procedimiento permitió contar con una lista reducida de 31 indicadores, los cuales se organizaron a partir de las estrategias del Plan Maestro de acuerdo al ámbito de medición que sugerían. Esta lista de indicadores se muestra en la tabla 3.

En total se identificaron 147 relaciones entre los indicadores, de manera que la densidad o la conectividad de la red es de 0.158. La representación gráfica del sistema de indicadores se muestra en la figura 2, mientras que en la tabla 4 se aprecian los resultados correspondientes al grado de centralidad de cada uno de los indicadores de acuerdo al número de relaciones que tiene con el resto (*Grado de salida*) y del número de relaciones que reportaron de otros indicadores (*Grado de entrada*).

Tabla 2.

Resultados del proceso de jerarquización de criterios para seleccionar indicadores.

Criterios	Valores normalizados
Efectividad	0.4381
Facilidad	0.25263
Relevancia	0.19036
Claridad	0.04637
Pertinencia	0.07254

Fuente: Elaboración propia utilizando SUPER DECISIONS, v.1.6.0.

Tabla 3.

Lista de indicadores después de utilizar los criterios de selección.

Estrategia 1. Manejo ecosistémico y desarrollo local sustentable

1. Monto total otorgado por pago por servicios ambientales per cápita
2. Relación área-usuario
3. Área dedicada a actividades económicas total y por sectores
4. Rendimiento promedio por hectárea total y según tipo de actividad económica
5. Accesibilidad
6. Protección de áreas para la conservación de especies prioritarias
7. Superficie potencial con restauración de suelos
8. Sitios de riesgo de incendios forestales por acciones de prevención
9. Índice de calidad de reforestación
10. Sitios afectados por plagas forestales y especies exóticas que recibieron tratamiento

Estrategia 2. Manejo integral del río y de su cuenca hidrológica

11. Colector marginal nuevo o rehabilitado
12. Calidad del agua
13. Gasto unitario de recarga
14. Relación entre agua tratada y sin tratar
15. Gasto base del río en lluvias y en estiaje
16. Capacidad de agua de lluvia almacenada
17. Superficie de inundación estimada para cada inundación registrada
18. Bitácora oficial de operación de las compuertas de la presa
19. Volumen y energía ahorrados anualmente por la disminución de entrega de agua potable por el SACM
20. Cantidad de presas de gaviones rehabilitadas o nuevas

Estrategia 3. Revaloración urbano-paisajística del río

21. Espacio público construido o recuperado por tipo
22. Calidad del paisaje urbano-rural-natural
23. Número de puntos de acumulación y servicio de recolección de basura por área

Estrategia 4. Ordenamiento territorial

24. Tasa de cambio del uso de suelo
25. Obras de reubicación en zonas de alto riesgo de asentamientos humanos irregulares (AHI)
26. Acciones de vigilancia y monitoreo
27. Tasa de crecimiento aritmética de superficie ocupada y construida
28. Obras de mitigación en zonas de medio y bajo riesgo dentro de los AHI
29. Situación de la tenencia de la tierra y conflictos actuales

Nueva Gobernanza

30. Coordinación gubernamental
31. Participación ciudadana en proyectos

Fuente: Elaboración propia

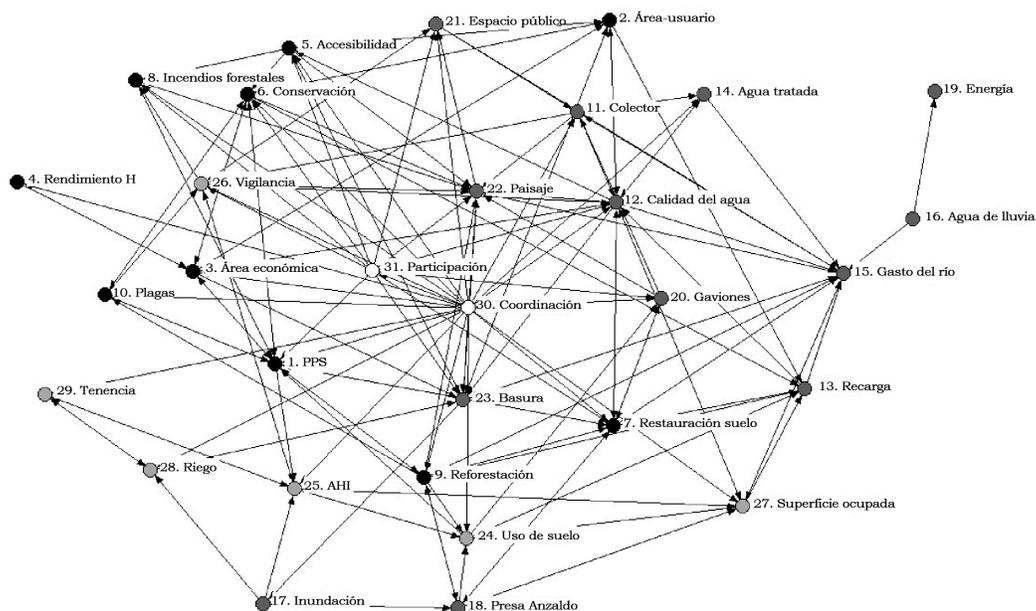


Figura 1. Red de relaciones en el sistema de indicadores para el rescate del río Magdalena.
Fuente: Elaboración propia con base en Sedema/ PUMA (2009).

Tabla 4.
Grado de centralidad de los indicadores que conforman el sistema.

Indicador	Grado de salida	Grado de entrada	GSalida Normalizada	GEntrada normalizada	Indicador	Grado de salida	Grado de entrada	GSalida Normalizada	GEntrada normalizada
1. PPS	7	9	0.233	0.300	17. Inundación	3	2	0.100	0.067
2. Área-usuario	4	5	0.133	0.167	18. Presa Anzaldo	5	3	0.167	0.100
3. Área económica	5	5	0.167	0.167	19. Energía	0	1	0.000	0.033
4. Rendimiento H	1	1	0.033	0.033	20. Gaviones	3	4	0.100	0.133
5. Accesibilidad	5	3	0.167	0.100	21. Espacio público	3	4	0.100	0.133
6. Conservación	6	7	0.200	0.233	22. Paisaje	1	12	0.033	0.400
7. Restauración suelo	6	7	0.200	0.233	23. Basura	4	7	0.133	0.233
8. Incendios forestales	2	5	0.067	0.167	24. Uso de suelo	3	5	0.100	0.167
9. Reforestación	8	3	0.267	0.100	25. AHI	4	6	0.133	0.200
10. Plagas	3	5	0.100	0.167	26. Vigilancia	6	7	0.200	0.233
11. Colector	5	5	0.167	0.167	27. Superficie ocupada	5	5	0.167	0.167
12. Calidad del agua	11	10	0.367	0.333	28. Riesgo	2	3	0.067	0.100
13. Recarga	2	6	0.067	0.200	29. Tenencia	2	3	0.067	0.100
14. Agua tratada	2	3	0.067	0.100	30. Coordinación	23	0	0.767	0.000
15. Gasto del río	3	10	0.100	0.333	31. Participación	11	1	0.367	0.033
16. Agua de lluvia	2	0	0.067	0.000					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.
 Descripción de los indicadores que componen el sistema de monitoreo para la recuperación del río Magdalena.

#	Indicador	Descripción (resumen)
1	(1) Monto total otorgado por pago por servicios ambientales per cápita	Proporción de montos asignados a las personas encargadas de realizar actividades dirigidas a la preservación del suelo de conservación.
2	(6) Protección de áreas para la conservación de especies prioritarias	Porciones de terreno con bosques vírgenes o reforestados destinados a la conservación o uso sostenible de los recursos naturales. Especial atención en las zonas en las que se encuentran especies prioritarias (endémicas, amenazadas, con valor ambiental o socioeconómico)
3	(7) Superficie potencial con restauración de suelos	Superficie del suelo de conservación en el que se han implementado acciones necesarias para recuperar y reestablecer las condiciones naturales del suelo con el propósito de disminuir los procesos de degradación naturales y antropogénicos.
4	(9) Índice de calidad de reforestación	Supervivencia de los individuos plantados en proyectos de reforestación en zonas donde la cobertura vegetal ha sido alterada.
5	(12) Calidad del agua	Evaluar la calidad del agua en el río en una escala de 0-100 mediante el índice de calidad del agua (ICA), tomando en cuenta los parámetros de coliformes fecales, conductividad eléctrica, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nitrógeno amoniacal, Nitrógeno de nitratos, Oxígeno disuelto, Sólidos Disueltos Totales (SDT) y Sólidos Suspendedos Totales (SST).
6	(15) Gasto base del río en lluvias y en estiaje	Volumen de agua entre tiempo ($Q = \text{Volumen} / \text{tiempo}$, en m^3/s) en tramos de cauces de sección regular. Se refiere a gasto base como el caudal establecido, es decir, diferente a avenidas o crecientes, ya que estas se presentan en un intervalo de tiempo relativamente corto.
7	(22) Calidad del paisaje urbano-rural-natural	Medición de la calidad del paisaje a través de las visuales que se contemplan en distintos espacios, cantidad y calidad de agua en el río y el grado de confort en el sitio desde el que se evalúa. También incluye señalización y facilidad del usuario para ubicar espacios de interés.
8	(23) Número de puntos de acumulación y servicio de recolección de basura por área	Incremento o disminución de los puntos de acumulación de basura en los márgenes del río.
9	(26) Acciones de vigilancia y monitoreo	Identificar los delitos ambientales que se registran en la zona (ocupación ilegal del suelo, tala de árboles, incendios provocados) con relación a su seguimiento hasta la determinación de la sanción correspondiente.
10	(30) Coordinación gubernamental	Apropiación del Plan Maestro por parte de las diferentes dependencias de gobierno para el desarrollo de acciones y políticas concertadas en la microcuenca.
11	(31) Participación ciudadana en proyectos	Involucramiento de las comunidades locales en la implementación de proyectos relacionados con la recuperación del río Magdalena.

Fuente: Elaboración propia con base en Sedema/PUMA (2009).

Los indicadores con mayor grado de salida ($X \geq a$ siete relaciones) fueron: 1. Monto total otorgado por Pago de Servicios Ecosistémicos *per cápita*, 9. Índice de calidad de reforestación, 12. Calidad del agua, 30. Coordinación gubernamental y 31. Participación ciudadana; mientras que los indicadores con mayor grado de entrada ($X \geq a$ siete relaciones) fueron 1. Monto total otorgado por Pago de Servicios Ecosistémicos *per cápita*, 6. Protección de áreas para la conservación de especies prioritarias, 7. Superficie potencial con restauración de suelos, 12. Calidad del agua, 15. Gasto base del río en lluvias y en estiaje, 22. Calidad del paisaje, 23. Número de puntos de acumulación y servicio de recolección de

basura y 26. Acciones de vigilancia y monitoreo. En la tabla 5 se muestran los indicadores con mayor grado de centralidad. Bajo este procedimiento el sistema de indicadores para medir los avances en la recuperación del río Magdalena está compuesto por 11 indicadores de centralidad.

DISCUSIÓN

La recuperación de un río urbano es un proceso complejo por la cantidad de procesos socio-ecológicos que están interrelacionados (Everard & Powell, 2002; Gurnell *et al.*, 2007; Petts *et al.*, 2002; Thoms, Gilvear,

Greenwood & Wood, 2016). En este sentido, la elaboración del sistema de indicadores para estas iniciativas suelen coincidir en la importancia de monitorear en la escala de cuenca, ya que esto permite observar no solo la conectividad longitudinal del río, sino también la conectividad lateral que sucede entre la zona riparia y el cauce, así como procesos biofísicos y sociales que no están próximos al afluente, pero que tienen un impacto notable en el régimen hídrico (Bernhardt & Palmer, 2007; Zöckler, 2000). El uso de dicha escala coloca a la recuperación y el monitoreo más allá de una visión hidráulica limitada que se enfoca únicamente en los procesos que suceden en el cauce, para aspirar a una de tipo ecológica y sistémica que relaciona las dimensiones biofísica, hidráulica, social e institucional (Mant & Janes, 2006; Palmer *et al.*, 2005; Parsons *et al.*, 2016; Reichert *et al.*, 2007). A partir de esta premisa sistémica, la elaboración de indicadores exige la colaboración multidisciplinaria que fomente el diálogo entre distintos campos de conocimiento (Clifford, 2007; Lorenz, van Dijk, van Hattum & Cofino, 1997; Woolsey *et al.*, 2007). Como se mencionó en el método de trabajo, la elaboración del sistema de indicadores para la recuperación del río Magdalena se basó en un proceso constructivista a partir de aproximaciones sucesivas que fueron delineando el modelo final con base en el diálogo multidisciplinario entre los diferentes participantes. Seleccionar los indicadores más importantes para medir el estado y las transformaciones de la microcuenca requiere de un trabajo iterativo en varias fases que combine el uso de técnicas cuantitativas y cualitativas bajo un enfoque teórico y una metodología que le permita a los diferentes especialistas tener claridad sobre el procedimiento que están siguiendo, así como generar un campo de discusión común que les permita interactuar y solucionar un problema de manera conjunta.

La primera etapa de la propuesta metodológica coincide con varias investigaciones que establecen la importancia de utilizar criterios para la selección de indicadores como parte de la ruta crítica hacia el logro de consensos en la construcción del sistema (Osorio & Pineda, 2000; Reichert *et al.*, 2007). No son pocos los estudios que se basan en un método de procesos analítico jerárquicos para seleccionar indicadores vinculados a la gestión de recursos naturales (Ananda & Herath, 2008; Schmoldt, Kangas & Mendoza, 2001) o específicamente para la recuperación de ríos (Lifang, Yichuan & Wei, 2008; Qureshi & Harrison, 2001; Raju & Pillai, 1999).

Los estudios coinciden en señalar que la importancia de este método radica en la posibilidad de comparar distintas opciones que no se pueden discriminar a partir funciones de costo-beneficio, ni por valoraciones monetarias, ya que obedecen a procesos o dimensiones distintas. Ahora bien, los cinco criterios que se utilizaron en este proyecto para seleccionar indicadores no son los únicos, hay una lista sumamente amplia que se puede integrar si se retoman otras propuestas en la materia². No obstante, hay una cierta recurrencia en considerar que los indicadores deben ser fáciles de medir y utilizar (Dale & Beyeler, 2001; Palmer *et al.*, 2005), criterio que ocupó una jerarquía alta en nuestro modelo. En países como México, en los que no se destina presupuesto suficiente para el diseño de un sistema de indicadores ni para la ejecución del monitoreo, se requiere tomar en cuenta las siguientes cuestiones: ¿Existe información para alimentar la base del indicador? ¿El usuario final cuenta con el equipo para hacer las mediciones correspondientes? En otras palabras, la construcción de un sistema de indicadores práctico y ejecutable requiere que los investigadores que lo diseñan analicen su factibilidad, desde la información disponible para hacer las mediciones hasta las restricciones técnicas y presupuestales con las que cuenta el usuario final (Holl & Cairns, 2002; Jackson *et al.*, 2000).

A pesar de que varias investigaciones consideran que su objetivo central es la generación de un sistema de indicadores, son pocas las que los organizan a partir de las relaciones que mantienen entre sí, independientemente del subsistema al que pertenezca. Al respecto, los modelos relacionales de causa-efecto como el que se utilizó en la presente investigación se han considerado de gran utilidad para integrar diferentes tipos de conocimiento dirigidos a la recuperación de ríos urbanos (Lorenz *et al.*, 1997). Ahora bien, este método se ha robustecido con el uso de modelos bayesianos que resultan muy atractivos en la elaboración de otros modelos relacionales por la cuantificación probabilística que se puede alcanzar sobre el sistema (Borsuk, Reichert, Peter, Schager & Burkhardt-Holm, 2006; Reckhow, 1999). En todo caso, es importante insistir que no basta una lista de indicadores, se requiere un procedimiento que identifique sus relaciones para depurar y seleccionar aquellos que tienen un carácter estratégico en el monitoreo de la política ambiental y de la propia conservación de la cuenca. Esta fue una de

² Además de los cinco señalados se identificaron otros criterios como los de validez científica, costo-eficiencia, capacidad de síntesis, predecir cambios en el sistema, ser integrales y factibilidad, por mencionar algunos.

las tareas más laboriosas de toda la investigación, ya que las relaciones deben estar consensadas por la mayoría de los investigadores, lo que implica que cada participante se abra al razonamiento de una disciplina científica ajena, de manera que tanto el biólogo como el sociólogo deben estar en posibilidades de criticar las relaciones causales entre indicadores que propone el ingeniero hidráulico, por mencionar un caso. Este procedimiento permite la creación de un metalenguaje entre los especialistas, lo cual constituye parte de la transición del trabajo multidisciplinario al razonamiento interdisciplinario (García, 2006).

Como se mencionó previamente, no hay un número predeterminado de indicadores para construir un sistema. De hecho, suele aceptarse que varía de acuerdo al estado que guarda el sistema socio-ecológico en el que se está trabajando, los objetivos que persigue el programa de recuperación e incluso el trasfondo cultural en el que se da la iniciativa (Lorenz *et al.*, 1997; Mant & Janes, 2006; Palmer *et al.*, 2005). Para el sistema del río Magdalena los participantes acordaron un método de trabajo que permitiera identificar la cantidad menor posible sin comprometer el análisis del sistema complejo en su conjunto y que al mismo tiempo facilitara la viabilidad de su implementación. Dale & Beyeler (2001) advierten el riesgo que implica utilizar un número demasiado reducido de indicadores para monitorear un programa, ya que esto puede desembocar en una simplificación o en un reduccionismo que compromete la comprensión del sistema socio-ecológico. A pesar de que no hay un número y tipo de indicadores predeterminados para construir un sistema de indicadores que evalúen la recuperación de un río urbano, la mayoría de los casos coincide en la necesidad de incluir uno referido a la calidad del agua, aún más cuando forman parte del sistema de abasto de agua de una ciudad (Everard & Moggridge, 2012). Si bien en México son numerosos los estudios que incluyen indicadores sobre la morfología fluvial y la calidad del agua (Guzmán *et al.*, 2011; Holguín *et al.*, 2006; López, Ramos & Carranza, 2007; Martínez, Fonseca, Ortega & García-Luján, 2009; Montelongo *et al.*, 2008; Olguín, González, Sánchez, Zamora & Owen, 2010; Pérez, Aguilera & Mora, 2006; Rivera *et al.*, 2007), estos no están asociados a un programa de recuperación integral del río u organizados en un sistema de indicadores.

Otro indicador que se considera básico para monitorear el sistema hídrico de un río urbano es el que permite medir el gasto base tanto en la temporada de lluvias como en el estiaje. En otras investigaciones se ha

argumentado que el funcionamiento hidrológico de los cuerpos de agua superficial en México son muy susceptibles al régimen pluvial, ya que hay una temporada de lluvias y una de estiaje muy marcados en la mayoría del territorio nacional, lo cual incide de manera importante en el caudal (Zambrano, 2003). En el caso de los ríos urbanos, esta variación natural del gasto es todavía mayor debido a la cantidad de obras hidráulicas que se fueron construyendo en la cuenca, ya sea para aprovechar el agua o como una medida para prevenir inundaciones aguas abajo. Estas obras suelen derivar el agua fluvial al sistema de drenaje de la ciudad durante temporada de lluvias, alterando severamente su régimen natural. De esta manera, conocer la variabilidad que tiene el caudal a lo largo del año de acuerdo al estado actual de la cuenca es un dato fundamental para evitar medidas de intervención que comprometan el gasto ecológico del río.

Por otra parte, en varios estudios se insiste en la importancia de incluir indicadores orientados a medir el involucramiento ciudadano y la coordinación multisectorial en la implementación de los programas de recuperación (Eden & Tunstall, 2006; Everard & Powell, 2002; Gurnell *et al.*, 2007; Walsh *et al.*, 2005; Woolsey *et al.*, 2007). Como se puede apreciar en los resultados para el río Magdalena, precisamente estos son los indicadores que tuvieron una mayor centralidad en la red de relaciones que construyó el equipo multidisciplinario. Tal vez si el sistema hubiera estado diseñado para medir el estado de conservación del sistema socio-ecológico, los indicadores de participación ciudadana y coordinación gubernamental tendrían una centralidad menor; pero como el monitoreo consiste en un proyecto de recuperación, entonces tales indicadores cobran una mayor relevancia dado que tales procesos están fuertemente asociados con el éxito o fracaso de las iniciativas.

La coordinación gubernamental resulta un gran reto en los proyectos de restauración ambiental, ya que exige la modificación de ciertas rutinas y lógicas burocráticas que impiden abordar un problema de manera integral u holística. La recuperación de ríos urbanos implica la modificación de arreglos institucionales que permitan coordinar intereses, responsabilidades y actos de autoridad (Mitchell, 2005), por lo que estos programas incluso pueden convertirse en experiencias valiosas para la innovación institucional (Dorcey, 2004). El gobierno no solo enfrenta el reto de la articulación de acciones entre dependencias o escalas del poder público, también se encuentra el de abrir espacios a la participación ciudadana que permitan sostener los proyectos en el mediano y largo plazos

(Silva-Sánchez & Jacobi, 2012). Por esta razón, la participación ciudadana es un aspecto que requiere de monitoreo, máxime si el proyecto se plantea como una iniciativa que busca involucrar a las comunidades locales en la implementación del Plan Maestro como fue el caso del río Magdalena.

En el sistema de monitoreo para el río Magdalena, la coordinación gubernamental está sumamente relacionada con los indicadores que permiten medir tanto la restauración de los suelos y la reforestación en las partes altas de la cuenca, así como el mejoramiento de la calidad del paisaje urbano-rural-natural. En el primer caso, se identificó que las acciones de restauración y reforestación que implementaban instancias federales como la Comisión Nacional Forestal (Conafor) no necesariamente se complementaban con las de las agencias locales como la Comisión de Recursos Naturales (Corena) de la Sedema y con las de las direcciones ambientales delegaciones, lo que suele repercutir en la duplicidad de programas e incluso puede desembocar en la búsqueda de objetivos contrarios para el manejo del suelo de conservación. La misma situación se replica en el suelo urbano, ya que cada autoridad busca definir proyectos relacionados con el río de acuerdo a su propia valoración del problema, pero enfocado en la circunscripción que administra y no en la escala de la cuenca. Por lo anterior, no son poco frecuentes los casos en donde una autoridad de gobierno busca recuperar los servicios ecosistémicos del río, mientras que aguas abajo otra instancia de gobierno plantea como principal política el entubamiento del tramo que cruza el territorio que está bajo su administración. La coordinación gubernamental en principio favorecería un acoplamiento de acciones dirigida a una visión y objetivos compartidos para la recuperación del río.

En el indicador relacionado a las acciones de vigilancia y monitoreo se destaca la identificación de los delitos ambientales vinculados a los asentamientos irregulares. En el caso del río Magdalena y en la mayoría de los ríos urbanos de nuestro país, el suelo de conservación está sumamente amenazado por el crecimiento urbano. Esto crea una zona de transición entre el suelo de conservación y el suelo urbano en la cual se concentra de manera importante el establecimiento de asentamientos irregulares que suelen estar asociados a la tala de árboles, al aumento de la superficie impermeable, a la concentración de puntos de acumulación de basura y a la contaminación del cauce por el vertimiento de aguas residuales, por mencionar algunos problemas. Este indicador, aunque importante para conocer los avances del suelo urbano en la cuenca, suele reflejar problemas de carácter

estructural en el desarrollo urbano que desbordan los objetivos programáticos de un plan de recuperación del río, entre los cuales destacan la insuficiencia de una política de vivienda accesible en las zonas centrales de la ciudad, pero también actos de corrupción que favorecen el crecimiento urbano en contra de las especificaciones de planes y programas de desarrollo urbano y ambientales vigentes en el territorio.

Finalmente, la propuesta metodológica para el sistema de indicadores del río Magdalena coincide con otras investigaciones que plantean la necesidad de incluir a los funcionarios y tomadores de decisión en la construcción de un sistema de indicadores (Reichert *et al.*, 2007). La inclusión de los funcionarios de la Sedema permitió abrir un canal de comunicación entre ellos y los investigadores que se consideró fundamental a lo largo de todo el proceso. La factibilidad de un sistema de indicadores está muy relacionada con involucrar las necesidades específicas del usuario final y con tomar en cuenta los medios que tiene para hacer las mediciones correspondientes. Si no se conocen desde las primeras etapas las expectativas, los recursos humanos y financieros del usuario final, se puede diseñar un sistema muy sofisticado y teóricamente bien fundamentado, pero fuera de su alcance técnico y presupuestario, por lo que será muy difícil y costoso ponerlo en marcha. Incluso, puede suceder que el funcionario de gobierno ya implemente un indicador en la cuenca, pero falta integrarlo y organizarlo dentro de un sistema que permita identificar su relevancia y pertinencia para contribuir en el conocimiento sobre la recuperación del río.

CONCLUSIONES

Garrido, Cuevas, Cotler, González & Tharme (2010) remarcaron la carencia de información sobre el estado ambiental específico de los ríos que hay en México, aspecto que constituye un óbice para tomar acciones adecuadas en su manejo y conservación. A este déficit de conocimiento se puede agregar la falta de sistemas de indicadores para conocer las problemáticas y oportunidades que presentan los ríos urbanos, así como los avances en los proyectos para su recuperación. El desarrollo de sistemas de indicadores para monitorear la recuperación de sistemas socio-ecológicos todavía no está suficientemente incorporado en la cultura y prácticas institucionales de varios países, entre ellos el nuestro. Los argumentos suelen coincidir en que las dependencias gubernamentales carecen de tiempo, dinero y personal capacitado para monitorear sus proyectos ambientales (Bash & Ryan, 2002). Es importante criticar este tipo de razonamientos,

ya que cualquier proyecto de planeación territorial requiere mecanismos de monitoreo y evaluación que permitan generar evidencia empírica para comprender la efectividad de las medidas implementadas, así como evitar fórmulas que han demostrado poca o nula efectividad. Es muy probable que la falta de interés en desarrollar sistemas de monitoreo refleje el temor de los funcionarios a ser evaluados laboralmente con los indicadores, en vez de considerarlos como una herramienta que les permita mejorar el uso de recursos humanos, técnicos y presupuestales. Es importante insistir que los sistemas de indicadores para el monitoreo de proyectos de recuperación de afluentes urbanos constituye una inversión indispensable para conocer el grado de cumplimiento que han tenido los objetivos y metas de estas iniciativas, así como para potenciar el grado de resiliencia de la cuenca, ya que se podría generar evidencia empírica suficiente para adaptar la implementación de nuevos proyectos ejecutivos a partir de los procesos que caractericen al sistema socio-ecológico, ya sea por las consecuencias de una decisión (por ejemplo, el impacto de incorporar un colector central para captar las aguas residuales) o por la emergencia de nuevos procesos que pueden ser benéficos para la sostenibilidad del territorio (surgimiento de organizaciones civiles a favor de la limpieza del río) o bien que resultan desfavorables (el surgimiento de nuevos asentamientos irregulares). Sin lugar a dudas, las obras que se implementaron en el río Magdalena durante los años 2011 y 2012 modificaron el funcionamiento del cauce; de haber utilizado el sistema de indicadores, la autoridad tendría actualmente una herramienta práctica para realizar un balance crítico y reflexivo sobre los alcances de las obras ejecutadas y también para delinear una nueva serie de proyectos que se requieren para continuar con su recuperación.

La elaboración de un sistema de indicadores para el rescate de un río urbano debería ser considerada como una inversión necesaria y fundamental para alcanzar los objetivos programados en cualquier iniciativa, ya que eventualmente permitiría tomar decisiones basadas en más y mejor información. También es importante que la información que generan los indicadores se socialice con todos los interesados en la recuperación del río, esta acción favorecerá la construcción colectiva de conocimiento y la aceptación de responsabilidades compartidas entre todos los involucrados en el proyecto (Jacobi & Franco, 2011). Resulta complicado concebir un cambio de paradigma en la relación que las ciudades mexicanas han tenido con sus ríos sin este mecanismo de gran utilidad para favorecer la participación efectiva e informada.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Programa Universitario de Estrategias para la Sustentabilidad de la Universidad Autónoma de México (UNAM), en especial a Mireya Ímaz Gispert y Luis Gutiérrez, por el financiamiento y el apoyo para la realización del sistema de indicadores.

REFERENCIAS

- Almeida Leñero, L., Nava, M., Ramos, A., Espinosa, M., Ordoñez, M., & Ujnovski, J. (2007). Servicios ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica*, 84-85, 53-64.
- Ananda, J., & Herath, G. (2008). Multi-attribute preference modelling and regional land-use planning. *Ecological Economics*, 65(2), 325-335. doi: 10.1016/j.ecolecon.2007.06.024
- Astleithner, F., & Hamedinger, A. (2003). The analysis of sustainability indicators as socially constructed policy instruments: benefits and challenges of 'interactive research'. *Local Environment*, 8(6), 627-640. doi: 10.1080/1354983032000152734.
- Bash, J. S., & Ryan, C. M. (2002). Stream Restoration and Enhancement Projects: is Anyone Monitoring? *Environmental Management*, 29(6), 877-885. doi: 10.1007/s00267-001-0066-3
- Bernhardt, E., & Palmer, M. A. (2007). Restoring streams in an urbanizing world. *Freshwater Biology*, 52(4), 738-751. doi: 10.1111/j.1365-2427.2006.01718.x
- Bernhardt, E. S., Palmer, M. A., Allan, J. D., Alexander, G., Barnas, K., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C., Follstad-Shah, J., Galat, D. L., Gloss, S., Goodwin, P., Hart, D. D., Hassett, B., Jenkinson, R., Katz, S., Kondolf, G. M., Lake, P. S., Lave, R., Meyer, J. L., O'Donnell, T. K., Pagano, L., Powell, B., & Sudduth, E. (2005). Synthesizing U.S. River Restoration Efforts. *Science*, 308(5722), 636-637. doi: 10.1126/science.1109769
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293-301.
- Borsuk, M., Reichert, P., Peter, A., Schager, E., & Burkhardt-Holm, P. (2006). Assessing the decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss rivers using a Bayesian probability network. *Ecological Modelling*, 192(1-2), 224-244. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.07.006
- Brown, R. R., Keith, N., & Wong, T. H. F. (2009). Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Science & Technology*, 59(5), 847-855. doi: 10.2166/wst.2009.029
- Cairns, J. J., McCormick, P. V., & Niederlthner, B. R. (1993). A proposed framework for developin indicators of ecosystem health. *Hydrobiologia*, 263, 1-44.
- Clifford, N. J. (2007). River restoration: paradigms, paradoxes and the urban dimension. *Water Science & Technology: Water Supply*, 7(2), 57-68. doi: 10.2166/ws.2007.041
- Dale, V. H., & Beyeler, S. C. (2001). Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, 1(2001), 3-10.

- Desthieux, G., & Joerin, F. (2004). Systemic approach for the development of a system of indicators in urban management process. *Studies in regional and urban planning*, 10, 35-50.
- Dorcey, A. H. J. (2004). Sustainability governance: surfing the waves of transformation. En B. Mitchell (Ed.), *Resource and Environmental Management in Canada: Addressing Conflict and Uncertainty* (pp. 528-554). Toronto: Oxford University Press.
- Downs, P. W., & Kondolf, G. M. (2002). Post-Project Appraisals in Adaptive Management of River Channel Restoration. *Environmental Management*, 29(4), 477-496. doi: 10.1007/s00267-001-0035-X
- Eden, S., & Tunstall, S. (2006). Ecological versus social restoration? How urban river restoration challenges but also fails to challenge the science-policy nexus in the United Kingdom. *Environment and Planning C: Government & Policy*, 24(5), 661-680.
- Everard, M., & Moggridge, H. L. (2012). Rediscovering the value of urban rivers. *Urban Ecosystems*, 15(2), 293-314. doi: 10.1007/s11252-011-0174-7
- Everard, M., & Powell, A. (2002). Rivers as living systems. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 12(4), 329-337. doi: 10.1002/aqc.533
- Findlay, S. J., & Taylor, M. P. (2006). Why rehabilitate urban river systems? *Area*, 38(3), 312-325. doi: 10.1111/j.1475-4762.2006.00696.x
- García, R. (2006). *Sistemas complejos: Conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.
- Gallopín, G.C. (1996). Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. *Environmental Modeling & Assessment*, 1(3), 101-117. doi: 10.1007/BF01874899
- Garrido Pérez, A., Cuevas, M. L., Cotler, H., González, D. I., & Tharme, R. (2010). Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación ambiental*, 2(1), 25-46.
- González, A., Hernández, L., Perló, M., & Zamora, I. (2010). De las avenidas de agua a los ríos de asfalto. En A. González, L. Hernández, M. Perló, & I. Zamora (Eds.), *Rescate de ríos urbanos* (pp. 16-34). México, D.F: Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gurnell, A., Lee, M., & Souch, C. (2007). Urban Rivers: Hydrology, Geomorphology, Ecology and Opportunities for Change. *Geography Compass*, 1(5), 1118-1137. doi: 10.1111/j.1749-8198.2007.00058.x
- Guzmán Colis, G., Thalasso, F., Ramírez López, E. M., Rodríguez Narciso, S., Guerrero Barrera, A. L., & Avelar González, F. J. (2011). Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(2), 89-102.
- Holguín, C., Rubio, H., Olave, M. E., Saucedo, R., Gutiérrez, M., & Bautista, R. (2006). Calidad del agua del río Conchos en la región de Ojinaga, Chihuahua: Parámetro fisicoquímicos, metales y metaloides. *Universidad y Ciencia*, 22(1), 51-63.
- Holl, K. D., & Cairns, J. J. (2002). Monitoring and appraisal. En M. R. Perrow & A. J. Davy (Eds.), *Handbook of Ecological Restoration* (pp. 411-432). Cambridge, U.K: Cambridge University Press.
- Jackson, L. E., Kurtz, J. C., & Fisher, W. (Eds.). (2000). *Evaluation Guidelines for Ecological Indicators*. Durham, North Carolina: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development.
- Jacobi, P. R., & Franco, M. I. (2011). Sustentabilidade, participação, aprendizagem social. En P. R. Jacobi (Ed.), *Aprendizagem social. Diálogos e ferramentas participativas: aprender juntos para cuidar da água* (pp. 11-20). São Paulo: Instituto de Energia e Ambiente de la Universidad de São Paulo/ Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental de la Universidad de São Paulo (IIE/PROCAM).
- Kamp, U., Binder, W., & Hölzl, K. (2007). River habitat monitoring and assesment in Germany. *Environmental monitoring and assessment*, 127(1-3), 209-226. doi: 10.1007/s10661-006-9274-
- Lifang, Q., Yichuan, Z., & Wei, C. (2008). Evaluation of urban river landscape design rationality based on AHP. *Water Science and Engineering*, 1(4), 75-81. doi: 10.3882/j.issn.1674-2370.2008.04.008
- López Hernández, M., Ramos Espinosa, M. G., & Carranza Fraser, J. (2007). Análisis multimétrico para evaluar contaminación en el río Lerma y lago de Chapala, México. *Hidrobiológica*, 17(1, suplemento), 17-30.
- Lorenz, C. M., van Dijk, G. M., van Hattum, A. G. M., & Cofino, W. P. (1997). Concepts in river ecology: Implications for Indicator development. *Regulated rivers: Research & Management*, 13(6), 501-516.
- Mant, J., & Janes, M. (2006). Restoration of rivers and floodplains. En J. van Andel & J. Aronson (Eds.), *Restoration Ecology. The New Frontier* (pp. 141-157). Malden, Massachusetts: Blackwell.
- Marques, C. P. M., & Junior, A. P. M. (2014). Artificialização de cursos d'água urbanos e transferência de passivos ambientais entre territórios municipais: reflexões a partir do caso do Riberão Arrudas, Região Metropolitana de Belo Horizonte-MG. *Revista Geografias*, 10(2), 100-117.
- Martínez Romero, A., Fonseca Gómez, K., Ortega Sánchez, J. L., & García-Luján, C. (2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. *Química Viva*, 8(1), 35-47.
- Mitchell, B. (2005). Integrated water resource management, institutional arrangements, and land-use planning. *Environment and Planning A*, 37(8), 1335-1352. doi: 10.1068/a37224
- Montelongo Casanova, R., Gordillo Martínez, A. J., Otazo Sánchez, E. M., Villagómez Ibarra, J. R., Acevedo Sandoval, O. A., & Prieto García, F. (2008). Modelación de la calidad del agua del río Tula, Estado de Hidalgo, México. *Dyna*, 75(154), 5-18.
- Nakamura, K., Tockner, K., & Amano, K. (2006). River and wetland restoration. *BioScience*, 56(5), 419-429. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)056\[0419:RAWRLF\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2006)056[0419:RAWRLF]2.0.CO;2)
- Olgún, E. J., González Portela, R. E., Sánchez Galván, G., Zamora Castro, J., & Owen, T. (2010). Contaminación de ríos urbanos: El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 1(2), 178-190.
- Orosio Vélez, L. F., & Pineda Correa, M. (2000). Propuesta metodológica para la evaluación y selección de indicadores ambientales. Estudio de caso: Cuenca de la Quebrada Chachafuto, Municipio de Rionegro, Antioquia - Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 53(2), 1091-1113.

- Otto, B., McCormick, K., & Leccese, M. (2004). *Ecological Riverfront Design: Restoring Rivers, Connecting Communities*. Chicago: American Planning Association.
- Palmer, M. A., Bernhardt, E. S., Allan, J. D., Lake, P. S., Alexander, G., Brooks, S., Carr, J., Clayton, S., Dahm, C. N., Follstad-Shah, J., Galat, D.L., Loss, S. G., Goodwin, P., Hart, D. D., Hassett, B., Jenkinson, R., Kondolf, G. M., Lave, R., Meyer, J. L., O'Donnell, T. K., Pagano, L., & Sudduth, E. (2005). Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42(2), 208–217. doi: 10.1111/j.1365-2664.2005.01004.x
- Parsons, M., Thoms, M. C., Flotemersch, J., & Reid, M. (2016). Monitoring the resilience of rivers as social-ecological systems: a paradigm shift for river assessment in the twenty-first century. En D. J. Gilvear, M. T. Greenwood, M. C. Thoms, & P. J. Wood (Eds.), *River Science. Research and Management for the 21st Century* (pp. 197–222). Chichester: John Wiley & Sons Inc.
- Pérez Munguía, R. M., Aguilera Ríos, M. S., & Mora Guerrero, J. L. (2006). Monitoreo ambiental del río "Cupatitzio", en la cabecera de la microcuenca y dentro del Parque Nacional "Barranca del Cupatitzio", en la Ciudad de Uruapan, Michoacán. *Biológicas*, 8(1), 18-30.
- Petts, G. E., Heathcote, J., & Martin, D. (Eds.). (2002). *Urban Rivers: Our Inheritance and Future*. Londres: IWA Publishing.
- Postel, S., & Richter, B. (2003). *Rivers for Life: Managing Water For People And Nature*. Washington, D.C: Island Press.
- Qureshi, M. E., & Harrison, S. R. (2001). A decision support process to compare Riparian revegetation options in Scheu Creek catchment in North Queensland. *Journal of Environmental Management*, 62, 101-112. doi: 10.1006/jema.2001.0422
- Raju, K. S., & Pillai, C. R. S. (1999). Multicriterion decision making in river basin planning and development. *European Journal of Operational Research*, 112(2), 249-257.
- Reckhow, K. H. (1999). Water quality prediction and probability network models. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56(7), 1150-1158. doi: 10.1139/f99-040
- Reichert, P., Borsuk, M., Hostmann, M., Schweizer, S., Spörri, C., Tockner, K., & Truffer, B. (2007). Concepts of decision support for river rehabilitation. *Environmental Modelling & Software*, 22, 188-201. doi: 10.1016/j.envsoft.2005.07.017
- Riley, A. L. (1998). *Restoring Streams in Cities: A Guide for Planners, Policy-makers, and Citizens* (Second Edition). Washington, D.C: Island Press.
- Rivera-Vázquez, R., Palacios-Vélez, O. L., Chávez-Morales, J., Belmont, M. A., Nikolski-Gravilov, I., de la Isla-Bauer, M. L., Guzmán-Quintero, A., Terrazas-Onofre, L., & Carrillo-González, R. (2007). Contaminación por coliformes y helmintos en los ríos Texcoco, Chapingo y San Bernardino, tributarios de la parte oriental de la cuenca del Valle de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(2), 69-77.
- Saaty, T. (2001). Decision making with the analytic network process (ANP) and its Super Decisions Software: The National Missile Defense (NMD) Example. *International Symposium on the Analytic Hierarchy Process (ISAHP), Proceedings - 2001* (pp. 365-382). Berna: ISAHP.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Service Sciences*, 1(1), 83-98.
- Schmoldt, D. L., Kangas, J., & Mendoza, G. (2001). Basic Principles of Decision Making in Natural Resources and the Environment. En D. L. Schmoldt, J. Kangas, G. Mendoza, & M. Pesonen (Eds.), *The Analytic Hierarchy Process in Natural Resource and Environmental Decision Making* (pp. 1-13). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Secretaría del Medio Ambiente (Sedema). (2009). *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del río Magdalena*. México, D.F: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
- Secretaría del Medio Ambiente (Sedema)/ Programa Universitario del Medio Ambiente (PUMA). (2009). *Sistema de indicadores para el rescate de los ríos Magdalena y Eslava*. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.
- Segnestam, L. (2002). *Indicators of environment and sustainable development: Theories and practical experience*. Washington, D.C: Banco Mundial.
- Silva-Sánchez, S., & Jacobi, P. R. (2012). Políticas de recuperação de ríos urbanos na cidade de São Paulo: possibilidades e desafios. *Revista Brasileira de Estudos urbanos e Regionais*, 14(2), 119-132.
- Stanton, P. (2007). Bankside Urban: An Introduction. En P. Stanton (Ed.), *River-town. Rethinking urban rivers* (pp. 1-21). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Thoms, M. C., Gilvear, D. J., Greenwood, M. T., & Wood, P. J. (2016). An introduction to river science: research and applications. En D. J. Gilvear, M. T. Greenwood, M. C. Thoms, & P. J. Wood (Eds.), *River Science. Research and Management for the 21st Century* (pp. 1-14). Chichester: John Wiley & Sons Inc.
- Tucci, C. E. M. (2008). Águas urbanas. *Estudos Avançados*, 22(63), 97-112.
- Tucci, C. E. M. (2012). *Gestão da drenagem urbana*. Brasília, D.F.: CEPAL.
- Tunstall, S. M., Penning-Rowsell, E., Tapsell, S. M., & Eden, S. (2000). River restoration: public attitudes and expectations. *Water and Environment Management*, 14(5), 363-370.
- von Schirnding, Y. (2002). *Health in Sustainable Development Planning: The Role of Indicators*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan II, R. P. (2005). The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *Journal of The North American Benthological Society*, 24(3), 706-723.
- Woolsey, S., Capelli, F., Gonser, T., Hoehn, E., Hostmann, M., Junker, B., Paetzold, A., Roulier, C., Schweizer, S., Tiegs, S. D., Tockner, K., Weber, C., & Peter, A. (2007). A strategy to assess river restoration success. *Freshwater Biology*, 52(4), 752-769. doi: 10.1111/j.1365-2427.2007.01740.x
- Zambrano, L. (2003). La restauración de ríos y lagos. *Ciencias*, 72, 37-43.
- Zöckler, C. (2000). *Wise Use of Floodplains: Review of River Restoration Projects in a Number of European Countries. A Representative Sample of WWF-Projects*. Cambridge, U.K: WWW-European Freshwater Programme.